



NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE OF AZERBAIJA
MINISTRY OF SCIENCE AND EDUCATION
OF THE REPUBLIC OF AZERBAIJAN
INSTITUTE OF PHYSICS

ENERGETİKANIN PROBLEMLƏRİ

ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ

POWER ENGINEERING PROBLEMS

ENERGETİKANIN KOMPLEKS PROBLEMLƏRİ * ELEKTROENERGETİKA * İSTİLİK ENERGETİKASI * İSTİLİK FİZİKASI *
ELEKTROFİZİKA * ELEKTROTƏXNOLOGİYA * ENERJİ MƏNBƏLƏRİ * EKOLOGİYA * XRONİKA

КОМПЛЕКСНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ * ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА * ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА * ТЕПЛОФИЗИКА *
ЭЛЕКТРОФИЗИКА * ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЯ * ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ * ЭКОЛОГИЯ * ХРОНИКА *

COMPLEX PROBLEMS OF POWER ENGINEERING * THE ELECTRICAL POWER ENGINEERING *
THE THERMAL POWER ENGINEERING * THERMOPHYSICS * ELECTROPHYSICS * ELECTROTECHNOLOGY *
ENERGY SOURCES * ECOLOGY * CHRONICLE

* DATA ANALİTİK VƏ SÜNİ İNTELLEKT *
* АНАЛИТИКА ДАННЫХ И ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ *
* DATA ANALYTICS AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE *

2

2025

BAKİ ☆ ELM ☆ BAKU

ENERGETİKANIN PROBLEMLƏRİ

elmi – texniki jurnal

№ 2 2025

Jurnal 2000-ci ildə akademik Ç.M.Cuvarlı tərəfindən təsis edilib

Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası Rəyasət Heyətinin qərarı ilə çap olunur

Redaksiya heyəti

A. Həşimov (baş redaktor), N. Rəhmanov (baş redaktorun müavini), J. Bilbao (İspaniya), K. Dursun (Norveç), N. Bizon (Rumıniya), P. İlyuşin (Rusiya), A. Murakami (ABŞ), T. Nurubəyli (məsul katib və texniki redaktor), C. Taplamacıoğlu (Türkiyə), N. Tabatabai (Danimarka), N. Yusifbəyli, H. Quliyev, A. Babayeva, T. Xalina (Rusiya), R. Kəlbəliyev, R. Rəhmanov (İngiltərə), N Duich (Xorvatiya).

Redaksiyanın ünvanları: Bakı, Az-1143, H.Cavid prospekti,131, AR ETN Fizika İnstitutu,
Az-1602, H.Zərdabi prospekti, 94, Az.ET və LAEI

Tel.: (994 12) 538-16-60; 539-44-02

Faks: (994 12) 539-31-16

E – mail: a.hashimov@physics.science.az

Nəşrin redaktoru: F.Rzayev

“Energetikanın Problemləri” jurnalı Azərbaycan Respublikası Mətbuat və İnformasiya Nazirliyində qeydiyyatdan keçmişdir, qeydiyyat sayı B 507

Tiraj: 50 nüsxə

ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ

научно – технический журнал

№ 2 2025

Основан в 2000 году академиком Ч.М.Джуварлы

Печатается по постановлению Президиума Национальной Академии Наук Азербайджана

Главный редактор

академик НАН Азербайджана А.М. Гашимов

Адреса редакции: Az -1143, Баку, пр.Г.Джавида, 131, Институт Физики МНО АР
Az -1602, Баку, пр.Г.Зардаби, 94, АЗ.НИИПИИ Энергетики ОАО “Азербэнержи”

Тел.: (994 12) (994 12) 538-16-60; 539-44-02

Факс: (994 12) 539-31-16

E-mail: a.hashimov@physics.science.az

POWER ENGINEERING PROBLEMS

Editor in chief Arif Hashimov

Editorial board

N. Rahmanov (deputy editor in chief), J. Bilbao (Spain), K. Dursun (Norway), N. Bizon (Romania), P. Ilushin (Russia), A Murakami (USA), T. Nurubeyli (executive secretary) Ch. Taplamachioglu (Turkey), N. Tabatabaei (Danmark), N. Yusifbeyli, H. Quliyev, A. Babayeva, T. Khalina (Russia), R. Kalbaliyev, R. Rahmanov (UK), N. Duich (Croatia).

Published by the decision on the Presidium of the Azerbaijan National Academy of Sciences

International Scientific, technical and industrial journal. Published from September, 2000

DOI:10.70784/azip.5.2025203

ENERJİ SİSTEMİN STASİONAR REJİMLƏRİNİN OPERATİV İDARƏ OLUNMASINDA REQRESSİYA MODELƏRİNİN TƏTBİQİ

BALAMETOV Ə.B.

“Azərbaycan Elmi-Tədqiqat və Layihə-Axtarış Energetika İnstitutu” MMC
balametov.aznie@gmail.com

Elektrik enerjisi sistemində dəyişən itkiləri proqnozlaşdırmaq üçün universal üsullardan biri reqressiya təhlili üsuludur. Elektrik enerjisi sistemində güc və enerji itkilərinin proqnozlaşdırılması üçün modelləşdirmə yanaşmalarından və reqressiya asılılıqlarının əldə edilməsində, eksperimentlərin tam faktorlu eksperimentlər, ən kiçik kvadratlar, arqumentlərin qrup şəklində nəzərə alınması və süni intellekt metodlarından istifadə edilməsi təklif olunmuşdur. Real və test elektrik şəbəkəri nümunələrində reqressiya asılılıqlarının əldə edilməsi üsullarının müqayisəli təhlili verilmişdir.

Açar sözlər: elektrik enerjisi sistemi, stasionar rejimlər, reqressiya modelləri, eksperimentin planlaşdırılması üsulu, ən kiçik kvadratlar üsulu, süni neyron şəbəkəsi üsulu.

Azərbaycan və SSRİ Energetikasına elmi töhfələr vermiş Azərbaycan Energetika İnstitutunun ilk yaradıcılarından biri olan və uzun müddət rəhbər vəzifələrdə işləmiş, alicənab, müdrik alim, zəmanəmizin layiqli ziyalı **O.S. Məmmədyarovun anadan olmasının 100 illiyinə həsr olunur.**

Elektroenergetika sahəsinin aparıcı alimlərindən biri olan, əməkdar elm xadimi, texnika elmləri doktoru, professor, Beynəlxalq Ekoenergetika Akademiyasının akademiki Orxan Səməd oğlu Məmmədyarovun anadan olmasının 100 yaşı tamam olmuşdur. O.S. Məmmədyarov 1949-çu ildə Azərbaycan Sənaye İnstitutunun energetika fakültəsini bitirmiş və əmək fəaliyyətinə Krasin adına Dövlət elektrik stansiyasında başlamış və 1955-ci ilə qədər mühəndis və digər rəhbər vəzifələrdə çalışmışdır. 1955-ci ildən fasiləsiz olaraq, Azərbaycan Elmi-Tədqiqat Energetika İnstitutunda işləmişdir. 1961-ci ildə Gürcüstan Polixnik İnstitutunda namizədlik dissertasiyasını, 1985-ci ildə isə Moskva Energetika İnstitutunda doktorluq dissertasiyasını müdafiə etmişdir. O.S. Məmmədyarovun fəaliyyəti statistik-ehtimal tədqiq, elektroenergetik sistemlərin qərarlaşmış rejimlərinin təhlili və optimal idarəetmə, elektrik stansiyalarında və şəbəkələrdə reaktiv gücün və gərginliyin avtomatik tənzim edilməsi məsələsi ilə əlaqədardır. Reqressiya modellərinin qurulmasında Orxan müəlliminin töhfəsini energetika sahəsinin məşhur alimləri dəfələrlə xüsusi qeyd etmişlər.

Müasir şəraitdə elektrik enerji bazarına keçid güc və enerji itkilərinin hesablanması və nəzarətinin aktuallığını artırmışdır. Bunu dövrü və çoxsaylı təlimatların nəşrlər sübut edir. Müasir dövrün əsas problemləri müxtəlif gərginlikli elektrik şəbəkələrində (EŞ) itkilərin qiymətləndirilməsi, enerji və enerjinin tranzitindən yaranan itkilərin qiymətləndirilməsi, itkilərin istehsalçı və istehlakçı arasında məqsədyönlü şəkildə bölüşdürülməsi və itkilərin normallaşdırılmasıdır. Ənənəvi olaraq, hər bir hesabat dövründə itkilərin hesablanması şəbəkənin sxeminə və işləmə parametrlərinə uyğun olaraq kompüterdə bir sıra qərarlaşmış rejimlərin hesabatlarına əsaslanır. Bu hesablamalar dəyişən kəmiyyətlərin çoxluğu, ilkin məlumatlarla təmin oluma problemləri və hesablama vaxtı ilə əlaqələndirilir. Hesablamalar şəbəkəni reqressiya modelləri ilə əvəz edilməklə, onun əməliyyat parametrlərinin dəyişkənliyini nəzərə almaqla sadələşdirilə bilər. İtkilər üçün reqressiya asılılıqları ehtimal statistik metodlardan istifadə etməklə və təsir edən əməliyyat parametrlərini dəyişdirərək hesablama təcrübəsi aparmaqla əldə edilə bilər [1-3].

Əməliyyat nəzarəti real vaxt rejimində həyata keçirilir, cəld qərar qəbul etməyi və nəticədə enerji təchizatı sistemlərində yüksək sürətli idarəetmə və proqnozlaşdırma alqoritmlərinin yaradılmasını tələb edir. Cəld qərar qəbul etmədə modellər qurarkən tənliyin

əmsallarını qiymətləndirməklə minimal miqdarda məlumatlardan istifadə etməyə imkan verən ehtimal-statistik modellərdən istifadə etməklə nail olmaq olar. Buna görə də, bəzi hallarda, güc itkilərinin reqressiya modellərinin qurulmasına əsaslanan daha sadə bir yanaşma istifadəsinə tələb yaranır [4-7]. Çox vaxt tələb etməyən sadə hesablamalar aparılmaqla, elektrik şəbəkəsinin ekvivalent xüsusiyyətlərinin əldə edilməsi, elektrik şəbəkələrinin bir çox məsələlərin həllində müvəffəqiyyətlə istifadə edilə bilər [8-9].

Bazar münasibətləri şəraitində itkilərin bazar iştirakçıları arasında bölüşdürülməsi məsələsi aktuallaşır. Bazar subyektləri arasında itkilərin bölüşdürülməsi üsulları [10-12] aşağıdakı kimi təsnif edilir: mütənasib, marjinal; zərərin məqsədyönlü bölgüsü üsulları [39-43,49].

Bazar iştirakçıları arasında EE-nin ötürülməsi zamanı EŞ itkilərlə əlaqəli komponentin paylanması çətinliyi bazar iştirakçıları arasında itkilərə görə məsuliyyətin bölüşdürülməsi üçün müxtəlif üsulların yaranmasına səbəb olmuşdur. Tədqiqatçının vəzifəsi bu və ya digər riyazi metodun üstünlük təşkil etdiyi şərtləri təhlil etməkdir. Buna görə də, enerji sistemlərinin müxtəlifliyini nəzərə alaraq, yeni hesablama alqoritmlərinin işlənilib hazırlanması və axtarışı problemi davam edir.

Elektrik enerjisi müəssisələrinin istismar etibarlılığının adekvat səviyyəsini təmin etmək üçün yeni yanaşmalar, o cümlədən süni intellekt metodlarına əsaslanan yanaşmalar hazırlamaqla dispetçer idarəetmə sistemlərini təkmilləşdirmək lazımdır.

EES rejim parametrlərinin ölçülməsi və idarə edilməsinin müasir vasitələri, yeni rabitə vasitələri və məlumatların emalı və s. onların operativ idarə olunmasını yeni əsaslarla və əhəmiyyətli dərəcədə səmərəliliklə həyata keçirməyə imkan verir. EES-in paylanmış generasiya üzrə hesablamalar, böyük EES rejimlərinin planlaşdırılması və idarə edilməsi texnologiyası funksional modelləşdirmə metoduna əsaslanıla bilər [9,10, 44-48].

Funksional modelləşdirmənin əsasını aşağıdakı əsas prinsiplər təşkil edir [16-20]:

- qurulması və istismarı, o cümlədən aşağı səviyyəli modellər – alt sistem tənlikləri və yuxarı səviyyəli model - sərhəd dəyişənləri üçün birləşmə tənlikləri sistemi;

- altsistemlərdə bərabərlik və bərabərsizliklər şəklində bütün daxili məhdudiyyətlərə riayət etməklə alt sistemlərin sərhəd və ümumiləşdirilmiş dəyişənlər arasında asılılıqları əks etdirən funksional xüsusiyyətləri ilə yuxarı səviyyəli modeldə təqdim edilməsi;

- alt sistemlərin funksional xarakteristikası üçün ifadələr onlara əvəz edilərkən və qiymətləri müəyyən etməyə imkan verən rabitə tənlikləri sisteminin həlli zamanı ümumi formada yazılmış sərhəd şərtləri əsasında rabitə tənlikləri sisteminin formalaşdırılması.

Elektrik şəbəkələrində EE itkiləri onların istismarının səmərəliliyinin ən mühüm göstəricisidir. Bu baxımdan, şəbəkələrdə faktiki texniki enerji itkilərinin hesablanması üsullarının təkmilləşdirilməsi və enerji itkilərinin normativ xarakteristikalarının əsaslandırılması üçün tədqiqatların aparılması vacibdir. Hazırda müxtəlif gərginlikli elektrik şəbəkələrində enerjinin nəql olunmasında itkilərin qiymətləndirilməsi, itkilərin istehsalçı və istehlakçı arasında məqsədyönlü şəkildə bölüşdürülməsi, itkilərin normallaşdırılması və s. elektrik şəbəkəsinin prioritet istiqamətə çevirir. Bunu dövrü mətbuatda çıxan çoxsaylı nəşrlər sübut edir.

İtkilərin modelləşdirilməsi aşağıdakı mərhələləri əhatə edir: faktorların seçilməsi, rejim parametrlərinin dəyişdirilməsi üçün intervallar; xüsusi eksperimental layihə üzrə elektrik şəbəkəsinin qərarlaşmış rejimlərinin hesablanması proqramı əsasında çoxvariantlı hesablamaların aparılması; reqressiya analizindən istifadə etməklə asılılıqların əldə edilməsi; simulyasiya modellərində səhvlərin qiymətləndirilməsi, enerji itkilərinin proqnozlaşdırılması. Proqnoz müddətini nəzərə almaqla operativ və qısamüddətli idarəetmə müxtəlif funksional mənsubiyyətlərə malikdir. Əməliyyat nəzarəti real vaxt rejimində həyata keçirilir, cəld qərar qəbul etməyi və nəticədə enerji təchizatı sistemlərində yüksək sürətli idarəetmə və proqnozlaşdırma alqoritmlərini tələb edir. Reqressiya tənliyinin əmsallarının hesablanması zamanı öyrədici alqoritmlər istifadə olunaraq az sayda ilkin məlumatlardan istifadə edən ehtimal-statistik modellərdən istifadə etməklə əldə etmək olar.

Azərbaycan Elmi-Tədqiqat və Layihə-Axtarış Energetika İnstitutunda (AzET və LAEI) EE itkilərini normativ xarakteristikalarını modelləşdirmək üçün EŞ-də EE itkilərinin

hesablanması metodları, alqoritmləri və müvafiq proqram təminatı işlənmişdir [12,13,16] və uzun müddətdir ki, Azərbaycan EES-in rejimlərinin hesablanması üçün istifadə olunur. Məqalədə imitasiya modelləşdirilməsi metodu əsasında güc və enerji itkilərinin proqnozlaşdırılması üçün multifaktorlu reqressiya modellərinin istifadəsi təhlil olunmuşdur: multifaktorial eksperimentin planlaşdırılması metodu (EPM), ən kiçik kvadratlar metodu (ƏKKM), arqumentlərin qruplar şəklində nəzərə alınması metodu (AQNA) və süni neyron şəbəkələri metodu (SNS).

Enerji itkisindən asılılıqları əldə etmək üçün ənənəvi üsullar. ES-də güc itkilərini proqnozlaşdırmaq, düyün müqavimətləri matrisinin inversiyasına əsaslanan üsullar, itkilərin Teylor sırasına ayrılması üsulu istifadə oluna bilər. Bu halda, ümumi aktiv və reaktiv güc itkiləri düyün cərəyanları vasitəsilə aşağıdakı düsturlarla ifadə edilə bilər [23-25,40]:

$$\Delta P = r_{11}J_1^2 + r_{22}J_2^2 + \dots + 2r_{12}J_1J_2 \cos\delta_{12} + 2r_{13}J_1J_3 \cos\delta_{13} + \dots \quad (1)$$

Mürəkkəb düyün müqavimətləri bilməklə Z_{ij} və düyün cərəyanlarının qiymətləri J_i , cərəyan vektorlarının nisbi faza bucağı δ_{ij} əsasında (1)-dən istifadə edərək, EŞ-də aktiv gücün itkilərini müəyyən etmək mümkündür. Burada düyün müqavimətlərin matrisi aşağıdakı kimi müəyyən edilir:

$$Z_{ij} = (MZ_B^{-1}M_t)^{-1}$$

harada ki, M – birləşmə imitasiya edən matrisə; Z_B – EŞ budaqlarının müqavimələrinin t matrisləridir.

Ümumi aktiv güc itkiləri üçün düsturlar aşağıdakı formada təqdim edilə bilər:

$$\Delta P = \sum_{i=1}^{n-1} B_{ij}(P_i^2 + Q_i^2) + 2 \sum_{i=1}^{n-2} \sum_{j=2}^{n-1} B_{ij}(P_iP_j + Q_iQ_j) - 2 \sum_{i=1}^{n-2} \sum_{j=2}^{n-1} C_{ij}(P_iQ_j + Q_iP_j) \quad (2)$$

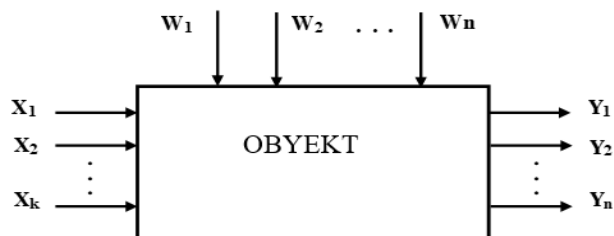
Teylor sırasına ayrılma [40] üsulu ilə təqdim edilə bilər

$$\pi = \pi_0 + \frac{\partial \pi}{\partial Y} \cdot \frac{\partial X}{\partial Y} \Delta Y + \frac{1}{2} \Delta Y^T \cdot \frac{\partial X^T}{\partial Y} \cdot \frac{\partial^2 X}{\partial Y^2} \cdot \frac{\partial X}{\partial Y} \Delta Y \quad (3)$$

Reqressiya asılılıqlarının alınması məqsədilə aşağıdakı mərhələlər yerinə yetirilir:

- reqressiya təhlilinin tələblərini nəzərə alaraq, imitasiya modelləşdirmə matrisinin formalaşdırılması: rejimlərin yolverilməzliyi və uyğunluğu;
- çox variantlı rejimlərin imitasiya modelləşdirilməsi və güc itkilərinin hesablanması matrisinə uyğun olaraq, çoxvariantlı hesablamaların formalaşdırılması;
- reqressiya asılılıqlarının əldə edilməsi - reqressiya əmsallarının qiymətləndirilməsi;
- reqressiya əmsallarının əhəmiyyətliyi statistiki qiymətləndirilməsi;
- reqressiya modelinin adekvatlığının yoxlanılması.

Eksperimentin Planlaşdırılması metodundan (EPM) istifadə edərək EŞ enerji itkilərinin proqnozlaşdırılması tənlikləri. Eksperimentin planlaşdırılması nəzəriyyəsinə tədqiqat obyektini [1-8,40] adətən “qara qutu” kimi təqdim edilir və onun riyazi modeli giriş və çıxış parametrləri arasında funksional əlaqələri təsvir edir. Tədqiqat obyektini şəkil 1-də göstərilən blok-sxem şəklində təqdim edilə bilər. Burada, x_i - müstəqil giriş dəyişənləri; y_i - adlanan çıxış parametrləri; w_i – təsadüfi təsirlərdir. Faktorların dəyişmə diapazonu x_i və ya ala biləcəkləri qiymətlərin sayı faktor səviyyəsi adlanır.



Şək.1. Eksperimental layihələndirmə metodunun tətbiqinin blok diaqramı.

Ehtimal olunur ki, dəyişənlərdə həyəcanlamalara nəzarət oluna bilməz və ya təsadüfi xarakter daşıyır, ya da zamandan asılı olaraq dəyişir. Hər bir x_i amili eksperimentdən əvvəl

müəyyən edilməli olan müəyyən bir intervala malikdir. Faktorların kombinasiyası sistemin vəziyyətini xarakterizə edən çoxölçümlü məkanda bir nöqtə kimi təqdim edilə bilər.

Təcrübədə çox faktorlu eksperimental planlaşdırılması metodunun məqsədi çoxhədli polinomial model şəklində şəkildə qurulur:

$$\Delta P = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i=1}^k b_{i,j} x_i x_{ij} + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2 \quad (4)$$

burada, ΔP - reqressiya tənliyinin asılı dəyişənidir (güc itkisi ilə); x_i və x_j reqressiya tənliyinin müstəqil dəyişənləridir (faktorları); b_0 , b_i , $b_{i,j}$, b_{ii} - reqressiya tənliyinin əmsalları; k -faktorların sayıdır.

Burada yalnız şəbəkə elementlərinin aktiv müqavimətindəki itkilər, yəni cərəyanlardan asılı olan itkilər nəzərə alınır, çünki polad və tac itkiləri yüklərin paylanmasından daha az dərəcədə asılıdır.

Tam faktorlu eksperiment onunla xarakterizə olunur ki, sabit həyəcanlamar üçün w_i hər bir faktorun minimum səviyyəsinin sayı ikidir. Bu halda, biri istisna olmaqla bütün müəyyən olunmuş x_i amillərini təyin edərək, bu amilin iki səviyyəsinə uyğun gələn iki ölçmə aparmaq lazımdır. Bu proseduru ardıcıl olaraq x_i amillərinin hər biri üçün həyata keçirərək, biz tələb olunan N sayını əldə edirik, amil səviyyələrinin bütün mümkün birləşmələrini həyata keçirmək üçün tam faktorial təcrübədə təcrübələrin sayı $N = 2^k$, burada k - amillərin sayıdır.

EŞ rejimlərinin idarə edilməsi məsələlərinin həllində çoxfaktorlu eksperimentin planlaşdırılması metodundan istifadə aşağıdakı üstünlüklərə gətirir: mürəkkəb proseslərin modellərini qurmaq imkanı; tam şəbəkə və onun hissələri, gərginlik sinifləri üçün modellər qurmaq imkanı; tələb olunan parametrlərin dəyişənlərdən asılılığının alınmasının yüksək etibarlılığı. Eyni zamanda, QR hesablanması üçün mövcud proqramlardan istifadə edərək, EHM çoxvariantlı hesablamalar aparılır, nəticədə təhlil və ya nəzarət üçün reqressiya modelləri əldə edilir.

Statistik əlaqəni tapmaq vəzifəsi (4) təcrübələrin nəticələrinə əsasən, reqressiya tənliyinin əmsallarını tapmaqdan ibarətdir. Kvadratik modeli qurmaq üçün ortoqonal mərkəzi kompozisiya planlaması və ya rotatable planlaşdırılmasından istifadə olunur [6].

Reqressiya tənliyini (4) əldə etmək üçün TFE-dən istifadə müəyyən səviyyələrdə aparılan təcrübənin (hesablamanın) təşkilində ən kiçik kvadratlar metodundan fərqlənir. Bu halda, hər bir müstəqil giriş kəmiyyəti planlaşdırma matrisinə uyğun olaraq, iki səviyyədə dəyişir, yəni sistemdə aktiv eksperimentin həyata keçirilməsi təmin edilir.

EES-nin reqressiya modellərini əldə etmək üçün TFE-dən istifadənin məqsədəuyğunluğu onunla izah olunur ki, bu sistemlərdə mövcud olan hədəf asılılıqlarının əksəriyyəti ikinci dərəcəli modellərlə yaxşı yaxınlaşdırıla bilər, bunun üçün əmsalların qiymətlərini tapmaq səmərəlidir [3-7].

TFE təcrübələrinin formalaşması. Çoxhədli reqressiya tənliyinin əmsalları birbaşa parametrlərin hər birinin tədqiq olunan prosesə kəmiyyətcə təsirinin dərəcəsini göstərir. Adətən, (3)-də x_i müstəqil dəyişənlər normallaşdırılmış formada təqdim olunur:

$$x_{in} = \frac{x_i - x_{i0}}{\Delta x_i} \quad (5)$$

burada, x_{i0} - dəyişənin bazis qiymətidir; Δx_i - dəyişənin dəyişdirilməsi addımıdır. Normallaşdırılmış qiymətlər sərhədləri ± 1 qiymətlərinə malikdir.

Natamam polinom modelində tam faktorial təcrübədə (TFE) təcrübələrin sayı $N = 2^k$. Kvadratik modelə tam faktorial TFE təcrübəsinin təcrübələrinin sayı isə $N_{ob} = 2^k + 2 * k + 1$.

Kvadrat modeli qurmaq üçün ortoqonal mərkəzi kompozisiya planlaşdırılmasından istifadə olunur [6-8]. Bu halda, x_0 sütunlarını ortoqonallaşdırmaq üçün çevirmə aparılır:

$$x_i^{-2} = x_i^2 - \varphi \quad (6)$$

burada

$$\varphi = \frac{2^k + 2 \cdot Zv}{N_{ob}}$$

Ulduz çiyini adlanan dəyişənlərin təyini uyğun olaraq aşağıdakı kimi müəyyən edilir:

$$Zv = \sqrt{\sqrt{Nob * 2^{(k-2)} - 2^{(k-1)}}$$

Kvadratik model üçün reqressiya əmsallarının qiymətləndirilməsi aşağıdakılarla müəyyən edilir:

$$b_i = \frac{\sum_{m=1}^N x_{im} \Delta P_m}{\sum_{m=1}^N x_{im}^2}, \quad b_{0kv} = b_0 \quad \varphi \sum_{i=1}^k b_{ii} \quad (7)$$

Statistik üsullarla əldə edilən reqressiya tənlikləri aşkar edilmiş asılılıqların əmsallarının əhəmiyyətinin qiymətləndirilməsini və bütövlükdə tənliyin adekvatlığının yoxlanmasını və təhlilini tələb edir. b_i əmsalların əhəmiyyətinin statistik qiymətləndirilməsini həyata keçirmək üçün Student meyarından istifadə olunur [1].

Reqressiya tənliyin adekvatlığı Fisher meyarından istifadə etməklə yoxlanılır [6-8]. Tənliyin adekvatlığı orta kvadratik xətdən (OKX) istifadə etməklə qiymətləndirilə bilər. Bu vəziyyətdə qeyri-kafilik ölçüsüdür.

$$\sigma^2(\Delta P) = \frac{1}{N-q} \cdot \sum_{m=1}^N (\Delta P_m - \Delta \bar{P}_m)^2 \quad (8)$$

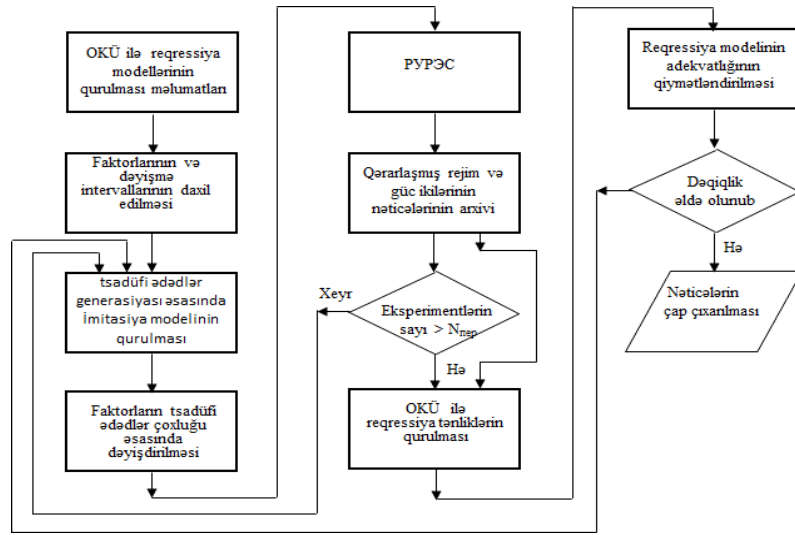
burada, q - (8) tənliyinin əmsallarının sayı; ΔP_m və $\Delta \bar{P}_m$ - orijinal nəzəri modeldən və n nöqtəsində (4) tənliyindən hesablanmış hədəf parametrinin qiymətidir.

Rejimlərin formalaşması. EES reqressiya modelini qurmaq üçün enerjisistemin bütün parametrləri iki qrupa bölünür: giriş müstəqil dəyişənlər və çıxış dəyişənləri. Daxil edilən dəyişən parametrləri üçün müstəqil dəyişənlərin dəyişmə diapazonu seçilir. Eyni zamanda, rejimlərin məqbul olmasına çalışmaq lazımdır. EPM tətbiq edərək reqressiya təhlilinin bütün tələbləri yerinə yetirilməlidir. Ən vacib tələb hesablanmış rejimlərin uyğunluğu və müxtəlif amillərin əlaqəsizliyidir.

EES-də enerji balansını şərtlərinə əsasən, hesablanmış rejimlərin uyğunluğunu təmin etmək üçün sxem eksperimentin planlaşdırma matrisinə uyğun olaraq, elektrik stansiyalarının bütün mümkün rejimlərini təmin edilə bilən balanslaşdırma stansiyasını nəzərdə tutur. QR-un yaxınlaşmasına və hesablama rejimlərinin mövcudluğuna əsaslanaraq, dəyişən dəyişənlərin qəbul edilmiş sahəsində bütün hesablamaların uyğunluğu haqqında mühakimə etmək olar. Dəyişən amillərin korrelyasiya olunmaması tələbi bir-birindən asılı olmayaraq amillərin qiymətlərinin seçilməsi və dəyişdirilməsi ilə təmin edilir. Enerji sisteminin balanslaşdırıcı düyünün seçimi böyük əhəmiyyət kəsb edir.

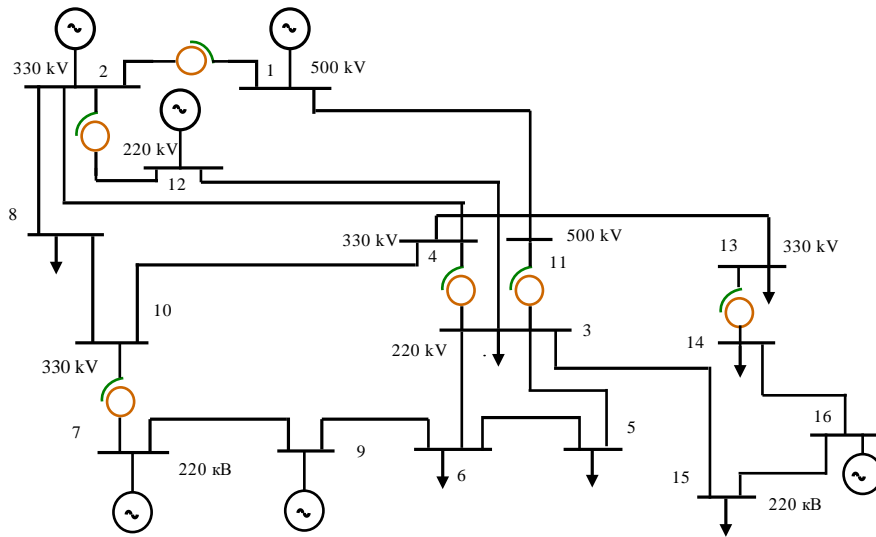
Proqram təminatının həyata keçirilməsi. Reqressiya modellərinin əldə edilməsinin səmərəliliyini artırmaq üçün EPM və QR çox sayda imitasiya hesablamaları ardıcılığını planlaşdırmaq və avtomatlaşdırmaq üçün proqram və hesablama kompleksi hazırlanmışdır [35-40]. Şəkil 2-də TFE metodundan istifadə edərək, güc itkilərinin proqnozlaşdırılması üçün reqressiya asılılığının əldə edilməsinin blok diaqramı göstərilir.

Proqram bir sıra modullardan və alt proqramlardan ibarətdir: məlumatların daxil edilməsi və çıxarılması, planlaşdırma matrisinin formalaşdırılması, statistik modelləşdirmə, tətbiqi proqramlar və eksperimental nəticələrin emalı, reqressiya modelinin əldə edilməsi, əldə olunan reqressiya modellərinin proqnozlaşdırma xassələrinin təhlili [40]. Təcrübənin nəticələrinin emalı, reqressiya modelinin əldə edilməsi, reqressiya modellərinin proqnozlaşdırma xassələrinin təhlili [35-40], reqressiya asılılıqlarının yaxınlaşmasında səhvlərin qiymətləndirilməsi. Proqram hesablama kompleksi (PHK) Delphi mühitində hazırlanmışdır. EPM avtomatik olaraq eksperiment planlaşdırma matrisini tərtib edir, QR proqramından istifadə edərək bir sıra hesablamalar aparır və sonra alınan nəticələri emal etdikdən sonra istənilən reqressiya əlaqəsinin əmsallarını tapmağa imkan verir, həmçinin proqnozlaşdırma xətasını yoxlayır. Müstəqil dəyişənlər kimi elektrik stansiyalarının aktiv və reaktiv gücünün istehsalı, düyün gərginliyi və EPS-nin ümumi aktiv və reaktiv yükləri götürülür. EHM-də hesablama vaxtı əsasən qərarlaşmış reim şərtlərinin çoxdəyişənli hesablamalarının vaxtı ilə müəyyən edilir [12-14,26-28,40].



Şək.2. EPM güc itkilərinin regressiya əsasıllıqlarının alınmasının blok sxemi.

EPM regressiya modelinin təhlili üçün “Azərenerji” ASC-nin 16 düyünlü ekvivalent sxemi (şəkil 3) nümunə kimi götürülmüşdür. Cədvəl 1-də EPM vasitəsilə 4 faktorlu eksperimentin faktorları parametrlərin dəyişmə sərhədləri, alınmış tam kvadratik model şəklində güc itkilərinin proqnozlaşdırılması üçün regressiya tənliyinin əmsalları göstərilir.



Şək.3. “Azərenerji”-nin 16 düyünlü ekvivalent sxemi.

Cədvəl 2-də qarışıq regressiya əmsallarının qiymətləri əks olunmuşdur. Regressiya tənliyinin orta kvadrat xətası (OKX) 0,78 %, maksimum xətası isə 2,12 % təşkil edir.

Cədvəl 1. Kvadratik regressiya modelinin əmsalları ($B_0 = 49,543$)

Nö	Düyün adı	Növ amil	Aşağı limit	Yuxarı limit	Xətti əmsallar	Qeyri-xətti əmsallar
1	STES-1	P	100.00	400.00	1.3173	1.329
2	Şimal İstilik Elektrik Stansiyası	P	144.00	576.00	4.2234	6.76 7
3	BAKTES-1	P	26.80	107.20	-0,4704	0.360
4	SHIR220	P	120.00	480.00	1.6042	1.382
5	Sum-TES	P	1369.20	3423.00	12.2802	19.876
6	Sum-TES	Q	1053.12	1755.20	1.6797	0.662

Cədvəl 2. Qarışıq reqressiya əmsalları

	2	3	4	5	6
1	0.9180	0,0867	0.7697	-4.7666	-0,0069
2		0.7682	1.2135	-13.0612	-0,0355
3			0.1319	-1.9674	-0,0204
4				-6.0603	-0,0107
5					0.6021

Hesablama nümunəsi-1. EPM-nin reqressiya asılılığının əldə edilməsinin nəticələri. İşlənmiş alqoritmin effektivliyini göstərmək üçün 14 düyünlü IEEE sınaq dövrəsinin modelini nəzərdən keçirək. Sxem 20 qoldan, 2 generatordan, 3 RGM-dən, 12 yük düyünündən ibarətdir. 1 düyünü balanslaşdırıcı düyün kimi qəbul edilir. Reqressiya asılılığını almaq üçün 4 faktorlu - P_{g2} , U_{g2} , $P_{H\Sigma}$, $Q_{H\Sigma}$ və 13 faktorlu (4-5-6-9-10-11-12-13-14 düyünlərində P_{G2} , P_H) təcrübələri aparılmışdır. Aşağıda aktiv generasiya gücündən, 2 saylı düyünün gərginliyindən və ümumi aktiv və reaktiv yükündən asılı olaraq, itkilərin proqnozlaşdırılmasının reqressiya tənliklərindən alınmışdır. Ümumi aktiv və reaktiv yük $P_{\Sigma\max}=259,10$ MW, $Q_{\Sigma\max}=80,30$ MVar. 2-ci düyünün aktiv generasiyası $P_{2G\min}=20$ MW, $P_{2G\max}=40$ MW. 2-ci düyünün gərginliyi $U_{2\min}=140$ kV, $U_{2\max}=144$ kV. Düyünlərin aktiv və reaktiv yükləri $k_i=P_i/P_{\Sigma}$ dövrəsinin ümumi gücündə qovşaq yükünün iştirak əmsalına uyğun olaraq dəyişdi. Ümumi gücün dəyişdirilməsi addımı ilkin göstərilən qiymətin 30%-ə bərabər olaraq qəbul edildi. Ümumi aktiv və reaktiv yükün minimum qiymətləri düyün yüklərinin ilkin müəyyən edilmiş qiymətlərinin 60%-ə bərabər qəbul edilmişdir ($P_{\Sigma\min}=128,5$ MVt və $Q_{\Sigma\min}=40,15$ MVar). Bu sxem üçün 25-ə bərabər bir sıra imitasiya edilmiş rejimlər əsasında tam reqressiya modeli alınmışdır. Cədvəl 3-də normallaşdırılmış formada ümumi aktiv güc itkiləri üçün PFE üsulu ilə alınmış 4 faktorlu təcrübənin kvadratik modelinin reqressiya əmsalları verilmişdir. .

Cədvəl 3. Kvadratik modelin reqressiya əmsalları

№	Faktor	Düyünün nömrəsi	Reqressiya modelinin əmsalları	
			Xətti	Qeyri-xətti
1	P_{geni}	2	-0,313	0,0016
2	P_{Σ}	2	4.664	0.7644
3	U_{gen}	sxem üzrə	-0,163	0.0919
4	Q_{Σ}	sxem üzrə	0,086	-0,0210

Qarışıq reqressiya əmsalları: $b_{12}=-0,1979$, $b_{13}=0,0338$, $b_{14}=0,0179$, $b_{23}=-0,0172$, $b_{24}=-0,0286$, $b_{34}=0,0197$. Reqressiya modelinin səhvləri bunlar idi: orta kvadrat 0,46% və maksimum 1,69%. Reqressiya modelindən aydın olur ki, 2-ci qovşağın aktiv enerji istehsalının artırılması ümumi yük enerjisi itkilərini azaldır. Enerji itkilərinə ən böyük təsir dövrənin ümumi yükünün artması ilə həyata keçirilir.

Enerji itkilərinin proqnozlaşdırılması üçün PHK: EŞ və onun bölgələri üçün enerji itkilərinin normativ xarakteristikasını qurulmasını, HX tranzit itkilərini proqnozlaşdırmaq, rejimini optimallaşdırarkən enerji balans tənliklərində istifadə etməyə imkan verir. EPM həm də texniki itkilərin gərginlikdən asılılığını əldə etməyə imkan verir; ayrı-ayrı EES bölgələrində itkilərin təşkilədicilərinin və ya itkilərin paylarının müəyyən etmək; tələb olunan parametrlərin verilənlərdən asılılığını formalaşdırarkən yüksək etibarlılığı və nəticələrin əldə edilməsi asanlığını təmin edir.

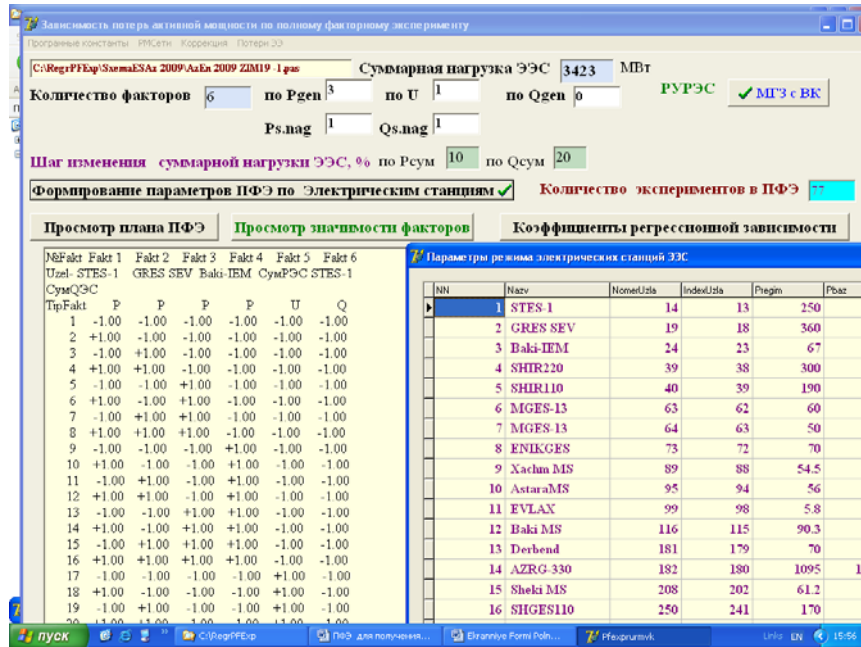
P_{r2} , $P_{H\Sigma}$, $Q_{H\Sigma}$ üçün eksperimental planlaşdırma üsulu ilə güc itkiləri üçün reqressiya asılılıqlarının xətlərini müstəqil dəyişənlərin dəyişmə intervalından asılılığı və 4 faktorlu təcrübə R_{g2} , U_{G2} , $R_{H\Sigma}$, $Q_{H\Sigma}$ - 0.1 MW dəqiqliyi ilə 7 faktorlu TFE R_{g2} , U_{G2} , $R_{H\Sigma}$, $Q_{H\Sigma}$, Q_{3IRM} , Q_{6IRM} , Q_{8RGM} , cədvəl 4-də göstərilmişdir.

Cədvəl 4. Reqrəssiya tənliklərinin xətasının amillərin dəyişmə intervalından asılılığı

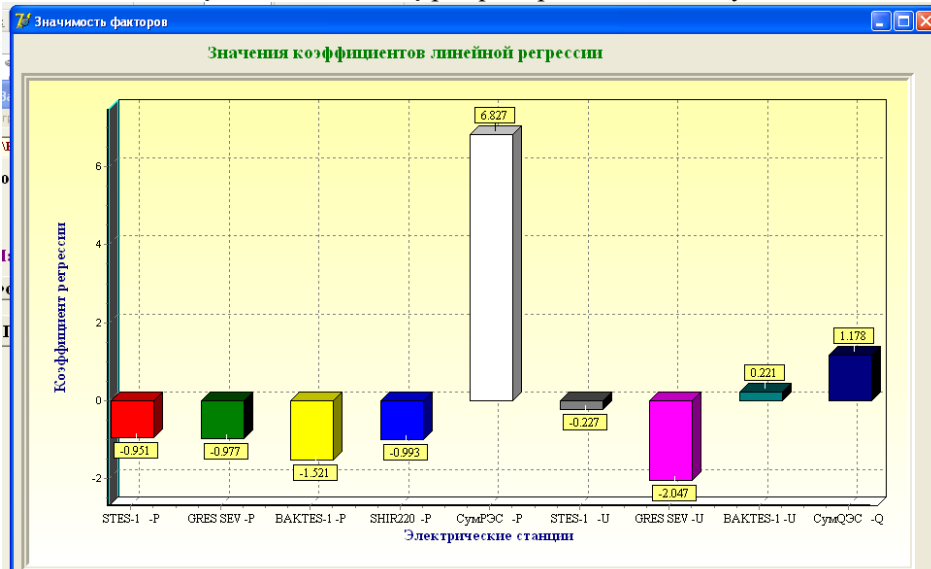
Dəyişmə diapazonu, %	Gərginlik düyün üçün	Proqnoz xətası, %	
		OKX	Maksimum
10	1	0.06	0.14
20	2	0.11	0.28
50	2	0,58	2.11

Şəkil 4-də proqram paketinin ekran forması göstərilir. Şəkil 4-də ümumi itkiləri elektrik stansiyalarının aktiv gücündən, EES-nin ümumi aktiv və reaktiv yükündən gücünün üçün TFE üsulu ilə alınmış reqrəssiya əmsallarının dəyişmə diaqramı verilmişdir. Diaqramdan görünür ki, Abşeron enerji rəqionunun aktiv enerji istehsalının artırılması ümumi yük enerjisi itkilərini azaldır.

Cədvəl 5 və 6-da 2009-cu il üçün sxem üzrə Azərbaycan EES-nin aktiv güc itkiləri və qış maksimumu üçün 2008-ci ilin nəzarət ölçüləri üçün TFE üsulu ilə alınmış 4 faktorlu eksperimentin kvadrat modelinin reqrəssiya əmsalları verilmişdir. 21 dekabr 2008-ci il.



Şək.4. Hazırlanmış proqram paketinin interfeysi.



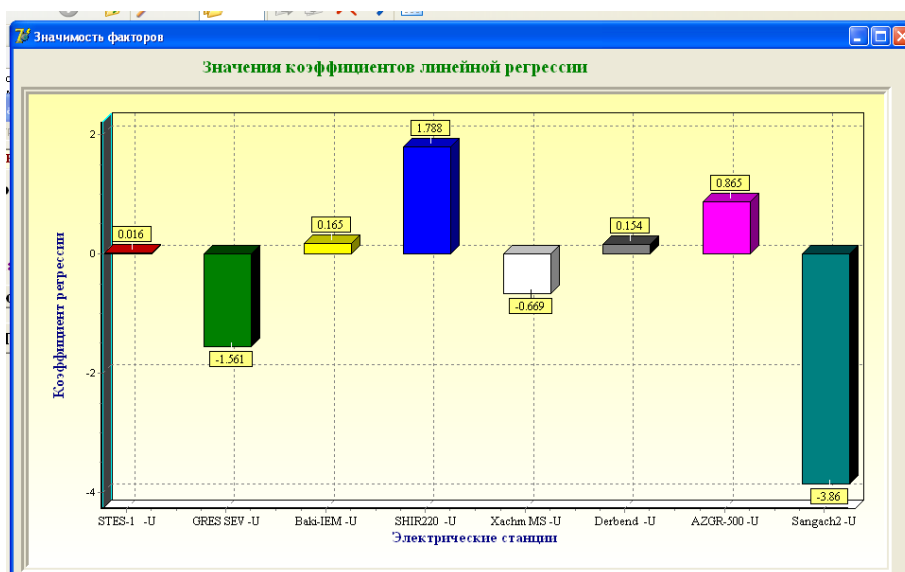
Şək.5. PFE üsulu ilə alınan reqrəssiya əmsallarının əhəmiyyətinin diaqramı.

Cədvəl 5. Kvadratik modelin reqressiya əmsalları

yox.	Növ Amil	Xətti	Qeyri-xətti	Aşağı limit	yuxarı limit	düyün
1	P	-2.1548	1.9855	807.22	1210.84	STES-1-S
2	P	11.2320	2.3015	2738.40	3423.00	SumRES -P
3	U	-1.8208	1.0923	223.50	236.50	STES-1-U
4	Q	1.7606	0.3650	1053.12	1755.20	Cəmi Q ES -Q

Reqressiya modelinin xətalrı: orta kvadrat 0,07% və maksimum 0,55% təşkil edir.

Şəkil 6-da Azərbaycan EES ümumi aktiv güc itkiləri üçün ES-nin düyünlərində gərginliklərində asılı olaraq, TFE üsulu ilə alınmış reqressiya əmsallarının diaqramı göstərilmişdir.



Şəkil 6. PFE üsulu ilə alınan reqressiya əmsallarının əhəmiyyətinin diaqramı.

Təcrübə planlaşdırma metodundan istifadə edərək, enerji itkilərinin proqnozlaşdırılması üçün PVC aşağıdakılara imkan verir: tam şəbəkə və onun fraqmentləri üçün, məsələn, gərginlik sinifləri üçün enerji itkilərinin standart xüsusiyyətlərinin modellərini qurmaq imkanı; elektrik enerjisi bazarının iştirakçıları arasında elektrik şəbəkəsində enerji itkilərinin bölüşdürülməsi; enerji tranzitindən aktiv enerji itkilərinin proqnozlaşdırılması; aktiv enerji rejiminin optimallaşdırılması zamanı enerji balans tənliklərindən istifadə.

EPM-dən istifadə, həmçinin texniki itkilərin gərginlikdən reqressiya asılılıqlarını əldə etməyə imkan verir; ayrı-ayrı EPS obyektlərində itkilərin komponentlərini və ya itkilərin paylarının cəmini müəyyən etmək; tələb olunan parametrlərin verilənlərdən asılılığını formalaşdırarkən yüksək etibarlılığı və nəticələrin əldə edilməsi asanlığını təmin edir.

Reqressiya asılılıqlarının ən kiçik kvadratlar metodundan (LSM) istifadə etməklə təyini. Zərərlərin dəyişmə qanununu müstəqil dəyişənlərin X qiymətlərindən ifadə edən asılılıq [5,6,9,10] şəklində təqdim olunur.

$$\Delta P = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_{im} + \sum_{i=1}^k b_{ij} x_{im} x_{jm} + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_{im}^2 + \varepsilon_m \quad (9)$$

harada ki, ΔP_m - m-ci müşahidədə itkilərin qiyməti; x_{im} - m-ci müşahidədə i-ci dəyişənin məlum qiyməti; b_i - i-ci dəyişən üçün naməlum əmsal; b_{ij} - x_i və x_j amillərinin qarşılıqlı təsir əmsallarının matrisi, ε_m - m-ci müşahidə üçün modelin təsadüfi komponenti ("səhv").

Rejimlərin imitasiya modelləşdirilməsi üçün matrisin formalaşdırılması. Təsadüfi ədədlər ardıcılığına uyğun olaraq, stasionar çox variantlı imitasiya rejimlərinin modelləşdirilməsi ilə hər biri üçün ən kiçik kvadratlar metodu (ƏKKM) təşkilədicilərini formalaşdırılır.

Regressiya tənliklərinin əmsalları b_1, \dots, b_k üzrə ƏKKM uyğun olaraq, qeyri balansların kvadratların cəmi minimuma endirməklə müəyyən olunur:

$$\Delta P(b_1, \dots, b_k) = \sum_{i=1}^n (\Delta P_m - \varphi(b_m x_{im}))^2 \rightarrow \min \quad (10)$$

Kvadratik regressiya asılılıqlarının əmsallarını müəyyən etmək üçün b'_1, \dots, b'_k k ilə k normal xətti tənliklər sistemini vektor-matris şəklində həlli axtarılır:

$$X^T X b' = X^T y \quad (11)$$

Modelin kvadratlarının qalıq cəmi müəyyən edilir:

$$Q_e = \sum_{i=1}^n (y_i - y'_i)^2 = \sum_{i=1}^n e_i^2 \quad (12)$$

Kvadrat meyletmələrin ümumi cəmi

$$Q = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (13)$$

Proqnozlaşdırılan modelin kvadrat meyletmələrinin cəmi

$$Q_x = \sum_{i=1}^n (y'_i - \bar{y})^2 \quad (14)$$

Sadə xətti regressiya vəziyyətində, bütün bu üç kvadrat cəmi ilə əlaqələndirilir:

$$Q = Q_x + Q_e \quad (15)$$

Regressiya modelinin təyini əmsalı R^2 kimi müəyyən edilmişdir:

$$R^2 = 1 - \frac{Q_e}{Q} \quad (16)$$

və $R^2 = r_{yy}'^2$, burada r_{yy}' – y və y' dəyişənləri arasında çoxsaylı korrelyasiya əmsalı nümunəsidir.

i əmsallarının əhəmiyyətinin statistik qiymətləndirilməsini həyata keçirmək üçün öyrətmə testindən istifadə olunur. Tənliyin adekvatlığı Fisher kriteriyası ilə yoxlanılır.

Polinom əmsalları hər bir parametrin öyrənilən prosesə kəmiyyət təsirinin dərəcəsini birbaşa göstərir. Adətən, (9) müstəqil dəyişənlərdə x_i normallaşdırılmış formada təqdim olunur. Standartlaşdırılmış qiymətlər ± 1 dəyişmə intervalları qəbul edilir. ƏKKM planlaşdırma təcrübələrinin sayı tam kvadratik model üçün regressiya əmsallarından çox olmalıdır.

Regressiya tənliklərinin əmsallarını əldə etmək üçün ən kiçik kvadratlar metodlarından istifadə etməklə çoxsaylı təcrübələrin planlaşdırılması üçün proqram modulu hazırlanmışdır. Proqram alt proqramlardan ibarətdir: məlumatların daxil edilməsi və çıxarılması, təsadüfi ədədlərin yaradılması və eksperimental nəticələrin emalı üçün normal tənliklərinin formalaşdırılması üçün Qauss metodundan istifadə edərək xətti tənliklər sisteminin (XTS) həlli, əmsalların əhəmiyyətinin qiymətləndirilməsi, aşkar edilməsi, tənliyin adekvatlığının yoxlanılması.

Hesablama nümunəsi-2. ƏKKM regressiya asılılığının əldə edilməsinin nəticələri.

LSM-dən istifadənin effektivliyini nümayiş etmək üçün 13 faktorlu olan 14 düyünlü IEEE sınaq sxeminin modelində hesablar aparılıb: 2-ci düyüdə Rg2 aktiv gücü və 12 düyüdə 2-7,9-14 aktiv yük Rn generasiyası. Güc yükünün dəyişdirilməsi addımı ilkin olaraq göstəriləndən 15%-ə bərabər alındı. Ümumi aktiv və reaktiv yükün minimum qiyməti ilkin müəyyən edilmiş yük qiymətinin 70%-nə bərabər götürülüb. Güc itkiləri üçün regressiya asılılıqlarının əldə edilməsində xətanın 0,1 MVt dəqiqliklə ƏKKM müstəqil dəyişənlər intervalının təsadüfi dəyişənlərin yaradılması eksperimentlərin sayından asılı olaraq, ƏKKM faktorlarının dəyişmə intervalından və eksperimentlərin sayından asılı olaraq, xətti və kvadratik regressiya tənlikləri üçün orta kvadratik xətalər qiymətləndirilmişdir [40]. Xətti regressiya tənlikləri ilə approksimasiya $1 \div 20\%$, kvadratik regressiya tənliklərinin approksimasiya $0.5 \div 7\%$ həddində OKX gətirir. ƏKKM ilə əldə edilmiş 13 faktorlu təcrübənin 200-dən çox planlaşdırılmış imitasiya eksperimentlərinin sayı praktiki olaraq zəruri dəqiqliyi təmin etmək üçün kifayət idi. Bu şərtlər altında EPM 8219 təcrübə tələb edir.

ƏKKM istifadə etməklə güc itkilərinin regressiya asılılıqlarının əldə edilməsi üsulu EPM-dan daha az imitasiya eksperimentlərini ilə EŞ düyünlərinin aktiv, reaktiv gücləri və gərginliklərindən texniki itkilərin regressiya asılılıqlarını əldə etməyə imkan verir.

Arqumentlərin qrup uçotu metodu (AGUA). AGUA regressiya təhlilinin intellektual ümumiləşdirilməsi hesab olunur. AGUA klassik çoxsaylı regressiyadan xarici və ya daxili tipli

spesifik kvadrat kriteriyalardan, eləcə də problemin optimal həllini tapmaq üçün çoxsıralı iterativ prosedurlardan istifadə etməklə fərqlənir.

AGUA modellərinin çoxsıralı təsvir forması, burada kifayət qədər sadə funksiyalar hər bir təbəqədə lokallaşdırılır (iki dəyişənin 2-dən çox olmayan polinomları), lakin ümumi holistik model son dərəcə mürəkkəb strukturu təmsil edir və bu modellə çoxlu ümumi cəhətləri ehtiva edir. Aşağıda süni neyron şəbəkəsi modelləri təsvir edilmişdir.

Çox seriyalı polinom modelində m faktorundan reqressiya modelinin “tam” təsviri

$$y = F(x_1, x_2, \dots, x_m) \quad (17)$$

“özəl” təsvirlər sırası ilə əvəz olunur:

seçimin birinci sırası – $y_1 = f(x_1, x_2)$, $y_2 = f(x_1, x_3)$, ..., $y_s = f(x_{m-1}, x_m)$, burada $s = C_m^2$; ikinci seçim sırası – $z_1 = f(y_1, y_2)$, $z_2 = f(y_1, y_3)$, ..., $z_p = f(y_{s-1}, y_s)$, burada $p = C_s^2$ və s.

Beləliklə, modelin (17) ümumi nəticə mürəkkəbliyi iki amildən asılıdır: xüsusi təsvirin növü f və seçim sıralarının sayı.

Hər bir xüsusi təsvir yalnız iki dəyişənin funksiyasıdır. Buna görə də, belə bir reqressiya tənliyinin əmsallarını ən kiçik kvadratlar metodundan istifadə edərək təlim ardıcılığının az sayda müşahidəsindən belə asanlıqla təyin etmək olar.

Çox sıralı alqoritmin müxtəlif modifikasiyaları dəstək funksiyası şəklində bir-birindən fərqlənir f . Xətti çoxhədli alqoritmə formanın qismən təsvirlərindən istifadə olunur

$$Y_k = a_0 + a_1 \cdot x_i + a_2 \cdot x_j, \quad 0 < i < m, \quad 0 < j < m. \quad (18)$$

Bu halda, modelin mürəkkəbləşməsi yalnız nəzərə alınan arqumentlərin sayını artırmaqla baş verir: seçimin birinci cərgəsində 2 arqumentdən, ikincidə - 3 və ya 4, üçüncüdə - 8-ə qədər arqumentlərdən ibarət modellər sintez edilir.

Qeyri-xətti dəstək funksiyalarından istifadə edən çox seriyalı alqoritmlər, məsələn:

$$Y_k = a_0 + a_1 \cdot x_i + a_2 \cdot x_j + a_3 \cdot x_i \cdot x_j; \\ Y_k = a_0 + a_1 \cdot x_i + a_2 \cdot x_j + a_3 \cdot x_i \cdot x_j + a_4 \cdot x_i^2 + a_5 \cdot x_j^2; \quad (19)$$

demək olar ki, istənilən mürəkkəblikdə modelləri əldə etməyə imkan verir, çünki seçimin hər bir sətirində çoxhədlinin dərəcəsi ikiqat artır.

Reqressiya modelinin dolaşmaq olmaması üçün ilkin seçim təsadüfi olaraq olaraq öyrədilən və yoxlama (nəzarət) ardıcılığı ilə statistik eynicinsli hissəyə bölünür. Bunun üçün bütün mövcud eksperimental nöqtələr sıralanır və dispersiya qiymətinə görə sıra ilə düzülür.

$$D^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(y - \bar{y}) / \bar{y}]^2 \quad (20)$$

burada nəticələrin orta qiymətləri iki hissəyə bölünür. Cüt saylı nöqtələr birinci ardıcılığı, tək saylı nöqtəli ədədləri olan isə ikincini ardıcılığı təşkil edir.

Təlim ardıcılığı adi ən kiçik kvadratlar metodu ilə Y cavabını hər hansı iki arqumentlə birləşdirən qismən təsvirlərin (9.5) - (9.6) $a_0 - a_5$ əmsallarını təyin etmək üçün istifadə olunur.

Süni neyron şəbəkələrindən istifadə edərək elektrik şəbəkələrində enerji itkilərinin proqnozlaşdırılması. EES-də bir çox real prosesləri ənənəvi modellərdən istifadə etməklə adekvat təsvir etmək mümkün deyil, çünki əslində onlar mahiyyətə qeyri-xəttidir. Bu vəziyyətdə yüksək öyrənmə sürəti və universal yaxınlaşma imkanları ilə xarakterizə olunan təlim ardıcılığının mövcudluğunda proqnozlaşdırma və təsnifat ideyalarını həyata keçirən xüsusi süni neyron şəbəkələri (SNS) [40] problemlərin həlli üçün adekvat aparat kimi xidmət edə bilər.

Enerji sektorunda üç növ SNS ən çox yayılmışdır: çoxlaylı birbaşa yayılma şəbəkələri, Kohonen şəbəkələri və Hopfield recurrent şəbəkələri. Bir çox tədqiqatlar [5]-də əks olunduğu kimi, EES-nin əməliyyat nəzarətinin müxtəlif problemlərinin neyron şəbəkəsinin modelləşdirilməsinə həsr edilmişdir. SNS -nin yaradılmasında mühüm addım onun təlimidir ki,

bu da SIM -nin parametrlərinin təyin edilməsindən ibarətdir. SNŞ növü təlimin xüsusiyyətlərini müəyyən edir.

Şəbəkə yanaşmasının tətbiqinin əsas mərhələlərinə aşağıdakılar daxildir: şəbəkənin öyrədilməsi üçün məlumatların hazırlanması; şəbəkələşmə; şəbəkə təlimi; şəbəkə testi; şəbəkə modelləşdirmə.

Neyron şəbəkənin arxitekturası şəbəkə təliminin səmərəliliyində böyük rol oynayır. Məlumdur ki, üç qatlı neyron şəbəkəsindən istifadə etməklə istənilən funksiyanı ixtiyari müəyyən edilmiş dəqiqliklə təxmin etmək mümkündür [40]. Dəqiqlik gizli təbəqədəki neyronların sayı ilə müəyyən edilir, lakin gizli təbəqənin ölçüsü çox böyükdürsə, şəbəkənin həddindən artıq yüklənməsi adlanan bir fenomen baş verə bilər. Bu çatışmazlığı aradan qaldırmaq üçün ara təbəqədəki neyronların sayının təlim şəkillərinin sayından əhəmiyyətli dərəcədə az olması lazımdır. Digər tərəfdən, əgər gizli təbəqənin ölçüsü çox kiçik olarsa, arzuolunmaz yerli minimumla nəticələnmə bilərsiniz.

İntellektual informasiya sistemləri süni intellekt (Sİ) sistemlərinin sintezi zamanı öyrənmə, özünü-təşkil etmə və təkamül proseslərinə müxtəlif yanaşmaları həyata keçirən müxtəlif üsul və alqoritmlərin "kitabxanalarından" istifadə edə bilər. Bu günə qədər nə süni intellektin ümumiləşdirici nəzəriyyəsi, nə də tam funksional AI modelinin işlək nümunəsi olmadığı üçün bu yanaşmalardan hansının düzgün, hansının yanlış olduğunu söyləmək mümkün deyil: çox güman ki, onlar bir-birini ahəngdar şəkildə tamamlaya bilərlər. Süni intellekt dörd yanaşmadan istifadə etməklə həyata keçirilir: məntiqi, təkamül, simulyasiya və struktur. Bütün bu dörd istiqamət paralel olaraq, çox vaxt bir-birinə qarışaraq inkişaf edir.

Çoxlaylı SIM-lərin təşkil olunması. Riyazi olaraq, vəzifə çəki əmsallarının elə qiymətlərini tapmaqdır ki, şəbəkə cavabı ilə təlim dəstinin bütün nümunələri üçün tələb olunan cavab arasında uyğunsuzluq xətası minimuma ensin. Toplama çıxış qatının bütün neyronları və şəbəkə tərəfindən işlənmiş bütün şəkillər üzərində aparılır:

$$\min E(w) = \sum_{i=1}^p E_p = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^m (y_{ij} - d_{ij})^2 \quad (21)$$

burada, y_{ij} , d_{ij} - müvafiq olaraq, çıxış qatında j -ci neyronunun i -ci giriş vektoruna faktiki və arzu olunan reaksiyası, p – təlim dəstindəki nümunələrin sayı, m – çıxış qatındakı neyronların sayı.

Bütün mövcud öyrətmə üsulları deterministik və stoxastik olaraq təsnif edilə bilər. Deterministik üsullar geri yayılma düsturlarından istifadə edir. Hal-hazırda həm geri yayılma alqoritminin müxtəlif modifikasiyaları, həm də axtarış metodlarını həyata keçirən daha güclü SIM təlim prosedurları işlənmişdir [3-4, 30-32].

Birinci halda çəki korreksiyası proseduru E xəta funksiyasının qradienti haqqında məlumatdan istifadə edir və aktivləşdirmə funksiyasının diferensiallığını tələb edir.

Keyfiyyət funksiyasının minimuma endirilməsi, təlim dəstinin bütün şəkilləri üçün ardıcıl olaraq həyata keçirilən çəki əmsalları məkanında qradient eniş alqoritmi əsasında həyata keçirilir.

Aşağıda geri yayılma üsulundan istifadə edərək SIM-nin öyrədilməsi alqoritmi verilmişdir:

1. Mümkün təsvirlərdən birini şəbəkə girişlərinə tətbiq edin və SIM-nin normal iş rejimində siqnallar girişlərdən çıxışlara yayıldıqda sonuncunun qiymətlərini hesablayın.

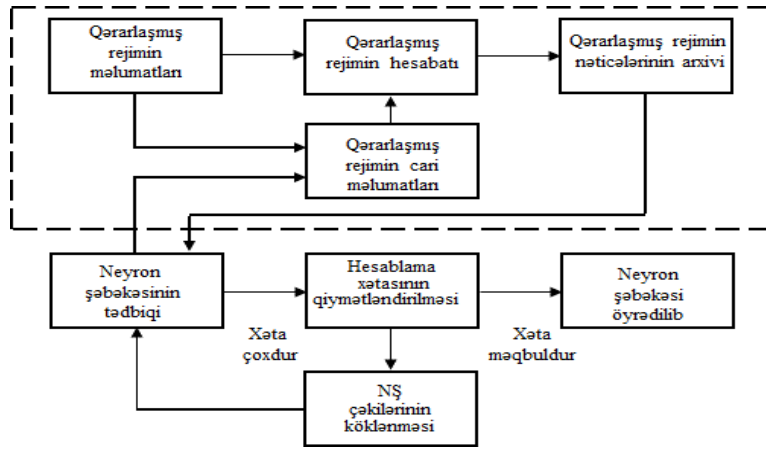
2. Çıxış təbəqəsi üçün $\delta^{(N)}$ N təbəqəsinin $\Delta w^{(N)}$ çəkilərindəki dəyişiklikləri hesablamalı.

3. Bütün digər təbəqələr üçün müvafiq olaraq $\delta^{(n)}$ və $\Delta w^{(n)}$ hesablamalı, $n = 1, \dots, N$.

4. SIM-də bütün çəkiləri üçün korreksiya etməli.

Mövcud tətbiqi proqram paketlərinə neyron şəbəkə tətbiqləri FEHM intellektual sistemlərin layihələndirilməsi prosesini xeyli asanlaşdırır.

Enerji itkilərinin hesablanması üçün SIM-dən istifadə alqoritminin blok diaqramı şəkil 7-də göstərilmişdir.



Şək.7. Enerji itkilərinin hesablanması üçün SIM-dən istifadə alqoritminin blok diaqramı.

SIM-dən istifadə etməklə itkilərin hesablanmasında maksimum xəta 0,2%-dən az, standart kənarlaşma 0,1%-dir.

Regressiya asılılıqlarının alınması üsullarının müqayisəsi. Neyron şəbəkələrdən istifadə edərək güc itkilərinin hesablanması və güc itkilərinin hesablanması üçün deterministik üsulların müqayisəli qiymətləndirilməsi sonuncunun üstünlüyünü göstərir ki, bu da hesablamanın düzgünlüyündə yadır. Cədvəl 6-da EPM, ƏKKM və neyroşəbəkə texnologiyalarından istifadə edərək enerji itkilərini qiymətləndirərkən əldə edilən səhvləri göstərilir.

EPM, ƏKKM və SIM-in güc itkiləri üçün regressiya asılılıqlarının əldə edilməsi üsullarının müqayisəli təhlilindən belə nəticə çıxır ki, problem ölçüsü 9 faktora qədər olduqda EPM üstünlüyə malikdir, ƏKKM əldə etməkdə demək olar ki, eyni dəqiqliklə 9 amildən çox olduqda. regressiya asılılığının nəticəsidir. Eyni zamanda, EPM vaxta əhəmiyyətli dərəcədə qənaət edir. Nəticələrin alınmasının yüksək dəqiqliyi tələb olunduqda SIM üstünlüyə malikdir.

Regressiya asılılıqları elektrik enerjisi bazarının iştirakçıları arasında itkilərin bölünməsinin marjinal metodunda istifadə edilə bilər.

Cədvəl 6. Enerji itkilərinin hesablanması üsullarının müqayisəsi

	EES sxemi	Kəmiyyət			Tətbiqin məqsədi
		Düyünlər	Budaqlar	amillər	
1	Azərenerjinin Bəsləyici elektrik şəbəkələri	333	404	(P _{gu} , U _{gu} , R _n , Q _n)	İtkilərin sürətli qiymətləndirilməsi və proqnozlaşdırılması, gərginliyin tənzimlənməsi.
2				9(P, U, Q)	İtkilərin sürətli qiymətləndirilməsi və proqnozlaşdırılması, gərginliyin tənzimlənməsinin seçilməsi və reaktiv enerji istehsalı.
3				15 (R _{RG})	Paylanmış generasiyanın səmərəliliyini, itkilərin səviyyəsini və itkilərin azaldılmasını qiymətləndirmək.
4	IEEE Test sxemi	14	20	13(P, U, Q) 11(P _n)	Zərərlərin sürətli qiymətləndirilməsi və proqnozlaşdırılması
5	10 kV radial elektrik şəbəkə	19	18	14(P _n , Q _n)	Sadələşdirilmiş modelləşdirmə zamanı itkiləri və düyün yüklərinin müəyyənləşdirilməsinin qeyri-müəyyənliyini qiymətləndirmək.
6	AzərEnerji Ekvivalent sxemi	7	8	2 (k _{top} , R _n)	Heterojen VES-də VDT və UPC-nin tətbiqinin effektivliyini qiymətləndirmək. Quraşdırma yeri və optimal parametrlər (VDT, UPC).
16		22			
21		25			

Marjinal metod, itkiləri ayırmaq üçün qovşaqlarda yaranan dəyişikliklərə və yüklənməyə ümumi itkilərin həssaslıq əmsallarından istifadə etməkdən ibarətdir. Belə əmsallar ya ədədi, ya da xüsusi törəmələrin birbaşa hesablanması əsasında əldə edilə bilər. Rəqəmsal metodunda QR hesablama proqramından istifadə etməklə düyüdə ümumi itkilərin dəyişməsi düyüdə yük və ya generasiya az miqdarda dəyişdikdə komponenti, məsələn, bir düyüdə yükün və ya generasiyanın $\pm 1\%$ dəyişməsi. EPM və ya ƏKKM-nin generasiya və yüklənmə qabiliyyətinin $0,5\div 1\%$ dəyişdirilməsi imitasiya və istifadə nəticəsində əldə edilən reqressiya asılılıqlarında xətti hissəsinin əmsalları itkilərin həssaslığına uyğun gəlir [40].

Aparılmış müqayisəli hesabatların nəticəsi göstərir ki, aşağıdakı şərtlər yerinə yetirilərsə, SİM modelləri daha effektiv olacaq: modelləşdirilən hədəf çox mürəkkəbdir; modelləşdirilmiş hədəf əhəmiyyətli dərəcədə qeyri-xəttidir; sadə riyazi təsviri olan “bölmələrini” modelləşdirmək üçün xüsusi modellərdən (məsələn, AGUA kimi alqoritmlərdən istifadə etməklə qurulmuş) istifadəyə üstünlük verilir.

Respublikanın müxtəlif regionlarında proqramlar və inkişaf çərçivəsində ümumi gücü 1150 MVt olan Wartsila modul elektrik stansiyaları istifadəyə verilmişdir. Cədvəl 7 səmərəliliyi ilə qaz porşenli mühərrikləri olan modul elektrik stansiyalarını göstərir. 46% intervalında. DG-nin ümumi gücü 916 MVt-dır. Bunun 147 MVt-ı Naxçıvanda, 769 MVt-ı isə “Azərenerji” SC-də yerləşir.

“Azərenerji” ASC-nin 110, 220, 330, 500 kV EŞ 335 düyün və 407 budaqlı hesabat sxemi, qış maksimumunun məlumatları əsasında $P_{\max}=3408$ MVt, $Q_{\max}=1755$ MVt gərginlikli elektrik stansiyaları aktiv gücü itkisi üçün reqressiya tənliklərinin alınması nəticələri cədvəl 7-də verilmişdir. Hesablamalar zamanı Astara, Şəki, Bakı, Xaçmaz, Səngəçal, Şahdağ modul elektrik stansiyaları nəzərə alınmışdır. Dəyişiklik addımı amillərin əsas qiymətlərinin 20%-i olaraq qəbul olunmuşdur. İmitasiya olunmuş stasionar rejimlərin sayı 200 təşkil edilmişdir. ES-nin aktiv güclərinin əsas qiymətləri cədvəl 7-də ƏKKM ilə alınmış 6 faktorlu kvadratik modelin reqressiya əmsalları verilmişdir.

Cədvəl 7. Reqressiya tənliyinin əmsalları

No	Faktor	Aktiv gücü, MVt	Xətti	Qeyri-xətti	Faktorların adı
1	P	54	-0,3684	0,0719	Xaçmaz
2	P	56	-0,4020	0,2256	Astara
3	P	90,3	-1,1923	0,0456	Bakı
4	P	61,2	-0,1034	0,1100	Şəki
5	P	150	-0,8718	0,1282	Səngəçal
6	P	50	-0,0901	0,0145	Şahdağ

Reqressiya tənliyinin sabit komponenti $b_0 = 92,16$, OKX ilə 0,14%, maksimum xəta 0,80%.

Cədvəldən görünür ki, elektrik stansiyalarının aktiv gücünün paylanmış istehsalının artması EES-də ümumi gücü itkilərinin azalmasına səbəb olur. Enerji itkilərinə ən çox təsir edən 220, 330 və 500 kV-luq EPS elektrik xətlərinin boşaldılmasına töhfə verən Səngəçal və Bakı İES-də istehsalın artmasıdır. Şahdağ, Şəki, Xaçmaz və Astara istilik elektrik stansiyalarının təsirinin nisbətən kiçik olması bu istilik elektrik stansiyalarının generasiya gücünün yerli istehlakdan çox olması və enerjinin zəif elektrik xətləri ilə yaxınlıqdakı istehlakçılara ötürülməsi ilə əlaqədardır. PG elektrik stansiyaları ilə enerji itkiləri $\Delta P_{\min}=91,8$; RG $\Delta P_{\max} = 113,7$ olmadıqda. PG-dən itkilərin azalması 21,9 MVt təşkil edir. Paylanmış generasiy enerji sisteminin düyünlərində gərginliklərin səviyyələrini yaxşılaşdırdı.

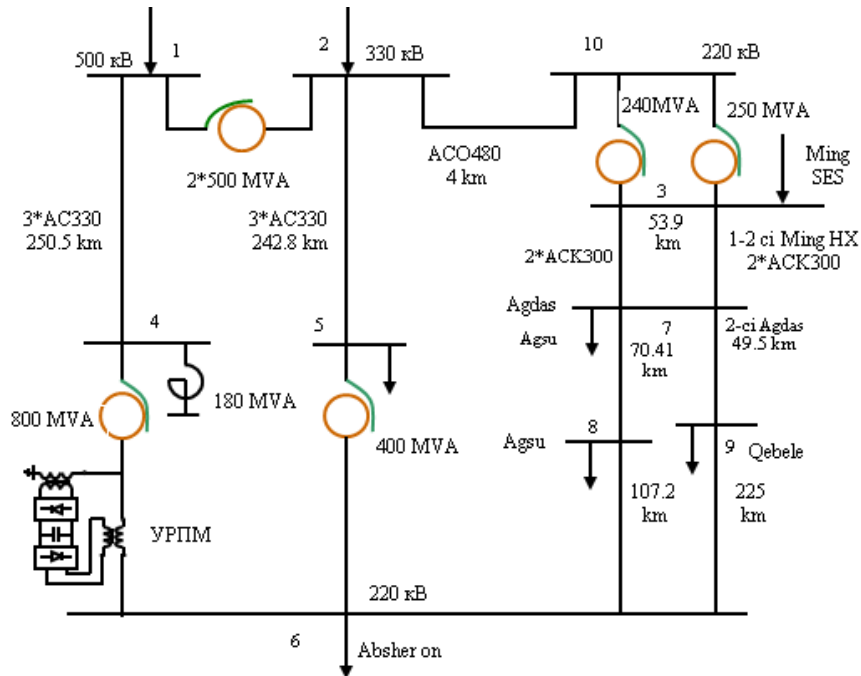
Az İES-də Abşeron enerji regionlarını birləşdirən 220-330-550 kV EVX qeyri bircinsli sxemin rejiminin optimallaşdırılması. Bu məqsədlə FACTS (Flexible Alternative Current Transmission System) - idarə olunan çevik dəyişən cərəyan ötürücü sistemləri, statik kompensatorların (STATCOM), Unified Power Flow Controllers – UPFC-Universal

(birləşmiş) güc axını tənzimləyicisi-UGAT və kompleks transformasiya əmsallarının idarə olunması məsələsinə məsələsinə baxılmışdır. Sxem şəkil 3-də göstərilmiş 220-330-500 kV-luq düyünlər və EVX- ATR daxildir. Çox kriteriyalı funksiya ilə təmin edilmiş UPFC digər qurğularla müqayisədə etibarlı rejimi, məqbul demferləməni təmin etməyə və sistemin gücünün dinamik dayanıqlığını yüksəltməyə imkan verir. 220, 330 və 500 kV-luq elektrik verilişi xətlərinin əlaqələndiyi düyünlərində yaxınlaşdığı, 500 kV-lik hava xətti üzrə STATCOM və UPFC 220 kV-luq Abşeron YST STATCOM qovşağının quraşdırılması nəzərə alaraq hesabatlar aparılmışdır. Azərbaycanın EES-nin Şimal-Qərb zonasının elektrik stansiyalarının istehsalı təxminən 3400 MVt-dır. Abşeron zonasında elektrik stansiyalarının istehsalı 3000 MVt-a yaxındır. STATCOM və UPFC -nin quraşdırılması yeri 800 MVA (500/220 kV) ATR tərəfindən 220 kV-luq Abşeron YST şininə qədər olan 500 kV-luq hava elektrik xəttinin sonunda quraşdırılmasını nəzərə alınaraq imitasiya hesabatları aparılmışdır. İki bölgəni birləşdirən Azərbaycan EES-nin 220-330-500 kV-luq hissəsinin ekvivalent elektrik sxemi şəkil 2-də göstərilmişdir.

Güc ötürmə sistemi kəsiyi üzrə yük buraxma qabiliyyəti müxtəlif faktorlardan asılı olaraq dəyişir. Statik dayanıqlığı həddi, termiki həddi, keçici dayanıqlığın həddi və sistemin dempferləmə (kiçik güc rəqslərin zəiflədilməsi) kimi müxtəlif faktorlara görə məhdudlaşır. Elektrik şəbəkəsinin qeyri bircinsliliyi 220 kV-luq elektrik verilişi xətlərinin artıq yüklənməsinə və aktiv enerji itkilərinin hesablamaların nəticələri göstərir ki, Abşeron yarımadası zonasında (6 saylı düyün) 220 kV-luq düyünlərində STATCOM-un stasionar rejimlərdə quraşdırılması aktiv enerji itkilərini 10 MVt-dan çox azaltmağa imkan verir.

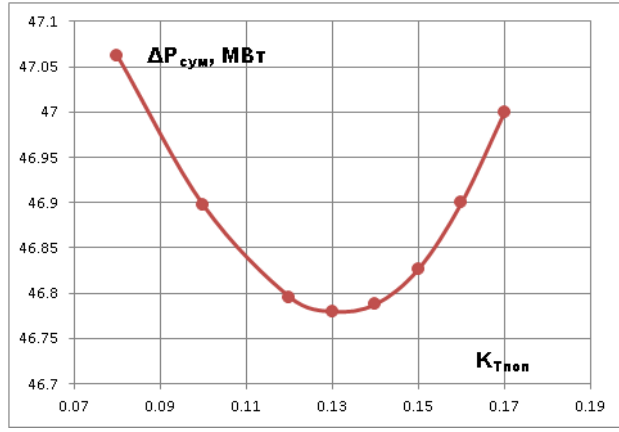
STATCOM və URPM-nin 6 saylı düyündə eyni vaxtda dayanıqlı rejimlərdə quraşdırılması aktiv enerji itkilərini 12 MVt-dan çox azaltmağa imkan verir.

500/220 kV-luq avtotransformatorundan sonra kompleks əmsalının $KT=1+j(0,08\div 0,17)$ -ə bərabər dəyişməsi ilə 500 kV-luq URPM-in quraşdırılması 220 kV-luq hava xəttinin qeyri-bərabərliyini azaltmağa təsir göstərir, əlavə 1 MVt və ya daha çox aktiv güc itkisi (şəkil 3).



Şək.8. 220-330-500 kV-luq bölmənin ekvivalent elektrik dövrəsi.

Stasionar rejimin texniki iqtisadi effekti 6 saylı düyündə STATCOM quraşdırmaq yolu ilə avtomatik tənzimləmənin yerinə yetirildiyi halda almaq olur [50].

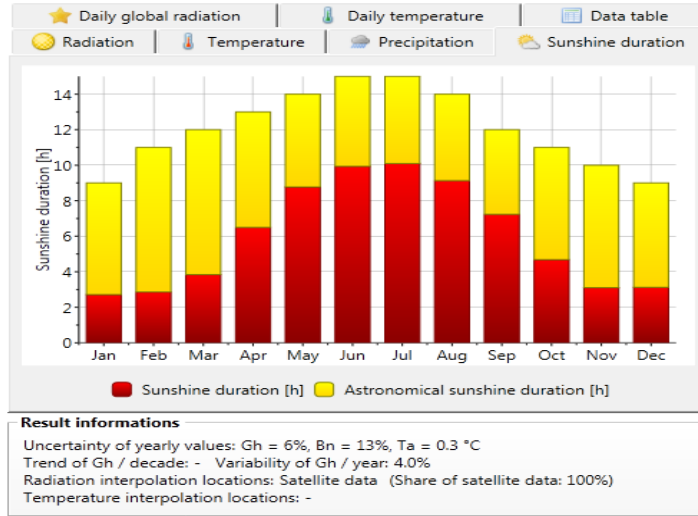


Şək.9. Aktiv güc itkilərinin kompleks transformasiya nisbətinin eninə komponentindən asılılığı.

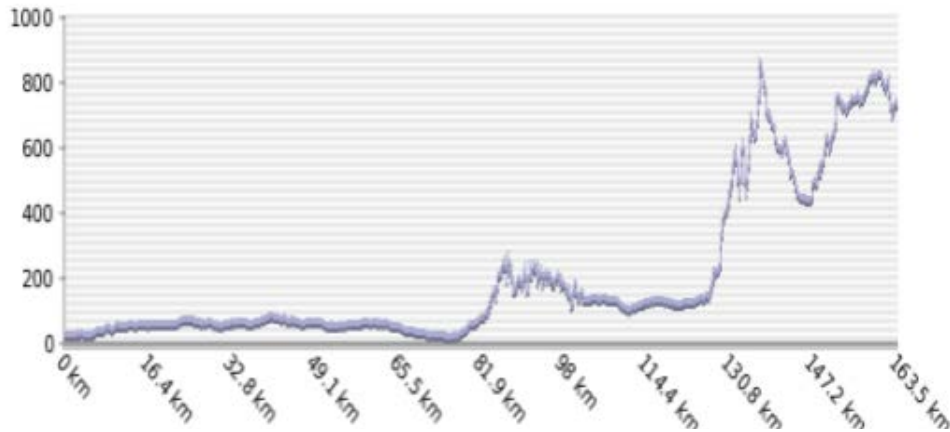
HX temperaturunun monitorinqi reqressiya modelləri. HX temperatur və güc itkilərinin iqlim faktorlarından, havanın temperaturu, küləyin sürəti və ünvanı, günəş şüalanması səviyyəsindən asılı olaraq reqressiya tənlikləri qurulmuşdur. Bu tənliklər atmosfer faktorlarından asılı olaraq, EVX-nin monitorinqi aparılmasın və müvafiq olaraq operativ idarə olunmasında istifadə oluna bilər [41,42].

500 kV-luq 2-ci Abşeron HX nümunəsində məftilin yük cərəyanından, havanın temperaturundan, günəş radiyasından və küləyin sürətindən asılı olaraq, EVX yük buraxma qabiliyyətini hesablamaq üçün reqressiya modelləri qurulmuşdur.

Şəkil 10-da Bakının Binə Hava Limanı zonası üçün günəş radiyasının ilin ayları üzrə dəyişməsi qrafiki verilmişdir.



Şək.10. Bakının Binə Hava Limanı zonası üçün günəş radiyası.



Şək.11. 2-ci Abşeron HX YST qədər olan məsafədə trasın dəniz səviyyəsindən hündürlüyü.

HX-dəki cərəyanın məftilin temperaturundan, günəş radiasiyasından və küləyin sürətindən yaranan əlavə temperaturdan asılılığı cədvəl 8-də verilmişdir.

Cədvəl 8. HX-dəki cərəyanın məftilin temperaturundan, günəş radiasiyasından və küləyin sürətindən yaranan əlavə temperaturdan asılılığı

Məftilin temperaturu, °C	Havanın temperaturu, °C	Günəş radiasiyasının temperaturu, °C	Küləyin sürəti, m/s	Məftil yük cərəyanı, A
80	20 °C	0	0.5	675.95
80		0	1.0	833.97
80		16	0.5	598.41
80		16	1.0	730.12
80	35 °C	0	0.5	603.55
80		0	1.0	737.04
80		16	0.5	515.24
80		16	1.0	617.09

Ekstremal hava şəraiti elektrik hava verilişlərinin monitorinqi və yüklənmədən asılıdır, EVX məftilinin monitorinq sistemi göstərilmişdir, məftilin temperaturunun küləyin AC -185 - 40°C, 0°C və 40°C və küləyin sürəti $v = 0.5$ m/san AC 240/39 məftilinin buraxıla bilən cərəyanının asılılığı qrafiki verilmişdir.

EVX nümunəsində rejim parametrlərinin hava hərəkətinin əvvəlində (P_1, Q_1, U_1) və sonunda (P_2, Q_2, U_2) ölçülməsi və modelləşdirilməsinin ($P_2, Q_2, U_2, \Delta P_{\Sigma}$) nəticələri ($\Delta P_{yük}, \Delta P_{kor}$) güc itkilərinin qiymətləndirilməsi mümkünlüyü qurulmuşdur. Tam faktorlu eksperiment üsulu ilə məftilin temperaturunun çox funksiyalı analitik asılılıqların alınması üçün imitasiya modelləşdirilməsi üsulu ilə reqressiya modellərinin alınması məsələsinə baxılmışdır.

Nümunə kimi AC 330/43 markalı məftil üçün reqressiya modellərinin alınması lazımı səviyyədədir. Məftilin xüsusi aktivliyi $R_{20}=0.0869$ Om/km təşkil edir. Məftil üçün verilmiş ətraf mühitin havasının temperaturu və naqilin işçi cərəyanı qiymətləri proqram təminatını istifadə etmək imitasiya modelləşdirilməsi məftilin temperaturu hesablanır. Faktorların planlaşdırılması matrisinin parametrlərinin dəyişmə intervalları

$$T_{hava}=(0\div 20\div 40)^{\circ}S, I_{m\text{əft}}=(200\div 450\div 700), A$$

Tam faktorlu eksperiment metodu ilə reqressiya modelin alınması məqsədilə Excel-də proqram işlənmişdi, ekran forması şəkil 12-də göstərilmişdir.

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data and formulas:

Nö	x0	x1	x2	b0	b1	b2	x1^2	x2^2	X1*X2	b11	b22	b12	x12	x22	x1^2	x2^2
1	1	1	1	107	107	107	0.33	0.33	1	17.8333	17.8333	107	1	1	0.111111	0.111111
2	1	-1	1	65	-65	65	0.33	0.33	-1	10.8333	10.8333	-65	1	1	0.111111	0.111111
3	1	1	-1	40	40	-40	0.33	0.33	-1	6.66667	6.66667	-40	1	1	0.111111	0.111111
4	1	-1	-1	0	0	0	0.33	0.33	1	0	0	0	1	1	0.111111	0.111111
5	1	-1	0	20	-20	0	0.33	-0.67	0	3.33333	-6.66667	0	1	0	0.111111	0.444444
6	1	1	0	58	58	0	0.33	-0.67	0	9.66667	-19.3333	0	1	0	0.111111	0.444444
7	1	0	-1	20	0	-20	-0.67	0.33	0	-6.66667	3.33333	0	0	1	0.444444	0.111111
8	1	0	1	85	0	85	-0.67	0.33	0	-28.3333	14.1667	0	0	1	0.444444	0.111111
9	1	0	0	40	0	0	-0.67	-0.67	0	-13.3333	-13.3333	0	0	0	0.444444	0.444444
SumKv	9	6	6	435			35.333	35.333	36	2	2	4	2	2	1248.42	1248.42

Regression equation: $T_{pr}=39.333+20*Tv+32.833*|prov+0.5*|prov+0*(Tv)^2+13.5*(|prov|^2)$

Şək.12. Məftilin temperaturunun reqressiya modelinin ekran forması.

Havanın temperaturu faktorunun ikinci əsas asılılığı əmsalı xəstəliyə yoluxmadığını göstərir. Aktiv müqavimətin temperaturadan asılılığı müəyyən olduğu üçün reqressiya modelinin adekvatlığına dəlalət edir.

Natamam reqressiya modeli

$$T_{\text{məft}} = 39,33 + 20 \cdot T_{\text{havaK}} + 32,83 T_{\text{havaK}} \cdot I_{\text{məftK}} + 0,5 \cdot T_{\text{havaK}} \cdot I_{\text{məftK}} + 13,5 \cdot I_{\text{məftK}}$$

Məftilin aktiv fəaliyyətinin havanın temperaturundan və işçi cərəyanından asılılığı üçün tam reqressiya tənliyi alınıb:

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

AC-330/43 naqili üçün 20°S-də xüsusi aktiv rejimə münasibətdə havanın temperaturu alınaraq xüsusi aktiv şəkildə hesablanmasında nisbi xətalər hesablanmışdır.

NƏTİCƏ

1. Eksperimental planlaşdırılması metodu enerji sisteminin bir çox məsələlərinin həlli üçün istifadə olunur: interpolyasiya modellərinin qurulması, proseslərin fiziki mexanizminin öyrənilməsi, optimallaşdırılması və s. Ən böyük praktik əhəmiyyəti proseslərin optimallaşdırılması məsələsidir.

2. EPM əsasında elektrik şəbəkəsində enerji itkilərinin proqnozlaşdırılması üçün reqressiya asılılıqlarının üstünlüklərinə gərginlik siniflərinə uyğun olaraq, tam şəbəkə və onun fraqmentləri üçün modellər qurmaq imkanı daxildir; tələb olunan parametrlərin verilənlərdən asılılığını formalaşdırarkən yüksək etibarlılığın və nəticələrin əldə edilməsinin asanlıqlığını təmin olunur. Reqressiya tənliyi əmsallarının təhlili nəticəsində rejimin tədqiq olunan və müəyyən edilən parametrlərinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir edən amillərin qiymətləndirilməsini imkan verir.

3. Qərarlaşmış rejimlərin çox variantlı imitasiya modeləşdirilməsi avtomatlaşdırmaqla elektrik şəbəkəsinin enerji itkilərini və digər məqsəd funksiyaların müxtəlif rejim parametrlərindən asılı olaraq, EPM əsasında reqressiya asılılıqların alınması üçün PHK işlənmişdir.

4. Reqressiya asılılıqlarının TFE, ƏKKM, və AGUA metodları əsasında alınması üçün müqayisəli hesablatlar aparılmış və müəyyən edilmişdir ki, faktorlar sayı 7-9-dan az olduqda TFE, çox olduqda ƏKKM üstünlük verilir, AGUA metodunun istifadəsi faktorların daha geniş diapazonda dəyişməsi hallarında reqressiya modelinin daha yüksək dəqiqliyi təmin edir, proqnozlaşdırılmasının daha yüksək dəqiqliyi tələb olunduğu hallarında neyron şəbəkə texnologiyalarından istifadə etmək üstünlüklərə malikdir.

5. Havanın temperaturu məftillərinin işçi cərəyanından, havanın temperaturu, küləyin sürəti və günəşin radiasiyasından kimi atmosfer faktorlarından asılı olaraq, güc itkiləri, ev olaraq təyin edilmiş aproksimasiyası əsasında çox dəyişənli reqressiya asılılıqlarının alınmışdır.

6. Müxtəlif məqsəd funksiyaları, stasionar rejim parametrləri, proqnozlaşdırma, optimallaşdırma nümunələrində çox dəyişənli reqressiya asılılıqları alınmışdır. Bu asılılıqlar əsasında faktorların təsirlərinin paylarını, səviyyələrini, proqnozlaşdırma, optimallaşdırmanın məqsəd funksiyalarının qiymətləndirilməsi idarəetmə prosesində sadəliyi, cəldliyi, etibarlılığı əhəmiyyətli dərəcədə artırmağa imkan verir. EES gərginliyin tənzim olunmasını, reaktiv gücün kompensasiyasını, transformasiya əmsallarını seçməklə optimal idarə olunması səviyyəsini, HX yükündən, metroloji təsirlərdən asılı olaraq, yüklənmənin buraxıla bilən səviyyələrə qədər artıraraq maksimum ötürməsinə təmin etməklə səmərəli, optimal rejimlərin təminatını, enerji təchizatının keyfiyyətini, texniki iqtisadi göstəricilərini və etibarlılığını yüksəltməyə imkan yaradır.

1. *Налимов В.В., Чернова Н.А.* Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. - М.: Наука, 1965.
2. *Круг Н.К., Коренева А.Д., Ярных Л.В.* К анализу режимов электрических систем в

- условиях вероятностного задания исходных данных. - Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт, 1971, № 5.
3. *Мамедяров О.С.* Регрессионный анализ установившегося режима электрических систем. *Электричество*– 1982, № 5, с.19-24.
 4. *Гусейнов Ф.Г., Мамедяров О.С.* Планирование эксперимента в задачах электроэнергетики. - М.: Энергоатомиздат, 1988. - с.151.
 5. *Мамедяров, О.С.* К вопросу снижения потерь в электрических сетях при помощи регулируемых трансформаторов и установок продольной и поперечной компенсаций: Автореферат дисс. на соискание учен. степени кандидата техн. наук / Гос. ком. высш. и сред. спец. образования Совета Министров Груз. ССР. Груз. ордена Трудового Красного Знамени политехн. ин-т им. В. И. Ленина. - Тбилиси: Изд-во Груз. политехн. ин-та, 1961 - с.15.
 6. *Мамедяров, О.С.* Регрессионные модели для управления и оптимизации установившихся режимов ЭЭС: (05.14.03): Автореф. дис. на соиск. учен. степ. д-ра техн. наук. М., 1984, с.36.
 7. *Абдулов Д.А., Жабинский Ю.В., Мамедяров О.С.* Исследование факторов, существенно влияющих на режим электрической сети при вероятностном характере исходной информации. Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт, 1973, № 4, с. 164-167.
 8. *Мамедяров О.С., Жабинский Ю.В.* Применение методов планирования эксперимента для нахождения технико-экономических моделей установившегося режима электрических систем. *Режимные вопросы энергетических систем.* Тр., вып. 14. М.: 1974, с. 38-43.
 9. *Мамедяров О.С., Жабинский Ю.В.* Анализ эффективности использования методов планирования эксперимента для оценки погрешности расчета установившегося режима электрической системы. *Режимные вопросы энергетических систем.* Тр., вып. 14. М.: 1974, с. 44-49.
 10. *Мамедяров О.С. Рахманов Н.Р.* Оптимизация места установки регулирующих устройств в электрических сетях методом экспертных оценок и факторного планирования эксперимента. Изв. Вузов СССР, Энергетика Проблемы Энергетики– 2003, № 1, с. 3-7.
 11. *Мамедяров О.С. Рахманов Н.Р.* Оценивание и регулирование стоимости электроэнергии по потреблению реактивной мощности и качеству электроэнергии. *Проблемы энергетики.* 2003 г. с. 113-119.
 12. *Balametov, Ə.V., Xəlilov, E.D.* Enerji sistemin elektrik şəbəkələrində elektrik enerjisi itkilərinin hesablanması, təhlili və normalaşdırılması. - Bakı: -“Elm”, - 2015. – 234 s.
 13. *Баламетов А.Б.* Методы расчета потерь мощности и энергии в электрических сетях энергосистем. - Баку: Елм, 2006, - 337 стр.
 14. *Баламетов А.Б., Мусаханова Г.С., Халилов Э.Д.* Методы анализа установившихся режимов электроэнергетических систем. Абакан, 2009, - 340 с.
 15. *Федотов В.Х.* Нейронные сети в MS Excel. Чебоксары, 2004, 72 с.
 16. *Баламетов А.Б., Халилов Э.Д.* Прогнозирование потерь мощности в электрических сетях методом планирования эксперимента. *Проблемы энергетики* 2010, №2, стр.17-25.
 17. *Суханов О.А., Шаров Ю.В.* Иерархические модели в анализе и управлении режимами электроэнергетических систем. М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – с.312.
 18. *Воропай Н.И., Ретанц К., Суханов О.А.* Мониторинг и прогнозирование режимов, совместно работающих энергообъединений и управление ими. *Электричество*, № 4, 2011, с. 7-12.
 19. *Гамм А.З., Глазунова А.М., Гришин Ю.А., Курбацкий В.Г., Сидоров Д.Н., Спирыев В. А.Томин Н.В.* Методы прогнозирования параметров режима электроэнергетических систем для целей мониторинга и управления. *Электричество*, №5, 2011, с. 17-26.

20. *Курбацкий В.Г., Томин Н.В.* Использование ПК «АНА-ПРО» для анализа и прогнозирования параметров режима и технологических характеристик в системах электроэнергетики. -Тр. XIII Байкальской Всерос. конф. «Информационные и математические технологии в науке и управлении», ч. I.- Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2008.
21. *Абдулов Д.А., Жабинский Ю.В., Мамедяров О.С.* Исследование факторов, существенно влияющих на режим электрической сети при вероятностном характере исходной информации. Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт, 1973, №4, с. 164-167.
22. *Мамедяров О.С.* Оптимизация места установки регулирующих устройств в электрических сетях методом экспертных оценок и факторного планирования эксперимента. Изв. Вузов Энергетика–1983, №3, с.3-7.
23. *Мамедяров О.С., Жабинский Ю.В.* Применение методов планирования эксперимента для нахождения технико-экономических моделей установившегося режима электрических систем. Режимные вопросы энергетических систем. Тр., вып. 14. М.: 1974, с. 38-43.
24. *Мамедяров О.С., Жабинский Ю.В.* Анализ эффективности использования методов планирования эксперимента для оценки погрешности расчета установившегося режима электрической системы. Режимные вопросы энергетических систем. Тр., вып. 14. М.: 1974, с. 44-49.
25. *Гусейнов Ф.Г., Мамедяров О.С.* Экономичность режимов электрических сетей. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - с.120.
26. *Мамедяров О.С. Рахманов Н.Р.* Оптимизация места установки регулирующих устройств в электрических сетях методом экспертных оценок и факторного планирования эксперимента. Проблемы Энергетики– 2003, № 1, с. 3-7.
27. *Баламетов А.Б., Халилов Э.Д.* Прогнозирование потерь мощности в электрических сетях методом планирования эксперимента. Проблемы энергетики 2010, № 2, стр. 17-25.
28. *Баламетов А.Б., Халилов Э.Д.* Программно-вычислительный комплекс расчета, анализа и нормирования потерь электроэнергии в электрических сетях. Scientific and Technological Innovation: National Experience and International Cooperation// International Conference- Baku: SIC, 2010, - p.124-129.
29. *Balametov A.B., Halilov E.D.* Automating the receipt of the regression equations for power losses predicting. TPE-2011. The Seventi International Conference on Technical and Physical Problems of Power Engineering, 7-9 Yuli 2011 LEFKOSA, TURKISH Republik of northern cyprus, p, 181-185.
30. *Balametov A.B., Halilov E.D.* Forecasting of electric power losses in electric networks of power systems with application of artificial neural networks. The Third International “Problems of cybernetics and informatics”, Baku, Azerbaijan, 6-8 September, 2010, Volume II, pp 84-87.
31. *Мамедяров О.С., Баламетов А.Б.* Планирование итерационного процесса, ускоряющего расчет установившегося режима электрических систем. - В кн.: Исследование решения на ЦВМ уравнений установившегося режима электрических систем. Тезисы докл. Всесоюзн. научно-техн. совещ. - Ереван, 1976, с. 204-208.
32. *Мамедяров О.С., Баламетов А.Б., Исмаилов Ф.С.* и др. Задачи планирования и расчета электрических режимов АСУ Хачмаского ПЭС. - Тезисы докладов: Эффективность использования вычислительной техники для дальнейшей оптимизации режимов работы энергосистемы и повышения ее экономичности. - Баку, 1978, с. 24-26.
33. *Баламетов А.Б.* Применение метода планирования эксперимента в расчетах установившихся режимов электрических сетей. -Тезисы докладов республиканской научно-технической конференции по автоматизации проектирования систем управления и планированию эксперимента в научных исследованиях и в промышленности.

- Баку, 1979, с. 32-34.
34. *Исмаилов Ф.С., Баламетов А.Б., Мамедяров О.С.* Опыт внедрения статических методов прогнозирования и управления режимами предприятий электрических сетей в АСУ. - Тезисы докладов II Всесоюзной конференции по перспективам и опыту внедрения статистических методов в АСУ ТП. - М., 1984, с. 172-173. (Россия Смоленск)
 35. *Баламетов А.Б., Халилов Э.Д., Баламетов Э.А.* Прогнозирование потерь мощности на основе уравнений множественной регрессии. «Нефть и культура – как достояние народа». Международная научно-практическая конференция, посвященная 90-летию Азербайджанской Государственной Нефтяной Академии. Баку, 2010 г., стр. 203-205.
 36. *Баламетов А.Б., Халилов Э.Д.* Автоматизированное построение регрессионных моделей потерь мощности в электрических сетях. Материалы V Международной научной конференции "Научный потенциал XXI века", том первый, г. Ставрополь: СевКавГТУ, 2011, стр. 125-128.
 37. *Баламетов А.Б., Халилов Э.Д.* Оценка потерь мощности в электрических сетях по уравнениям множественной регрессии. *AzET və LA Energetika institutu, Elmi əsərlər toplusu.* Bakı-2011, 256 str., səh. 111-126.
 38. *Баламетов А.Б., Халилов Э.Д., Бахышов Э.Д.* Сравнение методов получения регрессионных зависимостей для потерь мощности. Федоровские чтения-2011. XLI Всероссийская научно-практическая конференция «Энергосбережение и энергоэффективность технологий передачи, распределения и потребления электрической энергии». Москва 9-11 ноября 2011 г., М.: Издательский дом МЭИ, с. 24-26.
 39. *Баламетов А.Б., Халилов Э.Д.* Прогнозирование потерь мощности электроэнергетических систем для анализа и управления. International conference "Energy of Moldova – 2012. Regional aspects of development" October 4-6, 2012 - Chisinau, Republic of Moldova, p.p. 92-99. ISBN 978-9975-62-324-7.
 40. *Баламетов А.Б., Халилов Э.Д.* Методы прогнозирования потерь мощности электроэнергетических систем для анализа и управления. *Электричество* № 7, 2013, с. 19-29.
 41. *Баламетов Э.А., Салимова А.К.* Регрессионные зависимости для прогнозирования температуры провода. Международная научная конференция. Актуальные вопросы прикладной Физики и Энергетики. Сумгаит 2018. с. 253-255.
 42. *Balametov A.B., Abdullayeva G.K., Agakhanova K.A.* Regression dependencies for operational modeling of regimes OHL taking into account atmospheric factors. Фёдоровские чтения -2023: LIII Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием (с элементами научной школы для молодежи) (Москва, 15-17 ноября 2023 г.) /под общ. ред. Ю.В. Матюниной. - М.: Издательство МЭИ, 2023. с.319-327.
 43. *Баламетов А.Б.* О Распределении потерь между участниками рынка электроэнергии/ посвящается светлой памяти О.С. Мамедярова. *Проблемы энергетики* 2011 №3, стр. 39-47.
 44. *Мамедяров О.С., Зарбиева Н.Ф.* О построении регрессионных моделей для электроэнергетических задач. «Экоэнергетика», Баку, 2007, №1, стр.24-31.
 45. *Мамедяров О.С., Зарбиева Н.Ф.* К вопросу о выборе компенсирующих устройств в распределительных сетях. *Промышленная Энергетика*, Москва, 2009, №2, стр.38-41.
 46. *Мамедяров О.С., Зарбиева Н.Ф.* О построении регрессионных моделей для электроэнергетических задач. *Журнал «Экоэнергетика»*, Баку, 2007, №1, стр.24-31.
 47. *Mammadyarov O.S., Zarbiyeva N.F.* Modeling for management of compensation of reactive power in a power supply system. 5th International Conference on "Technical and Physical Problems of Power Engineering". University of the Basque Country. Bilbao, Spain, 3-5 September 2009 (TPE-2009), с. 99-101.
 48. *Мамедяров О.С., Зарбиева Н.Ф.* Влияние качества электроэнергии на электропотребителей и контроль их показателей. Сборник докладов десятой Российской научно-

- технической конференции по электромагнитной совместимости технических средств и электромагнитной безопасности. ЭМС-2008, Санкт-Петербург, 2008, с.143-146.
49. *Balametov Ə.V., Xəlilov E.D.* Elektroenergetika sistemlərində güc axanlarının ünvanlılığı. “Elm”, Bakı – 2020. - s.324.
50. *Баламетов А.Б., Халилов Э.Д.* Применение устройств FACTS для гашения низкочастотных колебаний в Азербайджанской энергосистеме. Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики: Вып. 73. Иркутск: ИСЭМ СО РАН. 2022. с. 648-657.

ПРИМЕНЕНИЕ РЕГРЕССИОННЫХ МОДЕЛЕЙ В ОПЕРАТИВНОМ УПРАВЛЕНИИ СТАЦИОНАРНЫМИ РЕЖИМАМИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

БАЛАМЕТОВ А.Б.

Одним из универсальных методов прогнозирования переменных потерь в электроэнергетической системе являются методы регрессионного анализа. Предложено использовать модельные подходы и регрессионные зависимости для прогнозирования потерь мощности и энергии в электроэнергетической системе, использовать эксперименты с полным факторным экспериментом, наименьшими квадратами, групповым рассмотрением аргументов и методами искусственного интеллекта. Приведен сравнительный анализ методов получения регрессионных зависимостей на примерах реальных и тестовых электросетей.

Ключевые слова: электроэнергетическая система, стационарные режимы, регрессионные модели, метод планирования экспериментов, метод наименьших квадратов, метод искусственных нейронных сетей.

APPLICATION OF REGRESSION MODELS IN THE OPERATIONAL MANAGEMENT OF STATIONARY MODES OF THE ENERGY SYSTEM

BALAMETOV A.B.

One of the universal methods for predicting variable losses in the electric power system is regression analysis methods. For predicting power and energy losses in the electric power system, modeling approaches and obtaining regression dependencies, full factorial experiments, least squares, group consideration of arguments, and artificial intelligence methods are proposed. A comparative analysis of methods for obtaining regression dependencies on real and simulated electric power network examples is given.

Keywords: electric power system, stationary modes, power losses, regression models, experimental design method, least squares method, artificial neural network method.

DOI:10.70784/azip.5.2025225

ELEKTRİK VERİLİŞ XƏTLƏRİNDƏ DAYAQ KONSTRUKSIYALARI**SƏFİYEV E.S., ŞIXƏLİYEVƏ Y.S.**

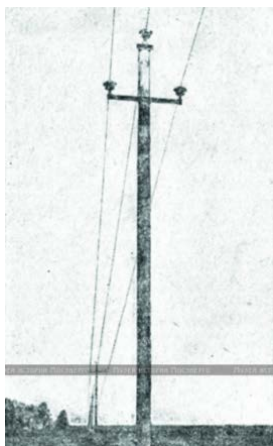
*Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti
AZ 1010, Bakı, Azadlıq prospekti, 20
elshad@safiyev.com
saadaasmar@mail.ru*

Məqalədə yüksək gərginlikli elektrik veriliş xətlərinin yaranması və inkişaf tarixi, xətt dayaqlarının konstruksiyaları, onlar üçün işlədilən ağac materiallardan metal materiallara keçidin təhlili verilmişdir. Üçfazlı dəyişən cərəyanın tətbiqi, elektroenergetika sənayesinin sürətli inkişafı və elektrik enerjisinə artan tələbat veriliş xətlərində yüksək elektrik gərginliyinin artmasına səbəb oldu. Bu baxımdan elektrik enerjisinin ötürülməsində iqtisadi anlayış konsepsiyası meydana gəldi. Dayaqların konstruksiyalarının mexaniki hesablanması, onlar arasında sərfəli məsafənin təyin edilməsi öz vacibliyini təsdiqlədi. Yüksək gərginliyin ötürülməsində yeni dayaq konstruksiyalarında çubuqlu izolyatorları boşqab şəkilli asma izolyatorlarla əvəz etmədən mükün olmadığı da qeyd edilmişdir. Yüksək gərginlik xətlərində ilk olaraq metal dayaq konstruksiyalarının Amerika və Almaniyada variantları tətbiq edilirdi və sonralar onların əsasında yeniləri yaradılırdı. Məqalədə həmçinin Rusiyada, sonralar isə məşhur QOELRO planı ilə SSRİ-də elektrik enerjisinin istehsalı və ötürülməsində dayaqların layihəsi və tətbiqi məsələlərinə də baxılmışdır. Müasir dövrdə bəzi ərazilərdə məhdud miqdarda ağac dayaqların istismarı ilə yanaşı yeni metal, beton, dəmir beton və kompozit dayaqlardan istifadə edilir. Son zamanlar isə dayaqların estetik formalı konstruksiyaları da hazırlanmış və quraşdırılmışdır.

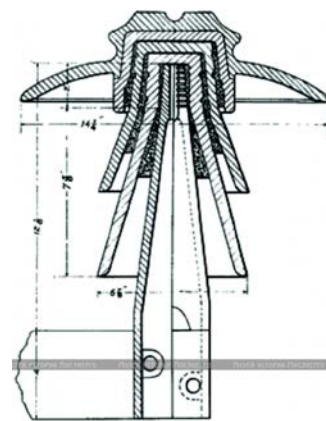
Açar sözlər: yüksək gərginlik, elektrik veriliş xətti, çubuq izolyator, asma izolyator, travers, mühafizə trosu, ağac dayaq, metal dayaq, dəmir-beton dayaq, kompozit dayaq, aralıq dayaq, anker dayağı, künc dayaq, estetik dizaynlı dayaq.

İlk elektrik veriliş xətləri XIX əsrin sonlarında yaranmışdır. Onlar konstruktiv olaraq teleqraf və telefon xətləri ilə ümumi cəhətlərə malik idi. Bəzən rabitə xətlərində olduğu kimi eyni izolyatorlardan, bərkidici elementlərdən və dirəklərdən (dayaqlardan) istifadə edilirdi. Dirəklər arasındakı məsafələr az olduğundan (50-70m) çox halda dəmir qarmaqlı taxta dirəklərdən və ya üfüqi konsollardan - traverslərdən istifadə olunurdu. Qarmaqlar və traverslər arasında seçim asılmış naqillərin sayından və en kəsiyindən, həmçinin xəttin yerləşdiyi ərazidən asılı idi. Qarmaqlar dirəyə hər iki tərəfdən şahmat qaydası ilə vintvari taxılır və hər birinə bir izolyator yerləşdirilirdi. Traverslərdə cərgə ilə, bir qayda olaraq, ikidən səkkizə qədər izolyator yerləşdirilirdi. Yüksək mexaniki möhkəmlik tələb olunduğu hallarda, dayaq olaraq qarmaqlar və ya traverslərlə təchiz olunmuş pərçinlənmiş metal dirəklərdən istifadə edilirdi. Üçfazlı 2 və 6,6 kV-luk dəyişən cərəyan şəbəkələrinin tətbiqi ilə üç (şək.1) və ya altı (iki dövrəli xətlər üçün) naqilin asılması üçün nəzərdə tutulmuş yeni növ dayaqlar yaradılmağa başlandı, bununla belə, xətlərin quraşdırılma şəraiti hələ də sadə konstruksiyalardan istifadəyə imkan verirdi. Dayaqların ölçüləri və naqillərin quraşdırma şərtləri çox halda hesablama aparılmadan, təcrübəli elektrik quraşdırıcısı (montyor) tərəfindən gözəyari müəyyən edilirdi. 6,6 kV-luq xətlər üçün ilk dayaqların, demək olar ki hamısı, taxtadan (ağacdən) idi, naqilləri bərkitmək üçün metal qarmaqlardan və ya hər tərəfində bir naqıl olan taxta traverslərdən istifadə olunurdu. Üçfazlı dəyişən cərəyanın tətbiqi, elektrotexnika sənayesinin sürətli inkişafı və elektrik enerjisinə artan tələbat veriliş xətlərində elektrik gərginliyinin artmasına (30 - 60 kV) səbəb oldu, bu isə böyük enerjinin uzun məsafələrə ötürülməsinə imkan yaratdı. İlk dəfə iqtisadi anlayış konsepsiyasından istifadə olunmağa başlandı ki, bu da xəttin qurulması üçün dayaqlar arasında ən sərfəli məsafənin təyini ilə bağlı idi. Bununla əlaqədar olaraq, ilk dəfə elektrik veriliş xətlərinin dayaqlarının mexaniki hesablanmasına və yeni konstruksiyaların yaradılması məsələlərinə böyük maraq yarandı. Yeni konstruksiyaların istifadəsi, izolyatorların

və armaturların yüksək qiyməti şəraitində, dayaq arası məsafənin uzunluğunu artırmağa və əhəmiyyətli dərəcədə qənaət əldə etməyə imkan verdi. Gərginliyin artması ilə dayaq materialları üçün poladdan istifadə edilməsinə üstünlük verildi, çünki ağac konstruksiyalardan istifadə edilməsi həmişə mümkün və sərfəli deyildi, problem onların etibarlılığının az və xidmət müddətinin qısa olması idi. XX əsrin əvvəllərində elektrik xəttinin ağac dayaqlarını hopdurmaq üçün antiseptiklərdən istifadə təcrübəsi hələ az idi. Həmdə XX əsrin əvvəllərində 30-60 kV-luq xətlərdə istifadə edilən çubuqlu farfor izolyatorlar mürəkkəb istehsalı olan, daşınmaq və quraşdırmaq üçün həcmcə böyük və bahalı konstruksiyalar idi, ona görə də layihəçilər xətdəki izolyatorların sayını azaltmağa çalışırdılar. Şəkil 2-də 60 kV-luq *Zamora-Guanajuato* xəttində istifadə edilən *Locke* firmasının çubuqlu çini izolyatoru göstərilir. Onun hündürlüyü 30 sm, üst əyənin diametri 35 sm, çəkisi isə təxminən 7 kq idi. İzolyatorlar iki yarım hissə şəklində xəttə tədarük edilir, sonra Portland sementindən istifadə etməklə quraşdırma aparılırdı. Metal dayaq, daha az izolyatordan istifadə etməyə imkan verən daha uzun aralıqlı xətlər qurmağa imkan verirdi.



Şəkil 1. Ağac dayaqda birdövrəli çubuq izolyatorlu xətt.

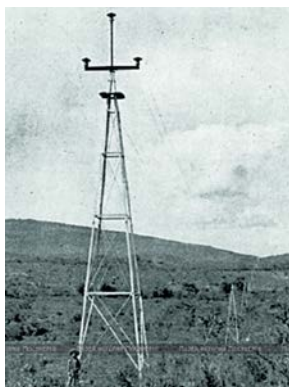


Şəkil 2. *Locke* firmasının çubuqlu izolyatoru.

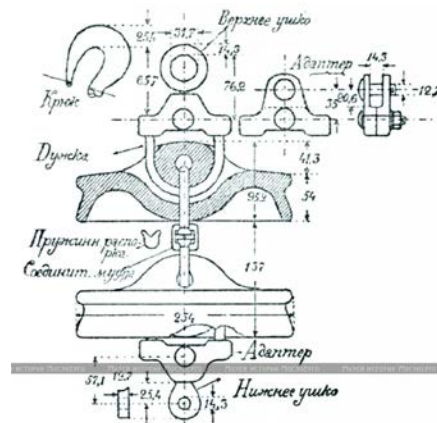
1904-cü ildə Meksikanın *Quanaajuato* əyalətindəki mədənləri elektrik enerjisi ilə təmin etmək üçün yalnız metal dirəklərdən istifadə etməklə dünyada ilk elektrik veriliş xətlərindən biri inşa edilmişdir (şəkil 3). Üçfazlı birdövrəli xəttin uzunluğu 100 mil, gərginlik isə 60 kV idi. Xəttin inşasında amerikalı mühəndislər iştirak etmişlər. Xətt üçün dayaq yel dəyirmanları istehsal edən Amerikanın *Aeromotor Windmill* şirkətindən alınmışdı. Yel dəyirmanı dirəkləri mexaniki möhkəmlik və qənaət baxımından dayaq olaraq istifadəyə tam yaralı idi, çünki naqilləri bərkitmək üçün armaturların quraşdırılması üçün konstruksiyada minimal dəyişiklik tələb olunurdu. *Zamora-Guanajuato* xəttinin dirəyinin hündürlüyü 40 fut (12 m) idi. Dirəyin yuxarı hissəsində iki ədəd çubuqlu izolyator üçün metal travers və üst çubuq izolyatorunu birləşdirmək üçün 3 ½ düymlik boru var idi. Konstruksiyanın etibarlılığını təsdiqləmək üçün *Aeromotor Windmill* zavodunda eksperimental dayağın sınaqları aparıldı. Dayaq binanın divarına üfüqi şəkildə bərkidildi və onun yuxarı hissəsinə qurğusun yüklər asıldı. Təcrübədə yuxarı izolyatorun borusu 900 funt (405 kq) yüklə üfüqi vəziyyətini dəyişməyə başladı, dirək özü isə əyilmədi. 1234 funt (555 kq) yüklə borunun əyilməsi 6 düym oldu, yükü götürdükdən sonra qalıq əyilmə 1 düym oldu. 1560 funt (702 kq) yüklə boru, yük yerə düşənə qədər əyilməyə davam etdi. *Quanaajuato* yaxınlığındakı relyefə görə qısa bir hissə istisna olmaqla, bu hissədə 400 metr aralıqlı və 60 fut hündürlüklü dayaqlardan istifadə etmək lazım idi, xəttin bütün uzunluğu boyunca aralığın orta uzunluğu 132 metr idi.

Zamora-Guanajuato xəttində metal dayaqların istifadəsi elektrik mühəndisləri arasında böyük maraq yaratdı. 1904-06-cı illərdə ABŞ-da *Aeromotor Windmill* şirkətindən alınanlar da daxil olmaqla, oxşar konstruksiyalı dayaq olan daha bir neçə xətt inşa edildi. Belə konstruksiyaların istifadəsində əldə edilən təcrübə daha güclü xətlər üçün dayaq konstruksiyalarının yaradılmasına öz təsirini göstərdi. Metal dayaqların yayılmasına kömək

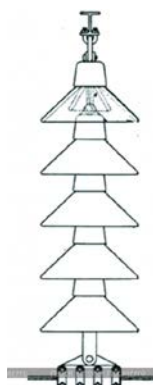
edən mühüm amil asma izolyatorların ixtirası idi. 1907-08-ci illərdə elektrik sənayesi xətti izolyasiya ilə bağlı çətin problemlə üzləşdi. 50 kV-dan yuxarı gərginliklər üçün çubuq izolyatorlar böyük həcmli, kövrək və quraşdırmaq üçün əlverişsiz idi, onlar yüksək istismar etibarlığına malik deyildi. 80 kV-dan yuxarı gərginliklərdə isə çubuq izolyatorlarının istifadəsi tamamilə qeyri-mümkün oldu. Bu baxımdan asma izolyatorlar daha sərfəli idi, lakin onlar daha hündür dayaq tələb edirdi. 1907-ci ildə *Edward Hewlett* və *Harold Buck* sənaye istismarı üçün ilk asma izolyator icad etdilər (şək.4). Elə həmin il *Con Duncan* tərəfindən hazırlanmış “papaqlı və çubuqlu” ilk asma izolyator (şək.5) yaradıldı.



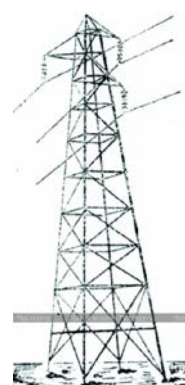
Şək.3. Zamora-Guanajuato xətti.



Şək.4. Hewlett asma izolyatorları.

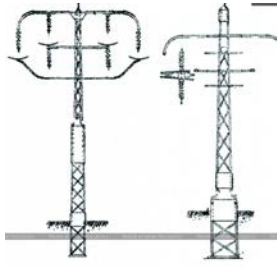


Şək.5. Locke-Duncan asma izolyatorlar zəncirəsi.



Şək.6. Birdövrəli metal dayaq.

Hewlett asma izolyatorları ilk dəfə 1907-ci ildə Amerika şirkəti *Muskegon & Grand Rapids Power Co* tərəfindən 100 kV-luq xətdə istifadə edilmişdir. Xətt metal dayaqlardan istifadə edilməklə quraşdırılmış və 35 mil uzunluğunda idi. Müasir konstruksiyaya malik *Duncan* izolyatorları 1908-ci ildə bir neçə xətdə, o cümlədən *Stanislaus Electric Power*-ya məxsus 104 kV-luq xətdə quraşdırılmışdır (şək.6), lakin sementin keyfiyyətsiz olması səbəbindən onların etibarlığı aşağı olmuşdur. Sementlə bağlı oxşar problemlər ilk *Ohio-Brass* firmasının “papaqlı və çubuqlu” izolyatorlarında da oldu. Asma izolyatorların üstün olduğundan 1910-11-ci illərdə asma izolyatorların təkmilləşməsi davam etdirilərək onlar artıq ABŞ və Almaniya da bir sıra zavodlar tərəfindən istehsal və tətbiq edildi. Avropa ilk 100 kV-luq *Lauchhammer* elektrik veriliş xətti (1910) yalnız asma izolyatorlardan və yalnız metal dayaqlardan istifadə edilməklə inşa edildi (şək.7). Elektrik şəbəkələrinin sürətli inkişafı mərhələsində, 1910-20-ci illərdə, metal dayaqların konstruksiyasına iki əsas yanaşma var idi: Amerika və Almaniya. XX əsrin əvvəllərində ABŞ -da müxtəlif növ dayaq yaradıldı, əsas Amerika yanaşması (Avropa konstruksiyaları ilə müqayisədə) nisbətən kiçik bölmələrdən ibarət çubuqlardan (künclüklərdən) ibarət geniş əsas malik fəza konstruksiyalarından istifadə etmək idi.



Şək.7. Lauchhammer firmasının aralıq və anker dayaqları.

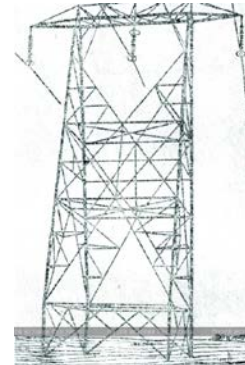


Şək.8. Amerika tipli ikidövrəli dayaq (naqilləri üçbucaq yerləşmiş).

Dayaq sütunları kvadrat və ya düzbucaqlı, bəzi hallarda isə üçbucaqlı idi. Hər ayaq ayrıca bünövrə üzərində yerləşdirilirdi. Naqillərin düzülüşü üçbucaq (şək.6,8) və ya şaquli (şək.9), yaxud da üfüqi (şək.10-11) ola bilirdi.

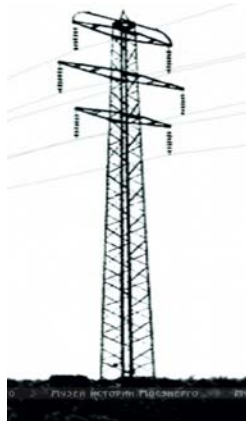


Şək.9. Amerika tipli ikidövrəli dayaq (şaquli naqillər).

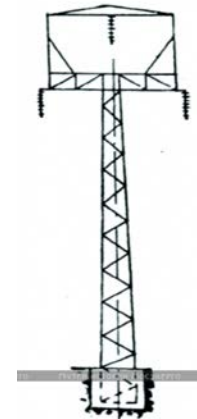


Şək.10. Amerika tipli birdövrəli dayaq (üfüqi naqillər).

1920-30-cu illərdə Amerika tipli dayaqların ara məsafəsi 250 m-ə qədər idi. Alman yanaşması, bir kütləli kompakt kvadrat fundament üzərində yerləşmiş dar, dayaqların istifadəsini nəzərdə tuturdu. Kəmərlər (şaquli küncüklər) çarpaz və ya üçbucaqlı qəfəs ("ilan şəkilli") ilə birləşdirilirdi. 1920-30-cu illərdə "darbazalı" adlanan Alman tipli dayaqlar 200 metrə qədər aralıqlar üçün istifadə edilirdi və Avropada geniş yayılmışdı, çünki onlar zəbt olunan torpaqların xərclərini azaltmağa imkan verirdi (şək.11). Fransada naqillərin üfüqi və üçbucaqlı düzülüşü ilə tək dövrəli dar əsaslı dayaqların özünəməxsus növü var idi (şək.12). Yüksək gərginlikli xətlərdə dayaqların iş şəraiti dayağın yerləşdiyi yerdən və xəttin keçdiyi ərazidən asılı olaraq çox dəyişir.

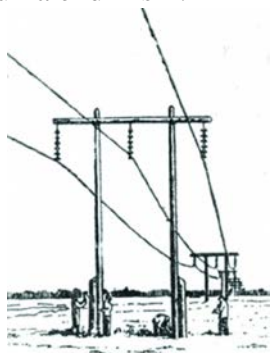


Şək.11. Alman tipli ikidövrəli dayaq.

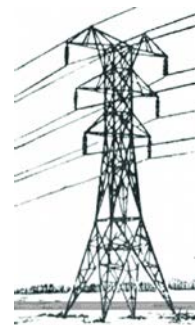


Şək.12. Fransa tipli birdövrəli dar bazalı dayaq.

Təyinatına görə dayaqlar bir neçə növə bölünür. Aralıq dayaq (şək.13,14) - xəttin normal istismar zamanı yalnız eninə külək yüklərini və naqillərin çəkisini qəbul edən, lakin onların dartılmasını (naqilin dartıldığı qüvvəni) qəbul etməyən dayaqdır. Naqillərin aralıq dayaqlara bərkidilməsi elə hesablanır ki, qəza zamanı (naqillərin qırılmasında) dayağa dəyən zərər minimuma endirilsin.

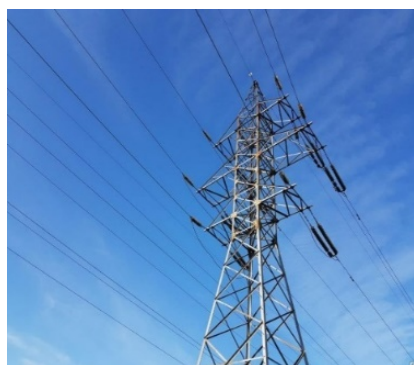


Şək.13. Ağac aralıq dayaq.



Şək.14. Metal aralıq dayaq.

Anker dayağı (şək.15) – naqillərin daim möhkəm bərkidildiyi dayaqdır. Bu dayaq naqillərin uzununa təsir yüklərini qəbul edir. Onlar elə quraşdırılır ki, normal iş zamanı dayağın hər iki tərəfində naqillərin təsir yükləri eyni olsun. Anker dayaqları mühəndis qurğularından, təbii maneələrdən keçən keçidlərdə və xətti anker hissələrinə bölmək üçün hər 1-1,5 km-dən bir (30-115 kV-luq xətlər üçün 1920-30-cu illərin standartlarına uyğun olaraq) quraşdırılır. Sonluq dayaq – anker dayağın bir növüdür, o normal rejimdə birtərəfli və ya böyük qeyri-bərabər təsir yükü götürən xəttin əvvəlində və sonunda, eləcə də təbii maneələrin böyük keçidlərinin (iri çaylar, su anbarları, dərələr və s.) qarşısında quraşdırılır. Künc dayaq (şək.186)- xəttin istiqaməti dəyişən yerlərdə quraşdırılan dayaqdır. Normal iş rejimində künc dayağı naqillərdən qeyri simmetrik yük təsiri alır, nəticədə yükün təsiri dönmə bucağının bissektrisi boyunca yönəlir. Ona görə də, bu cür dayaqlar həmişə müvafiq olaraq bərkidilir və kütləli fundamentə malik olur. Naqillərin bərkidilməsi üsuluna görə künc dayaqları anker-künc və aralıq künc dayaqlarına bölünür. Dayaqların xüsusi növləri də vardır: keçid, transpozisiya, ayırıcı.



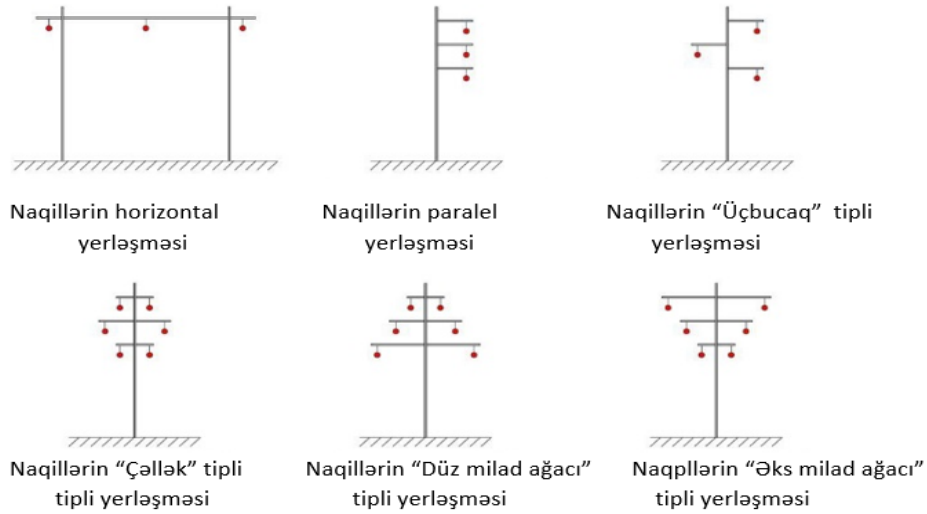
Şək.15. Anker dayağı.



Şək.16. Künc dayaq.

Rusiyada ilk 30 kV-luq elektrik veriliş xətti 1913-cü ildə “Elektrikötürücü” Cəmiyyəti tərəfindən inşa edilmişdir. İlk olaraq bütün xətlər üçün metal dayaqlardan istifadə etmək qərara alındı, lakin birinci 30 kV-luq elektrik veriliş xətti bir sıra səbəblərə görə ağac dayaqlar üzərində quruldu. Təxminən bir il sonra ikinci xətt inşa edildi, bu və bütün sonrakı xətlər üçün, yalnız metal dayaqlardan istifadə edildi. Xətlərinin əhəmiyyətli hissəsi şəxsi mülkiyyətdən keçirdi və dayaqlar üçün torpaq icarəyə götürmək üçün haqq alınır, ona görə də konstruksiyaları nəzərdən keçirərkən, amerika dirəklərinə nisbətən daha kiçik ərazini tutan alman tipli dayaqlara diqqət yetirilməsinə qərar verildi. Dayaqlar Moskvanın "Oraq və Çəkiç" zavodunda istehsal edilmiş və dəmir yolu boyunca platformalarda sökülmüş halda inşa yerinə

çatdırılmış və sonra atlarla magistral yol boyunca daşınmışdır. 30 kV-lik xətlər üçün hündürlüyü 15 metr olan ikidövrəli dayaqlar istifadə edilmişdir.



Şək.19. Naqillərin dayaqlarda yerləşmə üsulları.

Bəzi dayaqlardan anker və künc dayaqlar kimi də istifadə olunurdu, Travers və seksiya bərkidiciləri istisna olmaqla, bütün birləşmələr pərçimləmə ilə aparılırdı ki, bu da boltlar ilə müqayisədə pərçimlərin ucuz olması və qaynaqdan istifadə təcrübəsinin az olması ilə əlaqədar idi. Naqilləri bərkitmək üçün dayaqda müstəvi konstruksiyalı üç travers quraşdırılırdı. Onların hər biri iki polad zolaqdan hazırlanır və boşqab formalı asma izolyatorlar zəncirəsini asmaq üçün və ya çubuq izolyatorlarının bərkidilməsi üçün qulaqcıqlarla təchiz edilmişdi. İkinci olaraq 30 kV-luk xətlərin bütün aralıq və bəzi anker dayaqlarında çubuq izolyatorlar tətbiq edilirdi, lakin 1920-ci illərin sonunda daha etibarlılıq üçün onlar boşqab izolyatorlar zəncirələri ilə əvəz olundu, orta traverslər isə küncüklərlə uzadıldı. 1915-ci ildə "Elektrikötürücü" cəmiyyəti Moskvaya gələn 70 kV-luq elektrik veriliş xəttinin inşasını başa çatdırdı. Bu elektrik xətti üçün 18 metrlik dayaqlardan istifadə edilmişdir. Etibarlılığın artırılması tələb olunduğu yerlərdə eyni dayaqlar keçid və anker dayaqları kimi 30 kV-lik xətlərdə də istifadə edilmişdir. Bu dayaqlarda da daimi birləşmələr, 15 metrlik dayaqlarda olduğu kimi, pərçimlərdən istifadə etməklə aparılırdı. Fəza konstruksiyalarının traversləri künclük profillərdən hazırlanırdı. Traverslərin uclarına boşqab formalı izolyatorları asmaq üçün qulaqcıqlar bərkidilmişdi və ikidövrəli zəncirələri asmaq üçün açıla bilən hissələr nəzərdə tutulmuşdu. Dayaqların əksəriyyətində naqillərin şaquli yerləşməsi nəzərdə tutulurdu, lakin bəziləri naqillərin "çəllək" tipli yerləşməsi ilə hazırlanırdı. Naqillərin dayaqda yerləşmə üsullarının sxematik təsviri şək.19-də göstərilir. yerləşmə Həm 15 metrlik, həm də 18 metrlik dayaqların yuxarı hissəsi ildırımından mühafizə trosunun bərkidilməsi üçün sıxaclarla təchiz edilmişdi. Belə yerləşmə, o illərdə qoruyucu trosun təsiri ilə bağlı mövcud nəzəriyyə ilə əlaqədar idi. Nəzəriyyəyə görə tros faza naqillərinə mümkün qədər yaxın yerləşdirilməli idi, bu da xəttin ümumi tutumunu artırmalı və induksiya dalğalarında ifrat gərginliyi azaltmalı idi. Bu dayaqlarının konstruksiyaları uğurlu oldu və onlar Oktyabr İnqilabından sonra demək olar ki, dəyişmədən istifadə olunmağa davam etdi. 1940-50-ci illərdə təmir zamanı bu seriyanın mövcud dayaqlarına bəzən iki metr hündürlüyündə qaynaqlanmış tros tutqacları əlavə edilirdi. Belə tutqacları olan bəzi xətlər hazırda qorunub saxlanılır və bu gün də istismardadır. Məşhur GOELRO (ГОЭЛРО) planı, mühüm sənaye obyektlərini enerji ilə təmin etmək üçün nəzərdə tutulmuş güclü regional elektrik stansiyalarının tikintisini nəzərdə tutduğundan, onun əsas elementlərindən biri magistral və paylayıcı elektrik xətləri şəbəkəsinin inşası idi. İlk vaxtlar paylayıcı şəbəkələrdə əsasən istifadəsi məlum olan 30-35 kV-luq xətlərdən istifadə edirdilər. 1918-20-ci illərdə beynəlxalq praktika artıq belə elektrik xətlərinin inşası və istismarı sahəsində kifayət qədər

böyük təcrübəyə malik idi. 100 kV və daha yüksək elektrik veriliş xətlərinin inşası, eləcə də onlar üçün armaturların istehsalı üzrə aparıcı mövqeləri ABŞ və Almaniya tuturdu. GOELRO xətləri üçün metal elektrik veriliş xətti dayaqları yaradarkən yerli mühəndislər Alman və Amerika təcrübəsini rəhbər tuturdular. 115 kV və daha yüksək gərginlikli xətlərdə Amerika tipli dayaqlara üstünlük verildi. Ağır çəkirlərinə görə, belə gərginlik xətləri üçün metal dayaqlar əsasən sökülə bilən halda hazırlanır, sonra isə əvvəlcədən hazırlanmış fundamentin hissələrinə bərkidilirdi. Amerika tipli aralıq və anker dayaqları beton fundament inşa etmədən quraşdırıla bilərdi, bu da kifayət qədər əhəmiyyətli idi, çünki fundamentlərin çöl şəraitində betonlanması 1920-ci illərdə xətt inşasının ən çətin məsələlərindən biri hesab olunurdu. Bundan əlavə, Avropadan fərqli olaraq, dayaqlar üçün torpaqların alınma xərclərindən söhbət gedə bilməzdi. GOELRO-nun elektrik xətləri üçün metal dayaqlar müxtəlif mexaniki zavodlar tərəfindən istehsal edilmişdir, onların ən böyükləri Leninqradda, Moskvada və Donbasda idi. Metal çatışmazlığı dayaqların seçilməsinə çox təsir edirdi: metal dayaqlardan yalnız ən vacib xətlərin inşası üçün və ya yalnız anker və ya künc dayaqları üçün istifadə etməyə çalışırdılar. Qeyd etmək vacibdir ki, gələcəkdə polad istehsalının artmasına baxmayaraq, bütün gərginlik siniflərinin xətlərində taxta dayaqların istifadəsinin genişləndirilməsinə çox diqqət yetirilirdi, çünki onlar dirək ağacının aşağı qiyməti şəraitində daha qənaətlidir. Taxta dayaqların xidmət müddətinin artırılması antiseptiklərdən, rels və ya beton hissələrdən istifadə etməklə əldə edilmişdir. 1929-30-cu illərdə 110 kV-luq hava xətləri üçün yalnız aralıq deyil, həm də anker və künc ağac dayaqlarından istifadə üçün standart layihə mövcud idi. 1930-cu illərdə 220 kV-luq xətlərdə də ağac dirəklərdən istifadə edilirdi.

SSRİ-də ilk 115 kV-luq Kaşira – Moskva xəttində, metal çatışmazlığı səbəbindən yalnız ağac dayaqlarından istifadə edilmişdir. 1922-ci il Kaşira xətti birdövrəli idi. Bu xəttin dayaqları antiseptiklərlə emal edilməmişdi. İnşa keyfiyyətinin aşağı olduğu üçün dayaqlar daim zədələnir və xətt təmir olunurdu. 1931-ci ildə köhnəsinə xəttə paralel olaraq, metal dayaqlar üzərində yeni ikidövrəli Kaşira - Moskva xətti quruldu.

Daha bir 115 kV-luq elektrik veriliş xətti Volxov SES ilə Leninqrad yarımstansiyası ilə birləşdirməli idi. Bu xətt üçün dayaqların quraşdırılması 1924-cü ildə həyata keçirilmiş və onun istismarına 1926-cı ildə başlanmışdır. Metala qənaət etmək üçün Kaşira xəttinin təcrübəsini nəzərə alaraq, aralıq dayaqlar ağacdən hazırlanmışdır. Anker, künc, transpozisiya və keçid dayaqları kimi üfüqi naqilləri olan Amerika tipli dayaqlardan istifadə edilmişdir. Bütün birləşmələr pərçimlərdən istifadə edilməklə həyata keçirilmişdir. Volxov-Leninqrad xətti iki dövrəli idi, lakin hər dövrə ayrı dayaqlarda yerləşirdi. Bu qərar, eləcə də naqillərin üfüqi yerləşdirilməsi etibarlılıq və quraşdırma sadəliyi və texniki xidmətin təhlükəsizliyi ilə izah olunurdu.

1924-25-ci illərdə Şatura - Moskva xəttinin inşası elektrik ötürücü xətlərin tarixində mühüm amil oldu. Bu, SSRİ-də ikidövrəli metal dayaqlardan istifadə edilən ilk 115 kV-luq elektrik xətti idi. Şatura-Moskva xəttinin marşrutu təkcə Moskva vilayətindən və onun ətrafından deyil, həm də Moskvanın tam mərkəzindən keçirdi. Elektrik xəttinin şəhər hissəsi üçün xüsusi konstruksiyalı dar əsaslı dayaqlar layihələndirilmiş, xəttin qalan hissəsi boyunca, Amerika tipli dayaqlardan istifadə edilmişdir. İldırım vurmasından qorunmaq üçün hər zəncirə üzərində ildırım trosu yerləşdirildi. Anker dayaqları, izolyatorların birdövrəli və ikidövrəli izolyasiya zəncirləri üçün bərkidicilərlə təmin edilmişdir. Amerika tipli anker və künc dayaqlarında aşağı traversin hündürlüyü 11 m, aralıq dayaqlarda - 12 m, bütün dayaqlardakı traverslər arasındakı şaquli məsafə 3,1 m idi. Dayaqların hissələri zavod şəraitində hazırlanmış, sonra trasda pərçimlə ilə birləşdirilmişdir.

1925-ci ildə Şatura xəttinin təcrübəsinə əsaslanaraq I-II iqlim rayonları üçün Amerika tipi əsasında ikidövrəli dayaqların standart layihəsi hazırlandı. Bu layihənin dayaqları Şatura elektrik xəttində quraşdırılanlardan bir qədər fərqli idi və onlar "Şatura tipli dayaqlar" adlandırıldı. 1920-ci illərdə Şatura tipli dayaqlar əsasən Mosenerqo xətlərində quraşdırılmışdı. Bütün dayaqlar pərçimlənmiş konstruksiyalar idi. Dayaqlar marşruta zavodda yığılmış bölmələr şəklində gəlir, orada pərçimlənir və bəzən boltlar ilə bağlanırdı. Xətt normal torpaqdan keçdikdə aralıq və anker dayaqlarının fundamenti, betondan istifadə etmədən, dörd metal

profillərdən hazırlanmış dayaq yatağı ilə torpağa bərkidilirdi. Anker dayaqlarının dayaq yataqları böyük ölçüləri ilə, həmçinin onların konstruksiyasına xətt boyunca çəkilmə işini yaxşılaşdıran qazan dəmir təbəqəsi daxil olması ilə fərqlənirdi. Künc və son dayaqların fundamenti isə həmişə betondan hazırlanırdı.

1930-cu illərdə SSRİ-də dayaqların zavod şəraitində qaynaqdan istifadə etməklə yığılmasının mənimlənməsi davam etdi və 1933-cü ilə qədər Şatura tipli dayaqların qaynaqlı modifikasiyası yaradıldı. Yeni seriyalı Şatura dayaqları zavodda istehsal olunan qaynaqlı hissələrdən ibarət idi və onlar pərçimlər və ya boltlar ilə trasda birləşdirilirdi. Qaynaqdan istifadə metala qənaət etməklə bu konstruksiyanın maya dəyərini azaltmış oldu və pərçimlər üçün çoxlu dəşiklər açmağa ehtiyac olmadığı üçün zavod yığımını bir qədər sadələşdirdi. Hazır hissələr yalnız boltlar ilə birləşdirildiyi üçün sahədə pərçinləməyə ehtiyac yox idi. Şatura tipli bütün qaynaq dayaqları "ıldırma davamlı" hazırlanmışdı. Traverslər və tros tutqacları dayaqlara boltlarla bərkidilmişdi. Üst və orta seksiyalar ayrılmaz konstruksiyalar idi, aşağı seksiya isə boltlarla birləşdirilmiş dörd hissədən ibarət idi. Künc dayaqlarında traverslərin uclarında naqillərin izolyatorlara daha rahat bərkidilməsi üçün trapesiya şəkilli platformalar bərkidilmişdi. Şatura dayaqlarının quraşdırılması 1950-ci illərin sonlarına qədər tikilməkdə olan elektrik xətlərində davam etmişdir.

GOELRO dövründə aşağı gərginlikli 30-35 kV-luq paylayıcı şəbəkələrin xətləri də aktiv şəkildə inşa edilmişdir. Bu xətlərdə, gərginliyi 100 kV-dan yuxarı olan hava xətlərinə nisbətən, çox müxtəlif dayaq konstruksiyaları var idi. 35 kV-lik xətlərin dayaqları 115 kV-lik xətlərin dayaqlarından çox kiçik və yüngül olduğundan, daşınması və quraşdırılması üçün əlverişli olan alman tipli tam hissəli konstruksiyalar geniş yayılmışdı. Tam dayaqlar ya birbaşa yerə, ya da beton yastıqda quraşdırılırdı. Fundamentin çuxuru torpaqla və ya betonla doldurula bilərərdi. Bununla belə, başqa konstruksiyalar da mövcud idi. Metal qıtlığı səbəbindən 35 kV-luq xətlərin çəkilişi zamanı ağac dirəklərə üstünlük verilirdi. Yalnız ən vacib xətlər tamamilə metal dayaqlar üzərində qurulmuşdur, əks halda metal dayaqlar xüsusilə kritik yerlərdə künc və anker dayaqları kimi istifadə edilmişdir. 35 kV-lik xətlər üçün taxta dayaqların çoxlu sayda konstruksiyaları var idi: birdövrəli "şam", "göyərçin quyruğu" və s. Ən geniş yayılmış II formalı dayaqlar idi, onlar konstruksiya baxımından 110 kV-luq elektrik xətlərində olan taxta dayaqlara bənzəyirdi.

GOELRO planına uyğun olaraq yeni qurulmuş güclü su elektrik stansiyaları böyük sənaye sahələrini elektrik enerjisi ilə təmin etmək üçün nəzərdə tutulmuşdu. Stansiyaların istehlakçıları elektrik enerjisi ilə təmin etmək üçün böyük magistral xətlər və şaxələnmiş yerli elektrik şəbəkələri qurmaq lazım idi, artıq mənimlənməmiş 35 və 110-115 kV-luq gərginlik sinifləri artıq tələb olunan veriliş qabiliyyətini təmin etmirdi. 1920-ci illərin ikinci yarısında sovet mühəndisləri gərginliyi 150 kV-dan yuxarı olan xətlərin həm layihələndirilməsi, həm də istismarı sahəsində müəyyən xarici təcrübəyə malik idilər. ABŞ və Avropada o dövrdə 220 kV gərginlikdə işləyən xətlər var idi. 154, 161 və 220 kV-luq ilkin xətlər üçün işlənmiş texniki həllər həm xarici təcrübəyə, həm də özünəməxsus, tamamilə orijinal həllərə əsaslanırdı. 1927-ci ildə Leninqrad vilayətində su elektrik stansiyasının tikintisinə başlandı. Svir çayının enerjisini Leninqrada ötürmək üçün SSRİ-də ən uzun və güclü elektrik ötürücü xətt çəkmək lazım idi. Xəttin uzunluğu 272 km idi və 240 MVt-a qədər güc ötürməyə qadir idi. İqtisadi hesablamaların nəticələrinə əsasən 300 m uzunluğunda aralıq məsafə seçilmiş, anker hissəsinin uzunluğu isə 3 km olmuşdur. Texniki xidməti asanlaşdırmaq üçün naqillərin üfüqi düzülüşü seçildi. Hər dövrə bir polad-alüminium ıldırma qorunma trosu ilə mühafizə olunurdu.

Svir-Leninqrad xətti SSRİ-də 115 kV-dan yuxarı gərginlikli ilk elektrik veriliş xətti idi. Layihədə Amerika tipli dayaq variantı əsas hesab edilmişdir. Lakin bu seçim ferma konstruksiyalarının müasir tələblərə cavab vermədi. Deyəq layihəçiləri köhnə konstruksiyaların yeni şərtlərə uyğunlaşdırmağın rəşional olmadığı vəziyyətlə qarşılaşırlar.

Müxtəlif variantların nəzərdən keçirilməsi zamanı H formalı konstruksiya seçildi, bu versiya ilə müqayisədə dayaqın çəkisini əhəmiyyətli dərəcədə azaltmağa imkan verdi. Aralıq dayaqın çəkisi 3,3 ton, anker dayaqın çəkisi 4,3 ton oldu ki, bu da orijinal versiya ilə

müqayisədə aralıq dayağın çəkisinin 17% və anker dayağı çəkisinin 12% azalması idi. Xəttin iki zəncirəsi üçün ümumi metal qənaəti 1120 ton təşkil etdi. Tam miqyaslı sınaqlar standartlara və konstruksiya tələblərinə uyğunluğu təsdiqlədi. Digər iri enerji obyektı olan Dnepr SES-in tikintisi Donbas və Zaporoyenin nəhəng müəssisələrini qidalandırmalı idi. Əsas xətlərdə gərginlik 161 və 150 kV, paylayıcı şəbəkələrdə 35 kV idi.

Dayaqların mexaniki hesabı çətin idi, çünki elektrik veriliş xətləri buzlaq rayonlardan keçirdi. Külək yüklərinin çox olması səbəbindən izolyatorların və naqillərin meyl etməsi də çox idi. Ona görə naqillər arası hesabat məsafəsi 6,4 m-ə çatırdı və onlar horizontal yerləşdirilirdi. Dayaqlar arası normal məsafə 220 m təşkil edirdi, naqillər 120 mm² kəsiyi olan AC markalı polad-alüminium idi. Svir tipli dayaqların istifadəsi metala 20% qənaət edirdi. Bu dayaqlar əksər Dneprinşaat xətlərində istifadə edilmişdir.

Çox uzun, lakin daha az məsuliyyətli olan 161 kV-luq Dnepr SES -lə birləşən digər xətlərdə fərqli dayaq konstruksiyaları istifadə edilmişdir. Üç postlu strukturun DSES - Donbass və DSES - Kamenskoye xətlərində istifadə üçün təsdiq edildikdən sonra iki eksperimental dayaq tikildi: qaynaqlanmış və pərçinlənmiş (şəkil 49). 1930-cu ilin iyununda hər iki dayaq uğurla sınaqdan keçirildi, qaynaqlanmış dayaq pərçinlənmişdən daha çox faktiki təhlükəsizlik faktorlarını göstərdi. Testlərə əsasən, ara dayaqların istehsalı üçün elektrik qaynaqından istifadə etmək qərara alındı. Bu, yüksək gərginlikli xətlərdə qaynaqlı dayaqların istifadəsində ilk əhəmiyyətli yerli təcrübə idi. Anker, künc və xüsusi dayaqlar isə pərçinlənmiş idi. Qəbul edilmiş dayaq növləri, xüsusilə buzlu ərazilər istisna olmaqla, xəttin bütün uzunluğu boyunca 235 m-ə qədər aralıqlar üçün buraxıcı sıxaclarla istifadə edilmişdir. DSES - Donbass xəttində SA-150 məftildən istifadə edilib və buna görə də anker dayaqlarının konstruksiyaları gücləndirilib. DSES - Donbass və DSES - Kamenskoye xətlərinin ilkin dəyərini azaltmaq üçün onlar iki mərhələdə tikildi. Su elektrik stansiyası tam gücünə çatdığı üçün əvvəlcə hər bir xəttin bir dövrəsi quruldu, sonra ikincisi tamamlandı. Bu halda, ilk növbədə, üç naqıl işləyən iki iki telli xətt çəkildi, dördüncüsü isə üçüncü xəttin tikintisinə və ikinci dövrənin işə salınmasına qədər ehtiyatda qaldı. Adi dayaqlarla yanaşı, DnepSES enerji sistemi üçün müxtəlif konstruksiyalı unikal keçid dayaqları da yaradılmışdır. GOELRO-nun ilk illəri yüksək gərginlikli xətlərin layihələndirilməsi və tikintisi sahəsində təcrübə qazanmaq üçün çox vacib idi. Çox qısa müddətdə yeni gərginlik sinifləri mənimsənilməsi: 110-115 və 220 kV. Artıq 1931-32-ci illərdə 400 və 500 kV gərginlikli elektrik veriliş xətlərinin yaradılması müzakirə edilmiş, dayaqların müxtəlif konstruksiyaları nəzərdən keçirilmiş, Dneprostroy və Svir xətlərinin layihələndirilməsi təcrübəsinin yeni şəraitə uyğunlaşmasına cəhd edilmişdir. Mövcud gərginlik siniflərinə gəldikdə, onlar üçün dayaq konstruksiyalarının təkmilləşdirilməsi davam etdi. Bir tərəfdən ağacdan istifadəyə çox diqqət yetirildi və 1930-cu illərin sonlarında və ağac dirəklər təkcə 35 və 110 kV-lik xətlərdə deyil, həm də 220 kV-luq elektrik xətlərində də istifadə olunmağa başladı. Digər tərəfdən ölkədə sənaye nəhəngləri işə düşdü və konstruksiya üçün metal qıtlığı aradan qaldı, bu da metal dayaqlardan daha geniş istifadə etməyə imkan verdi. Dəmir-betondan hazırlanmış dayaqlara da qədər diqqət yetirildi, lakin o zaman onların istehsalı və quraşdırılması ilə bağlı texniki çətinliklər hələ də onların geniş yayılmasına imkan vermirdi. 1930-cu illərin ikinci yarısı - 1940-cı illərin əvvəllərində elektrik qaynağından istifadə edərək dirəklərin zavod yığılmasına keçildi: yuxarıda qeyd olunan Şatura tipli dirəklərin qaynaqlı modifikasiyaları meydana çıxdı, 35 və 220 kV-lik xətlər üçün qaynaqlı dirəklər meydana yarandı.

1930-cu illərin ortalarında aktiv şəkildə inşa edilən 220 kV-lik xətlər üçün Dnepr SES və Svir-Leninqrاد xətlərində istifadə olunanlardan çox fərqlənən birdövrəli portal dayaqlarının standart konstruksiyası yaradıldı. Portal tipli dayaqlar düzbucaq kəsikli iki dar dirəkdən ibarət olub, üzərində üfüqi travers yerləşirdi. Hər dirək ayrılıqda kompakt fundament üzərinə bərkidilirdi. Bu konstruksiya dayaqları texnoloji cəhətdən daha təkmil, daşına bilən hala gətirməyə və Svir tipli enli dayaqlarla müqayisədə dirək fundamentinin çökməsi nəticəsində yaranan mexaniki gərginlikləri azaltmağa imkan verdi. Portal dayaq hissələri elektrik qaynaqından istifadə etməklə zavodda istehsal edilirdi. Trasda hazır hissələr pərçimlərlə, sonrakı illərdə isə boltlar ilə birləşdirildi. Dayaqların aralıq, anker və künc versiyaları var idi.

Bu seriyanın portal dayaqları 220 kV-luq xətlərdə çox uzun müddət - 1950-ci illərin sonuna qədər istifadə edilmişdir. GOELRO dövründən konstruksiyalarından istifadədən uzaqlaşma müharibədən sonrakı ilk illərdə başlandı. Bir tərəfdən, 1950-ci illərin sonlarına qədər xətlər qaynaq konstruksiyalı Şatura tipli dayaqlar üzərində və 220 kV-luq xətlər isə müstəqil portallarda çəkilməkdə davam edirdi. Digər tərəfdən, "qarışıq" tipli dar əsaslı dayaqlar və konstruksiyalar getdikcə daha çox istifadə olunurdu. Qarışıq tipli dayaqlar dar əsaslı və geniş əsaslı olanların üstünlüklərini birləşdirdi. Müxtəlif institutlar tərəfindən çoxlu sayda dayaq konstruksiyaları yaradıldı, bunların arasında lider Leninqrad "Teploelektroproekt" İnstitutu (TEP) idi. Bundan əlavə, müxtəlif iqlim zonalarının xüsusiyyətlərini nəzərə alan dayaq variantları da layihə edildi. 1948-ci ildə 110 kV-luq Şatura dayaqlarını əvəz edən "Kırım" tipli dayaqlar yaradıldı. Aralıq dayağın konstruksiyasına görə, onlar qarışıq tipə aid idi. Aralıq dayağın variantlarından biri dar bazalı idi. Zavodda hissələr istehsal edilərkən, elektrik qaynağından istifadə edilmiş və bu hissələr sonradan boltlarla bərkidilmişdir. Traverslər müstəvi konstruksiyaya malik idilər. Bir və ya iki ildırımın qorunma trosunu asmaq üçün dayaq variantı mövcud idi. Kırım tipli dayaqlar Şatura tipini əvəz etdi və SSRİ ərazisində çox geniş yayıldı və onların xeyli hissəsi indi də istifadə olunmaqdadır. Qarışıq tipli qaynaqlı dayaqların (Kırım, Leninqrad və başqaları) istismarı 1960-cı illərin ortalarına qədər davam etdi, sonralar isə boltlu konstruksiyaların daha texnoloji cəhətdən təkmil dayaqları ilə əvəz olundu.

Müharibədən sonrakı illərdə SSRİ-də ilk 400 və 500 kV-luq elektrik verilişi xətləri çəkilmişdir. Bu xətlərin konstruksiyasında istifadə edilən bəzi ümumi texniki həllər hələ 1930-cu illərin əvvəllərində müzakirə edilmişdi. Qeyd etmək lazımdır ki, GOELRO-nun elektrik xətlərinin aktiv inşa edildiyi və müxtəlif yanaşmaların və texniki həllərin sınaqdan keçirildiyi ilk illər, yüksək gərginlikli xətlərin layihələndirilməsi və tikintisi, həmçinin ixtisaslı mühəndis-texniki kadrların hazırlanması üçün əvəzsiz təcrübənin toplanması üçün mühüm əhəmiyyətə malik idi. Qazanılan təcrübə SSRİ-nin, o cümlədən Azərbaycanın elektrik şəbəkələrinin bütün sonrakı inkişafı və vahid enerji sisteminin yaradılması üçün əsas olmuşdur.

Müasir dövrdə də *ağac dayaqlar (dirəklər)* az istifadə olunur, çünki digər materiallarla müqayisədə onların davamlığı azdır, onlar həşəratların təsirinə, çatlamaya, nəmliyə, çürüməyə qarşı davamsızdır və iş müddəti azdır. Davamlığını artırmaq üçün müasir dirəklər kimyəvi maddələrlə: pentaxlorfenil, kreozit, antiseptiklərlə (elemsept və s.) emal edirlər. Məmulatın iş müddəti başa çatdıqdan sonra, belə emal olunmuş ağac insan sağlamlığı və ətraf mühit üçün təhlükəli tullantıya çevrilir və digər materiallardan ayrı utilizasiya edilməlidir. Çürüməyə və həşəratların təsirinə davamsızlıqdan başqa, ağac dirəklər quru ərazilərdə xüsusi problemlidirlər – onlar yanırlar. *Metal dayaq konstruksiyaların* başlıca üstünlüyü hava şəraitinə tab gətirməsidir. Qar və buz naqillərə əlavə ağırlıq verir. Külək xətt boyunca ağacları yıxa bilər, hətta müəyyən şəraitdə naqillərin qırılmasına və dayaqların çökməsinə səbəb ola bilər. Möhkəm və uzunmüddətli polad dayaqların tətbiqi meşələrin qırılmasını azaldır və ətraf mühiti qorumağa kömək edir. Bununla belə polad dayaqlar digər dayaqlardan daha bahalıdır. XX əsrin ortalarında beton və dəmir – beton konstruksiyalar (şək.20) istifadəyə verildi və çox ərazilərdə ağac və poladı əvəz etdi. Onlar qiymətcə ucuz idi, demək olar ki, təmir tələb etmir, nəmlikdən və temperatur dəyişməsindən qorxmur, yanmır və iş digər materiallarla müqayisədə uzun müddəti xidmət edir.



Şək.20. Dəmir-beton dayaq.



Şək.21. Kompozit dayaq.

Məlumdur ki, kompozit dirəklərin (şək.21) çəkisi az olmaqla, onlar korroziyaya, nəmliyə, zəlzələyə davamlıdırlar, möhkəmdirlər və on illərlə istismar oluna bilərlər. Oda davamlılığını artırmaq məqsədilə kompozit konstruksiyalar antipitenlərlə - yanmaya qarşısını alan maddələrlə örtülür. Kompozit dayaqların yüksək rütubətli və quraqlıq olan ərazilərdə və seysmoaktiv zonalarda inşa edilməsi daha məqsədəuyğundur.



Şək.22. Estetik dizaynly dayaqlar.

Dayaqlar təyinatından asılı olaraq forma və ölçülərinə görə çox müxtəlif ola bilər. Müasir dünyada onların tək dirəkli və ya nəhəng tor quruluşları, T-, Y-, A-, P-, H- formalı, hündürlüyü 5 ilə 200 metr arasında olan çoxlu sayda konstruksiyaları vardır. Elektrik veriliş xətlərinin əksəriyyətində heç bir estetik görünüşü olmayan, yalnız utilitar məqsədlər üçün yaradılmış bir sıra tənha, sönük quruluşlu dayaqlar vardır. Biz onların mövcudluğuna və belə quruluşuna öyrəşmişik. Bəzi ölkələrdə dayaqların estetik formasını maraqlı etməyə çalışırlar. Məsələn, İslandiya firması *Choi and Shine* özünün vizual cəlbəedici dizaynı ilə yaratdığı elektrik veriliş xətti dayaqları ilə fərqlənir (şək.22). Belə maraqlı bədii formalı dayaqlar insanların şəhərdən kənar yerlərdə zövqünü oxşayır.

NƏTİCƏ

Məqalədə yüksək gərginlikli elektrik veriliş xətlərində istifadə olunan dayaq konstruksiyaları təhlil olunmuş, ağac materiallardan metal materiallara keçid məsələlərinə baxılmışdır. Dayaqların konstruksiyalarının mexaniki hesablanması, onlar arasında məsafənin təyini, yüksək gərginliyin ötürülməsində yeni dayaq konstruksiyalarından istifadə məsələləri araşdırılmışdır. Müasir dövrdə bəzi ərazilərdə məhdud miqdarda ağac dayaqların istismarı ilə yanaşı yeni metal, beton, dəmir beton və kompozit dayaqlardan istifadə edilir. Son zamanlar isə dayaqların estetik formalı konstruksiyaları da hazırlanmış və quraşdırılmışdır. Araşdırmalardan məlum olur ki, kompozit dirəklərin çəkisi azdır, onlar korroziyaya, nəmliyə, zəlzələyə davamlı olmaqla bərabər, möhkəmdirlər və on illərlə istismar oluna bilərlər. Zərbəyə davamlı, ekoloji cəhətdən təmiz, istənilən atmosfer təsirlərinə davamlı, qeyri-rezonans quruluşu malik olmaqla yanaşı, sürəti 220 km/saat -a qədər qasırgalı küləklərə müqavimət göstərə bilərlər. Oda davamlılığını artırmaq üçün kompozit konstruksiyalar antipitenlərlə - yanmaya qarşısını alan maddələrlə örtülür. Kompozit dayaqların yüksək rütubətli və quraqlıq olan ərazilərdə və seysmoaktiv zonalarda inşa edilməsi daha məqsədəuyğundur.

1. *Səfiyev E.S., Şirinova R.S.* Yüksəkgərginlikli hava xətlərinin texniki vəziyyətinin təhlili. Azərbaycan Ali Texniki Məktəblərinin Xəbərləri, Cild 37(05), Buraxılış 02, 2024, s.42-52.
2. *Шухардин С.В., Ламан Н.К., Федоров А.С.* Техника в ее историческом развитии. М., Наука, 1979. -411с.
3. *Валеева Н.М.* *Время оставляет след.* М.: «АМА-ПРЕСС», 2009. -160с.
4. История появления развития ЛЭП в России. Kabel – news, №11, 2009. с.26-32.
5. *Стеклов В.Ю.* Развитие электроэнергетического хозяйства СССР. Изд.3., 1970.
6. *Жимерин Д.Г.* История электрификации СССР. М.: Соцэкгиз, 1962-458с.

КОНСТРУКЦИИ ОПОР ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

САФИЕВ Э.С., ШИХАЛИЕВА С.Я.

В статье дан анализ истории создания и развития линий электропередачи высокого напряжения, конструкций опор линий, а также перехода от деревянных материалов к используемым для них металлическим материалам. Внедрение трехфазного переменного тока, бурное развитие электроэнергетики и увеличение спроса на электроэнергию привели к увеличению высокого напряжения в линиях электропередачи. С этой точки зрения родилась концепция экономического понимания в передаче электрической энергии. Механический расчет конструкций опор, определение выгодного расстояния между ними подтвердили его важность. Также отмечено, что в новых опорных конструкциях при передаче высокого напряжения невозможно заменить стержневые изоляторы пластинчатыми подвесными изоляторами. Американские и немецкие варианты металлических опорных конструкций сначала использовались в высоковольтных линиях, а позже на их основе были созданы новые. В статье также рассмотрены вопросы проектирования и применения опор при производстве и передаче электрической энергии в России, а позднее и в СССР по знаменитому плану ГОЭЛРО. В настоящее время в некоторых районах помимо эксплуатации ограниченного количества деревянных опор применяются новые металлические, бетонные, железобетонные и композитные опоры. В последнее время разработаны и установлены эстетичные конструкции опор.

Ключевые слова: высокое напряжение, линия электропередачи, стержневой изолятор, подвесной изолятор, траверса, защитный трос, деревянная опора, металлическая опора, железобетонная опора, составная опора, промежуточная опора, анкерная опора, угловая опора, эстетичная опора.

STRUCTURES OF SUPPORT LINES OF ELECTRIC TRANSMISSION

SAFIYEV E.S., SHIKHALIYEVA S.Y.

In the article, there is an analysis of the history of the creation and development of high-voltage power transmission lines, line support structures, and the transition from wooden materials to metal materials used for them. The introduction of three-phase alternating current, the rapid development of the electric power industry and the increase in demand for electricity have led to an increase in high voltage in power lines. From this point of view, the concept of economic understanding in the transmission of electrical energy was born. The mechanical calculation of the structures of the supports, the determination of the favorable distance between them confirmed its importance. It is also noted that in new support structures, it is impossible to replace rod insulators with plate suspension insulators when transmitting high voltage. American and German versions of metal support structures were first used in high-voltage lines, and later new ones were created based on them. The article also discusses the design and application of supports for the production and transmission of electric energy in Russia, and later in the USSR according to the famous GOELRO plan. Currently, in some areas, in addition to the use of a limited number of wooden supports, new metal, concrete, reinforced concrete and composite supports are used. Recently, aesthetic constructions of supports have been developed and installed.

Key words: high voltage, electric transmission line, rod insulator, suspension insulator, traverse, protective cable, wooden support, metal support, reinforced concrete support, composite support, intermediate support, anchor support, corner support, aesthetic support.

DOI:10.70784/azip.5.2025237

ELEKTRİK ŞƏBƏKƏLƏRİNDƏ İTKİLƏRİNİN AZALDILMASI TƏDBİRLƏRİNİN SƏMƏRƏLİLİYİNİN MÜƏYYƏN EDİLMƏSİ VƏ İŞÇİ PERSONALIN MÜKAFATLANDIRILMASININ XÜSUSİYYƏTLƏRİ

İBADOV Ç.Ş.

“Azərişiq” Açıq Səhmdar Cəmiyyəti
AZ1065, Bakı şəh., Nəsimi r-nu, Abbasqulu ağa Bakıxanov küç. 13
chingiz.ibadov@mail.ru

“Elektroenergetika haqqında” qanun 1 yanvar 2024-cü ildən qüvvəyə minir. Elektrik enerjisinin istehsalı, saxlanması, ötürülməsi, paylanması, təchizatı, ixracı və istehlakı ilə bağlı elektroenergetika subyektləri, istehlakçılar və elektroenergetika sektorunda fəaliyyət göstərən dövlət orqanları (qurumları) arasında yaranan münasibətləri tənzimləyən bu qanun, iqtisadi münasibətləri təcridən liberallaşdıracaq, nəticədə elektroenergetika sistemində səmərəliliyin artmasını stimullaşdıracaqdır. Ötürücü və paylayıcı sistem operatorları tərəfindən itkilərin satılınması şəbəkələrin mühəndis-texniki personalını itkilərin azaldılması sahəsində ciddi tədbirlərin görülməsinə və işçi personalın bu tədbirlərin səmərəlikdən asılı olaraq mükafatlandırılması sistemlərinin yaradılmasını qaçılmaz edəcəkdir [1, 2]. Enerqosistemin liberallaşdırılması itkilərin azaldılması tədbirlərinin səmərəliliyin təyin edilməsini aktuallaşacaqdır. “Azərişiq” ASC-nin elektrik şəbəkələrində itkilərin azaldılması tədbirlərinin icrasından iqtisadi effekt illik 12-15 milyon manat səviyyəsində gözlənilir.

Açar sözlər: enerji effektivliyi, iqtisadi səmərəlilik, enerji balansı, işçi personalın mükafatlandırılması.

Bazar iqtisadi münasibətlərinin formalaşdığı, azad sahibkarlığın inkişaf etdiyi, çoxnövlü təsərrüfatçılıq formalarının yaradıldığı və Azərbaycanın dünya iqtisadiyyatına inteqrasiya olduğu bir dövrdə kommunal sahələrdə, əsasən elektroenergetikada səmərəliliyinin yüksəldilməsi olduqca zəruridir. İqtisadi sistemin və mülkiyyət formalarının müxtəlifliyindən asılı olmayaraq hər bir cəmiyyətin sosial- iqtisadi tərəqqisi istehsalla yanaşı, elektroenergetika sahəsinin inkişaf və səmərəliliyinin yüksəldilməsindən əhəmiyyətli dərəcədə asılıdır. Çünki, bazar münasibətləri şəraitində iqtisadiyyatın bütün sahələrində, o cümlədən elektroenergetika sistemində iqtisadi səmərəliliyi artırmadan əhalinin maddi rifah halının yaxşılaşdırılması qeyri-mümkündür. Enerqosistemin liberallaşdırılması mahiyyətə istehsalın iqtisadi səmərəliliyinin və əmək məhsuldarlığının yüksəldilməsini stimullaşdıran mühüm vasitədir.

İqtisadi səmərəlilik istehsalın və ya hər hansı iqtisadi fəaliyyətin son nəticəsinin (səmərə) onun alınmasına sərf edilmiş xərclərə olan nisbətini ifadə edir. İqtisadi fəaliyyətin nəticəsi ona çəkilən xərclərlə müqayisədə nə qədər çox olarsa, iqtisadi səmərəlilik bir o qədər yüksək olar. Buradan belə nəticə çıxır ki, iqtisadi səmərəliliyi yüksəltmək üçün hazır məhsul vahidinə düşən xərcləri azaltmaq, yaxud az xərclə daha çox nəticəyə nail olmaq gərəkdir [3, 8].

Enerji resurslarının paylanması və satışı şəbəkələrində enerji effektivliyinin təmin edilməsi, itkilərin azaldılmasının elektroenergetika sahəsinin timsalında araşdırılması, tədqiqatlar apararaq, təkliflər hazırlanması daha məqsədə uyğundur. Belə ki, elektrik şəbəkələrinin idarə edilməsi hesabatlılıq və təşkilati tədbirlər baxımından o biri kommunal sahələr üçün xarakterikdir.

Elektroenergetika sisteminin bütövlükdə iqtisadi səmərəliliyi, bu sistemin tərkib hissəsi olan enerji istehsalı, ötürülməsi, saxlanması, paylanması, satışı, idxalı və istehlakı proseslərinin ayrı-ayrılıqda iqtisadi səmərəli fəaliyyətlərinin təşkilindən asılıdır. Məhz, yeni qəbul olunmuş “Elektroenergetika haqqında” qanunun tətbiqi enerqosistemə daxil olan bazar subyektlərinin ayrı-ayrılıqda təşkilatlanmasına, elektrik enerjisinin ötürülməsi və paylanması şəbəkələrdə enerji itkilərinin texnoloji sərfiyyata qədər azaldılmasına və daha yüksək iqtisadi səmərə ilə işləməsinə şərait yaradacaqdır.

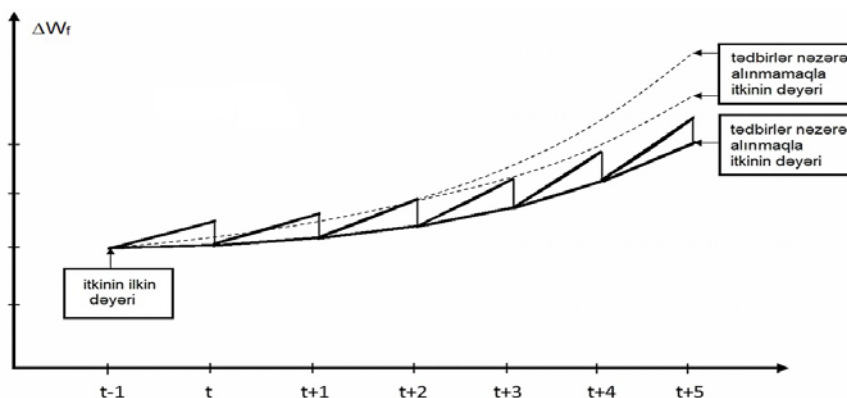
Elektrik enerjisi itkilərinin azaldılması üzrə tədbirlərin faktiki səmərəliliyinin hesablanması elektrik şəbəkəsi personalının fəaliyyətini və enerjiyə qənaət proqramlarının həyata keçirilməsinin nəticələrini qiymətləndirmək və nəticədə elektrik şəbəkələrinin iqtisadi səmərəliliyini təmin etmək üçün lazımdır. Enerji effektivliyi və itkilərin azaldılması üzrə proqramların hazırlanması və elektrik şəbəkələrinin iqtisadi səmərəliliyinin artırılmasının əsas vəzifələri aşağıdakılardır:

- enerjiyə qənaət ehtiyatlarının və itkilərin müəyyən edilməsi və lokallaşdırılması;
- ehtiyatların həyata keçirilməsi üçün tədbirlərin işlənilib hazırlanması;
- tədbirlərin iqtisadi səmərəliliyinin qiymətləndirilməsi və onların həyata keçirilməsinin prioritetlərinin müəyyən edilməsi;
- qısa, orta və uzunmüddətli dövr üçün enerji səmərəliliyi göstəricilərinin proqnoz dəyərinin qiymətləndirilməsi.

Elektrik enerjisi itkilərinin azaldılması üzrə tədbirlərin iqtisadi səmərəliliyi tətbiq olunan dövrdə, əvvəlki dövrə nisbətən faktiki itkilərin azaldılması ilə müəyyən edilir:

$$S\Delta W_f = \Delta W_{f(t-1)} - \Delta W_{f(t)}$$

Faktiki elektrik enerjisi itkilərində dəyişikliklər bir çox amillərdən asılıdır və kifayət qədər mürəkkəb struktura və qeyri-müəyyənlik dərəcəsinə malikdir. Ona görə də illər üzrə faktiki elektrik enerjisi itkilərində dəyişikliklərin onların azaldılması tədbirləri nəzərə alınmaqla qrafik təsvirində daha aydın təsvir etmək mümkündür (şəkil 1) [4].



Şəkil 1. Faktiki elektrik enerjisi itkilərində dəyişikliklərin onların azaldılması tədbirləri nəzərə alınmaqla qrafik təsviri.

Elektrik şəbəkələrində texniki və kommersiya (qeyri-texniki) itkilərinin azaldılması üzrə tədbirlərin iqtisadi səmərəliliyini ayrı-ayrılıqda hesablamaq daha məqsədə müvafiqdir. Məsələn üçün elektrik şəbəkələrində texniki itkilərin azaldılması tədbirlərinə gərginlik pilləsindən asılı olaraq (yüksək və aşağı gərginlikli) tənzimlənən kondensator qurğularının quraşdırılmasını göstərmək olar. Belə ki, reaktiv gücü avtomatik idarə etməklə 0.4 və ya 6-10 kV gərginlikli, 50 Hz tezlikdə sənaye müəssisələrinin və paylayıcı şəbəkələrin elektrik avadanlıqlarının güc əmsalını artırmaq üzrə tədbirlər həyata keçirmək mümkündür. Kommersiya itkilərinin azaldılması üzrə tədbirlərə isə uzaqdan idarə edilən SMS tipli sayğacların quraşdırılmasını göstərmək olar. Bu tədbirlər həyata keçirilməmişdən əvvəl və sonra itkilərin ən azı 3 ay müddətində ölçülərək, tədbirlər icra olunduqdan sonrakı göstəricilərlə müqayisə edərək bu tədbirlərin iqtisadi səmərəliliyini təyin etmək mümkündür.

İtkilərin azaldılması üzrə bu kimi tədbirlərin iqtisadi səmərəliliyinin qiymətləndirilməsi bu proqramların hazırlanması, qısa və uzunmüddətli itkilərin azaldılmasının proqnozlaşdırılması zamanı ən vacib amillərdəndir. Bu tədbirlərin həyata keçirilməsinin faktiki effektivliyinin müqayisəsi həm onun proqnoz göstəricilərinə, həm də əvvəlki dövrlərdə əldə edilmiş göstəricilərə münasibətdə aparılmalıdır.

Əldə edilmiş təhlilin nəticələri elektrik enerjisi itkilərini azaltmaq üçün işçi personalın əməyinin effektivliyini qiymətləndirərkən bir-birini hərtərəfli olaraq tamamlayacaqdır. İtkilərin azalmasında (və ya əksinə) elə göstəricilər var ki, onlar işçi personalın fəaliyyətindən asılı

olmur. Məsələn, hava şəraitindən asılı olaraq itkilərin azalması (artması). Ona görə də faktiki itkilərin fərqi əsaslanaraq tədbirlərin iqtisadi səmərəliliyinin müəyyən edilməsi əhəmiyyətli dərəcədə qeyri-müəyyənlik yaratmaması üçün bu amil nəzərə alınmalıdır.

Elektrik enerjisinin texniki və qeyri-texniki itkilərinin azaldılması tədbirlərinin iqtisadi səmərəliliyinin hesablanması elektrik şəbəkələrinin gözlənilən (proqramlaşdırılan) dövrdə elektrik enerji ilə birbaşa əlaqəli olan təsiredici amillər, ayrı-ayrı tədbirlər və ya onların qüsurları üzrə əvvəlki illər üçün əldə edilmiş təsirlər haqqında statistik məlumatlar əsasında aparılmalıdır [4, 7].

Hal-hazırda itkilərin azaldılmasına görə elektrik şəbəkələrinin işçi personalın maddi həvəsləndirilməsi direktiv sənədlər əsasında həyata keçirilir. Standart qaydalara əsasən elektrik şəbəkələrinin işçi personalının maddi mükafatlandırılması üçün tövsiyyə olunan göstəricilər aşağıdakılardır:

- elektrik enerjisinin texniki itkilərinin planlaşdırılmış normalardan (proqnozlaşdırılmış) artıq olmaması;
- sabit istismar xərclərinin planda (proqnozda) nəzərdə tutulduğundan az olması və ya tam icra olunmaması;
- texniki itkilərin azaldılması üzrə ayrı-ayrı tədbirlərin icra edilməsi;
- işçi personalın təsiri üzündən qəzaların baş verməməsi və s.;

Elektrik şəbəkələrində itkilərinin azaldılması üçün hal-hazırda tətbiq edilən qaydalar və ya maliyyə sahəsində olan mövcud normativ sənədlər həm planlaşdırılan texnoloji sərfiyyat dərəcələrinin ödənilməsini, həm də bu yöndə ayrı-ayrı müxtəlif tədbirlərin işlənilməsində və həyata keçirilməsində işçi personalın maddi maraqlarını təmin etməlidir. Lakin, bir sıra obyektiv səbəblərə görə bu reallıqdan uzaqdır.

Birincisi, texnoloji sərfiyyat dərəcələrinin (faizlərinin) formalaşması əsasən yuxarı təşkilatların, “Azərişiq” ASC ilə münasibətdə Nazirlər Kabineti tərəfindən hər il qəbul olunan “cari il və sonrakı üç il üçün ölkənin yanacaq-enerji balansını” haqqında qərarlarından asılıdır. Hal-hazırda elektrik şəbəkələrində geniş tətbiq edilən, xüsusi lisenziyası olan özəl kommersiya şirkətləri tərəfindən texnoloji sərfiyyatın miqdarının planlaşdırılması zamanı da, yuxarı təşkilatların normativ sənədlərinin tövsiyələri əsas götürülür [9].

İkincisi, tətbiq edilən planlaşdırılma üsullarının mükəmməl olmaması səbəbindən texnoloji sərfiyyat dərəcələri (faizləri) bir çox hallarda kifayət qədər əsaslandırılmır və bu dərəcələr ümumiyyətlə itkilərin azaldılmasında səfərbəredici rol oynamır.

Üçüncüsü, proqnozlaşdırılmış texnoloji sərfiyyatın dərəcəsi (faizi), hesablanmış texnoloji sərfiyyatla üst-üstə düşmür. Lakin bir qayda olaraq, işçi personalın mükafatlandırılmasında hesablanmış texnoloji sərfiyyat miqdarı əsas götürülür.

Enerji sistemlərinin və ya ayrı-ayrı elektrik şəbəkələrinin miqyasında texnoloji sərfiyyatın hesablanması üçün nisbətən qısa vaxt ərzində şəbəkələrin sxemləri və parametrləri, habelə onların iş rejimləri haqqında çoxlu ilkin məlumat toplamaq (təqdim etmək) və onları emal etmək lazımdır. Kütləvi şəkildə belə ilkin məlumatların hesablanmasına nəzarət etmək demək olar ki, mümkün olmur və səhv nəticələrə gətirib çıxarır. Bəzi elektrik şəbəkələrdə isə texnoloji sərfiyyatın müxtəlif əsaslandırılmalarla qəsdən şişirdilməsi kommersiya itkilərinin pərdələnməsinə və ya tamamilə guya ki, “ləğv edilməsinə”, beləliklə elektrik enerjisinin talan edilməsi hallarının kütləvi hallı alması üçün şərait yaradılmasına gətirib çıxarır [8, 9].

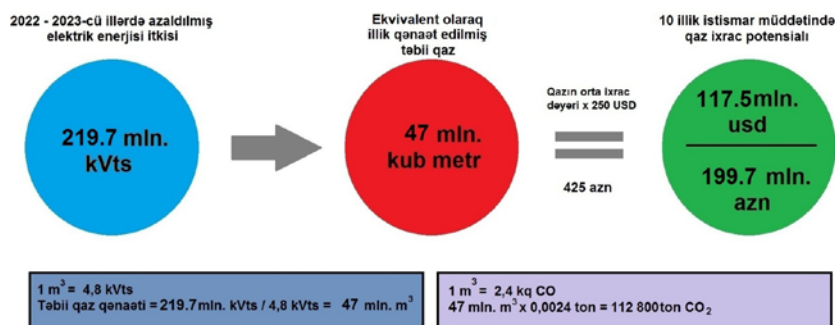
Belə halların baş verməməsi və elektrik şəbəkələrində işçi personalın maddi həvəsləndirilməsinin konkret indikatorlara əsaslanaraq hesablanması və tətbiq edilməsi məqsədi ilə elektrik enerjisinin balansını və faktiki itkilərin hesablanması üsulundan istifadə daha məqsədə müvafiqdir. Enerji alışı uçot nöqtələrindən başlayaraq, yüksək gərginlik şəbəkələrinin, daxili yarımstansiyaların, 10/6kV-luq TM(KTM)-lərlə istehlakçılara qədər ayrı-ayrılıqda və tam olaraq enerji balansına əsasən yüksək və aşağı gərginlik şəbəkəsinin istismar heyətinin, 10/6kV-luq TM(KTM)-lər ilə istehlakçılar arasında balans hesablarına əsasən isə satış və satışa nəzarət strukturlarının işçi heyətinin mükafatlandırılması sisteminin yaradılması və bu

sahədə proqram təminatını hazırlamaq və tətbiq etmək olduqca səmərəli nəticələr verə bilər. Aşağıdakı enerji balansı hesabatlarını hazırlayaraq şəbəkə rəhbərliyinə və müvafiq strukturlara təqdim etməklə idarəetməni sistemləşdirmək, enerji effektivliyini təmin etmək və itkilərin azaldılmasını stimullaşdırmaq məqsədi ilə işçi personalın mükafatlandırılmasını təşkil etmək mümkündür [9]:

- Elektrik şəbəkələri üzrə alınan elektrik enerjisinin müqayisəli hesabatı;
- Elektrik şəbəkələri üzrə ay ərzində alışı uçot nöqtələrində şəbəkəyə daxil olan aktiv və reaktiv elektrik enerji hesabatı ($\text{tg}\phi$ və $\text{cos}\phi$);
- Yüksək gərginlikli yarımstansiyalar üzrə ümumi enerji balansı hesabatı;
- Elektrik şəbəkələrinin 10/6/0.4 kV-luq aşağı gərginliki istismar şəbəkələri üzrə ümumi balans hesabatı;
- Elektrik şəbəkələrinin 10/6 kV-luq çıxış xətləri üzrə ən çox itkisi olan xətlərin balans hesabatı;
- Elektrik şəbəkələri üzrə ümumi alınan, faydalı və satılan enerjinin balans hesabatı;
- Elektrik şəbəkələri üzrə itkisi çox olan 10/6/0,4 kV-luq transformatorların itki enerji balans hesabatı;
- Elektrik şəbəkələrində daxili yarımstansiyaların giriş və çıxış fiderlərində aktiv və reaktiv güc səviyyəsinin hesabatı ($\text{tg}\phi, \text{cos}\phi$);
- Elektrik şəbəkələrində 10/6 kV çıxış xətlərindən qidalanan transformatorlar üzrə aktiv və reaktiv güc səviyyəsinin hesabatı ($\text{tg}\phi, \text{cos}\phi$);
- Elektrik şəbəkələrində qoyuluş gücü 150 kVt-dan yuxarı olan qeyri əhali istehlakçı qrupu üzrə aktiv və reaktiv güc səviyyəsinin hesabatı ($\text{tg}\phi, \text{cos}\phi$);
- Elektrik şəbəkələrində alınan, faydalı və realizasiya olunan elektrik enerjisinin satış sahələri üzrə balans hesabatı;
- Kommersiya itkiləri ehtimal olunan abonentlərin aşkar edilərək aktla və sayğac üzəri oxunmaqla bərpa olunan elektrik enerjisi barədə hesabat;
- Elektrik şəbəkələrində sahələr üzrə itki enerji balans hesabatının ayrı-ayrılıqda nəzarətçi-mühəndislər üzrə tərtib edilməsi;
- Elektrik şəbəkələrində çoxmənzilli binalar (MTK) üzrə enerji balans hesabatı.

Hal-hazırda bu məqalə müəllifinin təklifləri əsasında “Azərişiq” ASC-nin şəbəkələrinin idarəedilməsində bu üsullardan qismən istifadə edilir. Yuxarıda göstərilən enerji balans hesabatları, həmin şəbəkələrdə və ya onun ayrı-ayrı hissələrində müəyyən zaman kəsiyində icra edilmiş itkilərin azaldılması tədbirlərini qiymətləndirməyə və səmərəliliyini təyin etməyə imkan verir [11].

İtkilərin azaldılması məqsədi ilə yatırılan investisiyalar belə, bu enerji balans hesabatları əsasında planlaşdırılır. Belə ki, ən çox investisiya itkisi çox olan hava veriliş xətlərinə və ya yarımstansiyalara qoyulması planlaşdırılır və icra edilir. Məhz balans hesabatları vasitəsi ilə idarəetmənin təşkili, maddi həvəsləndirmə və investisiyaların tətbiqi nəticədə “Azərişiq” ASC-nin elektrik şəbəkələrində 2022-ci ildə və 2023-cü ilin 9 ayında əvvəlki illərə nisbətən daha yaxşı nəticələr əldə edilmişdir (şəkil 2).



Şəkil 2. “Azərişiq” ASC-nin elektrik şəbəkələrində 2022-ci ildə və 2023-cü ilin 9 ayının göstəriciləri.

Eyni zamanda enerji sistemlərinin və elektrik şəbəkələrinin işçi personalının itkilərin azaldılmasına görə əməyinin mükafatlandırılmasında çətinliklər də yarana bilər.

Belə ki, elektrik verilişi xətlərində ümumi itkilərin tərkib hissəsi olan, şəbəkələr arası çarpaz və ya tranzit ötürmələrə görə itkiləri bu və ya digər texniki səbəblərdən sayğaclar vasitəsi ilə ölçmək mümkün olmur. Bu zaman həmin xətlərdə yüklənməyə görə itkilərin əsaslanmış bölgüsü aktual məsələ olaraq ortaya çıxır. Hal hazırda əksər hallarda bu məsələ müvafiq qrafiki asılılıqlarla təxmini olaraq həll edilir.

Bununla belə bu məsələnin çox dürüst riyazi həlli mövcuddur [4, 6].

Fərz edək ki, R müqavimətli tranzit xətt sahəsindən gərginlikləri fəzlaşdırılmış 3 (üç) enerjisistemin (şəbəkənin) I_1 , I_2 , I_3 yükləri axır. Belə halda tranzit xəttin ümumi itkiləri aşağıdakı düsturla ifadə olunur:

$$\Delta P_R = 3 I_{\Sigma}^2 * R = 3 (I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + 2 I_1 I_2 + 2 I_1 I_3 + 2 I_2 I_3) R .$$

Burada artıq ümumi itkilərdən hər bir enerjisisteminə (şəbəkəyə) aid itkilərin ayrılması qalır.

Belə halda, vəzifə ümumi itkilərdən (ΔP_R), hər bir yükə görə payları ayrıca hesablamaqdan ibarətdir. Prinsipcə, onları bir neçə yolla bölmək mümkündür: cərəyanların gücünə, onların kvadratına, yarı-bayarı və s. Bu vəziyyətdə ən optimal və mükəmməl bölgü güc itkilərinin yüklərə mütənasib olaraq bölünməsidir:

$$\Delta P_1 = \Delta P_R \frac{I_1}{I_{\Sigma}}; \quad \Delta P_2 = \Delta P_R \frac{I_2}{I_{\Sigma}}; \quad \Delta P_3 = \Delta P_R \frac{I_3}{I_{\Sigma}} .$$

Bu bölmə üsulu ən dürüst və mütənasib bir yanaşmadır. Dəyişən yükün xüsusi çəkisi nə qədər çox olarsa, onun dəyişməsi itkilərin miqdarına bir o qədər çox təsir edir. Əksinə, nisbətən kiçik yüklərdə, hətta əhəmiyyətli miqdarda dəyişiklik, digər yüklərdən itkilərin nəzərə çarpacaq dərəcədə dəyişməsinə səbəb olur.

Enerji balans hesabatları əsas götürülməklə paylayıcı şəbəkə üzrə işçi personalın mükafatlandırma sisteminin xüsusiyyətləri və strukturu aşağıdakı kimi təklif olunur:

- I. Mükafatlandırmanın məqsədi: itkilərin texnoloji sərfiyyata qədər azaldılmasına nail olmaq, işçilərin fəallığını artırmaq və onları həvəsləndirmək, kollektivlərin əmək məhsuldarlığının yüksəldilməsini konkret hədəflərə fokuslandırmaq, paylayıcı şəbəkə işçilərinin fəaliyyətinin nəticələrini ümumi EŞ-nin son məqsədi ilə uzlaşdırmaq;
- II. Mükafatlandırma sisteminin subyektləri: mükafatlandırılacaq işçilərin adlı siyahıları kadrlar şöbəsi tərəfindən hazırlanır, şəbəkə rəisləri tərəfindən təsdiqlənir və mükafat sisteminin operatoruna təhvil verilir. Siyahılar hər ay operativ dəyişikliklərə məruz qalır (işçilər dəyişdikcə), adlı siyahılarda bütün göstəricilər yazılır, lakin indikatorlara görə əmsallar, mükafatın miqdarı sonradan qeyd edilir;
- III. Mükafatlandırma sisteminin operatoru: mükafatlandırma sisteminin operatoru paylayıcı şəbəkə ilə əlaqəli fəaliyyət göstərən, lakin neytral olan şöbə və ya idarə ola bilər. Bu məqsədlə maliyyə idarəsi və ya balans idarəsi daha münasibdir;
- IV. Mükafatlandırma sisteminin proqram təminatı: mükafatlandırma sistemi İnformasiya texnologiyaları (İT) idarəsi tərəfindən tam proqramlaşdırılır. Paylayıcı şəbəkənin mükafatlandırma sistemi İT idarəsinin bir mütəxəssisinə həvalə edilir. Hər hesabat ayının sonunda paylayıcı şəbəkə işçilərinin göstəriciləri İT idarəsinin mütəxəssisinə online olaraq göndərilir. Daha sonra cədvəllər, mükafatlandırma sisteminin operatoruna göndərilir, yekun cədvəllər təhlil edilir, paylayıcı şəbəkə rəisi ilə razılaşdıraraq təsdiq edilir;
- V. Mükafatlandırma sisteminin əsas indikatoru (\dot{I}_A): əsas indikator olaraq 110/35/10/6 kv-luq şəbəkələrdə (xətlərdə, yarımstansiyalarda və s.) hesabat dövründəki faktiki itkilərin əvvəlki hesabat ilinin faktiki itkiləri ilə fərqi qəbul edilir. Belə ki, faktiki itkinin səviyyəsi ona bərabər və ya ondan çox olduqda mükafat verilmir. Faktiki itkilərin səviyyəsi azaldığı təqdirdə mükafatlar hesablanır;

- VI. Mükafatlandırma sisteminin köməkçi indikatorları: alış sayğaclarının tam və vaxtında oxunması və texniki bazaya yüklənməsi (№1), balans sayğaclarının tam və vaxtında oxunması və texniki bazaya yüklənməsi (№2), çağrı mərkəzinə daxil olmuş açılmaların sayı və onların (qəzaların) orta icra müddəti (№3), itkilərin azaldılması üzrə tədbirlərin yerinə yetirilməsi vəziyyəti (№4), işə davamiyyətin göstəriciləri (№5), inzibati cəzaların göstəriciləri (№6), işə gecikmələr və s. göstəricilər (№7). Bu indikatorlar üzrə əmsallar illik olaraq rəhbərlik tərəfindən təsdiq edilir və sistem operatoruna cədvəl şəklində göndərilir;
- VII. Mükafatın hesablamaya qaydası: balans idarəsi tərəfindən şəbəkələrin enerji balansı hesablanaraq cədvəllər şəklində İT idarəsinin mütəxəssisinə online göndərilir, İT idarəsinin mütəxəssisi bütün əlaqədar strukturlardan (balans idarəsi, texniki şöbə, işlər idarəsi, çağrı mərkəzi və s.) hesabatları cədvəl şəklində online qaydada alır və proqrama daxil edir. Faktiki itkilərin miqdarı azalan elektrik şəbəkələrində işçilərə veriləcək aylıq mükafatın ümumi məbləği aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$\sum M = \frac{\sum I_A * (T_o - T_a)}{R};$$

Burada, $\sum M$ – aylıq mükafatın ümumi miqdarı, $\sum I_A$ – elektrik şəbəkəsi üzrə əsas indikator, T_o - elektrik enerjisinin orta satış qiyməti, T_a - elektrik enerjisinin orta alış qiyməti, R - şəbəkənin rentabellik əmsalı.

Proqram vasitəsi ilə əvvəlcə 1, 2, 3 və 4 nömrəli göstəricilər nəzərə alınaraq elektrik şəbəkəsi üzrə aylıq mükafatın ümumi məbləği hesablanır. Mükafatın ümumi məbləği şəbəkə rəhbərliyinin qərarı ilə yekun rentabellik göstəriciləri nəzərə alınmaqla müvafiq olaraq azaldıla və ya artırıla bilər (R). İkinci mərhələdə proqram vasitə ilə həmin məbləğ işçilərin maaşlarından asılı olaraq, onlar arasında bölünür və 5, 6, 7 nömrəli indikatorlar nəzərə alınmaqla hər işçi üçün mükafatın miqdarı ayrı-ayrılıqda hesablanır.

NƏTİCƏ

1. İtkilərin azaldılması üzrə tədbirlərin iqtisadi səmərəliliyinin qiymətləndirilməsi, bu sahədə proqramların hazırlanması, qısa və uzunmüddətli itkilərin (texnoloji sərfiyyatın) proqnozlaşdırılması zamanı çox vacibdir. İtkilərin azaldılması üzrə tədbirlərin iqtisadi səmərəliliyinin müqayisəsi həm onun proqnoz dəyərlərinə, həm də əvvəlki dövrlərdə əldə edilmiş dəyərlərə münasibətdə aparılmalıdır. Əldə edilmiş təhlilin nəticələri elektrik enerjisi itkilərini azaltmaq üçün personalın fəaliyyətinin effektivini qiymətləndirərkən bir-birini tamamlayacaqdır.

2. Elektrik enerjisinin kommərsiya (qeyri- texniki) itkilərinin azaldılması üzrə tədbirlərinin iqtisadi səmərəliliyinin hesablanması bu tədbirlə birbaşa əlaqəsi olan təsiredici amillər nəzərə alınmaqla, ayrı-ayrı tədbirlər və ya onların qrupları üzrə əvvəlki illər üçün əldə edilmiş statistik məlumatlar əsasında aparılmalıdır.

3. İtkilərin azaldılması üzrə işçi personalının mükafatlandırılması elektrik şəbəkələrinin ayrı-ayrı hissələrində və tam olaraq tərtib edilmiş enerji balans hesabatları əsasında, konkret zaman kəsiyində onların müqayisəli təhlili nəzərə alınmaqla aparılmalı və ya bu sahədə ayrı-ayrı tədbirlərin nəticələrinin iqtisadi səmərəlilik göstəriciləri nəzərə alınmaqla icra edilməlidir.

4. Elektrik şəbəkələrində itkilərin azaldılması tədbirlərinin səmərəliliyinin müəyyən edilməsi və işçi personalının mükafatlandırılması məqsədi ilə tətbiq edilən qaydalar və ya maliyyə sahəsində mövcud olan normativ sənədlər həm planlaşdırılan texnoloji sərfiyyat dərəcələrinin ödənilməsini, həm də bu yöndə ayrı-ayrı müxtəlif tədbirlərin işlənilməsi, hazırlanmasında və həyata keçirilməsində işçi personalının maddi maraqlarını təmin etməlidir. Bu məqsədlə enerji balans hesabatları əsas götürülməklə paylayıcı şəbəkə üzrə işçi personalının mükafatlandırılması sistemi hazırlanmalı və tətbiq edilməlidir.

2. "Enerji resurslarından səmərəli istifadə və enerji effektivliyi haqqında" Azərbaycan Respublikasının qanunu, 9 iyul 2021-ci il.
3. *Стивен Стофт*. Экономика энергосистем. Введение в проектирование рынков электроэнергии, 2006.
4. *Воротницкий В.Э., Железко Ю.С., Казанцев В.Н. и др.* Потери электроэнергии в электрических сетях энергосистем, 1983.
5. *Yusifbəyli N.A.* Elektrik sistemlərində keçid prosesləri, Bakı- 2022.
6. *Рамазанов К.Н., Баламетов А.В.*, К вопросу повышения эффективности работы Азербайджанской энергосистемы. Проблемы энергетики, 2000, №1.
7. *İrfan Güney*, Şebeke kayıplarının azaltılması, Marmara Üniversitesi, 2016.
8. *Ibadov C. S.*, Energy efficiency is the main factor of effective management of energy systems, "Electroenergetics, electrotechnics, electromechanics+control", Baku – 2022, volume 12, No.1, pages 54-66.
9. *Ibadov C. S.*, Balance of electrical energy in electrical networks and commercial loss analysis, "Deutsche internationale Zeitschrift für zeitgenössische Wissenschaft", Germany – 2023, No.64, pages 8-17.
10. *İbadov Ç.Ş.*, Pivə və alkoqolsuz içkilərin istehsalı və satışının səmərəli təşkili, (monoqrafiya), Bakı, AMEA-İqtisadiyyat İnstitutu, 2002.
11. "Azərişiq" ASC, Satış, nəzarət, texniki və balans idarələrinin hesabatları, Bakı – 2022-2023.

ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ ПОТЕРЬ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ И ВОЗНАГРАЖДЕНИЮ РАБОЧЕГО ПЕРСОНАЛА

ИБАДОВ Ч.Ш.

Закон «Об электроэнергетике» вступит в силу 1 января 2024 года. Этот закон, регулирующий отношения между субъектами электроэнергетики, потребителями и государственными органами (учреждениями), осуществляющими деятельность в электроэнергетической сфере, связанные с производством, хранением, передачей, распределением, снабжением, экспортом и потреблением электрической энергии, позволит постепенно либерализовать экономическую деятельность отношений, в результате это будет стимулировать повышение эффективности электроэнергетической системы. Покупка потерь операторами систем передачи и распределения неизбежно потребует от инженерно-технического персонала сетей принятия серьезных мер в области снижения потерь и создания систем вознаграждения рабочего персонала в зависимости от эффективности этих мер. Либерализация энергетической системы сделает более актуальным определение эффективности мер по снижению потерь. В результате либерализации системы распределения и сбыта и сокращения потерь в электросетях ОАО "Азеришыг" экономический эффект ожидается на уровне 12-15 миллионов манатов ежегодно.

Ключевые слова: энергоэффективность, экономическая эффективность, энергетический баланс, вознаграждение труда персонала.

CHARACTERISTICS OF DETERMINING THE EFFICIENCY OF LOSS REDUCTION MEASURES IN ELECTRICAL NETWORKS AND REWARDING WORKING PERSONNEL.

IBADOV C.S.

The law "On Electric Power" will enter into force on January 1, 2024. This law, which regulates the relations between electric energy entities, consumers and state bodies

(institutions) operating in the electric energy sector, related to the production, storage, transmission, distribution, supply, export and consumption of electric energy, will gradually liberalize economic relations, as a result, it will stimulate the increase of efficiency in the electric energy system. The purchase of losses by transmission and distribution system operators will inevitably require the engineering and technical personnel of the networks to take serious measures in the field of loss reduction and the creation of systems for rewarding the working personnel depending on the efficiency of these measures. Liberalization of the energy system will make it more relevant to determine the efficiency of loss reduction measures. As a result of the liberalization of the distribution and sales system and the reduction of losses in the electricity networks of "Azerishiq" OJSC, the economic effect is expected to be 12-15 million manats annually.

Keywords: energy efficiency, economic efficiency, energy balance, remuneration of personnel.

DOI:10.70784/azip.5.2025245

Ag₂Se KRİSTALININ TERMoeLEKTRİK KEYFİYYƏTLİLİYİNİN ARTIRILMASINDA DEFEKTLƏRİN ROLU

¹EMİNOVA V.İ., ²HADIYEVA A.A.

¹Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti nəzdində
Azərbaycan-Fransız Universiteti (UFaz), Nizami küç. 183, Bakı AZ 1010.
vusala.eminova@ufaz.az

²Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti,
Bakı, AZ1010, Azadlıq prospekti, 20

Ag₂Se kristalında uyğun olaraq ~0,1 at.% Ag və ~1,0 at.% Se əlavələrində 100÷300K temperatur intervalında elektrik (σ) və termoelektrik (α_0) xassələri tədqiq olunmuşdur. Elektrikkeçirmə (σ), termo-e.h.q. (α_0) və istilikkeçirmənin (χ_{tot}) verilmiş qiymətləri əsasında termoelektrik gücü $\alpha_0^2\sigma$ və keyfiyyətliyi (Z) hesablanmışdır. Göstərilmişdir ki, elektronların konsentrasiyasının $n \approx 7,1 \cdot 10^{18} \text{sm}^{-3}$ qiymətində otaq temperaturunda $\alpha_0^2\sigma$ və Z maksimal qiymətə çatır. Termoelektrik həssaslığı isə öz maksimal qiymətini $T=100\text{K}$ və elektron konsentrasiyasının $n \approx 9,1 \cdot 10^{18} \text{sm}^{-3}$ qiymətində alır, hansı ki, elektron istilikkeçirməsi ümumi istilikkeçirmənin 20%-ni təşkil edir. Göstərilmişdir ki, α_0 , σ -nin artması və χ_{tot} -in azalması termoelektrik gücü və termoelektrik keyfiyyətliyi artırmasına səbəb olur. Eləcə də, Ag əlavəsi elektron konsentrasiyasını $\sim 6 \cdot 10^{20} \text{sm}^{-3}$ qiymətinə qədər artırır, Se əlavəsi isə, əksinə, $\sim 1 \cdot 10^{18} \text{sm}^{-3}$ qiymətinə qədər azaldır.

Açar sözlər: termoelektrik həssaslığı, termoelektrik gücü, termoelektrik keyfiyyətliyi, istilikkeçirmə, defekt.

Müasir elektron texnikasında kiçik qəfəs istilikkeçirməsinə və yükdaşıyıcıların böyük yürüklüyünə malik olan termoelektrik materiallarından geniş istifadə olunur. Bu materiallar həmçinin mürəkkəb zona quruluşuna malik olmalıdır. Belə xüsusiyyətlərə malik materialları gümüş halkogenidləri arasında tapmaq olar.

Bu tip materiallardan biri Ag₂Se-dir. Ag₂Se darzolaqlı yarımkəçiricilərə aid olub, elektronların və defektlərin yüksək konsentrasiyasına, həmçinin kiçik fonon istilikkeçirməsinə malikdir.

A.İ. İoffe müddəası [1] əsasında, yəni U/χ_{ph} (U -yükdaşıyıcıların yürüklüyü, χ_{ph} - fonon istilikkeçirməsi) nisbətinin materialın kinetik xassələrinin dəyişməsindən asılı olaraq böyük olması, kristal quruluşun əlavə defektlər hesabına təhrif olunması, yaradılan termoelektrik çevricilərin əsasını təşkil edir. Bunun üçün yükdaşıyıcıların yürüklüyü böyük, istilikkeçirməsi kiçik olan materiallar seçilir, bu şərtlə ki, bu prinsip geniş temperatur intervalını əhatə etsin. Bu nisbət o vaxt böyük olur ki, elektronun dalğa uzunluğu fononun dalğa uzunluğundan böyük olsun. Göstərilən şərt o vaxt ödənilir ki, səpilmələr defektlərdən (və ya aşqarlardan) olsun [2]. Nümunələr standart texnologiya üzrə alınmışdır [3].

Sayılan məxsusiliklər ola bilsin ki, Ag₂Se-də termoelektrik keyfiyyətliyi yüksək olması səbəbindəndir. Tam nəticə almaq üçün elektrikkeçirmə $\sigma(T)$, Holl əmsalı $R(T)$, termo e.h.q. $\alpha_0(T)$ və istilikkeçirmənin $\chi_{\text{ph}}(T)$ temperatur asılılıqları geniş tədqiq olunmuşdur. Ag₂Se-də ~1,0 at.% Ag və ~0,1 at.% Se əlavələrində alınan qiymətlər cədvəldə göstərilmişdir. Ag əlavəsi elektron konsentrasiyasını $\sim 6 \cdot 10^{20} \text{sm}^{-3}$ -ə qədər artmasına, Se əlavəsi isə $\sim 1 \cdot 10^{18} \text{sm}^{-3}$ -ə qədər azalmasına səbəb olur.

Məlum olduğu kimi [4,5], termoelementin əsas parametrləri δ (termoelementin effektivliyini xarakterizə edən kəmiyyət) və onun keyfiyyətliyi xarakterizə edən Z kəmiyyətidir. Onlar bir-biri ilə aşağıdakı şəkildə əlaqəlidir:

$$\delta = \frac{1}{\alpha_0} \cdot \frac{Z}{1 + ZT} \quad (1)$$

burada,

$$Z = \frac{\alpha_0^2 \sigma}{\chi_{tot}}$$

Cədvəldən göründüyü kimi, Ag₂Se-də konsentrasiya artdıqca χ_{tot} təqribən 4 dəfə artır. Bu çox böyük elektron istilikkeçirməsinin (χ_e) olmasından xəbər verir. Elektron və fonon istilikkeçirməsinin (χ_e və χ_{ph}) analiz etmək üçün ümumi istilikkeçirmədə χ_{tot} onların payını qeyd etmək vacibdir, harada

$$\chi_{ph} = \chi_{tot} - L\sigma T \quad (2)$$

Elektronların yürüklüyünün kiçik olduğu hallarda təcrübi olaraq təyin olunan $\chi_e = L\sigma T$ indiki halda mümkün deyil. Onun hesablanması üçün L/L_0 (L - Zommerfeld ədədi, L_0 - Lorens ədədinin təcrübi qiyməti) kəmiyyətini bilmək vacibdir. L/L_0 kəmiyyətinin qiyməti [6]-dan götürülmüşdür. Aparılan təcrübələr əsasında alınan χ_{ph} , α_0 və σ -nın təcrübi qiymətləri əsasında Z , δ (cədvələ bax) hesablanmışdır. Ag₂Se kristalında δ -nın ekstremumunun tədqiqi göstərdi ki, elektron istilikkeçirməsinin ümumi istilikkeçirmənin 20%-ni təşkil etdiyi konsentrasiyanın $\sim 9,1 \cdot 10^{18} \text{sm}^{-3}$ qiymətində δ maksimal qiymətə çatır.

Ag₂Se kristalında kinetik əmsallar və termoelektrik parametrləri.

Cədvəl

$n \cdot 10^{18} \text{cm}^{-3}$	T, K	α_0 , $\mu \text{K} \cdot \text{K}^{-1}$	σ , $\text{Om}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$	$\chi_{tot} \cdot 10^3$, $\text{W/cm}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	$Z \cdot 10^3$, K^{-1}	δ , $\text{K}(\mu\text{KV})^{-1}$
6,5	100	60	4000	11,0	1,44	0,016
	200	80	3100	9,0	2,20	0,012
	300	100	2200	6,7	2,28	0,010
7,1	100	50	6100	17	0,88	0,020
	200	68	5600	15	1,73	0,010
	300	86	5300	14	2,80	0,011
8,3	100	40	4700	12	0,63	0,025
	200	58	4100	10	1,37	0,017
	300	70	3300	9	1,80	0,014
9,1	100	27	5060	28	1,53	0,036
	200	35	4600	26	2,17	0,028
	300	40	3450	24	2,30	0,025

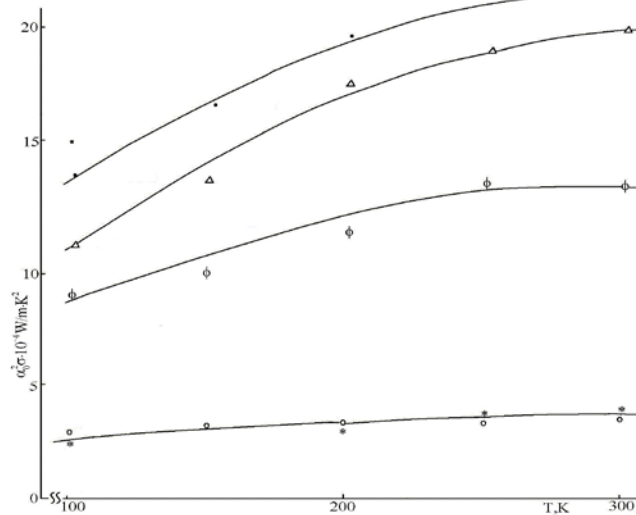
Göstərilmişdir ki, α_0 və σ -nın artması, həmçinin χ_{tot} -in azalması güc əmsalının $\alpha_0^2 \sigma$ və termoelektrik keyfiyyətliliyinin Z artmasına gətirir. Legirləmə $\alpha_0^2 \sigma$ və Z -in qiymətlərini çox az dəyişir, belə ki, Ag və Se-lə öz-özünə legirləmə Z -in qiymətinə çox ciddi təsir edir, şübhəsiz ki, bu məxsusi defektlərin sayının dəyişməsi ilə əlaqədardır [7,8].

Ag_{2-x}Se-də Z -in qiyməti təqribən $1,5 \div 2,4 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}$ -dir [9]. [10]-da toz şəklindən presslənmiş və 373÷623K temperatur intervalında Ag₂Se nümunələrində elektrikkeçirmə, termo-e.h.q. və istilikkeçirmə ölçülmüşdür və verilənlər əsasında Z kəmiyyəti hesablanmışdır. Z -in maksimal qiyməti $Ag/Se = 2 ; 2,28$ nisbətində dəyişir. Müəllif [10] n-tip termoelement alıb, hansı ki, otaq temperaturunda $Z \approx 3 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}$. Baxmayaraq ki, bu presslənmiş materialda Z yüksəkdir, δ və $\alpha_0^2 \sigma$ isə bizim tədqiq etdiyimiz nümunələrdəkindən kiçikdir. Bizim Z üçün aldığımız qiymət Ag₂Se-də Se-lə öz-özünə legirləmədə məxsusi defektlərin artması hesabına [9, 10]-da verilən qiymətlərdən daha yüksəkdir. $\chi_{ph}(T)$ -nin özünü bu cür aparması kifayət qədər defektli materiallara xasdır [11]. Ag₂Se kristalında elektrikkeçirmənin və onun elektron komponentinin dəyişməsinin müqayisəsi ümumi qanunauyğunluqla baş verir, belə ki, Ag₂Se-də bərk halda həmişə fonon istilikkeçirməsi elektron istilikkeçirməsindən böyükdür ($\chi_{ph} > \chi_e$). Bir qayda olaraq temperaturun artması ilə elektron istilikkeçirməsi də artır, fonon istilikkeçirməsi isə azalır (bütün effektlər faza keçidində sıçrayışla dəyişir). Ümumi istilikkeçirmə stexiometriyadan kənar çıxmaya və gümüş atomlarının artmasına həssasdır (cədvələ bax). Bu, ola bilsin ki, Ag

əlavələri olduqda elektron istilikkeçirməsinin artmasının fonon istilikkeçirməsinin azalmasına nisbətən daha intensiv baş verməsi ilə əlaqədardır. Defektlərin konsentrasiyasından belə güclü asılılıq istilikkeçirmənin digər komponentlərində də özünü göstərə bilər.

Belə nəticəyə gəlmək olar ki, Ag_2Se -də ümumi istilikkeçirmə təbiətə yükdaşıyıcıların spektrini dəyişməyə daha həssasdır, nəyinki fonon spektrini. Deməli, istilikkeçirmə məxsusi defektlərin təbiətini və onların xaraktercə dəyişməsinə təyin edir.

Eləcə də, aparılan araşdırmalara uyğun olaraq müxtəlif konsentrasiyalarda termoelektrik gücünün temperatur asılılığı qurulmuşdur.



Şək.1. Konsentrasiyanın $n \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ qiymətində termoelektrik gücünün temperatur asılılığı: Δ -6,5; \bullet - 7,1; ϕ - 8,3; \circ - 9,1; $*$ - 11.

Şəkildən görüldüyü kimi, $T \approx 300\text{K}$ -də konsentrasiyanın $n \approx 7,1 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ qiymətində σ və α_0 -in yüksək qiyməti hesabına güc əmsali $\alpha_0^2 \sigma$ maksimal qiymət alır. Baxmayaraq ki, $100 \div 300\text{K}$ temperatur intervalında temperaturun artması ilə σ azalır, α_0 isə artır. Göstərilən intervalda bütün nümunələrdə elektronların konsentrasiyası praktik olaraq dəyişmir. Deməli, σ -nin azalması yalnız temperaturun artması ilə elektronların yürüklüyünün U_n azalması səbəbindəndir. U_n -in azalması ($U_n \sim T^{-1,2}$ qanunu ilə) isə elektronların qəfəsin istilik rəqslərindən və defektlərdən səpilməsi ilə əlaqədardır. Defektlərin rolunu əlavə Se və Ag atomlarının vakansiyaları oynayır. Buna görə Se əlavəsi Ag əlavəsinə nisbətən ($R_{Ag} = 1,13 \text{ \AA}$) daha böyük ekranlama radiusu ($R_{Se} = 1,93 \text{ \AA}$) yaradır. Eyni zamanda fonon-fonon və fonon-defekt səpilmələrinin azalması hesabınadır ($\chi_{ph} \sim T^{-1,3}$) [6].

[12]-də göstərilmişdir ki, A_2B^{VI} , birləşmələrinin şüalanmasında radiasiya defektləri onların kinetik xassələrinə o qədər də ciddi təsir etmir (defektlərin konsentrasiyasının çox olması hesabına). Böyük plastiklik və yüksək mexaniki möhkəmlik, stabil kinetik xassələr və radiasiyaya davamlılıq imkan verir ki Ag_2Se kristalından nüvə termoelektrik qurğularında perspektiv material kimi istifadə edilsin.

1. Иоффе А.Ф. Полупроводниковые термоэлементы. Изд. АН СССР М.-Л. 1960, 112с.
2. Гуриева Е.А., Константинов П.П., Прокофьева Л.В., Равиг Ю.И., Федеров М.И. ФТП, 2003, т. 37, № 3, с.292.
3. Алиев Ф.Ф., Керимова Э.М., Алиев С.А. ФТП, 2002, т.36, в. 8, с.932.
4. Бугаев А.А., Захаргеня Б.П., Пыжов Л.Г., Стильбанс А.С., Чудновский Ф.А., Шер Э.М. ФТП, 1979, т.13, в.7, с.1446.
5. Агеев Ю.И., Акперов М.М., Кобахидзе К.З., Небугинов М.В., Стильбанс Л.С., Токарбаев Т.Т., Шер Э.М. Письма в ЖТФ, 1983, т.9, № 22, с.1396.

6. Алиев С.А., Алиев Ф.Ф., Гасанов З.С. Изв. АН СССР, серия неорг. материалы, 1990, т.26, в.8, с1767.
7. Avramova I.A., Plachkova S.K. Phys. Stat. Sol., A, 2000, v.179, №1, pp.171.
8. Plachkova S.K., Avramova I.A. Phys. Stat. Sol., A, 2001, v.184, №1, pp.195.
9. Горбачев В.В. В кн: Полупроводниковые соединения A_2B^{VI} . Москва "Металлургия" 1980, 132с.
10. Epstein A.S. J. Appl. Phys., 1963, v.34, №12, pp.3567.
11. Оскотский В.С., Смирнов И.А. В кн: Дефекты в кристаллах и теплопроводность. Наука, Л. 1972, 160с.
12. Охотин А.С., Олейницкий А.М., Саркисов А.А. В кн: Получение и поведение материалов в космосе. М. Наука, 1978, 108с.

РОЛЬ ДЕФЕКТОВ В УВЕЛИЧЕНИИ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДОБРОТНОСТИ В Ag_2Se

ЭМИНОВА В.И., ГАДИЕВА А.А.

В интервале температур 100÷300К исследованы электрические (σ) и термоэлектрические (α_0) свойства Ag_2Se с избытком Ag до ~0,1 at.% и Se до ~1,0 at.% соответственно. По данным σ , α_0 и χ_{tot} (теплопроводности) рассчитаны термоэлектрическая мощность $\alpha_0^2\sigma$ и добротности Z. Установлено, что при комнатной температуре при концентрации электронов $n \approx 7,1 \cdot 10^{18} \text{см}^{-3}$ $\alpha_0^2\sigma$ и Z достигают максимального значения. Исследование экстремума термоэлектрической чувствительности (δ) в Ag_2Se показывает, что δ достигает максимального значения при концентрации $n \approx 9,1 \cdot 10^{18} \text{см}^{-3}$, где электронная теплопроводность составляет 20% от χ_{tot} . Установлено, что увеличение α_0 , σ и уменьшение χ_{tot} приводят к увеличению коэффициента мощности $\alpha_0^2\sigma$ и Z. Избыток Ag приводит к увеличению концентрации электронов до $\sim 6 \cdot 10^{20} \text{см}^{-3}$, а Se к уменьшению до $\sim 1 \cdot 10^{18} \text{см}^{-3}$.

Ключевые слова: термоэлектрическая чувствительность, термоэлектрическая мощность, термоэлектрическая добротность, теплопроводность, дефект.

THE ROLE OF DEFECTS IN INCREASING OF THERMOELECTRIC FIGURE OF MERIT IN Ag_2Se

EMINOVA V.I., HADIYEVA A.A.

In the range of temperatures 100÷300K electrical, σ , and thermo electrical, α_0 , properties of with surplus of Se up to ~1.at.% and Ag up to ~0,1at.% have been investigated. By data of σ , α_0 , χ_{tot} (the total thermal conductivity), the thermo electrical power ($\alpha_0^2\sigma$) and figure of merit Z have been revealed that at room temperature at the electron concentration of $n \approx 7,1 \cdot 10^{18} \text{см}^{-3}$, $\alpha_0^2\sigma$ and Z reach maximum values. Thermoelectric sensitivity attain a maximum value in the temperature $T=100\text{K}$ and the electron concentration $n \approx 9,1 \cdot 10^{18} \text{см}^{-3}$, where the electron's thermal conductivity amounts to 20% of χ_{tot} . It is found that an increase in α_0 , σ and a decrease in χ_{tot} lead to an increase in the power factor ($\alpha_0^2\sigma$) and thermoelectric figure of merit (Z). The Ag excess leads to an increase in the electron concentration to $\sim 6 \cdot 10^{20} \text{см}^{-3}$, and the Se excess leads to its decrease to $\sim 1 \cdot 10^{18} \text{см}^{-3}$.

Keywords: thermoelectric sensitivity, thermoelectric power, thermoelectric figure of merit, thermal conductivity, defect.

DOI:10.70784/azip.5.2025249

BƏRK CİSİMLƏRİN ELEMENT VƏ İZOTOP TƏRKİBİNİN TƏDQIQI ÜÇÜN YENİ UÇUŞ KÜTLƏ SPEKTROMETRİNİN HAZIRLANMASI VƏ TƏTBİQİ

^{1,2}NURUBƏYLİ T.K.

¹Azərbaycan Respublikasının Elm və Təhsil Nazirliyi Fizika İnstitutu, H. Cavid prospekti, 131, Bakı, AZ-1073, Azərbaycan

t.nurubeyli@physics.science.az

²Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti, Azadlıq prospekti, 20, Bakı,

AZ-1010, Azərbaycan

omartarana@gmail.com

Müasir materialşünaslıqda, geologiyada, yarımkeçirici texnologiyasında və ətraf mühitin monitorinqində bərk cisimlərin elementar və izotop tərkibinin yüksək dəqiqliklə təyin olunması xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Bu məqsədlə geniş tətbiq sahəsinə malik olan İkinci İon Kütlə Spektrometriyası (İİKS) metodunun bir sıra üstünlükləri olsa da, bu metodun əsas çatışmazlıqlarından biri nümunə səthindən qopan ikinci ionların enerjisinin geniş yayılmasıdır ki, bu da analiz prosesində kəmiyyət və keyfiyyət göstəricilərinin dəqiqliyini məhdudlaşdırır. Məqalədə bu problemi aradan qaldırmaq üçün ionların bucaq, enerji və koordinatlar üzrə üçlü fokuslanmasını təmin edən, ox üzrə simmetrik elektrik sahəsinə malik Uçuş Müddətli (UM) kütlə spektrometrinin layihələndirilməsi, hazırlanması və eksperimental sınaq nəticələri təqdim olunur. Hazırlanmış cihazın konstruksiyası ikinci ion emissiyası rejimində yüksək həssaslıq və enerji seçiciliyini təmin edərək, müxtəlif növ bərk nümunələrin — metallardan tutmuş geoloji süxurlara qədər — keyfiyyətli və kəmiyyətli analizini aparmağa imkan verir.

Açar sözlər: uçuş Müddətli kütlə spektrometri, ikinci ion emissiyası, nisbi həssaslıq əmsalı, İkinci İon Kütlə Spektrometriyası.

I. Giriş

Bərk cisimlərin kütlə spektrometriyası (lazer, qığılıcı və ya ikinci ion emissiyası) zamanı əsas problemlərdən biri etibarlı kəmiyyət məlumatlarının əldə olunmasıdır. Kütlə spektrometriyası metodunun bir sıra üstünlüklərinə baxmayaraq, əldə olunan kütlə spektrinin tərkibi həmişə nümunənin real tərkibinə tam uyğun gəlmir. Bu uyğunsuzluğu aradan qaldırmaq məqsədilə daxili standartla müqayisədə elementlər üçün müəyyən edilən Nisbi Həssaslıq Əmsallarından (NHƏ) istifadə olunur [1,2].

Bu tədqiqatda nisbi həssaslıq əmsalının müəyyən edilməsinə və eksperimental şərtlər seçilərək bu əmsalın vahidə yaxınlaşdırılmasına diqqət yetirilmişdir. İşdə lazer, qığılıcı ionlaşdırılması və ikinci ion emissiyası (İİE) üsulları ilə aparılmış eksperimental nəticələr təqdim olunur. Lazer-plazma dəstəsinin dinamikası nəzərə alınaraq, ionlaşma, sürətləndirmə və rekombinasiya proseslərinə eksperimental parametrlərin (q və d) təsir şərtləri tədqiq edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, dəstənin ilkin ölçüsü dd tələb olunan yüklü ionların formalaşmasında mühüm rol oynayır. Bu, müxtəlif yüklü element ionlarının aşkar edilməsi üçün şəraitin proqnozlaşdırılmasına imkan yaradır [3,4].

Qığılıcı təsiri altında vakuumda bir sıra sadə maddələrin ionlaşma dərəcəsi barədə məlumatlara əsaslanaraq, qarışıqların aşkar edilmə həssaslığının (NHƏ) matriksin həssaslığına nisbəti ionlaşmış sadə maddələrin nisbəti kimi göstərilmişdir. Bu halda daxili standartlardan istifadə etmədən NHƏ-nin hesablanması üçün formula təqdim olunur.

Əksər qarışıqlar üçün aşkar etmə həddi atom faizinə bərabərdir. İkincili ion kütlə spektrometriyası ilə kəmiyyət ölçmələrində əsas çətinliklərdən biri müxtəlif elementlər üçün ikinci ion emissiya əmsallarının (İİE) kəskin fərqliliyi ilə bağlıdır. Bundan əlavə, bu əmsalların mütləq qiymətləri eksperimental şərtlərdən güclü şəkildə asılıdır. Çoxsaylı təcrübələr göstərir

ki, müxtəlif qarışıq element ionlarının nisbi çıxışı birinci və ikinci ionlaşma potensiallarından (ϕ varphi) asılıdır və kvadrat asılılıq göstərir. Bağlanma enerjisi ilə olan asılılıq atomlaşma prosesinə — yəni buxarlanan atomların sürətinin və enerjisinin ikinci ion çıxışına təsirini əks etdirir. Ən yüksək çıxış kiçik ionlaşma potensialına malik, lakin yüksək atomlaşma enerjisinə malik elementlərdə müşahidə olunur [5].

λ_1 əmsalı yalnız ion dəstəsinin radial istiqamətdə ilkin bucaq divergensiyası (α) səbəbindən baş verən genişlənməni xarakterizə edir və bu genişlənmə ion dəstəsinin ümumi uzunluğuna təsir göstərir.

Bərk cisimlərdə iz elementlərin və qarışıqların paylanması öyrənilməsində fiziki metodlardan geniş istifadə edilir. Bu metodlar arasında kütlə spektrometriyası mühüm yer tutur.

Elementar və izotop tərkibin təyini üçün kütlə spektrometriyasının üstünlüklərinə aşağıdakılar daxildir: nümunənin fiziki formasına (kompakt və ya toz) məhdudiyyətin olmaması, bir analiz zamanı 60-a qədər elementin müəyyən edilməsi, geniş kütlə diapazonu, nisbi yüksək (10^{-5} - $10^{-8}\%$) və mütləq (10^{-10} - 10^{-16} g) həssaslıq və s.[6]

Bu üstünlüklər kütlə spektrometriyasının ekoloji nümunələrin və sənaye materiallarının analizində geniş tətbiqinə şərait yaradır. Son illər təbii obyektlərin spesifik xüsusiyyətlərinə və bəzi texniki materialların tərkibinin öyrənilməsinə görə nümunələrin ionlaşdırılmasında ikinci ion emissiyasından geniş istifadə edilir. Lakin ikinci ion emissiyası fenomenindən elementar və izotop analiz üçün istifadə kütlə spektrometrlərinin ikiqat (üçqat) fokuslanmasını tələb edir. Bu, nümunə səthindən ilkin ionlar vasitəsilə qoparılan ikinci ionların geniş enerji yayılmasına görə zəruridir [1, 2].

Tədqiqatlar göstərir ki, ikinci ionların ilkin enerji dəyişməsi kifayət qədər geniş intervalda (0–100 eV) baş verir. Geniş enerji yayılmasına malik ion şüalarını analiz etməyə imkan verən kvadrupol kütlə spektrometrlərindən istifadə cəhdləri olmuşdur [3]. Lakin hesablamalar göstərir ki, Uçuş Müddətli (UM) kütlə spektrometrlərinin imkanları tam istifadə olunmamışdır.

Bu məqsədlər üçün enerji fokuslanma prinsipini texniki baxımdan həyata keçirən cihazların istifadəsi yeni imkanlar açır. Belə cihazlardan biri də ox üzrə simmetrik elektrik sahəsinə malik kütlə analizatorudur. Bu məqalə bərk cisimlərin və təbii obyektlərin elementar və izotop tərkibinin öyrənilməsi üçün ikinci ion emissiyası ilə işləyən ox simmetrik UM kütlə spektrometrinin hazırlanmasına və sınaqdan keçirilməsinə həsr olunmuşdur.

II. Nəzəri hissə

Məlumdur ki, Uçuş Müddətli (UM) kütlə analizatorlarının digər növ kütlə analizatorlarına nisbətən əsas üstünlüklərindən biri analiz müddətinin çox qısa olmasıdır ki, bu göstərici onlarla mikrosekund təşkil edə bilər. Bundan əlavə, UMK analizatorlarının tədqiq edilən ionların kütlə diapazonu praktik olaraq məhdudiyyətsizdir, həm bütöv kütlə spektrini, həm də onun ayrıca sahələrini eyni zamanda «panoramik» şəkildə izləmək mümkündür. Lakin UMK analizatorlarının tətbiq sahəsini uzun müddət məhdudlaşdıran əsas çatışmazlıq ilkin sürətlərin yayılması səbəbindən ayırma qabiliyyətinin (rezolyusiyanın) nisbətən aşağı olması ilə bağlı olmuşdur. Bu isə ionların eyni ekvipotensial müstəvi mənbəyində formalaşması zamanı müşahidə olunur [7].

Hal-hazırda ionların enerjisinin fokuslanması prinsipini texniki baxımdan həyata keçirən müxtəlif qurğular mövcuddur. Bu baxımdan daha perspektivli yanaşmalardan biri sektor tipli, ox üzrə simmetrik sahə elementlərinə malik UM kütlə analizatorlarının tətbiqidir.

Biz tərəfimizdən qeyri-bərabər enerji sahələrinə malik UM kütlə analizatoru modelləşdirilmişdir. Burada ionların analizatordan keçmə (tranzit) vaxtına təsir göstərən altı kiçik parametr nəzərə alınmışdır: ion dəstəsinin bucaq parametrləri α və β , dəstənin ölçülərinə aid nisbətlər S/r_0 və h/r_0 , ionların enerji divergensiyası $\Delta V/V_0$, kütlə yayılması $\Delta M/M_0$ və analizatorun potensial sapması $\Delta U/V_0$. Burada:

- α və β — ion dəstəsinin radial və ox istiqamətində divergensiya bucaqlarıdır;
- S/r_0 , h/r_0 — ion dəstəsinin ölçülərini xarakterizə edən ölçüsüz parametrlərdir;

- r_0 — ionların trayektoriyasının orta radiusudur;
- $V_0, \Delta V$ — ionların orta enerjisi və onun yayılma dərəcəsidir;
- U_0 — ionların trayektoriyasını əyən (sapdırıcı) potensialdır;
- $M_0, \Delta M$ — ionların orta kütləsi və onun yayılma dərəcəsidir.

Ox üzrə simmetrik sahədə ionların trayektoriyaları yuxarıda qeyd olunan yeddi parametrdən asılı olaraq [4]-də təsvir edilən üsulla hesablanmışdır. Həmçinin kütlə analizatorunda ionların tranzit vaxtının xətti yaxınlaşmada (linear approximation) hesablanması üçün ifadələr əldə edilmişdir.

$$t = \frac{r_0}{v_0} (T^{(0)} + \sum_{i=1}^7 T^{(i)} a_i) \quad (1)$$

$$T_1^{(i)} = \frac{1-k}{\omega^2} [1 + a_1 \lambda_1 (1-k)] + \frac{\lambda_1}{\omega} (1-k) \sin \omega \psi - \frac{1-k}{\omega^2} [1 + a_1 \lambda_1 (1-k)] \cos \omega \psi$$

$$T_2^{(i)} = 0$$

$$T_3^{(i)} = \frac{a_1}{\omega^2} (1-k^2) + \frac{1-k}{\omega} \sin \omega \psi - \frac{a_1}{\omega^2} (1-k^2) \cos \omega \psi$$

$$T_4^{(i)} = 0$$

$$T_5^{(i)} = \left[\frac{(1-k)^2}{2\omega^2} - \frac{1}{2} \right] \psi - \frac{(1-k)^2}{2\omega^3} \sin \omega \psi - \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2}$$

$$T_6^{(i)} = \left[\frac{(1-k)^2}{2\omega^2} + \frac{1}{2} \right] \psi - \frac{(1-k)^2}{2\omega^3} \sin \omega \psi - \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2}$$

$$T_7^{(i)} = \frac{1}{2} \left[\frac{a_2(1-k)}{\omega^2} + \psi \right] - \frac{a_1(1-k)}{2\omega^2} \cos \omega \psi$$

Burada $T(0) = \lambda_1 + \lambda_2 + \psi$ ifadəsi ionların analizatorunda maneəsiz (perturbasiyasız) keçmə vaxtını göstərir. λ_1 və λ_2 müvafiq olaraq analizatorun birinci və ikinci sahəsiz hissələrində ionların keçmə vaxtıdır. ψ isə ionların radial elektrik sahəsində dönmə bucağıdır. ΔT isə ion dəstəsinin tranzit vaxtında yeddi kiçik parametrlərin xətti yaxınlaşmada təsiri nəticəsində yaranan dəyişiklikləri xarakterizə edir [8,9].

Beləliklə, ümumi tranzit vaxtı t aşağıdakı parametrlərlə müəyyən olunur: sahənin elektrik və maqnit qüvvələrinin nisbəti k , sahənin analizatorunda paylanması xarakterizə edən ω_1 , giriş sərhədinin maililik əmsali a_1 və ionların sahəyə daxilolma bucağı. Bu parametrlər üçün bütün analitik ifadələr [5]-də verilmişdir. Tənlilər həll edildikdə ion tranzit vaxtının fokuslanma şərti aşağıdakı kimi olur:

$$eV_0 / U_0 = \omega_2, \quad \omega \psi = 2n\pi, \quad (n = 0, 1, 2, \dots)$$

Burada eV_0 — ionun enerjisi, U_0 — orta trayektoriya üçün potensial, ω_2 — elektrik sahəsinin radial paylanma funksiyasıdır, $\omega \psi$ isə radial sahədə dönmə bucağını göstərir.

Araşdırmalar göstərmişdir ki, bu şərtin həlli aşağıdakı kimidir:

$$\psi = 2n\pi \quad (n = 0, 1, 2, \dots)$$

Elektrodlar vasitəsilə keçən ion trayektoriyalarının təhlili göstərir ki, bu şərt ionların orta trayektoriya ətrafında hərəkətinin simmetriyası ilə izah olunur. Yəni ionların orta trayektoriyasının bir tərəfində keçdiyi məsafə digər tərəfində keçilən məsafəyə bərabərdir. Bu isə o deməkdir ki, fərqli divergensiya bucaqlarına (α, β), ilkin enerji yayılmasına (ΔV) və giriş koordinatlarına (S və h) malik ionlar dönmə bucağı şərtini ödədikdə fokuslanırlar:

$$\psi = 2n\pi$$

Kütlə analizatorunun dispersiyası müxtəlif kütlələrə malik ion dəstəsinin keçmə vaxtları fərqi kimi müəyyən olunur:

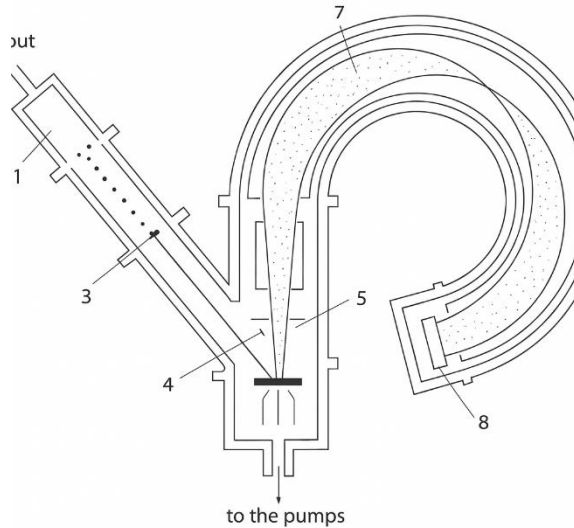
$$D = T(M + \Delta M) - T(M)$$

Bu ifadələrə əsaslanaraq ox üzrə simmetrik elektrik sahəsinə malik UMK analizatorunun struktur elementləri hesablanmış və hazırlanmışdır. Nəticədə hazırlanan cihaz 500-dən artıq həll qabiliyyətinə və $10^{-6}\%$ səviyyəsində nisbi həssaslığa malikdir.

III. Nəticələr və müzakirələr

Eksperimental tədqiqatlar Şəkil 1-də təqdim edilən qurğu üzərində həyata keçirilmişdir. İlk ion mənbəyi kimi argon mühitində qövs boşalması istifadə edilmişdir. Argon ionları katoda çataaraq, onun ortasında yerləşən dəlikdən keçmiş, 4–5 keV enerji ilə sürətləndirilərək sıxlaşdırılmış şüa şəklində 45 dərəcə bucaq altında hədəfə yönləndirilmişdir [10,11].

Nümunədən qopan ikinci ionların toplanması, ilkin sürətləndirilməsi və fokuslanması dalma linzası (pozisiya 5) vasitəsilə həyata keçirilmişdir. Fərqli kütlələrə malik ikinci ionların optimal toplanma şərtləri nümunə ilə linzanın birinci elektrodu arasındakı məsafənin tənzimlənməsi ilə seçilmişdir. Kütlə analizatoruna daxil olan ionların enerjisi 1200 eV təşkil etmişdir. İkinci ionlar analizatorunda kütlələrinə görə ayrılmış, ikinci elektron çoxaldıcısı (İEC-7) ilə aşkar edilmiş və iki kanallı C1-64 osiloskopu vasitəsilə qeyd olunmuşdur. Tədqiqatlar müxtəlif fiziki xassələrə malik 22-yə yaxın təmiz metallar üzərində aparılmışdır. Bu şəkillər çoxsaylı ölçmələrdən seçilmişdir. Reproduksiyanın çox da yüksək olmaması ($\sim 50\%$) nümunə səthinin dəfələrlə bombardmanı tələb etmişdir.



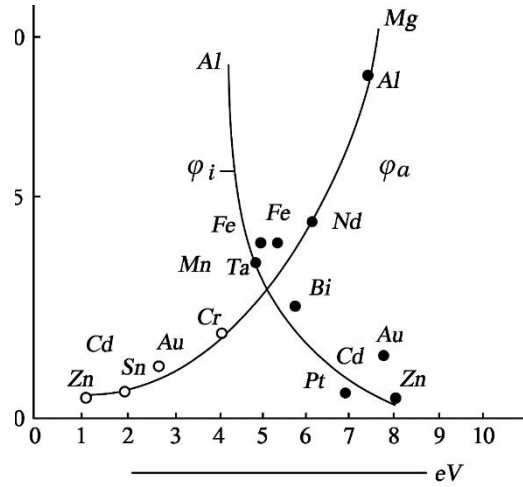
Şək.1. İkinci ion kütlə spektrometriyası üçün eksperimental qurğu:

- 1 — qaz boşalması; 2, 3 — ilkin ionların ion-optik sistemi;
- 4 — nümunə; 5 — ikinci ionların ion-optik sistemi;
- 6 — ox üzrə simmetrik sahə; 7 — kütlə analizatoru; 8 — ion detektoru.

Alınan kütlə spektrlərinə əsaslanaraq matris və qarışıq elementlərin nisbi ion çıxışı təhlil edilmişdir ki, bu da həm praktik baxımdan, həm də ikinci ionların yaranma mexanizminin bəzi xüsusiyyətlərini anlamaq baxımından maraqlıdır. Məsələn, hədəfin təbiətindən asılı olaraq ion emissiya intensivliyi üç böyüklük sırasına qədər dəyişə bilər (məsələn, Mg və Au). Bu, təbii olaraq, analiz həssaslığının maqnezium üçün $5,5 \times 10^{-7}\%$ -dən qızıl üçün $5 \times 10^{-3}\%$ -ə qədər dəyişməsinə səbəb olur. Qeyd edək ki, bu həssaslıq limit göstərici deyildir.

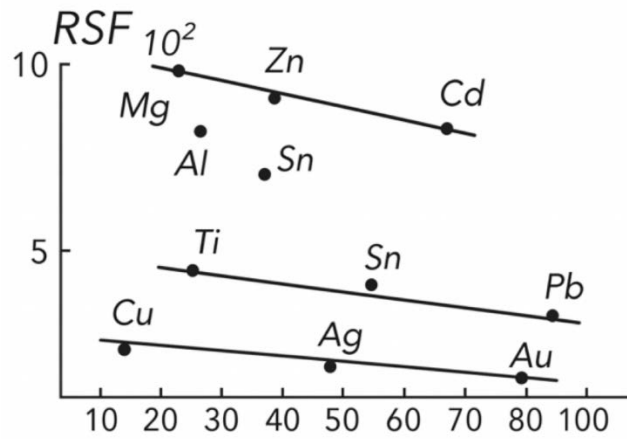
[6]-da ikinci ion kütlə spektrometriyasının (İİKS) həssaslıq həddini müəyyən edən çoxsaylı amillərin nəzəri təhlili aparılmışdır. Aparılan hesablamalar göstərmişdir ki, ikinci elektron çoxaldıcısı (İEC) aşağı səs-küy səviyyəsinə malik olduqda ikinci ion cərəyanı 10^{-8} A olan kütlə spektrlərini əldə etmək mümkündür ki, bu da detektorun dinamik diapazonunda ion cərəyanının doqquz böyüklük sırasına uyğun gəlir. İdeal şərtlər altında (piklərin üst-üstə düşməməsi; ilkin ionların zərərli təsirinin olmaması; tədqiq olunan atom kütlələrinin böyük fərqləri) qarışıq konsentrasiyalarını $10^{-8}\%$ -dən də az səviyyədə aşkar etmək mümkündür.

Müxtəlif elementlərin ionlaşma potensialı və atomlaşma enerjisi ilə onların nisbi ion çıxışı arasındakı korrelyasiya tədqiqatının nəticələri Şəkil 3-də göstərilmişdir. Şəkildən görünür ki, ən yüksək çıxış ionlaşma potensialı aşağı, lakin atomlaşma enerjisi böyük olan elementlər üçün müşahidə olunur.



Şəkil 2. Müxtəlif metalların ionlaşma potensialı (ϕ_i) və atomlaşma enerjisindən (ϕ_a) asılı olaraq nisbi ion çıxışı

Əldə edilən məlumatlar elementlərin dövrü cədvəldə yerləşməsindən asılı olaraq nisbi çıxışlarla müqayisə edilmişdir. Tədqiqatlar göstərmişdir ki, dövrü cədvəlin eyni sətrində yerləşən əksər metallar üçün nisbi ion çıxışı atom nömrəsi z və ya əsas kvant sayı n artdıqca xətti şəkildə azalır (Şəkil 3). Şəkildən görünür ki, hər sıra üçün bu azalma z ilə xətti asılılığa malikdir və müxtəlif qruplar üçün düz xətlər bir-birinə paraleldir.



Şəkil 3. Dövrü cədvəldə sıra nömrəsindən asılı olaraq Nisbi Həssaslıq Əmsalının (RSF) dəyişməsi.

Bu əyrilərin belə davranışı belə izah edilə bilər: dövrü sistemin bir sətrindəki elementlər izoelektronikdir, yəni xarici elektronlarının sayı eynidir, z artdıqca ikinci ionların intensivliyinin kəskin azalması isə, görünür, daxili elektron qatlarının emissiya prosesinə təsiri ilə əlaqədardır. Problemin bu cür formalaşdırılması ilkin hissəcik ilə metal atomları arasında enerji mübadiləsini izah edən bir neçə yanaşmanı a priori istisna edir. Bu mexanizmlər arasında radiasiya nəzəriyyəsi, nəzəri və impuls nəzəriyyəsi daxildir.

NƏTİCƏ

Nəzəri və təcrübi tədqiqatlar, enerji yayılması olan ikinci ionların TOF kütlə analizatoru vasitəsilə araşdırılmasının mümkünlüyünü və 10^{-6} kütlə %-ə qədər yüksək nisbi həssaslığın əldə oluna biləcəyini göstərmişdir. Bu, İKS analizinin təkcə kimyəvi tərkibin deyil, həm də xüsusilə üzvi birləşmələr üçün molekulyar quruluşun təhlili baxımından böyük imkanlar açır. Eksperimental olaraq, ikinci ionların nisbi çıxımının atomlaşma enerjisi (φ_a) və ionlaşma potensialından (φ_i) asılılığı müəyyən edilmişdir.

Tədqiqat çərçivəsində həmçinin nisbi həssaslıq əmsallarının (NHƏ) dəqiqliklə təyini üçün eksperimental parametrlərin optimallaşdırılması məsələsinə də toxunulmuşdur. Bu yanaşma elementlərin ionlaşma və atomlaşma enerjilərinin nəzərə alınması ilə ikinci ionların spektral çıxışını proqnozlaşdırmağa və nəticədə ölçmələrin təkrarolunma dəqiqliyini artırmağa imkan verir.

Təqdim edilən nəticələr göstərir ki, inkişaf etdirilən UM kütlə spektrometriyası kompleksi bərk cisimlərin tərkibinin yüksək dəqiqliklə təyini üçün perspektivli alət olaraq ətraf mühitin monitorinqi, yeni materialların hazırlanması və yüksək texnologiyalı sahələrdə effektiv tətbiq oluna bilər.

1. *Cherepin V.T., Vasiliev M.A.*, "Secondary Ion Emission of Metals and Alloys", Naukova Dumka, Russia, Issue 4, p. 237, 1988.
2. *Fainberg V.S., Ramendik G.I.*, "On the Possibility of Quasi-Equilibrium Model Describing the Relative Yield of Secondary Ions in the Mass Spectrometry", Journal of Analytical Chemistry, Russia, Vol. 8 pp. 241-249, 1991.
3. *Benninghoven A., Loebach E.*, Rev. Scientific Instrumentation, Vol. 62, No. 149, pp. 47-54, 1991.
4. *Sysoev A.A., Samsonov G.A.*, "Theory and Calculation of Static Mass Analyzers - Parts I and II", Moscow, Russia, Ed. MIFI, 1985.
5. *Nurubeyli T.K.*, "Axially Symmetric Mass Analyzer", A Series of Physics and Mathematics, and Technical Sciences, Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, Azerbaijan, No. 2, pp. 112-119, 2007.
6. *Nuriyev K.Z., Mamedov N.A., Nurubeyli T.K.*, "The Influence of Volume Charge of Ions to the Disperse Feature of Time-Span Mass-Spectrometer", Abstracts Second Int. Symposium on Mathematical and Computational Applications, Azerbaijan, p. 84, 1999.
7. *Nurubeyli T.K., Mahmudova M.C.* Influence of spatial charge and leasing effects on the dispersion characteristics of axial-symmetrical energy and mass-analyzer //The first Int. Conf. of Technical and Physical Problems (TPE) in Power Engineering, 2002, Baku, p. 387-388.
8. *Nuruyev K.Z., Askerov Sh.G., Nurubeyli T.K.* Chromate – mass – spectrometer for investigation of ecological condition of the atmosphere // Conf. proceeding of the Second Int. conf. on TPE 2004. Tabriz, p.527 – 530
9. *Hashimov A.M., Nuruyev K.Z., Gurbanov K.B., Nurubeyli Z.K., Nurubeyli T.K.* The elimination of the limitation of dispersion characteristics of Time-of-flight mass analyzed with axial-symmetric field //16th Int. Mass – spectrometry Conf. Edinburg. 2003, p. 149.
10. *Nurubeyli Z.K., Nuriyev K.Z., Gurbanov K.B., Nurubeyli T.K.* "Mass - spectrometer for analysis of solids" International Conference on Technical and Physical problems of Power Engineering, 5-7 september 2012 Fredrikstad, Norway page 323-326
11. *Nurubeyli Z.K., Gurbanov K.B., Nuriyev K.Z., Khudiyev A.T.* "Molecular structure of ions in fluorine contain dielectrics at the secondary ions mass – spectrometry (SIMS)" International Conference on Technical and Physical problems of Power Engineering, Levkosha, 7-9 July 2011 page 336-340

РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ НОВОГО ВРЕМЯПРОЛЁТНОГО МАСС-СПЕКТРОМЕТРА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТНОГО И ИЗОТОПНОГО СОСТАВА ТВЕРДЫХ ТЕЛ

НУРУБЕЙЛИ Т.К.

В современной материаловедении, геологии, полупроводниковых технологиях и мониторинге окружающей среды особо важно высокоточное определение элементного и изотопного состава твёрдых тел. Несмотря на ряд преимуществ метода Вторичной Ионной Масс-Спектрометрии (ВИМС), который широко применяется для этих целей, одним из его основных недостатков является широкий энергетический разброс вторичных ионов, выбиваемых с поверхности образца, что ограничивает количественную и качественную точность анализа. В статье представлены проектирование, разработка и результаты экспериментальных испытаний Времяпролётного (ВП) масс-спектрометра с осесимметричным электрическим полем, обеспечивающим тройную фокусировку ионов по углу, энергии и координатам для устранения данной проблемы. Конструкция созданного прибора в режиме вторичной ионной эмиссии обеспечивает высокую чувствительность и энергетическую селективность, что позволяет проводить качественный и количественный анализ различных твёрдых образцов — от металлов до геологических пород.

Ключевые слова: времяпролётный масс-спектрометр, вторичная ионная эмиссия, относительный коэффициент чувствительности, масс-спектрометрия вторичных ионов.

DEVELOPMENT AND APPLICATION OF A NEW TIME-OF-FLIGHT MASS SPECTROMETER FOR THE INVESTIGATION OF THE ELEMENTAL AND ISOTOPIC COMPOSITION OF SOLIDS

NURUBEYLI T.K.

In modern materials science, geology, semiconductor technology, and environmental monitoring, the precise determination of the elemental and isotopic composition of solids is of particular importance. Although the Secondary Ion Mass Spectrometry (SIMS) method, which has a wide range of applications for this purpose, offers several advantages, one of its main limitations is the broad energy distribution of secondary ions emitted from the sample surface. This significantly restricts the quantitative and qualitative accuracy of the analysis. This paper presents the design, development, and experimental test results of a Time-of-Flight (TOF) mass spectrometer equipped with an axially symmetric electric field that enables triple focusing of ions in terms of angle, energy, and coordinates, in order to overcome this issue. The construction of the developed instrument ensures high sensitivity and energy selectivity in the secondary ion emission mode, making it possible to perform both qualitative and quantitative analysis of various solid samples — from metals to geological rocks.

Keywords: time-of-flight mass spectrometer, secondary ion emission, relative sensitivity coefficient, Secondary Ion Mass Spectrometry.

DOI:10.70784/azip.5.2025256

AŞAĞI TEMPERATURLU PLAZMADA ELEKTRİK SAHƏSİ İNTENSİVLİYİ RƏQSLƏRİNİN MODULLAŞMASI

ABDİNOV Ə.Ş., HÜSEYNOV T.X.

Bakı Dövlət Universiteti
abdinov-axmed@yandex.ru
htarlan@mail.ru

Aşağı temperaturlu plazmada elektrik sahəsi intensivliyi rəqslərinin modullaşması tədqiq edilmiş və məlum olmuşdur ki, əgər metastabil səviyyələrdə diffuziya prosesi nəzərə alınmırsa, onda tezlik və metastabil atomların yaşama müddətlərinin tərs qiymətləri sıfıra yaxınlaşdıqda, elektrik sahəsinin amplitud qiyməti də sıfıra yaxınlaşar. Pilləli ionlaşma rejimində metastabil səviyyələr ancaq elektron zərbəsi ilə dağılır, boşalmanın statik volt-ampere xarakteristikası ənənəvi xarakterli olmur və cərəyanın bir qiymətindən digərinə keçidi birbaşa ionlaşma rejimində olduğu kimi baş verir, yəni plazmada elektron konsentrasiyası sabit qalır.

Açar sözlər: qaz boşalması, aşağı temperaturlu plazma, elektrik sahəsinin modullaşması, metastabil səviyyələr, pilləli ionlaşma, birbaşa ionlaşma, statik volt-ampere xarakteristika.

Müxtəlif növ ion cihazlarında, qaz lazerlərində və maqnitohidrodinamik generatorlarda işçi mühit kimi qaz boşalması plazmasından istifadə edilir. Odur ki, qaz boşalması plazmasında baş verən elementar proseslər müasir dövrdə də geniş tədqiq edilir. Buna səbəb, ion cihazlarında işçi mühit kimi istifadə edilən qaz boşalması plazmasının idarə olunması, onlarda baş verən qeyri-dayanıqsızlıqların aradan qaldırılması və alınan nəticələrin elmi baxımdan böyük əhəmiyyət kəsb etməsidir.

Aşağı temperaturlu qaz boşalması plazmasında baş verən elementar proseslər daha kəskin xarakter daşıyır. Odur ki, aşağı temperaturlu qaz boşalması plazmasında elektrik sahəsi intensivliyi rəqslərinin modullaşması prosesinin öyrənilməsi xüsusi maraq doğurur. Bu məqsədlə, Y.M. Kaqanın, V.M. Milenin, A.X. Muradovun [1] və T.X. Hüseynovun [2, 3] aparıqları tədqiqat işlərinin xüsusi əhəmiyyət kəsb etdiyini qeyd etmək olar. Həmin tədqiqatlardan məlum olmuşdur ki, qaz boşalması plazmasında elektrik sahəsi intensivliyinin rəqslərini modullaşdırmaq olar. Lakin qaz boşalması plazmasının müxtəlif rejimlərində elektrik sahəsi intensivliyi rəqslərinin modullaşması prosesi isə az öyrənilmişdir. Təqdim etdiyimiz iş məhz həmin proseslərə həsr edilir.

Zamandan asılı olaraq, aşağı temperaturlu müsbət sütundan keçən tam cərəyan şiddəti aşağıdakı ifadə ilə təyin edilir [4-7]:

$$J(t) = eg(r_0)b_e n_e(t)E(t). \quad (1)$$

Burada $g(r_0) = 2\pi \int_0^R I_0\left(2,4 \frac{\rho}{r_0}\right) \rho d\rho$ və fərz edilir ki, müsbət sütunun radiusu üzrə elektronların konsentrasiyası Bessel funksiyası üzrə paylanıb.

Atomun sadələşdirilmiş üç səviyyəli modeli üçün tənliklər sistemindən istifadə edərək, atom səviyyələrini “0”-la normal, “m” indeksi ilə metastabil və “i” ilə ionlaşma səviyyələrini işarə edərək, pilləli ionlaşma rejimində metastabil atomlar və elektronlar üçün balans tənliklər sistemini:

$$\frac{dN_m}{dt} = N_0 \alpha_{0m}(E) n_e(t) - \left[\alpha_m n_e(t) + \frac{1}{\tau_m} \right] N_m \quad (2)$$

$$\frac{dn_e}{dt} = N_0 \alpha_{0i}(E) n_e(t) + N_m(t) \alpha_{mi} n_e(t) - \frac{n_e(t)}{\tau_a}. \quad (3)$$

Burada $J(t)$ – boşalma cərəyanı, N_0 , N_m , n_e – normal atomların, metastabil atomların və elektronların konsentrasiyaları, $\alpha_{0m} = \overline{\sigma_{0m} v}$, $\alpha_{0i} = \overline{\sigma_{0i} v}$ – uyğun olaraq elektron zərbəsi ilə birbaşa həyəcanlaşma və birbaşa ionlaşma reaksiyalarının sürətini xarakterizə edən əmsallar

(ortalama elektronların sürətlərə görə paylanmasına görə aparılıb), α_m və α_{mi} – elektron zərbəsilə metastabil səviyyənin dağılma və metastabil atomun pilləli ionlaşma sürətlərini xarakterizə edən əmsallar, τ_a və τ_m – elektronların ambipolyar diffuziya və metastabil atomların diffuziya proseslərində yaşama müddətləri, b_e – elektronların yürüklüyü, r_0 – borunun radiusudur.

Qəbul edək ki, boşalma cərəyanı $\mathcal{J}(t)$ periodik qanunla dəyişir:

$$\mathcal{J}(t) = \mathcal{J}_0 + \mathcal{J}_1 e^{i\omega t}. \quad (4)$$

Elektrik sahəsi rəqslərinin modullaşma əmsalının kiçik olduğunu nəzərə alsaq: $\mathcal{J}_1 \ll \mathcal{J}_0$, onda $E(t)$, $N_m(t)$ və $N_e(t)$ kəmiyyətləri də həmin qanunla dəyişəcək:

$$\begin{aligned} E(t) &= E_0 + E_1 e^{i\omega t}, \\ N_m(t) &= N_{m0} + N_1 e^{i\omega t}, \\ n_e(t) &= n_0 + n_1 e^{i\omega t}. \end{aligned} \quad (5)$$

Burada E_1 , N_1 və n_1 – kompleks amplitudlar və $|E_1| \ll E_0$, $|N_1| \ll N_0$, $|n_1| \ll n_0$.

Qəbul etdiyimiz α_m , α_{mi} , τ_a və b_e kəmiyyətləri qaydaya görə, sahədən zəif asılı olur, ona görə də (1 - 3) tənliklər sisteminin xəttləşdirilməsində bu asılılığı nəzərə almamaq olar. α_{0m} və α_{0i} kəmiyyətləri sahədən kəskin asılı olduqda, cərəyanın və qazın təzyiqinin geniş diapazonunda bu kəmiyyətlərin elektronların konsentrasiyasından asılıqlarını nəzərə almamaq olar. α_{0m} və α_{0i} kəmiyyətlərini aşağıdakı şəkildə sıraya ayıra bilərik:

$$\begin{aligned} \alpha_{0i}(t) &= \alpha_{0i}(E_0) + \frac{d\alpha_{0i}}{dE} E_1 e^{i\omega t} + \frac{1}{2} \frac{d^2\alpha_{0i}}{dE^2} E_1^2 e^{2i\omega t} + \dots \\ \alpha_{0m}(t) &= \alpha_{0m}(E_0) + \frac{d\alpha_{0m}}{dE} E_1 e^{i\omega t} + \frac{1}{2} \frac{d^2\alpha_{0m}}{dE^2} E_1^2 e^{2i\omega t} + \dots \end{aligned} \quad (6)$$

(5)-i (6)-da və (1 - 3) tənliklər sisteminə nəzərə alsaq və xəttləşdirsək, onda MS-nun stasionar nəzəriyyəsinin adi tənliklərinin \mathcal{J}_0 , E_0 , N_{m0} və N_0 sabit toplananlarının ifadələrini alırıq:

$$\mathcal{J}_0 = eb_e g n_0 E_0 \quad (7)$$

$$N_0 \alpha_{0m} n_0 - \left(\alpha_m n_0 + \frac{1}{\tau_m} \right) N_{m0} = 0 \quad (8)$$

$$N_0 \alpha_{0i} n_0 + N_{m0} \alpha_{mi} n_0 - \frac{n_0}{\tau_a} = 0. \quad (9)$$

Elektrik sahəsi rəqslərinin dəyişən toplananlarının kompleks amplitudları üçün:

$$E_1 = \frac{E_0}{n_0} \left(\frac{\mathcal{J}_1}{eb_e g E_0} - n_1 \right) \quad (10)$$

$$\left(i\omega + \alpha_m n_0 + \frac{1}{\tau_m} \right) N_1 + \left(N_0 \frac{d\alpha_{0m}}{dE} E_0 + \alpha_m N_{m0} - \alpha_{0m} N_0 \right) n_1 = \frac{N_0}{eb_e g} \frac{d\alpha_{0m}}{dE} \mathcal{J}_1 \quad (11)$$

$$-\alpha_{mi} n_0 N_1 + \left(N_0 \frac{d\alpha_{0i}}{dE} E_0 + i\omega \right) n_1 = \frac{N_0}{eb_e g} \frac{d\alpha_{0i}}{dE} \mathcal{J}_1 \quad (12)$$

və ya

$$(i\omega + A_1) N_1 + B_1 n_1 = C_1 \mathcal{J}_1 \quad (13)$$

$$A_2 N_1 + (i\omega + B_2) n_1 = C \mathcal{J}_1. \quad (14)$$

(13-14) ifadələrində aşağıdakı işarələmələr qəbul edilmişdir:

$$\begin{aligned} A_1 &= \alpha_m n_0 + \frac{1}{\tau_m}; B_1 = N_0 \frac{d\alpha_{0i}}{dE} E_0 + \alpha_m N_{m0} - \alpha_{0m} N_0; \\ C_1 &= \frac{N_0}{eb_e g} \frac{d\alpha_{0m}}{dE}; A_2 = -\alpha_{mi} n_0; B_2 = N_0 \frac{d\alpha_{0i}}{dE} E_0; C_2 = \frac{N_0}{eb_e g} \frac{d\alpha_{0i}}{dE}. \end{aligned} \quad (15)$$

Bu halda $A_1 > 0$, $C_1 > 0$, $B_2 > 0$, $C_2 > 0$, $A_2 < 0$. Əgər α_{0m} (xətti haldakına nisbətən) kəmiyyətinin sahənin artması ilə artdığını fərz etsək, onda $B_1 > 0$ olduğunu qəbul etmək olar.

(13 – 14) tənliklər sisteminin həllini:

$$n_1 = \frac{C_1 A_2 - A_1 C_2 - i C_2 \omega}{A_2 B_1 - A_1 B_2 + \omega^2 - i(A_1 + B_2)\omega} \mathcal{J}_1 \quad (16)$$

$$N_1 = \frac{B_2 C_1 + i C_2 \omega - C_2 B_1}{(A_1 + i\omega)(B_2 + i\omega) - A_2 B_1} \mathcal{J}_1. \quad (17)$$

(16)-i (10)-də yazsaq, E_1 – üçün ifadəni tapa bilərik. Əlavə olaraq, aşağıdakı işarələmələri də daxil etsək:

$$\begin{aligned} C_1 A_2 - A_1 C_2 &= P < 0; B_2 + A_1 = R > 0; \lambda = \frac{1}{eb_e g E_0}; \\ A_2 B_1 - A_1 B_2 &= Q < 0; C_2 B_1 - C_1 B_2 = S < 0. \end{aligned} \quad (18)$$

Onda həqiqi və xəyali hissələri bir-birinə bölüb, n_1 , N_1 və E_1 üçün aşağıdakı ifadələri alırıq:

$$n_1 = \frac{(PQ + P\omega^2 + C_2R\omega^2) + (PR - C_2Q - C_2Q^2)i\omega}{(Q + \omega^2)^2 + R^2\omega^2} J_1 \quad (19)$$

$$N_1 = \frac{(SQ + S\omega^2 + C_1R\omega^2) + (RS - C_1Q - C_1\omega^2)i\omega}{(Q + \omega^2)^2 + R^2\omega^2} J_1 \quad (20)$$

$$E_1 = \frac{E_0}{n_0} \frac{\lambda(Q + \omega^2)^2 + \lambda R^2\omega^2 - (PQ + P\omega^2 + C_2R\omega^2) - i\omega(PR - C_2Q + C_2Q^2)}{(Q + \omega^2)^2 + R^2\omega^2} J_1 \quad (21)$$

φ_n , φ_N , φ_E faza sürüşmələrinin və A_n , A_N , A_E amplitudların ifadələrini yazaq:

$$\operatorname{tg}\varphi_n = \frac{(PR - C_2Q - C_2Q^2)\omega}{PQ + (P + C_2R)\omega^2} \quad (22)$$

$$A_n = J_1 \frac{\sqrt{(PQ + P\omega^2 + C_2R\omega^2)^2 + (PR - C_2Q - C_2Q^2)^2\omega^2}}{(Q + \omega^2)^2 + R^2\omega^2} \quad (23)$$

$$\operatorname{tg}\varphi_N = \frac{(SR - C_1Q - C_1\omega^2)\omega}{SQ + (S + C_1R)\omega^2} \quad (24)$$

$$A_N = J_1 \frac{\sqrt{(SQ + S\omega^2 + C_1R\omega^2)^2 + (SR - C_1Q - C_1\omega^2)^2\omega^2}}{(Q + \omega^2)^2 + R^2\omega^2} \quad (25)$$

$$\operatorname{tg}\varphi_E = \frac{(C_2\omega^2 + C_2Q - PR)\omega}{\lambda(Q + \omega^2)^2 + \lambda R^2\omega^2 - PQ - P\omega^2 - C_2R\omega^2} \quad (26)$$

$$A_E = \frac{E_0}{n_0} \frac{\sqrt{[\lambda(Q + \omega^2)^2 + \lambda R^2\omega^2 - PQ - P\omega^2 - C_2R\omega^2]^2 + (PR - C_2Q)^2}}{(Q + \omega^2)^2 + R^2\omega^2} J_1. \quad (27)$$

Nəhayət, triqonometrik funksiya keçsək, (29 - 21) ifadələrini aşağıdakı şəkildə yazmaqla bilirik:

$$n_1 = A_n \cos(\omega t + \varphi_n) \quad (28)$$

$$N_1 = A_N \cos(\omega t + \varphi_N) \quad (29)$$

$$E_1 = A_E \cos(\omega t + \varphi_E) \quad (30)$$

Aldığımız ifadəni sadələşdirmək məqsədi ilə iki sərhəd şərtini qəbul edək: a) $\alpha_m n_0 \ll \frac{1}{\tau_m}$ – metastabil atomlar divara doğru diffuziya nəticəsində yox olur; b) $\alpha_m n_0 \gg \frac{1}{\tau_m}$ – metastabil atomlar əsas haldan elektron zərbəsi ilə həyəcanlanır.

a) $\alpha_{mi} = 0$, $\alpha_m n_0 \ll \frac{1}{\tau_m}$ – təmiz pilləli ionlaşma halında elektronların və metastabil atomların konsentrasiya və elektrik sahəsi intensivliyinin rəqslərini öyrənək və $A_2 = 0$, $P = -A_1C_2$, $Q = -A_1B_2$ işarələmələrini qəbul edək.

(26) və (27) ifadələrindən istifadə edərək, elektrik sahəsi rəqslərinin faza sürüşməsinin və amplitudunun ifadələrini ala bilirik:

$$\operatorname{tg}\varphi_E = \frac{B_2}{\omega} = \frac{N_0 \frac{d\alpha_{oi}}{dE} E_0}{\omega} \quad (31)$$

$$A_E = \frac{E_0}{n_0} \lambda J_1 \frac{\omega}{\sqrt{\omega^2 + B_2^2}} = \frac{E_0}{n_0} \lambda J_1 \frac{\omega}{\sqrt{\omega^2 + N_0^2 \left(\frac{d\alpha_{oi}}{dE}\right)^2 E_0^2}} \quad (32)$$

(32) ifadəsindən görüldüyü kimi, bütün tezliklərdə elektrik sahəsi intensivliyi cərəyanı qabaqlayır. $\omega \ll N_0 \frac{d\alpha_{oi}}{dE} E_0$ olduqda, yəni $\omega \ll \frac{1}{\tau_a}$, $\operatorname{tg}\varphi_E \rightarrow \infty$, $\varphi_E \rightarrow \frac{\pi}{2}$, $A_E \rightarrow 0$. $\omega \gg N_0 \frac{d\alpha_{oi}}{dE} E_0$ olduqda, $\operatorname{tg}\varphi_E \rightarrow 0$, $\varphi_E \rightarrow 0$,

$$A_E \rightarrow \frac{E_0}{n_0} \lambda J_1$$

və ya

$$\frac{A_E}{E_0} \rightarrow \frac{J_1}{J_0}$$

olur. Aydın olur ki, elektrik sahəsi intensivliyinin müşahidə olunan effekti tezliyin $\omega \gtrsim \frac{1}{\tau_a}$ qiymətlərində baş verir.

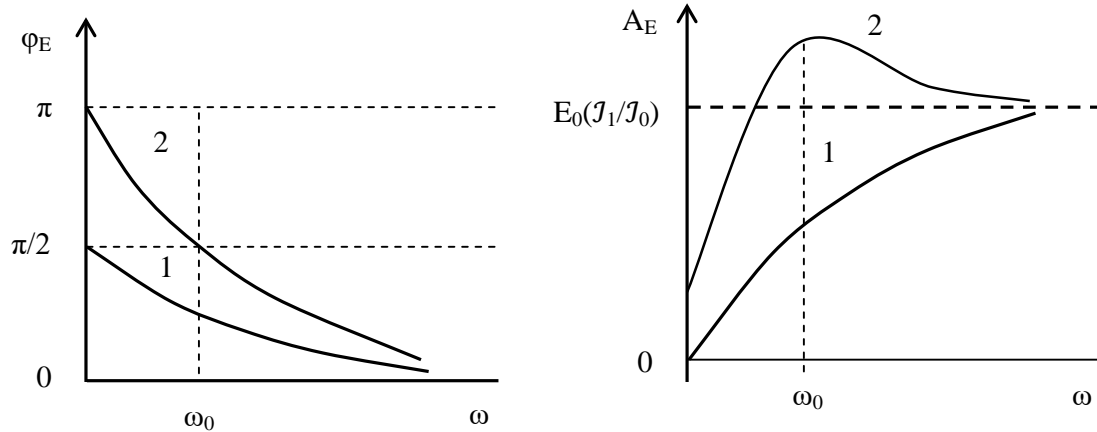
φ_E və A_E -nin ω -dan asılılığı şəkil 1-də göstərilir.

b) $\alpha_{mi} = 0$, $\alpha_m n_0 \gg \frac{1}{\tau_m}$ – təmiz pilləli ionlaşma halında elektronların və metastabil atomların konsentrasiya və elektrik sahəsi intensivliyinin rəqslərini öyrənək və

$$A_1 = N_m n_0 + \frac{1}{\tau_m}, B_1 = N_0 \frac{d\alpha_{0m}}{dE} E_0 - \frac{N_{m0}}{n_0} \frac{1}{\tau_m}, C_1 = \frac{N_0}{eb_e g} \frac{d\alpha_{0m}}{dE}, A_2 = -\alpha_{mi} n_0, B_2 = 0, C_2 = 0,$$

$$P = C_2 A_2, Q = A_2 B_1, R = A_1, S = 0$$

işarələmələrini qəbul edək.



Şək.1. φ_E və A_E – nin ω – dan asılılığı: birbaşa ionlaşma (1-ci əyri), pilləli ionlaşma (2-ci əyri).

Nəhayət, (26) və (27) ifadələrindən istifadə etməklə, elektrik sahəsi rəqslərinin faza sürüşməsinin və amplitudunun ifadələrini alırıq:

$$tg \varphi_E = \frac{-PR\omega}{\lambda Q^2 - PQ + (2\lambda Q + \lambda R^2 - P)\omega^2 + \lambda \omega^4} \quad (33)$$

$$A_E = \frac{E_0}{n_0} \lambda J_1 \sqrt{\frac{(Q - P\lambda^{-1} + \omega^2)^2 + R^2 \omega^2}{(Q + \omega^2)^2 + R^2 \omega^2}}. \quad (34)$$

Tezliyin kiçik qiymətlərində $\omega \rightarrow 0$, $tg \varphi_E \rightarrow 0$, $\varphi_E \rightarrow \pi$,

$$A_E \rightarrow \frac{E_0}{n_0} \lambda J_1 \ll \frac{\frac{N_m}{E_0} \frac{1}{\tau_m}}{N_0 \frac{d\alpha_{0m}}{dE} E_0 - \frac{N_{m0}}{n_0} \frac{1}{\tau_m}} \ll \frac{E_0}{n_0} \lambda J_1$$

və ya

$$\frac{A_E}{E_0} \ll \frac{J_1}{J_0}. \quad (35)$$

Tezliyin böyük qiymətlərində isə $\omega \rightarrow \infty$:

$$tg \varphi_E \rightarrow 0, \varphi_E \rightarrow 0, A_E \rightarrow \frac{E_0}{n_0} \lambda J_1$$

və ya

$$\frac{A_E}{E_0} \ll \frac{J_1}{J_0}$$

olar.

Əgər:

$$\frac{1}{\tau_a} \gg \alpha_m n_0 + \frac{1}{\tau_m} \quad (36)$$

şərti ödənərsə, onda A_E amplitudu maksimuma malik olur, yəni $\omega \sim \sqrt{\frac{1}{\tau_a} \left(\alpha_m n_0 + \frac{1}{\tau_m} \right)}$ tezliyində bu maksimumun qiyməti:

$$A_E = \frac{E_0}{n_0} \lambda J_1 \sqrt{\frac{\frac{1}{\tau_a}}{\alpha_m n_0 + \frac{1}{\tau_m}}}$$

və ya

$$\frac{A_E}{E_0} = \frac{J_1}{J_0} \sqrt{\frac{\frac{1}{\tau_a}}{\alpha_m n_0 + \frac{1}{\tau_m}}}$$

Göründüyü kimi, (36) şərti ödəndikdə, tezliyin $\omega \sim \sqrt{\frac{1}{\tau_a} \left(\alpha_m n_0 + \frac{1}{\tau_m} \right)}$ qiymətində modul-yasiyada effekt müşahidə edilir.

φ_E və A_E -nin ω -dan asılılığı şəkil 1-də göstərilir. (35) ifadəsinə əsasən, əgər $\omega \rightarrow 0$ və metastabil səviyyələrdə diffuziyanı nəzərə almasaq, onda $\frac{1}{\tau_m} \rightarrow 0$ və $A_E \rightarrow 0$ olar.

Bu nəticədən görünür ki, pilləli ionlaşma halında əgər metastabil səviyyələr ancaq elektron zərbəsi ilə dağılırsa, onda boşalmanın statik volt-ampere xarakteristikası enən deyil və cərəyanın bir qiymətindən digərinə keçid birbaşa ionlaşma rejimində olduğu kimidir, yəni ilkin və son elektron konsentrasiyaları bərabərdir.

Statik volt-ampere xarakteristikasının enən olması üçün pilləli ionlaşmanın baş verdiyi metastabil səviyyələrin dağılması prosesi ilə yanaşı, elektronların konsentrasiyasından asılı olmayan bir mexanizm də baş verməlidir, məsələn, divar istiqamətində diffuziya.

1. *Каган Ю.М., Миленин В.М., Мурадов А.Х.* Исследование оптических параметров положительного столба модулированного разряда в гелии // Россия, Журнал «Оптика и спектроскопия», 1976, т. 40, вып. 2, стр. 235-246.
2. *Гусейнов Т.Х.* Положительный столб разряда при больших глубинах модуляции разрядного тока без учета ступенчатой ионизации. Positive Column of a High-Modulation Depth Discharge Current Without Stepwise Ionization // Изв. вузов. Физика, Россия, Томск, 2017, Russian Physics J. T.60, №9, V.60, No9, стр.70-78; p. 1538-1548.
3. *Мурадов А.Х., Абдуллаев Р.А., Гусейнов Т.Х.* Импеданс спектроскопия неонного разряда в условиях ступенчатой ионизации и объемной рекомбинации // Journal of Qafqaz University Physics, Баку, 2014, т. 2, № 1, с.62-66.
4. *Мурадов А.Х., Гусейнов Т.Х.* О негatronом свойстве разряда в гелии в режиме ступенчатой ионизации /Труды Международной конференции «Научно-технический прогресс и современная авиация» посвященной 75-летию академика А.М.Пашаева, Баку, 2009, т.1, с.342-345.
5. *Huseynov T.Kh., Muradov A.Kh.* Computation of the dynamical characteristics of a discharge under step ionization and volume recombination conditions / 5th International Conference on Technical and Physical Problems of Power Engineering, Spain, 2009, p.233-235.
6. *Guseinov T. et al* 2019 Electric double layer in rapidly changing helium plasma column, Conference Proceedings Modern Trends in Physics, 2019, p.147-150.
7. *Guseinov T.K. et al* Measurement of the Current-Voltage Characteristics of Argon Plasma with a Tracking Probe. Russian Physics J.2017, V.60, No 9, p. 1549-1552.

МОДУЛЯЦИЯ КОЛЕБАНИЙ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ В НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЕ

АБДИНОВ А.Ш., ГУСЕЙНОВ Т.Х.

Изучена модуляция колебаний напряженности электрического поля в низкотемпературной плазме и установлено, что если не учитывать процесс диффузии на метастабильных уровнях, то при приближении к нулю частоты и обратных значений времени жизни метастабильных атомов амплитудное значение электрического поля также приближается к нулю. В режиме ступенчатой ионизации метастабильные уровни разрушаются только электронным ударом, статическая ВАХ разряда не снижается, а переход тока от одного значения к другому происходит также, как в режиме прямой ионизации, т.е. концентрация электронов в плазме остается постоянной.

Ключевые слова: газовый разряд, низкотемпературная плазма, модуляция электрического поля, метастабильные уровни, ступенчатая ионизация, прямая ионизация, статическая вольт-амперная характеристика.

MODULATION OF ELECTRIC FIELD STRENGTH OSCILLATIONS IN LOW TEMPERATURE PLASMA

ABDINOV A.SH., GUSEINOV T.KH.

The modulation of electric field intensity oscillations in low-temperature plasma was studied and it was found that if the diffusion process at metastable levels is not taken into account, then as the frequency and inverse values of the lifetime of metastable atoms approach zero, the amplitude value of the electric field also approaches zero. In the step ionization mode, metastable levels are destroyed only by electron impact, the static current-voltage characteristic of the discharge does not decrease, and the transition of the current from one value to another occurs in the same way as in the direct ionization mode, i.e. the electron concentration in the plasma remains constant.

Keywords: gas discharge, low-temperature plasma, electric field modulation, metastable levels, step ionization, direct ionization, static volt-ampere characteristic.

DOI:10.70784/azip.5.2025262

MÜXTƏLİF AQRƏQAT HALINDA OLAN KARBOHİDROGEN MƏNŞƏLİ MATERİALLARIN TƏDQİQAT MƏSƏLƏLƏRİ

SÜLEYMANOVA L.Ç.

*Mingəçevir Dövlət Universiteti Az – 4500, Dilarə Əliyeva küç.21.
suleymanovaLc@mail.ru*

Məqalədə müxtəlif aqreقات halında olan karbohidrogen mənşəli materialların tədqiqat məsələləri üzrə müzakirələr şərh olunur. Əsasən bərk cisim halında olan, xətti quruluşa malik polimer materiallarında mümkün olan tədqiqat məsələləri üzrə mülahizələrə baxılaraq yerinə yetirilən təcrübələrin bəzi yekun nəticələri verilmişdir.

Açar sözlər: polimer, maye və qaz halında olan karbohidrogenlər, monomerlər, fiziki-kimyəvi xassələr, aqreقات, struktur.

Strateji materiallar sırasına daxil edilən karbohidrogen mənşəli materialların geniş sənaye tətbiqi, texnikada, məişətdə və ümumiyyətlə bir sıra həyatıvacib məsələlərin həllində, bəzi hallarda rəqabətsiz istifadə olunması ilə əlaqədar olaraq bu materialların müxtəlif aspektlərdə tədqiqi inkişaf etmiş ölkələrin qabaqcıl elmi mərkəzlərinin diqqət mərkəzində saxlanılır. Müxtəlif aqreقات halında olan karbohidrogen mənşəli materialların geniş təsnifatı, coxfraksiyalılığı, müxtəlif kompozisiyalar şəklində təsadüf olunması və sintezi, kimyəvi reaksiyalarda aktivliyi, tərkib və struktur baxımından mürəkkəbliyi, fiziki-kimyəvi, mexaniki və s. xüsusiyyətlərinin geniş spektri bu materialların tədqiq edilməsində, müxtəlif müasir tədqiqat üsullarını tətbiq etməklə, tədqiqatlarda kompleks yanaşmanı tələb edir. Müxtəlif tətbiq oblastları olan qaz, maye və bərk cisim halında olan karbohidrogen materialların tədqiqi, bir qayda olaraq aqreقات halları üzrə yerinə yetirilərək qaz, maye və bərk cisimlərin fizikası, kimyası, mexanikası, fiziki-kimyə, biofizika və biokimyə və s. bu kimi klassik elmi-tədqiqat sahələri sırasına daxil olmuşdur. Karbohidrogen mənşəli materialların tədqiqi üzrə yerinə yetirilən işlərdə tədqiqatların əsas istiqamətləri materiallarda üstün keyfiyyət göstəricilərinin əldə edilməsi üsullarının müəyyənləşdirilməsi, materialların mühüm xüsusiyyətləri ilə onların kimyəvi tərkibi və fiziki strukturu arasında mövcud olan əlaqələrin araşdırılması, materialların hazırlanmasının iqtisadi səmərəli və ekoloji təminatlı yeni texnologiyalarının işlənilməsi, materialların kənar aşqarlardan təmizlənməsinin yeni effektiv üsullarının hazırlanması, materiallara yeni keyfiyyətlərin aşılınması məqsədi ilə onların müxtəlif üsullarla modifikasiyası, materialların texnoloji emalı və tətbiqinin nəzəri əsaslarının inkişafı və s. bu kimi məsələlərin həllinə yönəldilir. Qeyd etmək lazımdır ki, elmin digər sahələrindən fərqli olaraq karbohidrogen mənşəli materialların öyrənilməsində texniki tərəqqi bu sahənin elmi əsaslarının işlənilməsi məsələlərini xeyli qabaqlamışdır. Həqiqətən də, məsələn, təbii qaz, neft, neft məhsullarından və polimer strukturuna və xüsusiyyətlərinə malik olan ipək, kətan və s. təbii polimer sistemlərindən qədim vaxtlardan müvəffəqiyyətlə istifadə olunduğu halda bu materialların mühüm xüsusiyyətlərinin dəqiq müəyyənləşdirilməsində bu gün də həlli tələb olunan məsələlər mövcuddur və bu istiqamətdə yerinə yetirilən tədqiqat işləri bu gün də aktual tədqiqat məsələləri sırasına daxil edilir. Göstərmək lazımdır ki, karbohidrogen mənşəli materialların hər bir aqreقات halının özünəməxsus tədqiqat məsələləri mövcuddur və bu məsələlərin bu gün, bu və ya digər dərəcədə effektivliyə malik olan həlli üsulları işlənmişdir. 47 Karbohidrogen materialların bir aqreقات halından digər aqreقات halına keçməsi ilə bağlı məsələlərin mövcud olduğunu da nəzərə alsaq, bu sahədə yerinə yetirilməsi vacib olan tədqiqat işlərinin geniş həcmi müəyyənleşmiş olur ki, bu da yuxarıda qeyd olunan “tədqiqatlarda kompleks yanaşma” üsulunun tətbiq edilməsinin vacibliyini əsaslandırmış olur. Qaz halında

olan karbohidrogen tərkibli materiallara misal olaraq təbii metan (CH₄) qazının istehsalı, nəqlə hazırlanması, böyük həcmərdə uzun müddət saxlanması, uzaq məsafələrə ötürülməsi və sərfiyyatı ilə bağlı olan fiziki-kimyəvi məsələləri nəzərdən keçirsək, ilk növbədə müxtəlif yataqlardan istehsal olunan təbii qazın tərkib hissəsinin müəyyənləşdirilməsi, təbii qazın tərkibinin rütubətdən, kükürd birləşmələrindən və s. kənar aşqarlardan təmizlənməsi, yanacaq kimi istifadə olunan təbii qazın yanma prosesində əmələ gətirdiyi və atmosfərə ötürülən tüstü qazlarının tərkibinin analizi və bu tərkibin ekoloji baxımdan zərərsizləşdirilməsi, sürətli qaz reaksiyaları və bu reaksiyalara təsir edən amillərin tədqiqi, təbii qazların keyfiyyət göstəricilərinin:

- iqtisadi səmərəli sərfiyyat, ekoloji təminatlılıq və ixrac-idxal baxımından beynəlxal standartların tələblərinə cavab verməsi, xammal kimi təbii qazlardan müxtəlif monomer materiallarının, kükürdün alınması və s. bu kimi məsələlərin araşdırılmasına yönəldilmiş elmi-tədqiqat işləri qaz sənayesinin mərkəzi məsələləri olaraq bu günün vacib işləri sırasına daxil olurlar. Maye halında karbohidrogen mənşəli monomerlər polimer materialların hazırlanmasında əsas xammal kimi istifadə olunurlar. Monomerlərin əsas tədqiqat məsələləri:

- polimerizasiya reaksiyalarının kinetikasını təmin edən monomerlərin hazırlanması üsullarının işlənilməsi, müxtəlif fraksiyadan olan monomerlərin tərkibinin kənar aşqarlardan təmizlənməsinin effektiv fiziki-kimyəvi üsullarının işlənilməsi, güclü elektrik sahələrinin və elektrik qazboşalmalarının polimerizasiya reaksiyalarında tətbiq edilməsi və s. bu kimi mövzular üzrə yerinə yetirilən tədqiqatların nəticələri mühüm elmi-praktiki əhəmiyyətə malikdir. Neft, neft məhsulları, transformator yağları və digər müxtəlif təyinatlı karbohidrogen mənşəli yağların tədqiqinə həsr olunan işlərin mövzuları bu gün də aktual hesab olunur. Qeyd etmək lazımdır ki, energetika sahəsində elektroizolyasiya materialı kimi geniş istifadə olunan karbohidrogen mənşəli yağların elektrik möhkəmliyinin yüksəldilməsi mühüm praktiki əhəmiyyət daşıyır. Bununla əlaqədar olaraq, yağlarda elektrik keçiriciliyinin fiziki mexanizmlərinin öyrənilməsi, yağların elektrik keçiriciliyinə səbəb olan aşqarlardan təmizlənməsi, elektrik möhkəmliyini məhdudlaşdıran texniki və prinsipial səbəblərin öyrənilməsi mühüm əhəmiyyət daşıyır. Hal-hazırda yuxarıda qeyd olunan prosesləri əhatə edən mükəmməl nəzəri işlər yox dərəcədədir. Bununla əlaqədar, qeyd olunan istiqamətlərdə intensiv olaraq təcrübi işlərin yerinə yetirilməsi bu sahənin nəzəri əsaslarının inkişaf etdirilməsinə xidmət edir. Yüksək vakuum texnikasında, daxili yanacaq mühərriklərində, sürtkü yağları və digər texniki avadanlıqlarda müxtəlif məqsədlərlə istifadə olunan karbohidrogen mənşəli yağların fiziki-kimyəvi xüsusiyyətlərinə texnika tərəfindən ciddi tələblər tətbiq edildiyindən bu materialların xüsusiyyətlərinin müxtəlif termodinamik şəraitlərdə geniş öyrənilməsi aktual mövzu hesab edilir. Bərk cisim halında olan polimer dielektrik materiallar karbohidrogen mənşəli olaraq, hazırda nümayiş etdirdikləri fiziki-kimyəvi, mexaniki, optik və s. xüsusiyyətlərinə görə bir sıra ənənəvi, klassik materiallarla rəqabətdə onları müxtəlif tətbiq sahələrində əvəzləyərək, həmin materialların istehsal-istehlak məsələlərinə ciddi təsirlər göstərmişdir. Mürəkkəb fizikikimyəvi struktura malik olan polimer materialların texniki imkanlarının hələ bu gün də tam istifadə olunmaması bu materialların kimyəvi tərkibi, strukturu və müxtəlif təsirlərə məruz qaldıqda keyfiyyətlərinin dəyişməsinə səbəb olan amillərin az öyrənilməsi ilə birbaşa əlaqədardır. Bərk cisim halında olan polimer materiallarının "xassə-struktur" əlaqələrinin öyrənilməsi bu sahənin mərkəzi məsələsi hesab olunur. Qeyd etmək lazımdır ki, uyğun ədəbiyyatlarda şərh olunan çoxsaylı tədqiqatların nəticələrinin analizindən məlum olmuşdur ki, polimer materialların təcrübələrdə nümayiş 48 etdirdikləri xüsusiyyət göstəricilərinin ədədi qiymətləri, məsələn, mexaniki və elektrik möhkəmlikləri, onların nəzəri mümkün olan ədədi qiymətlərindən ən azı bir tərtib aşağıdır. Qeyd olunan fakt və polimer materialların yüksək dərəcədə texnoloji tətbiqçönlü olması, bu materialların bir sıra üstün elektrofiziki, mexaniki və c. xüsusiyyətlərinin mövcudluğu tədqiqatçıların və sənayeçilərin bu materiallara olan maraqlarını artırmışdır. Polimer materialların kimyəvi tərkibi və fiziki quruluşları bir qayda olaraq rentgenstruktur analiz, optik və elektron mikroskopiyası, kütlə spektrometriyası və digər müasir üsulları tətbiq etməklə tədqiq edilir. Çoxsaylı

tədqiqatların nəticələrində birqiyəmətli olaraq müəyyən edilmişdir ki, xətti quruluşa malik olan polietilen, kapron, lavsan, polivinilidenftorid və s. bu kimi materiallar müəyyən termodinamik şəraitlərdə kristallaşaraq, müxtəlif struktur elementlərindən təşkil olunaraq, amorf-kristal strukturlu, polikristal sistemlər əmələ gətirirlər. Qeyd etmək lazımdır ki, materialların hazırlanma texnologiyasından, materialı təşkil edən makromolekulların strukturundan və s. amillərdən asılı olaraq materiallarda müxtəlif struktur elementlərinin formalaşması ilə əlaqədar, eyni atomlardan təşkil olunmuş materiallar, strukturdan asılı olaraq, müxtəlif fiziki xüsusiyyətlər nümayiş etdirirlər. Elektroenergetika sənayəsində əsasən elektrik izolyasiya materialı kimi geniş tətbiq olunan polimer-dielektriklərin struktur anlayışlarının dəqiqləşdirilməsi, fiziki, elektrofiziki, mexaniki və s. xüsusiyyətlərinin müxtəlif təsirlər zamanı dəyişməsinin mexanizmlərinin aydınlaşdırılması, xüsusən güclü elektrik sahələrinin və qazboşalmalarının təsirlərinə məruz qalan polimer dielektrik materialların səthində və həcmində baş verən fiziki-kimyəvi proseslərin mexanizmlərinin müəyyənləşdirilməsi bu materialların sənaye tətbiq sahələrinin genişləndirilməsinə xidmət edərək, materialların texniki imkanlarının tam reallaşmasına gətirə bilər. Ədəbiyyatda şərh olunan [1-15] tədqiqatların araşdırılmasından məlum olur ki, polimer materialların strukturlarının aşkarlanmasında, onlara məxsus olan bir sıra fiziki, mexaniki, kimyəvi xüsusiyyətlərinin müxtəlif xarici təsirlər zamanı dəyişməsinin mexanizmlərinin müəyyənləşdirilməsində, güclü elektrik sahələrinin və qazboşalmalarının təsirlərinə məruz qalan polimer-dielektrik materialların səthlərində, həcmində baş verən proseslərin öyrənilməsində, materiallarda eroziya proseslərinin, sərbəst radikalların əmələ gəlməsi, elektrik yüklü vəziyyətlərin yaranması, destruktiv ikinci növ emissiya prosesləri, adgeziya, adsorbsiya-desorbsiya və digər fiziki-kimyəvi xassələrin mexanizmlərinin aydınlaşdırılmasında həll olunmamış məsələlərin mövcudluğu bu sahədə kompleks tədqiqatların yerinə yetirilməsini tələb edir. Digər tərəfdən, son illər polimer dielektrik materialların səthlərinin modifikasiyası proseslərində mexaniki və kimyəvi üsullarla yanaşı, güclü elektrik sahələrinin və xüsusən elektrik qazboşalmalarının bir sıra texniki və prinsiplial üstünlüyə malik olan üsul kimi tətbiq edilməsində: - “elektrik təsirləri-polimer” sisteminin öyrənilməsi, elektrik təsirləri vasitəsi ilə polimer materialların xüsusiyyətlərinin idarə olunması, polimer materialların elektrik möhkəmliyinin yüksəldilməsi və s. bu kimi məsələlərin həlli mühüm elmi-praktiki əhəmiyyət kəsb edir. Karbohidrogen mənşəli materialların mühüm praktiki əhəmiyyətlərinin mövcudluğu, bu materialların texniki imkanlarının tam şəkildə aşkarlanması və istifadə olunması zərurəti materialların hazırlanma texnologiyalarının elmi əsaslar üzrə qurulmasını tələb edir. Eyni zamanda, qeyd etmək lazımdır ki, model strukturlara malik karbohidrogen mənşəli materialların nəzəri-praktiki tədqiqi maye və bərk cisim fizikasının inkişafı baxımından mühüm elmi əhəmiyyət kəsb edir. Yuxarıda qeyd olunanlara əsaslanaraq, elektrik təsirləri nəticəsində karbohidrogen mənşəli və digər praktiki əhəmiyyət kəsb edən qazlarda baş verən fiziki proseslərin, sürətli qaz reaksiyalarının kinetikasının, konversiya proseslərin, qaz-bərk cisim təmasında reallaşan proseslərin tədqiqi, təmiz və ifrat təmiz maddələrin əldə edilməsi baxımından qaz və mayələrin aşqarlardan təmizlənməsinin yeni, iqtisadi səmərəli və ekoloji təminatlı texnoloji proseslərinin elmi əsaslarının işlənilməsi, qazboşalmalarının təsirləri şəraitində qaz və 49 mayələrdə reallaşan proseslərin fiziki-kimyəvi anlayışlarının müəyyənləşdirilməsi, adsorbsiya-desorbsiya proseslərinin kinetikasi, həyacanlanma, ionlaşma, rekombinasiya, mürəkkəb qaz molekullarının onların təşkilediciləri olan atom və molekullara parçalanması və bu hallarda qapalı həcmərdə ilkin qaz mühitindən tərkib etibarilə fərqli olan yeni əmələ gələn mühitin tərkibinin analizi və s. bu kimi proseslərin kompleks şəkildə öyrənilməsi günün aktual və həlli vacib məsələləri sırasına daxil etmək olar. Digər tərəfdən elektroizolyasiya materialı kimi geniş tətbiq olunan karbohidrogen mənşəli yağlar və polimer dielektriklərin xarici təsirlər zamanı köhnəlməsinin və zaman keçdikcə mühüm xüsusiyyətlərini itirərək izolyasiya materialı kimi sıradan çıxmasının səbəblərinin öyrənilməsi, materialların nümayiş etdirdikləri xüsusiyyətlərin onların strukturu, kimyəvi tərkibi ilə bağlılığının qanunauyğunluqlarının təyin edilməsi və nəhayət güclü elektrik sahələrinin və elektrik qazboşalmalarının təsirlərinin texnoloji proseslərdə tətbiq

vasitəsilə üstün elektrofiziki və digər xüsusiyyətlərə malik materialların əldə edilməsi, xüsusiyyətləri əvvəlcədən məlum olan materialların əldə edilməsi texnologiyalarının elmi əsaslarının işlənməsi, materialların bir aqreqat halından digər aqreqat halına, izotrop materialdan azinotrop materiala çevrilməsində keçid prosesinin qanunauyğunluqlarının aşkar edilməsi və ümumiyyətlə, qeyd olunan bütün hallarda proseslərin fiziki mexanizmlərinin öyrənilməsi kondensə olunmuş hal fizikasının inkişafı baxımından günün aktual məsələləri hesab olunur. Qeyd etmək lazımdır ki, güclü elektrik sahələrinin və elektrik qazboşalmalarının təsirləri şəraitində bərk cisim halında olan, əsasən karbohidrogen mənşəli materialların səthində və həcmində baş verən elektron-ion proseslərinin öyrənilməsi və bu proseslərin materialları xarakterizə edən bu və ya digər mühüm xüsusiyyətlərinə təsirlərinin tədqiqi, materialların elektrofiziki və digər xüsusiyyətlərini onların fiziki strukturu və kimyəvi tərkibi ilə bağlılıqlarının qanunauyğunluqlarının müəyyənləşdirilməsi, xarici elektrik təsirlərinə məruz qalan materialların xüsusiyyətlərinin dəyişməsinin fiziki mexanizmlərinin tədqiqi, üstün xüsusiyyət göstəricilərinə malik olan materialların əldə edilməsinin müasir, iqtisadi səmərəli və ekoloji təminatlı texnologiyalarının elmi əsaslarının işlənməsi, xarici elektrik təsirləri vasitəsilə materialların xüsusiyyətlərinin idarə olunmasının mümkünlüyünün tədqiqi, materialların müxtəlif termodinamik şəraitlərdə istismar müddətlərinin proqnozlaşdırılma imkanlarının müəyyənləşdirilməsi, elektronika, energetika, elektrotexnologiya, elektrotexnika və s. sənaye sahələrində geniş tətbiq olunan materialların bəzi elektrofiziki və ekoloji problemlərinin tədqiqi və s. yuxarıda qeyd olunan elmi praktiki istiqamətlər üzrə yerinə yetirilmiş tədqiqat işləri mühüm elmi-praktiki əhəmiyyət kəsb edir. Yerinə yetirilən tədqiqatlarda sferolit və fibrilyar struktura malik elektrik qazboşalmalarının təsirlərinə məruz qalan polivinilidenftorid, polikaproamid, polietilen polipropilen materialların səthindən emissiya proseslərinin reallaşması qeydə alınmışdır.

- Ozon qazı mühitində qazboşalmanın təsirlərinə məruz qalan politrifloroetilen və polivinilidenftorid kompozisiyasından təşkil olunmuş materialın səthindən destruktiv emissiya prosesləri qeydə alınmışdır;

- Müxtəlif texnoloji şəraitdə hazırlanmış və müvafiq olaraq müxtəlif üst molekulyar quruluşa malik polietilen materialının mexaniki deformasiya proseslərinin tədqiqi yerinə yetirilmişdir;

- Tədqiqatlarda alınan nəticələrin elektron-ion mexanizmləri səviyyəsində “strukturxassə” əlaqələri baxımından araşdırılmışdır.

- Elektrik qazboşalmalarının təsirlərinin polimer materialların səthində və həcmində bir sıra fiziki-kimyəvi proseslərin reallaşmasına səbəb olmasının və bu üsulun (mexaniki və kimyəvi üsullardan fərqli və üstün olaraq) polimer materialların modifikasiya olunması proseslərində istifadə edilməsinin mümkünlüyü təklif olunmuşdur;

- Polimer materialının kristallaşma dərəcəsinin yüksəlməsi ilə (əsasən fibrilyar strukturda) emissiya prosesinin zəifləməsi müşahidə olunmuşdur; 50

- Müxtəlif texnoloji şəraitlərdə hazırlanmış polietilen materialından hazırlanmış, qalınlığı 0,6, 1,2 və 1,6mm olan nümunələrin deformasiya prosesinin tədqiqindən məlum olmuşdur ki, materialın qalınlığı artdıqca deformasiya prosesinin nəticəsində nümunələrin mexaniki qırılma prosesi deformasiyanın kiçik qiymətlərində müşahidə olunur. Bu təcrübə nəticə qalınlığı çox olan nümunələrdə strukturun qeyri-bircinsliyi və qalın nümunələrdə defektlərin çox olması ilə izah edilmişdir;

- SF₆ qaz mühitində, elektrik qazboşalmasının təsiri şəraitində polietilentereftalat materialından emissiya prosesləri tədqiq edilərək, müəyyən edilmişdir ki, polikristal materialda amorf materiala nisbətən səthdən emissiya prosesi nəzərə cərpacaq dərəcədə zəifləmişdir.

Materialın emal müddətinin çox olması və kristallaşma temperaturunun materialın ərimə temperaturuna yaxın olması ilə əlaqədar olaraq emissiya prosesinin intensivliyi kəskin olaraq azalmışdır. Qeyd etmək lazımdır ki, yerinə yetirilmiş tədqiqatlarda əldə edilmiş nəticələr, polimer materiallarda “struktur-xassə” əlaqələrinin öyrənilməsi üzrə elmi əhəmiyyət kəsb etməsi ilə

yanaşı, eyni zamanda polietilentereftalatın və ümumiyyətlə polimer materiallara güclü elektrik sahələrində və elektrik qazboşalmalarının təsirləri mövcud olan sənaye sahələrində fiziki cihaz və texniki avadanlıqlarda elektroizoləedici material kimi istifadə edilməsinin istismar müddətinin proqnozlaşdırılması baxımından da praktiki əhəmiyyət kəsb edir.

1. *Cuvarlı Ç.M., Həşimov A.M., Qurbanov K.B., Kərimov Q.M.* Dielektrik materialların səthlərinə səyriyyənlə elektrik qazboşalmasının təsirlərinin tədqiqi, AMEA, “Məruzələr” LVI cild, №4-6, 2000 s.129-132.
2. *Kərimov Q.M.* Yüksək vakuum şəraitində, sistemdə elektrik təsirləri zamanı bərk cisimlərin səthində elektron-ion prosesləri fiz.-riyaziyyat elmləri namizədi alimlik dərəcəsi almaq üçün dis. işi 2002, Bakı AMEA Fizika İnstitutu, 151 s.
3. *Həşimov A.M., Süleymanova L.Ç., Ağayeva G.Ə., Ahmet Nair Ragip, Qurbanov K.B., Hüseyinov H.C.* Elektrik qazboşalmalarının təsirlərinə məruz qalan polimer materialların səthindən emissiya prosesləri. Energetikanın problemləri, №4, 2014 s.26-33.
4. *Həşimov A.M., Kərimov Q.M., Qurbanov K.B.* Dielektrlərdə yüklü vəziyyətlərin əmələ gəlməsi proseslərində struktur faktorunun əhəmiyyəti “Xəbərlər” Fizika-Riyaziyyat və texnika elmləri seriyası Fizika və Astronomiya cild XXII, №2, 2002, s.46-49.
5. *Həşimov A.M., Süleymanova L.Ç., Qurbanov K.B., Ağayeva G.Ə.* Polietilen materialında strukturun və deformasiya proseslərinin tənzimlənməsi. Fizika, cild XXII, №4, 2016, s.1012.
6. *Həşimov A.M., Süleymanova L.Ç., Qurbanov K.B.,* Müxtəlif texnoloji şəraitlərdə hazırlanmış polietilen materialının “struktur-xassə” əlaqələri. Energetikanın problemləri., №2, 2016, s.61-65.
7. *Həşimov A.M., Süleymanova L.Ç., Qurbanov K.B.,* Müxtəlif kristallaşma temperaturalarda emal olunmuş polietilen materialının deformasiya prosesi, Energetikanın problemləri, №3, 2016, s.35-38.
8. *Həşimov A.M., Süleymanova L.Ç., Qurbanov K.B., Muradova G.Ə., Məmmədov R.Q.,* Amorf-kristallik polimer sistemlərin istiqamətlənmiş deformasiya proseslərinin bəzi məsələləri. Energetikanın problemləri, №4, 2016, s.30-33.
9. *Həşimov A.M., Süleymanova L.Ç., Qurbanov K.B.,* Ozon qazı mühitində qazboşalmasının təsirlərinə məruz qalan polimerlərdə destruksiya prosesi. Fizika, cild XXIII, №1, 2017, seksion: Az, s.13-15.
10. *Həşimov A.M., Süleymanova L.Ç., Qurbanov K.B.,* SF6 qaz mühitində elektrik qazboşalmasının təsiri şəraitində polietilentereftalat materialından emissiya prosesləri, Energetikanın problemləri, №1, 2018, s.6-10.
11. Джейл Ф. Полимерные монокристаллы, Пер. с англ., Л. «Химия», 1968, 552 с. 51
11. *Вольнский А.А., Гроховская Т.Е., Люкевич В.В., Бакеев Н.Ф.* Визуализация структурных перестроек при термостимулируемой усадке полиэтилентерефталата после одноосного сжатия, Высокомолек. соед., том 47, №2, 2005, 242-255 с.
12. *Суханова Т.Е., Вылегжанина М.Э., Новиков Д.В., Кутин А.А., Светличный В.М., Диденко А.Л., Кудрявцев В.В., Закревский В.А., Ионов А.Н.,* Исследование структуры поверхности пленок частично кристаллического полиимида №3, 2008, том50, с.467-479
13. *Селихова В.И., Тихомиров В.С., Шербина М.А., Синевич Е.А., Чвалунс С.Н.* Влияние ионизирующего излучения на структуры и свойства полиэтилена различной молекулярной массы и надмолекулярной структуры. Высокомолек. соед. сер. А, 2001, т.43, №3, 434-440 с.
14. *Hong K., G. Strobl,* Моделирование растяжения полиэтилена: влияние температуры и степени кристалличности, Высокомолек. соед. сер. А и Б, 2008, т.50, №5, 760-773 с.52.

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ УГЛЕВОДОРОДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И ВЫЯВЛЕНИЕ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ

СУЛЕЙМАНОВА Л.Ч.

В работе изложены основные направления исследований в области углеводородных соединений и представлены некоторые конечные результаты исследования по выявлению взаимосвязей структуры и свойств материалов.

Ключевые слова: полимер, жидкие и газообразные углеводороды, мономеры физико-химические свойства, агрегат, структура.

MAIN DIRECTIONS OF RESEARCH IN THE FIELD OF HYDROCARBON COMPOUNDS AND IDENTIFICATION OF INTERRELATIONS OF THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF MATERIALS

SULEYMANOVA L.Ch.

The paper outlines the main directions of research in the field of hydrocarbon compounds and presents some of the final results of the study to identify the relationship of the structure and properties of materials.

Keywords: polymers, hydrocarbons in liquid and gaseous, monomers, physical and chemical properties, aggregate, structure.

DOI: 10.70784/azip.5.2025268

**МОДЕЛИ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ
ОБЪЕКТОВ НЕФТЕДОБЫЧИ****ВЕЛИЕВА Т.Д.**

*Азербайджанский Государственный Университет Нефти и Промышленности,
Азадлыг пр.20, Баку, AZ 1010
veliyeva.tarana@mail.ru*

Повышение надежности электрических сетей является одним из главных факторов минимизации длительности отказов электроснабжения потребителей и, следовательно, способствует росту эффективности производственных процессов. Зачем необходимо оценивать надежность системы электроснабжения? Во-первых, оценка надежности необходима для определения соответствия топологии электрических сетей требованиям безотказности электроснабжения потребителей. Во-вторых, можно оценить эффективность системы обслуживания электрических сетей. Например, если при надлежащем уровне резервирования в системе электроснабжения потребителя наблюдается высокая частота отказов электрических сетей, следует определить направление повышения качества технического обслуживания, в том числе увеличение доли оборудования, обслуживаемого по фактическому техническому состоянию. Через показатели надежности можно определить требования по качеству обслуживания электрических сетей. То есть данные показатели можно использовать для формирования нормативных документов. В-третьих, показатели надежности позволяют количественно оценить динамику безотказности электроснабжения при проведении каких-либо технико-экономических мероприятий. В статье предложены модели надежности для систем электроснабжения объектов нефтедобычи. Выделено два типа электротехнических комплексов: электрическая сеть с потребителем, чувствительным к провалам напряжения и электрическая сеть с потребителем, имеющим технологическое резервирование. Комплексное рассмотрение системы электроснабжения и потребителя электрической энергии позволило уточнить показатели надежности. В статье отмечена важность взаимодействия электроснабжающих компаний и потребителей электрической энергии для повышения эффективности работы технологических объектов.

Ключевые слова: надежность электротехнического комплекса, марковские модели, провалы напряжения, временная избыточность, электрическая сеть, технологическое резервирование, потребители энергии, эффективность работы объектов.

В настоящее время аналитические методы расчета обеспечивают точное решение задач надежности, но они не могут быть универсальными и обширно применимыми в промышленности из-за специфики производств и громоздкости систем. В статье предлагается производить анализ надежности системы электроснабжения с учетом специфики потребителя, принимая во внимание чувствительность технологических объектов к качеству напряжения и наличие временной избыточности (технологического резервирования).

В статье рассматриваются нефтепромысловые электрические сети, которые характеризуются рассредоточением по обширной территории, и проектируются, как правило, с большой перегрузочной способностью, уровень напряжения этих сетей 35 и 6 кВ.

В работе [1] показано, что показатели надежности являются основой для планирования, модернизации и реконструкции электрических сетей. В работе [2] анализируется структурная надежность сетей с использованием байесовского подхода. Авторы статьи [3] предполагают, что показатели надежности являются ключевыми при разработке методики прогнозирования критических ситуаций, таких как внезапное снижение мощности в сети или ухудшение качества напряжения. Методы оценки вероятностных показателей надежности предлагаются в работе [4] для определения долгосрочного прогноза по недоотпуску энергии и ожидаемой потере нагрузки. Во многих работах отмечается необходимость комплексной оценки надежности, например, в статье [5] акцентируется важность объединения различных подсистем электроснабжения (от генерации до распределения) для получения точных показателей безотказности. Также отметим, что модели надеж-

ности являются основой для создания умных сетей [6], и точность этих моделей является важным фактором для внедрения.

Основное требование к надежности нефтепромысловых электрических сетей — это снижение недоотпуска продукции (добытой нефти) из-за отказа электроснабжения.

С этой позиции состояние отказа электрической сети и отказа электроснабжения потребителя не всегда совпадают. Например, провал напряжения не является отказом электрической сети, но может вызвать остановку добывающих скважин. Основное электрооборудование добывающих скважин — это погружные двигатели. Провалы напряжения вызывают уменьшение вращающего момента двигателей, возникают недопустимые значения скольжения и возможный останов приводов. В этом случае объект добычи имеет недоотпуск продукции на время восстановления технологического процесса.

Объекты подготовки и транспорта нефти (например, дожимные насосные станции) являются последующими в технологической цепочке после добывающих скважин. Отказ электроснабжения этих объектов может вызывать вынужденный простой объектов добычи, но, используя резервуарный парк (технологическое резервирование), процесс добычи жидкости из скважин можно не останавливать, следовательно, ущерба от недоотпуска электрической энергии не будет.

С этой позиции принято следующее понятие отказа. Отказ — это состояние электротехнического комплекса, при котором происходит останов процесса добычи жидкости из скважин из-за нарушений в системе электроснабжения. Признаком отказа является остановка процесса добычи углеводородного сырья.

В моделях надежности электроснабжения объектов нефтедобычи комплексно рассмотрены система электроснабжения и потребитель (в дальнейшем электротехнический комплекс - ЭТК).

Рассмотрим состав нефтепромысловых электрических сетей с точки зрения специфики потребителей и выделим два типа электротехнических комплексов (рис. 1).

ЭТК 1-го типа - электрическая сеть кустов добывающих скважин. К причинам отказов этого комплекса относятся неработоспособное состояние электрических сетей, а также провалы и прерывания напряжения.

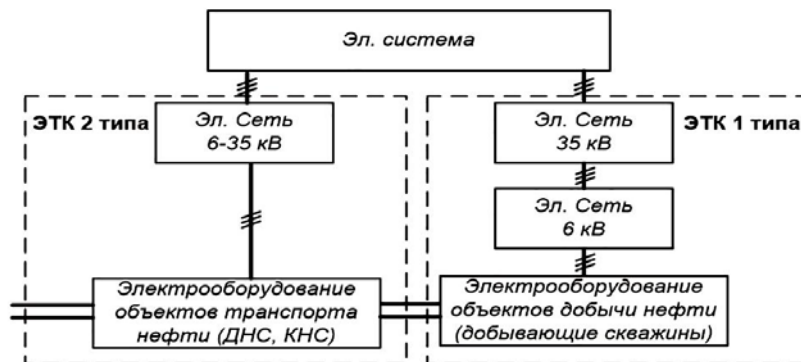


Рис.1. Состав электротехнических комплексов.

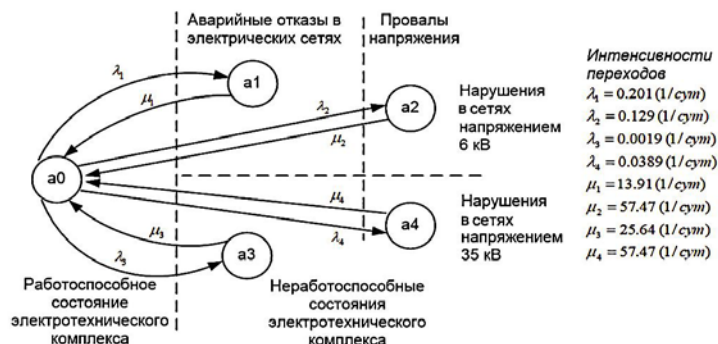


Рис.2. Граф состояний для электротехнических комплексов 1-го типа.

ЭТК 2-го типа - это электрические сети объектов подготовки и транспорта нефти от куста скважин до центрального товарного парка. Основные потребители электроэнергии - приводы насосного оборудования. Они имеют значительные моменты инерции, поэтому к провалам напряжения менее чувствительны. Отказ электроснабжения этих потребителей может вызывать вынужденный простой объектов добычи нефти (то есть потребителя ЭТК 1-го типа). Модель надежности данного электротехнического комплекса учитывает технологическое резервирование, которое позволяет не останавливать процесс добычи нефти. Признаком отказа этого комплекса является неработоспособное состояние электрических сетей при отсутствии временной избыточности в технологическом объекте.

При создании моделей надежности используется теория марковских процессов, так как она позволяет учитывать множество состояний объектов (не только работоспособное/неработоспособное состояние) вне зависимости от траектории процесса (предыдущего состояния и его длительности). Об этом достоинстве марковского процесса отмечено в [7], где в модели надежности учтены независимые друг от друга параметры (вырабатываемая мощность ветрогенератора, интенсивность отказов и частота ремонтов).

В работе в моделях интенсивности переходов определены на основе статистических данных и технологических нормативов, плотности распределения величин приняты экспоненциальными.

Модель надежности электротехнического комплекса 1-го типа.

Причинами отказа ЭТК 1-го типа являются следующие состояния в электрических сетях:

1. Аварийные отказы - состояния перерыва электроснабжения. Аварийные отказы вызваны состоянием невозможности выполнять требуемые функции должным образом из-за внутренней неисправности [8].

2. Провалы напряжения - внезапное снижение напряжения в точке электроэнергетической системы с последующим восстановлением напряжения через короткий промежуток времени, от нескольких периодов синусоидальной волны напряжения до нескольких секунд [8].

Граф состояний электротехнического комплекса представлен на рис.2. Надежность электротехнического комплекса описана работоспособным состоянием $\{a_0\}$ и множеством неработоспособных состояний $\{a_1, a_2, a_3, a_4\}$.

В графе состояний переходы описываются следующими параметрами:

- интенсивностью аварийных отказов в сети 6кВ и в сети 35кВ;
- интенсивностью восстановлений после аварийных отказов, определенной на основе данных по среднему времени восстановления, для сети 6кВ и для сети 35кВ;
- интенсивностью отказов электротехнического комплекса из-за провалов напряжения в сетях 6кВ и 35кВ соответственно;
- интенсивностью восстановлений электротехнического комплекса после провалов напряжения, которая определяется временем ручного пуска T_B оборудования скважин.

При нулевых начальных условиях $p_0(0) = 1, p_1(0) = p_2(0) = p_3(0) = p_4(0)$ была решена система дифференциальных уравнений Колмогорова с использованием прикладного программного пакета Maple 14. Предельная вероятность безотказной работы электротехнического комплекса составила $P = p_0(t \rightarrow \infty) = 0,9812$ (рис.3, кривая 1), коэффициент готовности системы 0,9976 (при желаемом 0,9999).

На основе полученной модели, установлена связь вероятности безотказной работы от интенсивности отказов электротехнического комплекса по вине провалов напряжения. На рис.2 изображено семейство графиков при снижении частоты отказов из-за провалов напряжения с шагом 20%. В случае отсутствия провалов напряжения, вызывающих остановку технологического объекта, предельная вероятность безотказной работы составляет $P = 0,9860$ (рис.3, кривая 2).

Таким образом, одним из направлений повышения надежности электроснабжения объектов добычи углеводородного сырья является разработка превентивных мер против провалов напряжения.

В работе [9] отмечается, что процесс восстановления величины напряжения практически неизбежно требует закачки энергии от компенсатора во внешнюю систему и требует капитальных вложений в распределенную генерацию. Подобное отмечено в работе [10], что наиболее эффективными мерами борьбы с провалами напряжения являются источники бесперебойного питания или электростанций собственных нужд.

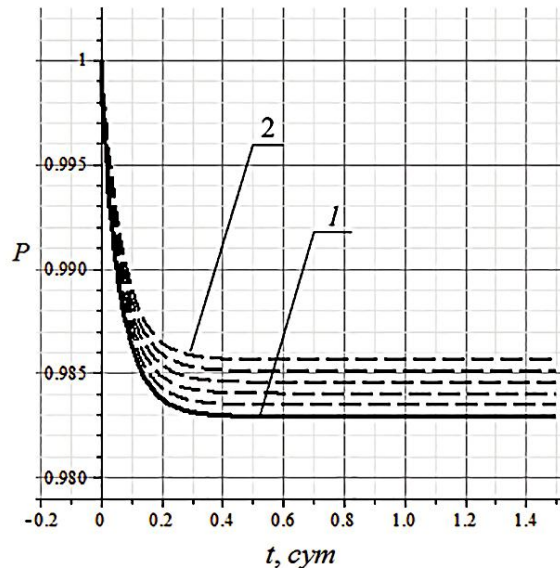


Рис.3. Вероятность безотказной работы электротехнического комплекса 1-го типа.

С другой стороны, в работах [11,12] предлагается улучшение конструкции оборудования (усиление против возможности провала напряжения) и некоторые технические средства ограничения влияния провалов напряжения.

Модель надежности электротехнического комплекса 2-го типа. Объектом моделирования является электротехнический комплекс «система электроснабжения — технологический объект с временной избыточностью». Временная избыточность обусловлена возможностью технологических объектов собирать добытую жидкость со скважин в свободный объем резервуарного парка, при условии рабочего состояния ЭТК 1-го типа. Граф состояний и переходов электротехнического комплекса представлен на рис. 4.

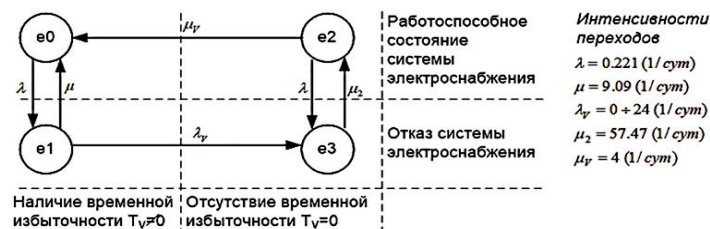


Рис.4. Граф состояний электротехнического комплекса 2-го типа.

Электротехнический комплекс описывается множеством состояний $E = \{e_0, e_1, e_2, e_3\}$, где подмножество работоспособных состояний $E_+ = \{e_0, e_1, e_2\}$. Неработоспособное состояние e_3 - имеет место при отказе системы электроснабжения и при отсутствии свободного объема в резервуарном парке $V=0$.

В состоянии e_0 система электроснабжения работоспособна и в резервуарном парке имеется свободный объем $V \neq 0$. В состоянии e_1 происходит отказ системы

электроснабжения, и используется свободный объем резервуарного парка $V \neq 0$. В состоянии e_2 система электроснабжения работоспособна, и резервуарный парк восстанавливает требуемый технологией свободный объем $V=0$.

Интенсивности переходов следующие: интенсивность отказа системы электроснабжения; интенсивность восстановления системы электроснабжения; интенсивность отказа электротехнического комплекса $\nu=1/T_V$ определяется величиной временной избыточности $T_V=Vq$, где $V(\text{м}^3)$ свободный объем резервуарного парка, $q(\text{м}^3/\text{сут.})$ -производительность оборудования, наполняющего резервуар; интенсивность восстановления ЭТК-2 электротехнического комплекса, определяется временем восстановления технологического процесса $1/T_B$; интенсивность восстановления свободного объема резервуара V определяется максимальной производительностью насосов, опорожняющих резервуарный парк.

Вероятность работоспособных состояний электротехнического комплекса определяется выражением $R(t) = p_0(t) + p_1(t) + p_2(t)$. На рис. 5 представлено семейство графиков $R(t)$ при различной величине временной избыточности T_V (0; 1; 5; 10; 20; 60 мин.).

Предельная вероятность безотказной работы электротехнического комплекса при отсутствии временной избыточности составляет $R(t \rightarrow \infty) = 0,9928$, а при наличии избыточности 60 мин. составляет $R(t \rightarrow \infty) = 0,9940$. На рис. 6 показана зависимость предельной вероятности безотказной работы $R' = R(t \rightarrow \infty)$ от величины временной избыточности T_V . По графику видно, что с увеличением свободного объема в резервуарном парке (временной избыточности T_V) в случае отказа электроснабжения объектов транспорта нефти, вероятность работоспособного состояния объектов добычи жидкости из скважин увеличивается.

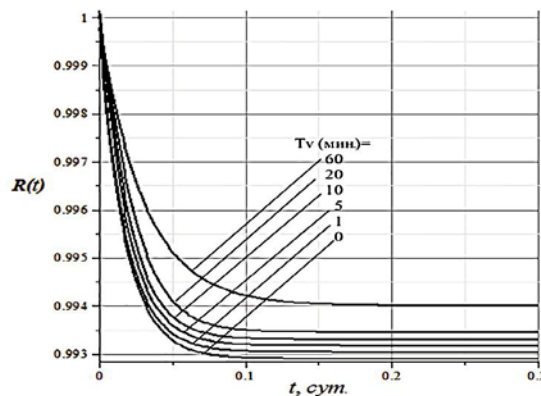


Рис.5. Вероятности работоспособных состояний ЭТК при различных величинах временной избыточности.

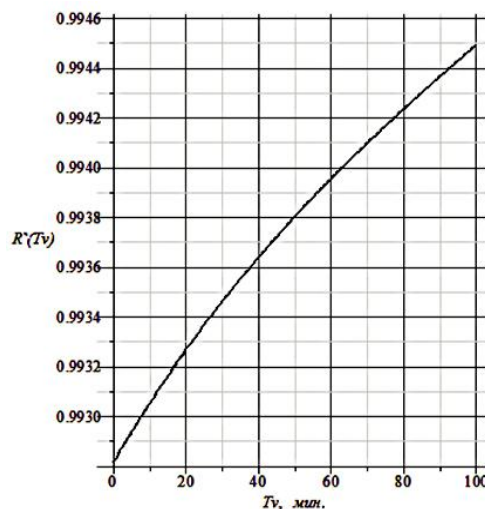


Рис.6. Зависимость предельной вероятности безотказной работы ЭТК от величины временной избыточности.

Заключение

Разработаны математические модели надежности для разных типов электротехнических комплексов. Поскольку показатели надежности электроснабжения напрямую связаны с возможным экономическим ущербом, их анализ позволяет определить направления снижения недоотпуска продукции технологических объектов. С этой позиции на основе полученных моделей целесообразным видится применение мер по защите потребителей от провалов напряжения и наличие, при технологических возможностях, заданной величины временной избыточности в электротехническом комплексе.

Таким образом, для достижения точности моделей надежности электроснабжения потребителей необходимо учитывать особенности (чувствительность к показателям качества электрической энергии) и возможности (наличие временной избыточности) технологических объектов.

-
1. *Chernysheva A., Adamec V., Tulsky V., Vanin A.* Calibration of the distribution network reliability model based on failure data. Case Study // 2019 International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE). 2019. p. 1–5. 8708769. DOI: 10.1109/REEPE.2019.8708769.
 2. *Ciobanu A., Munteanu F., Nemes C.* Bayesian networks utilization for reliability evaluation of power systems //2016 International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (EPE). 2016. p.837–841. DOI:10.1109/ ICEPE. 2016. 7781454.
 3. *Dumbrava V., Ulmeanu A. P., Scutariu M.* [et al.]. Analysis of reliability aspects of wind power generation in Romania using Markov models // IET Conference on Renewable Power Generation (RPG 2011). 2011. p. 1–5. DOI: 10.1049/cp.2011. 0173.
 4. *Bagen B., Moura J., Jefferies K.* Probabilistic reliability assessment of North American Electric Power Systems // 2014 International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems (PMAPS). 2014. p.1–6. DOI:10.1109/ PMAPS.2014.6960600.
 5. *Miao Y., Luo W., Lei W.* [et al.]. Power supply reliability indices computation with consideration of generation systems, transmission systems and sub-transmission systems' load transfer capabilities //2016 IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC). 2016. p.1840–1844. 37726579. DOI: 10.1109/APPEEC. 2016. 7779807.
 6. *Heidari-Kapourchali M., Aravinthan V.* Component reliability evaluation in the presence of smart monitoring // 2013 North American Power Symposium (NAPS). Manhattan. KS. 2013. p. 1–6. DOI: 10.1109/NAPS.2013.6666922.
 7. *Kahrobaee S., Asgarpour S.* Short and long-term reliability assessment of wind farms // North American Power Symposium 2010. 2010. p.1–6. DOI:10.1109/NAPS. 2010. 5618951.
 8. IEC International Electrotechnical Commission - Part 614: Generation, transmission and distribution of electricity — Operation. URL: <http://www.electropedia.org/iev/iev.nsf/display%20openform&ievref=614-01-08> (дата обращения: 24.02.2021).
 9. *Choi S.S., Li J. D., Vilathgamuwa D.M.* A generalized voltage compensation strategy for mitigating the impacts of voltage sags/swells // IEEE Transactions on Power Delivery. 2005. Vol. 20, no. 3. p. 2289–2297. DOI: 10.1109/TPWRD.2005.848442.
 10. *Егоров А.В., Ершов М.С.* Обеспечение устойчивости многомашинных электротехнических систем непрерывных производств // Труды IX Междунар. (XX Всерос.) конф. по автоматизированному электроприводу АЭП-2016. 2016. с. 585–590.
 11. *Qian Y., Zhang Y., Chen M.* [et al.]. Research and application of test system for voltage dip ride through capability of electrical equipments // 2014 China International

Conference on Electricity Distribution (CICED). 2014. p. 168–172. 10256236. DOI:10.1109/CICED.2014.6991686.

12. *Ершов С.В., Пугалов М.С.* Анализ средств и способов ограничения влияния провалов напряжения //Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2017. № 12-1. с. 95–104.

NEFT İSTEHSAL OBYEKTŁƏRİNDƏ ELEKTRİK TƏCHİZATININ ETİBARLILIĞININ MODELŁƏRİ

VƏLİYEVA T.D.

Elektrik şəbəkələrinin etibarlılığının artırılması istehlakçıların elektrik enerjisi ilə təchizatında yaranan nasazlıqların müddətinin minimuma endirilməsinin əsas amillərindən biridir və buna görə də istehsal proseslərinin səmərəliliyinin yüksəldilməsinə şərait yaradır. Enerji təchizatı sisteminin etibarlılığını qiymətləndirmək nə üçün lazımdır? Birincisi, elektrik şəbəkəsinin topologiyasının istehlakçılara enerji təchizatının etibarlılığı tələblərinə uyğunluğunu müəyyən etmək üçün etibarlılığın qiymətləndirilməsi lazımdır. İkincisi, elektrik şəbəkəsinə texniki xidmət sisteminin səmərəliliyini qiymətləndirə bilərik. Məsələn, istehlakçının enerji təchizatı sistemində lazımi ehtiyat səviyyəsi ilə, elektrik şəbəkəsində nasazlıqların yüksək tezliyi müşahidə edilərsə, texniki xidmətin keyfiyyətinin yaxşılaşdırılması istiqaməti, o cümlədən faktiki texniki vəziyyətinə uyğun olaraq xidmət olunan avadanlıqların nisbətinin artırılması müəyyən edilməlidir. Etibarlılıq göstəriciləri vasitəsilə elektrik şəbəkələrinin xidmət keyfiyyətinə olan tələbləri müəyyən etmək mümkündür. Yəni, bu göstəricilər normativ sənədləri yaratmaq üçün istifadə edilə bilər. Üçüncüsü, etibarlılıq göstəriciləri istənilən texniki-təsərrüfat fəaliyyətləri zamanı nasazlıqsız enerji təchizatının dinamikasını kəmiyyətə qiymətləndirməyə imkan verir. Məqalədə neft hasilatı müəssisələrinin enerji təchizatı sistemləri üçün etibarlılıq modelləri təklif olunur. Elektrik sistemlərinin iki növü müəyyən edilmişdir: istehlakçının gərginlik düşməsinə həssas olan elektrik şəbəkəsi və texnoloji ehtiyatı olan istehlakçıya malik elektrik şəbəkəsi. Enerji təchizatı sisteminin və elektrik enerjisi istehlakçısının hərtərəfli nəzərdən keçirilməsi etibarlılıq göstəricilərini aydınlaşdırmağa imkan verdi. Məqalədə texnoloji qurğuların səmərəliliyini artırmaq üçün enerji təchizatı şirkətləri ilə elektrik enerjisi istehlakçıları arasında qarşılıqlı əlaqənin vacibliyi qeyd olunur.

Açar sözlər: elektrik şəbəkəsi, texnoloji ehtiyat, enerji istehlakçıları, qurğuların istismar səmərəliliyi, kompleksinin etibarlılığı, Markov modelləri, gərginliyin azalması, müvəqqəti ehtiyat, elekt

MODELS OF RELIABILITY OF POWER SUPPLY TO OIL PRODUCTION FACILITIES

VELIYEVA T.D.

Improving the reliability of electrical networks is one of the main factors in minimizing the duration of power supply failures to consumers and, consequently, contributes to the growth of the efficiency of production processes. Why is it necessary to assess the reliability of the power supply system? Firstly, reliability assessment is necessary to determine whether the topology of the power grid meets the requirements for the uninterrupted supply of electricity to customers. Second, we can assess the efficiency of the grid maintenance system. For example, if at an appropriate level of redundancy in the consumer's power supply system there is a high failure rate of power grids, we should determine the direction of improving the quality of maintenance, including increasing the proportion of equipment maintained according to the actual technical condition. Through reliability indicators it is possible to determine the

requirements for the quality of maintenance of electric networks. That is, these indicators can be used to form regulatory documents. Thirdly, reliability indicators allow to quantitatively assess the dynamics of power supply reliability under any technical and economic measures. Reliability models for power supply systems of oil production facilities are proposed. Two types of electrical complexes are identified: an electrical network with a consumer sensitive to voltage dips and an electrical network with a consumer having technological redundancy. The integrated consideration of the power supply system and the consumer of electric energy allowed to specify the reliability indicators. The article emphasizes the importance of interaction between power supply companies and electricity consumers to improve the efficiency of technological facilities.

Keywords: reliability of electrical engineering complex, Markov models, voltage sags, time redundancy, electrical network, technological redundancy, energy consumers, efficiency of facilities.

DOI:10.70784/azip.5.2025276

CONSIDERATIONS FOR VARIOUS RENEWABLE ENERGY SOURCES WITH BLACKOUT IN SPAIN

¹ HASHIMOV A.M., ² NAYIR A.R.

¹*Azərenerji" ASC, Azərbaycan Elmi-Tədqiqat və Layihə-Axtarış Enerjetika İnstitutu, ahashimov@azerenerji.gov.az*

²*İstanbul Beykent University, Department of Electrical and Electronics Engineering, Ayazağa Mahallesi, Hadim Koruyolu Cd. No:19, Sarıyer/ İstanbul/ Türkiye ahmetnayir@beykent.edu.tr*

With climate change, countries' energy needs must be met in a low-cost, sustainable and reliable way to meet the rapidly increasing demand. Optimization should be considered in the preferred energy diversity, energy problems should be classified according to decision level, application area and energy type. Problems should be easily solved with the preferred energy variety. Variable renewable energy sources can increase the risk of system outages, especially when combined with inadequate flexibility and reserve management. In this study, the power outage on April 28 was considered together with the previous outages. Reaching the demand may not always be the solution. Modern grids solve this problem by increasing Supplier Relationship Management (SRM), deploying energy storage systems, demand- side mechanisms, and synthetic inertia technologies.

Keywords: blackout, conventional generation, RCW (renewable, cogeneration and waste) generation, renewable resources, supplier relationship management (SRM), synchronization.

Introduction

Energy planning is the process of developing long- term policies to guide the future of the local, regional and even global energy system. As a result of globalization, rapid population growth and industrialization efforts of countries for development, the demand for energy and natural resources is increasing significantly. While greenhouse gases created by main energy sources cause global warming, problems such as high cost, unknown risk levels and selection of appropriate facility location in alternative energy sources lead to uncertainties. Solar radiation and wind speed of solar and wind energy sources can vary significantly from hour to hour or day to day. This creates great uncertainty in a hybrid energy system. While using storage and backup resources solves the problem, it also increases production costs. In addition to measuring the numerical data obtained from wind and solar energy sources with energy optimization applications, ensuring sustainability and protecting the natural balance is possible by optimally planning the processing, distribution and use of energy systems.

After the major disturbances in Western Europe in 2003 [1], the disturbance of March 31st 2015 was serious event in the Continental European (CE) System. All these events had similar characteristics such as high corridor loading, underfrequency load shedding (UFLS) and non-conform power plant behaviour with respect to abnormal frequency deviations. However, thanks to the measures taken at the Turkey- ENTSOE (European Network of Transmission System Operators for Electricity) CE interface, the 31st of March event mainly affected Türkiye and had no impact on the system operation of the rest of the interconnected system. The blackout did not disturb Türkiye's neighbours and the disturbance was kept inside of the Türkiye power system. When a problem occurs, the first thing that comes to mind is to meet the load. However, it may be wiser to shed loads. Which loads will be gradually removed should be determined in advance. This can be achieved by successfully optimizing Supplier Relationship Management (SRM).

Summarising, the current load shedding scheme for the Türkiye power system is based on a load shedding ratio of 35.5% with respect to the reference load after reaching the last underfrequency load shedding stage of 48.4 Hz. The slightly different percentages of load

shedding reached on March 31st result due to a system loading difference to the reference load. It can also be assumed that all available underfrequency load shedding load was activated or, with other words, the total amount of load to be automatically shed reached its maximum level during the event [2,3].

The major the disturbance of 28th of April 2025 in Spain, was very serious event in the Continental European (CE) System within the last years. The blackout could not kept inside of the Spain power system. This was deeply disquieting for neighbours. The April 28 incident affected mainly Spain and Portugal, but also France, and affected the system operation of all other connected systems [4].

The Spanish grid had 59% solar PV generation and 11% wind generation right before the blackout[4]. Variable renewable resources themselves are not a direct cause of blackout. However, when combined with variable generation, insufficient spinning reserve margin reduces the system's ability to respond to emergencies and increases the risk of large outages. Modern grids solve this problem by increasing SRM, deploying energy storage systems, demand- side mechanisms, and synthetic inertia technologies.

The adoption of renewable energy sources is becoming increasingly important for combating climate change and energy security. Hybrid energy systems consist of a series of components that work in harmony like an orchestra, producing energy in sync with nature. Whether using sunlight or wind energy, hybrid systems must integrate each component completely and correctly for maximum efficiency in energy production. They must adapt to the synchronization in traditional energy systems. If we take a look at the synchronization of traditional energy systems;

Synchronization of a generator

We often have to connect more generators in parallel to supply a common load. For example, as the power requirements of a large utility system build up during the day, generators are successively connected to the system to provide the extra power. Later, when the power demand falls, selected generators are temporarily disconnected from the system until power again builds up the following time. Synchronous generators are therefore regularly being connected and disconnected from a large power grid in response to customer demand. Such a grid is to be an infinite bus because it contains so many generators connected in parallel that neither the voltage nor the frequency of grid can be altered.

Before connecting a generator to an infinite bus, it must be synchronized. A generator is to be synchronized when it meets all the following conditions:

- 1- The generator frequency is equal to the system frequency.
- 2- The generator voltage is equal to the system voltage.
- 3- The generator voltage is in phase with the system voltage.
- 4- The phase sequence of the generator is the same as that of the system.

Blackout in the Spanish Peninsular Electrical System the 28th of April 2025.:

With the best information available, proceeds to understand the main causes of the blackout in the Spanish electrical system at 12:33:24 on the 28th of April 2025.

At 12:00 h, the system conditions were fully compliant with operational procedures. Voltage and frequency levels were within common operation ranges, and the damping for the 0.2 Hz inter-area oscillation mode stood at 20%. In summary, there were no signs or indications that could have remotely predicted the events that followed. At 12:03 h, and for a duration of 4 minutes and 42 seconds, a significant 0.6 Hz oscillation was observed in the electrical system.

Normally, major incidents are usually triggered by a short circuit, a maneuver or an event in general that clearly and unequivocally fixes the origin. This incident was the result of a convergence of multiple factors that go beyond the N-1 criterion, which is the standard basis for the design and operation of electrical power systems.

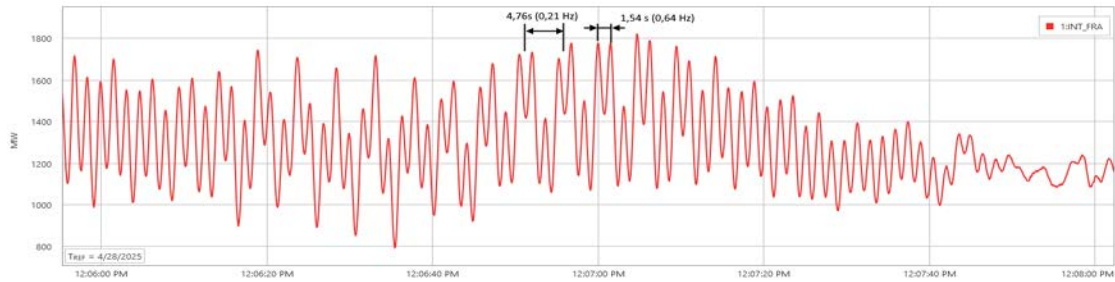


Figure1. Exchange Spain-France between 12:06 to 12:08 (0.6 Hz oscillation)

During the incident analysis, it was determined that the oscillation was not natural to the system but rather forced. This oscillation is observed with significant amplitude at a Photovoltaic Plant located in province of Badajoz (PV Plant A). At the time of the oscillations, the plant was generating approximately 250 MW. Since the oscillation was forced, it ceased once the plant stabilizes it.

An analysis of the network conditions at the point of connection, including short-circuit ratio and voltage level, confirmed that both were within acceptable parameters, so it is therefore likely that the oscillation was originated from an internal control malfunction or anomaly within the plant which should be clarified by its owner.

Other plants connected at the same transmission network bay, as well as those in nearby substations, were reviewed, and the only one exhibiting oscillatory behaviour was the aforementioned plant [5].

The 15 GW of generation could have tripped due to Rate Of Change Of Frequency (ROCOF) relays. ROCOF relay is designed to detect disconnection of a generator from the network and trip the generator's circuit breaker. For optimum safety each generator should have its own protection relay. This relay senses a Vector shift and a Rate Of Change Of Frequency (R.O.C.O.F) as measurement.

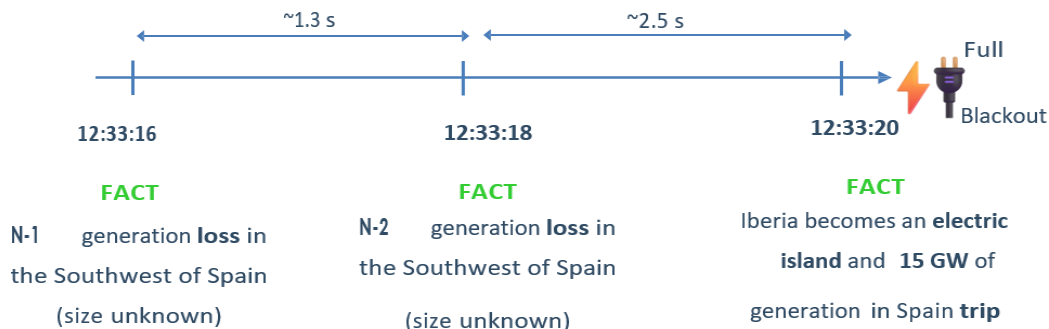


Figure 2. Blackout in the Spanish Peninsular Electrical System.

~12:20pm FACT Inter- area oscillations in Europe (unknown if there is a causal relationship with later N-2)

Facts published by Red Eléctrica (TSO)

-Loss of generation 1 at 12:33pm, in the South West of Spain

- ✓ No details on the size of the loss

-Loss of generation 2, happening ~1.5 s after the first one

- ✓ No details on the size
- ✓ The cascading failure started then

-Within ~3.5 seconds of the second loss, the system collapsed

- ✓ Iberia lost the electrical links with France
- ✓ 15GW of generation tripped in Spain

Here the press conference by Red Eléctrica 24h after the blackout (in Spanish)

What caused the N-2?

Two or more generators tripping almost simultaneously is considered a very unlikely event, as generator outages are assumed to be uncorrelated

This is why almost every system operator in the world sizes their reserve market for covering an N-1 contingency (in Europe it is true that we cover an N-2 corresponding to 3 GW of Frequency- Containment Reserve, but this is for a huge interconnected power system, and only works if there is no loss of synchronism)

Two contingencies happening in just 1.5 s means that they are somehow correlated. An N-2 event was the starting point of the 2019 GB [power outage](#), and it was triggered by lightning strikes

Iberia becomes an electric island (12:33:20)

At 12:33:24 h the Spanish Iberian Peninsula system collapses. At 12:33:27,300 h the voltage at 400 kV grid is below 1 kV, marking in this moment the total blackout of the system.

The electrical system is operated to withstand an N-1 contingency, and in some cases even N-2. For a major incident that results on a total blackout, multiple failures must occur within the system. In this incident, the following circumstances, based on the best available information at this time, have occurred in succession and some of them individually could be assimilated to an N-1 scenario:

1. Forced oscillation at 0.6 Hz, possibly originating in a photovoltaic power plant in the province of Badajoz, triggers system-altering protocolized actions. Shunt reactors are operated, lines are coupled due to oscillations, and schedules are modified.

2. Natural oscillation at 0.2 Hz triggers further system altering protocolized actions. Shunt reactors are operated, lines are coupled due to oscillations, and schedules are adjusted.

3. Generation under P.O. 7.4 does not absorb the required reactive power.

4. Variations in RCW generation during active power regulation affect voltage control and many of them don't fulfil their obligations.

5. The conventional generation requested after the oscillations was not connected.

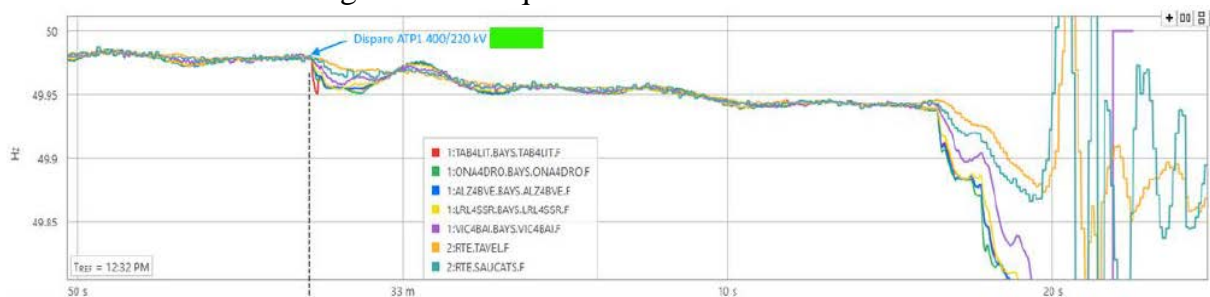


Figure 3 Evolution of the system before and after the trip in Granada.

Possible cause:

-Loss of synchronism due to phase angle deviations

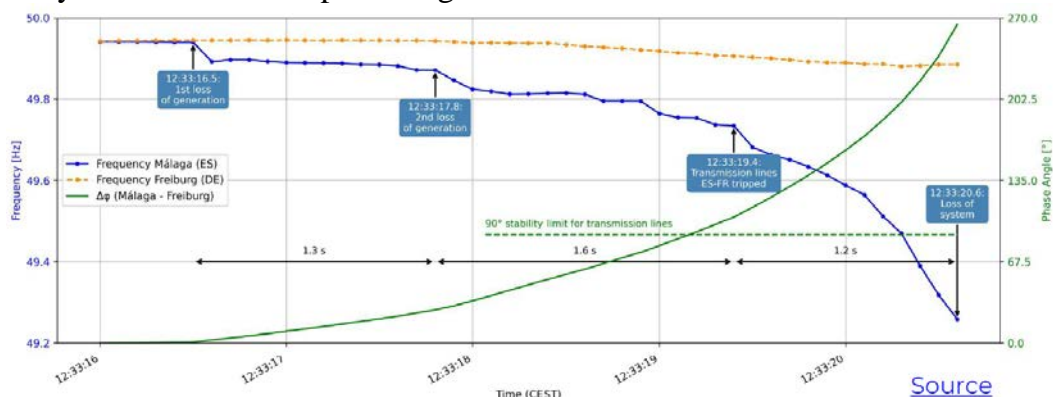


Figure 4. Stability limit for transmission lines and frequency.

Most of the conventional generation equipped with dynamic voltage control did not absorb the reactive power it is obligated to manage according to the Operational Procedures, particularly the generator which was responsible for voltage control in the southern zone, other one located in Extremadura, and the other one which was responsible for voltage control in the central zone of Spain. Each generation disconnection causes a slight increase of the voltage, which in turn causes the disconnection of other generators, producing a cascading phenomenon.

In this situation, without been able to maintain the voltage within the normal operating values anymore, several simultaneous phenomena occur: Increase in the voltage system due to the disconnection of generation. Drop in the frequency due to the disconnection of generation. Increase in energy import from Europe through the interconnection with France.

In this moment the frequency begins to drop visibly, having the system an overvoltage problem. With each generation disconnection, the system voltage increased and this in turn caused the disconnection of additional generation, therefore the inertia of the system in this incident is irrelevant, since the system was already condemned by the massive loss of generation.

At 12:33:19.620, the maximum import from France is reached, 3.807 MW, with 4.609 MW through the AC network. This situation leads to the loss of synchronism. Only 3,20 seconds have passed since the disconnection which is connected at transmission substation B and 22,5 seconds since the disconnection at the substation located in Granada.

In this situation, the system has the following steps:

- Pump and load shedding in the Spanish and Portuguese system.
- Trip the AC interconnection with France to avoid dragging the French system and to facilitate the system restoration.

Luis Badesa's Hypothesis The 15 GW of generation could have tripped due to RoCoF relays.

Once Iberia became an electric island, inertia was likely low[6]. The Spanish grid had 59% solar PV generation and 11% wind generation right before the blackout ([source](#), in Spanish) [7]. Generation in Europe is equipped with RoCoF - sensitive relays that are triggered for absolute values exceeding 1 Hz/s [8] [9].

Sources: [ENTSO-E](#) and [REE](#) (called "derivada de frecuencia" in the latter)

No $|RoCoF| > 1$ Hz/s is seen in this data, but RoCoF is a very local magnitude, so some other buses could have seen higher values

- Finally, 40 milliseconds later, a photovoltaic plant connected to a 220 kV transmission substation in the prov-ince of Badajoz tripped. Other additional 72 MW were lost.

In total, an additional 834 MW of generation was disconnected within a 650 ms window, along with the associated reactive power absorption. The estimation derived from the ROCOF suggests that the generation loss during this interval was approximately 1,150 MW, indicating that additional generation may have been lost within this period.

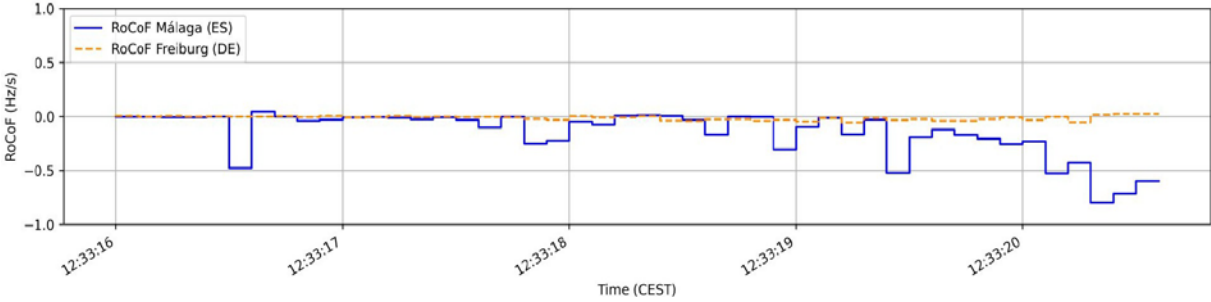


Figure 5. frequency derivative

This paper aims to give an overview to load shedding via blackout in Spain 28th of April 2025. The studies conducted in which the author was also involved can be examined in the sources numbered [10, 11, 12, 13, 14, 15]. In these studies, high voltage and currents were

examined in transition regimes. The operation of energy systems is the current voltage frequency magnitudes and their intelligent management. Of course, customer relationship management.

Supplier Relationship Management (SRM) optimization

Without SRM optimization, the system may not be able to close the gap between load and generation, especially as a result of events such as sudden cloud cover and sudden loss of generation of a large wind or solar power plant. In this case, emergency mechanisms such as Underfrequency Load Shedding (UFLS) come into play; if these are not sufficient, the system will be subject to widespread outages. However, high SRM capacity can prevent such sudden production/consumption imbalances from resulting in a system-wide outage.

Renewable energy sources such as photovoltaic and wind power plants with variable production, due to their resource-based variables:

- Make it more complicated to maintain real-time production/consumption balance
- Force system operators to use more spare capacity (spinning reserve) and fast-ramping resources.

However, especially in modern electricity grids where advanced grid automation, battery energy storage systems, and demand-side management tools are integrated, variable renewable generation does not cause system collapse on its own.

However, at high penetration levels, renewable integration can increase the following technical risks;

-Loss of inertial Resepons; Since there are no synchronous generators in wind and solar power plants, the system inertia moment is reduced. This reduces the resistance to frequency deviations.

-Voltage control difficulties: Photovoltaic and wind generation can create voltage regulation problems in certain regions.

-Risk of generation unpredictability: Inability to accurately predict instantaneous meteorological changes makes system balancing difficult.

- Narrowing of traditional generation margins: Some fossil fuel generation facilities may be economically out of service, leading to insufficient spare capacity.

Conclusions

The recently growing importance of smart grid concepts has been attracting many researchers. The implementation of smart grid technology still needs test bed based pre evaluations.

In summary, variable renewable energy sources, especially when combined with inadequate flexibility and reserve management, can increase the risk of system outages. However, the main reasons are generally grid design deficiencies, inadequate emergency reserves, infrastructure fragility and operational failure chains. High- level renewable energy integration can be successfully balanced with appropriate grid modernization, advanced frequency support services, large-scale energy storage and demand-side management.

-
1. Final Report of the Investigation Committee on the 28 September 2003 Blackout in Italy, UCTE, April 2004, https://www.entsoe.eu/fileadmin/user_upload/library/publications/ce/otherreports/20040427_UCTE_IC_Final_report.pdf
 2. Report on Blackout in Turkey on 31st March 2015, https://www.entsoe.eu/Documents/SOC%20documents/Regional_Groups_Continental_Europe/20150921_Black_Out_Report_v10_w.pdf
 3. *Nayir A.*, Applying New Technology Via Using Different Method in The Research of Overvoltage and Overcurrent in Electricity Transmission Lines, Energetikann problemləri, № 4, 2024, DOI:10.70784/azip.5.2024420.
 4. [Qué causó el apagón? Explicación visual y breve de lo que sabemos | Clima y Medio](#)

Ambiente | EL PAÍS

5. Red electrica Una emoesa de Redeia, “Blackout in the Spanish Peninsular Electrical System the 28th of April 2025”. 18/06/2025 , System Operation Division
6. Luis Badesa, Associate Professor at UPM, Report on Blackout in Spain and Portugal: What do we know so far? on 28th of April 2025, <https://badber.github.io>
7. Lo que se sabe y no del apagón masivo: Red Eléctrica niega un ciberataque mientras el Gobierno se resiste a descartar nada | Sociedad | EL PAÍS
8. FREQUENCY STABILITY IN LONG-TERM SCENARIOS AND RELEVANT REQUIREMENTS
9. Criterios Generales de Protección del Sistema Eléctrico Español, CGP-SEE
10. *Ahmet Nayir, A.R. Babayeva, E.V. Dimitriyev, A.M. Hashimov, I.R. Pivchik*, Mathematical Modelling of Ferroresonance for Investigation of Ferroresonance Currents, IU-JEEE, 2005, pp. 1373-1377.
11. *Hashimov A.M., Babayeva A.R., Ahmet Nayir*, Analysis of Ferroresonance Processes at Open-Phase Operating Conditions of Transmission Lines: Computer Modelling, 3rd International Conference on Technical and Physical Problems in Power Engineering, Ankara, TPE -2006, pp- 97-99.
12. *Ahmet Nayir, A.R. Babayeva, E.V. Dimitriyev, A.M. Hashimov, I.R. Pivchik*, Mathematical modeling of ferroresonance for investigation of ferroresonance currents, 4 th Mediterranean Conference on power generation Transmission and distribution, Medpower’04, Lemesos Cyprus, pp-55-57, 2004.
13. *Hashimov A.M., Dimitriyev E.V., Ahmet Nayir, Babayeva A.R., Pivchik I.R.*, Analysis of ferroresonance currents at noncompleted phase regimes on lines, TPE-2004 Technical- physical problems in power engineering, pp-18-21, Tebriz, 2004.
14. *Hashimov A.M., Dimitriyev E.V., Ahmet Nayir*, Ferrerezonansni procesi v meşsystemix elektroperedaxax pri avaarix otklyçennix, TPE-2002 Technical- physical problems in power engineering, pp.222-224, Bakü, 2002 (in Russian language).
15. *Nayir A.* Simulation of transient processes on overvoltage in electric transmission lines using ATP – EMTP. TJEE. (TUBITAK), 2013; 21:1553-1566.

СООБРАЖЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНО РАЗЛИЧНЫХ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В УСЛОВИЯХ ОТКЛЮЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ИСПАНИИ

ГАШИМОВ А.М., НАИР А.Р.

С изменением климата энергетические потребности стран должны удовлетворяться недорогим, устойчивым и надежным способом для удовлетворения быстро растущего спроса. Оптимизация должна рассматриваться в предпочтительном энергетическом разнообразии, энергетические проблемы должны классифицироваться в соответствии с уровнем принятия решений, областью применения и типом энергии. Проблемы должны легко решаться с помощью предпочтительного энергетического разнообразия. Переменные возобновляемые источники энергии могут увеличить риск сбоев системы, особенно в сочетании с недостаточной гибкостью и управлением резервами. В этом исследовании отключение электроэнергии 28 апреля рассматривалось вместе с предыдущими отключениями. Достижение спроса не всегда может быть решением. Современные сети решают эту проблему за счет повышения управления взаимоотношениями с поставщиками (SRM), развертывания систем хранения энергии, механизмов со стороны спроса и технологий синтетической инерции.

Ключевые слова: Отключение электроэнергии, возобновляемые ресурсы, традиционная генерация, генерация RCW (возобновляемая, когенерация и отходы), управление взаимоотношениями с поставщиками (SRM), синхронизация,

İSPANİYADA ENERJİ QARANLIQI İLƏ MÜXTƏLİF BƏRPA OLUNAN ENERJİ MƏNBƏLƏRİ ÜÇÜN MÜLAHİZƏLƏR

HƏŞİMOV A.M., NAYİR A.R.

İqlim dəyişikliyi ilə, sürətlə artan tələbatı ödəmək üçün ölkələrin enerji ehtiyacları ucuz, davamlı və etibarlı şəkildə ödənilməlidir. Optimallaşdırma üstünlük verilən enerji müxtəlifliyində nəzərə alınmalı, enerji problemləri qərar səviyyəsinə, tətbiq sahəsinə və enerji növünə görə təsnif edilməlidir. Problemlər üstünlük verilən enerji çeşidi ilə asanlıqla həll edilməlidir. Dəyişən bərpa olunan enerji mənbələri, xüsusilə qeyri-adekvat çeviklik və ehtiyatın idarə edilməsi ilə birləşdikdə, sistemin kəsilməsi riskini artırır. Bu araşdırmada aprelin 28-də elektrik enerjisinin kəsilməsi əvvəlki fasilələrlə birlikdə nəzərə alınır. Tələblərə çatmaq həmişə həll yolu olmaya bilər. Müasir şəbəkələr bu problemi Təchizatçı Mənasibətlərinin İdarəedilməsini (SRM) artıraraq, enerji saxlama sistemlərini, tələb tərəfi mexanizmlərini və sintetik ətalət texnologiyalarını tətbiq etməklə həll edir.

Açar sözlər: qaranlıq, bərpa olunan mənbələr, ənənəvi istehsal, RCW (bərpa olunan, kogenerasiya və tullantı) istehsalı, təchizatçı mənasibətlərinin idarə edilməsi (SRM), sinxronizasiya,

DOI:10.70784/azip.5.2025284

THE ROLE OF SOLAR PANELS IN HUMAN LIFE AND ITS PERSPECTIVES

POLADOVA V.N.

*Ministry of Science and Education Republic of Azerbaijan
Institute of Radiation Problems
AZ1143, 9 B.Vahabzade str.
poladova-vusale@bk.ru*

Solar panels play an important role in human life as an alternative and clean energy source in modern times. They directly convert sunlight into electricity, reducing dependence on traditional energy sources, contributing to environmental protection and ensuring energy security. Solar energy systems are considered an affordable and cost-effective solution to compensate for the lack of energy infrastructure, especially in rural and remote areas. The lack of carbon emissions during the installation and operation of solar panels makes them strategically important in the fight against climate change. Technological innovations in the field of solar energy and the continuous reduction of production costs are increasing the wide application possibilities of these systems. In the future, it is predicted that solar energy will become even more accessible and effective as a result of the development of smart energy networks, energy storage technologies and panels with higher conversion efficiency. As a result, solar panels not only meet current energy needs, but also act as one of the main tools serving the goals of sustainable development. Their application promises great prospects in terms of environmental protection, increasing social welfare and ensuring economic stability. As a result of the increase in energy needs and deepening environmental problems in the modern world, the importance of renewable energy sources is increasing. The depletion of traditional energy resources, the damage caused by their use to the environment and the fight against climate change make solar energy one of the main alternative energy sources. The widespread use of this energy source through solar panels has led to a number of important changes in human life.

Keywords: solar energy, solar radiation, solar panels, alternative energy, green energy.

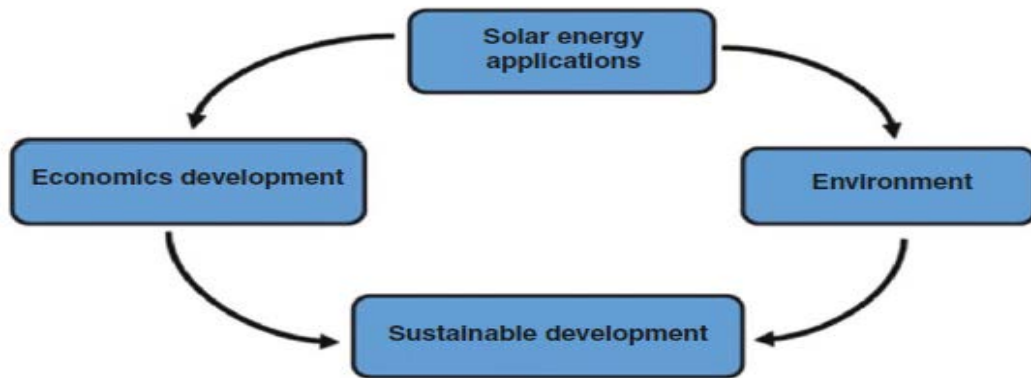
INTRODUCTION

In recent years, the demand for solar panels has increased significantly. The fierce competition among manufacturers in the world market requires the constant approximation of the technical parameters of solar elements and the release of cost. In this regard, the development of a new generation of solar energy converters is an urgent issue. Solar panel has been described in the 1 picture.



Picture 1.

In the modern world, as a result of increasing energy needs and deepening environmental problems, the importance of renewable energy sources is increasing. The depletion of traditional energy resources, the damage caused by their use to the environment and the fight against climate change make solar energy one of the main alternative energy sources. The widespread use of this energy source through solar panels has led to a number of important changes in human life. The scheme of solar energy application has been described in the picture 2.



Picture 2.

Solar panels (photovoltaic modules) are technological devices that convert sunlight directly into electrical energy. These panels mainly consist of solar cells with an area of several square centimeters. Cells are connected to form modules, and modules are installed in the form of panels. Any current and voltage levels are obtained through series and parallel connections between cells. In some cases, energy storage devices (batteries) are also used to ensure the continuous operation of the system.

Solar panels create a reliable and sustainable alternative in energy supply. They are an effective solution for energy independence, especially in regions where there is no electricity grid (remote villages, mountainous areas, etc.).

Carbon emissions when using solar energy are almost zero. This is important in terms of reducing global climate change. Since solar energy is a clean and inexhaustible source, it is environmentally superior.

The application of solar panels increases access to energy, which creates conditions for the development of education, health and public services. In the long term, in addition to saving energy, it also creates employment opportunities.

CONCLUSION

Innovations in photovoltaic technologies have increased the efficiency of solar panels, while reducing production costs. In the future, development is expected in the following areas:

- Increasing conversion efficiency (currently an average of 15–22%)
- Improving energy storage systems
- Building-integrated solar panels (BIPV)
- Smart energy grids controlled by artificial intelligence

These prospects will make both individual and public use of solar panels more effective and accessible.

Solar panels are an environmentally friendly and sustainable technology that meets the energy needs of today and the future. Their application has a profound impact on human life in terms of energy supply, economic savings, environmental protection and social well-being. With scientific and technological developments, this technology is expected to become more widespread and improved.

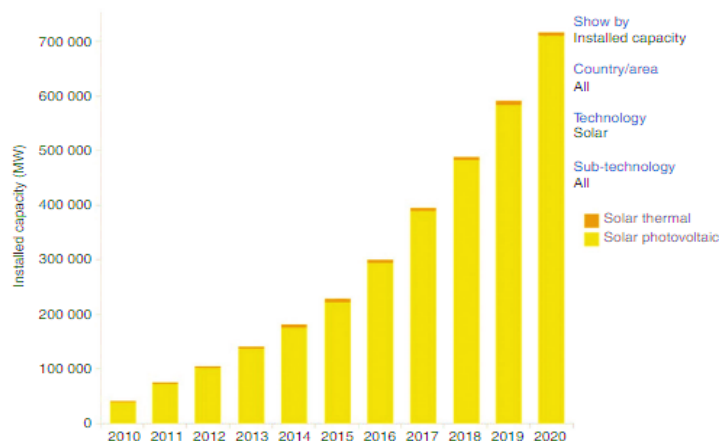


Fig. 1: installation capacity of solar energy worldwide [20].

Having an autonomous solar power plant will eliminate the need to purchase fuel and provide a country house with a source of energy regardless of the state of external networks. When choosing solar panels, it is important to take into account the characteristics of the future power.

1. Ali O.M. Maka1 and Jamal M. Alabid2,3 Solar energy technology and its roles in sustainable development.
2. Саламов О.М., Гашимов А.М., Алиев Ф.Ф. Перспективы использования солнечной энергии в Азербайджане. Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология», Москва, №02/2 (120), 2013, s.121-132.
3. Rzaev P.F., Salmanova F.A., Mustafayeva R.M., Mahmudova T.A., Valizade I.E. Application of high-potential heat of solar radiation for biomass transformation in hydrogen and hydrogen containing gases. United – journal №12, 2018, p. 31-34 Talinn, Estonia.
4. Firuza Salmanova, Roza Mustafayeva, Oktay Salamov, Tarana Mahmudova. The getting of a synthetic fuel from a biomass through the solar energy. NV, United States. American Scientific Journal №18, 2018.
5. Poladova V.N., Velizade I.E. “assessment of green energy potential of zangilan district”.
6. https://azertag.az/xeber/Isgaldan_azad_olunmus_Cebrayilin_agrar_potensialini_AHLIL-1641437.
7. Биомасса как источник энергии, М: Мир, 1985, с.375.

GÜNƏŞ PANELLƏRİNİN İNSAN HƏYATINDA ROLU VƏ ONUN PERSPEKTİVLƏRİ

POLADOVA V.N.

Günəş panelləri müasir dövrdə alternativ və təmiz enerji mənbəyi kimi insan həyatında mühüm rol oynayır. Onlar günəş işığını birbaşa elektrik enerjisinə çevirir, ənənəvi enerji mənbələrindən asılılığı azaldır, ətraf mühitin mühafizəsinə töhfə verir və enerji təhlükəsizliyini təmin edir. Günəş enerjisi sistemləri xüsusilə kənd və ucqar ərazilərdə enerji infrastrukturunun çatışmazlığını kompensasiya etmək üçün əlverişli və sərfəli həll yolu hesab olunur. Günəş panellərinin quraşdırılması və istismarı zamanı karbon emissiyalarının olmaması onları iqlim dəyişikliyi ilə mübarizədə strateji əhəmiyyətli edir. Günəş enerjisi sahəsində texnoloji yeniliklər və istehsal xərclərinin davamlı olaraq aşağı salınması bu sistemlərin geniş tətbiq imkanlarını artırır. Gələcəkdə ağıllı enerji şəbəkələrinin, enerji saxlama texnologiyalarının və

daha yüksək konversiya səmərəliliyinə malik panellərin inkişafı nəticəsində günəş enerjisinin daha da əlçatan və effektiv olacağı proqnozlaşdırılır. Nəticədə günəş panelləri cari enerji tələbatını ödəməklə yanaşı, davamlı inkişaf məqsədlərinə xidmət edən əsas vasitələrdən biri kimi çıxış edir. Onların tətbiqi ətraf mühitin mühafizəsi, sosial rifahın yüksəldilməsi və iqtisadi sabitliyin təmin edilməsi baxımından böyük perspektivlər vəd edir. Müasir dünyada enerji tələbatının artması və ekoloji problemlərin dərinləşməsi nəticəsində bərpa olunan enerji mənbələrinin əhəmiyyəti artır. Ənənəvi enerji ehtiyatlarının tükənməsi, onlardan istifadənin ətraf mühitə vurduğu zərər və iqlim dəyişikliyi ilə mübarizə günəş enerjisini əsas alternativ enerji mənbələrindən birinə çevirir. Bu enerji mənbəyinin günəş panelləri vasitəsilə geniş şəkildə istifadəsi insan həyatında bir sıra mühüm dəyişikliklərə səbəb olmuşdur.

Açar sözlər: günəş enerjisi, günəş radiasiyası, günəş panelləri, alternativ enerji, yaşıl enerji.

РОЛЬ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ В ЖИЗНИ ЧЕЛОВЕКА И ЕЕ ПЕРСПЕКТИВЫ

ПОЛАДОВА В.Н.

Истощение традиционных энергетических ресурсов, ущерб, наносимый их использованием окружающей среде, и борьба с изменением климата делают солнечную энергию одним из основных альтернативных источников энергии. Широкое использование этого источника энергии посредством солнечных панелей играют важную роль в жизни человека как альтернативный и чистый источник энергии в современную эпоху. Они напрямую преобразуют солнечный свет в электричество, снижая зависимость от традиционных источников энергии, способствуя защите окружающей среды и обеспечивая энергетическую безопасность. Солнечные энергетические системы считаются доступным и экономически эффективным решением для компенсации отсутствия энергетической инфраструктуры, особенно в сельских и отдаленных районах. Отсутствие выбросов углерода при установке и эксплуатации солнечных панелей делает их стратегически важными в борьбе с изменением климата. Технологические инновации в области солнечной энергетики и постоянное снижение себестоимости продукции увеличивают широкие возможности применения этих систем. В будущем прогнозируется, что солнечная энергия станет еще более доступной и эффективной в результате развития интеллектуальных энергетических сетей, технологий накопления энергии и панелей с более высокой эффективностью преобразования. В результате солнечные панели не только удовлетворяют текущие потребности в энергии, но и выступают в качестве одного из основных инструментов, служащих целям устойчивого развития. Их применение сулит большие перспективы с точки зрения защиты окружающей среды, повышения общественного благосостояния и обеспечения экономической стабильности. В результате увеличения энергетических потребностей и углубления экологических проблем в современном мире возрастает значение возобновляемых источников энергии – солнечных батарей привело к ряду важных изменений в жизни человека.

Ключевые слова: солнечная энергия, солнечное излучение, солнечные батареи, альтернативная энергетика, зеленая энергетика.

DOI:10.70784/azip.5.2025288

MULTİSERVİS ŞƏBƏKƏSİ TRAFİKİNİN MODELLEŞDİRİLMƏSİ**SƏFƏRLİ L.S., QOÇUYEVA A.F.**

*Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti, Azadlıq prospekti 20, Bakı,
Azərbaycan, AZ1010
leylasafar03@gmail.com*

Məlumat ötürülməsi trafiki əlaqə sistemlərinin əsas komponentidir. Artan trafik axınlarını təmin etmək üçün müvafiq şəbəkə analiz və monitoring metodları tələb olunur, çünki şəbəkə sistemləri istifadəçilərin və şəbəkə sistemlərinin getdikcə artan və tam olmayan tələbləri ilə qarşılaşır. Trafik analizi şəbəkənin tələbləri və imkanlarını anlamaq üçün həyati əhəmiyyət kəsb edir. Son illərdə, trafik xarakteristikasını tam şəkildə təqdim etməyən çoxsaylı trafik modelləri müşahidə edilmişdir. Lakin, bütün növ şəbəkə trafikinə xas xüsusiyyətləri effektiv şəkildə təmsil edə bilən vahid bir trafik modeli mövcud deyil. Buna görə də, müxtəlif modellərin xüsusiyyətlərini anlamaq və nəhayət, maraqlı mühit üçün ən yaxşı trafik modelini müəyyənləşdirmək bir çox mühüm və gəlirli işlərdən biri halına gəlmişdir. Bu işdə, geniş istifadə olunan bəzi şəbəkə trafik modelləri nəzərdən keçiriləcək, modellərin və trafik xüsusiyyətlərinin əsas xüsusiyyətləri vurğulanacaq.

Açar sözlər: multiservis şəbəkəsi, trafik, fraktallıq anlayışı.

Giriş. Məqaləmizdə vaxt trafikinin öz-özünə bənzər xüsusiyyətlərini araşdırmaq və GPSS World mühitində real trafik modelləşdirməsidir. Müəyyən edilən məqsədlərə çatmaq üçün aşağıdakı tapşırıqlar yerinə yetirilməlidir:

- a) real trafik nümunəsi ilə eksperimental araşdırmaların aparılması;
- b) b) Öz-özünə bənzər xüsusiyyətləri nəzərə alaraq trafik modelinin yaradılması və onun müqayisəsi.

Təhlil, telekommunikasiya xidmətləri təklif edən və həm daxili, həm də xarici şəbəkə bazalarından istifadə edən "DKP" şirkətinin korporativ şəbəkəsində aparılmışdır. Mövcud serverlərdən ən çox işləyən və maksimal yüklə fəaliyyət göstərən bir server seçilmişdir. Bu serverin şəbəkədəki əsas funksiyaları bunlardır: verilənlər bazası serveri, fayl serveri və çap serveri.

Korporativ şəbəkədə həyata keçirilən statistik analiz, real vaxt trafikinin ciddi şəkildə öz-özünə bənzər xüsusiyyətlərə malik olduğunu və uzunmüddətli asılı təsadüfi proses olduğunu göstərmişdir. Bu, şəbəkə sisteminin səmərəliliyini qiymətləndirərkən nəzərə alınmalıdır.

Məqalədə çoxsəviyyəli şəbəkələrdə istifadə oluna bilər. Hazırlanan model həm telekommunikasiya sahəsində praktiki mütəxəssislər, həm də tədris məqsədli olaraq istifadə edilə bilər.

NƏTİCƏLƏR VƏ MÜZAKİRƏLƏR

Son tədqiqatlar göstərir ki, telekommunikasiya trafiki bir çox xidmət növləri üçün öz-özünə bənzər (fraktal) xüsusiyyətlərə malikdir. Hazırda audio və video trafikinin öz-özünə bənzər xüsusiyyətlərinin qiymətləndirilməsi ilə bağlı sistemləşdirilmiş tədqiqatlar yoxdur. Əgər bəzi (vacib) statistik xüsusiyyətlər müəyyən miqyaslandırma xüsusiyyətləri ilə özünü göstərərsə, bu zaman stoxastik proses fraktal adlanacaq. Miqyaslandırma, riyazi olaraq, miqyaslanabilən dəyişənlərdə güc əlaqələrini (yəni, statistik xüsusiyyətlərin güc asılılığına) gətirib çıxarır. Bu səbəbdən, məsələn, telekommunikasiya trafiki, bəzi qiymətləndirilmiş statistik xüsusiyyətlərin geniş zaman və ya tezlik diapazonunda güc asılılığı göstərməsi nəticəsində fraktal xüsusiyyətlərə malik olur. Öz-özünə bənzərlik və fraktallar bir-biri ilə sıx əlaqəlidir. Fraktal proseslərin əsas xüsusiyyətlərini təyin edən anlayışlara öz-özünə bənzərlik, uzunmüddətli asılılıq (UMA), yavaşca azalan dispersiya, sonsuz anlar, fraktal ölçülər, paylanma funksiyaları və I/f qanunu üzrə spektral sıxlıq $S(w)$ asılılığı daxildir. Diskret zamanlı təsadüfi proses və ya zaman seriyası $X(t)$, $t \in Z$ olarsa, burada $X(t)$ t anında (paketlər, baytlar və

ya bitlər ilə ölçülən) trafik həcmi təmsil edir. Prosesdə $X(t)$ "geniş mənada stasionar" hesab edək, bu zaman korrelyasiya funksiyası

$$R(t_1, t_2) = M [(X(t_1) - m)(X(t_2) - m)]$$

aşağıdakı tələbi ödəyir: o, vaxt keçidinə qarşı invariantdir, yəni

$$R(t_1, t_2) = R(t_1+k, t_2+k)$$

hər hansı bir $t_1, t_2, k \in Z$ olacaq. İlk iki momentin mövcud və sonlu olduğu və müvafiq olaraq

$$m = M[X(t)] \text{ və } \delta^2 = M[(X(t) - m)^2]$$

olduğu qəbul edilir, burada $M(t)$ - ortalama əməliyyatı; m - birinci mərkəzi moment; δ^2 - proses $X(t)$ -in dispersiyası. Burada $m = 0$ kimi qəbul edək. Stasionarlıq şərti ilə $R(t_1, t_2) = R(t_1-t_2, 0)$, korrelyasiyanı $R(k)$ kimi işarə edək, burada

$$R(k) = R(k)/R(0) = R(k)/\delta^2$$

Miqyaslandırma invariantlığını formalaşdırmaq üçün əvvəlcə X üçün birləşdirilmiş (yığılmış) prosesi $X(m)$ müəyyən edək, burada $X(m) = 1/m \sum X(t)$. Yəni, $X(t)$ m ölçülü, üst-üstə düşməyən bloklara bölünür. Bu blokların dəyərləri ortalanır və i bu blokların indeksi kimi istifadə olunur. $X(m)$ -in korrelyasiya funksiyasını $R(m)(k)$ kimi işarələyək.

Fraktal anlayışı ilk dəfə 1975-ci ildə Benoit Mandelbrot tərəfindən araşdırılıb. Bu söz latın dilindən alınmışdır və "fractus" - "parçalardan ibarət" mənasını verir. Avtomatik olaraq dalğalanan internet trafiki, adətən, Hers göstəricisi (H) ilə xarakterizə olunur. Belə bir proses, həmçinin zamanla fraktal xüsusiyyətlərə malikdir və çox vaxt multifraktal parametr ilə təsvir olunur. Qeyd edək ki, bu yüksək stoxastik trafiklərdir və bunlar fraktallardır. Məlumat ötürülməsinin sıxlığında da fraktal ölçüləri (D) ilə təsvir edilir. Həmçinin trafik digər parametrləri də onun öz-özünə bənzərliyini (miqyas invariantlığını) xarakterizə edir, bu da H parametridir. İnternet trafiki haqqında başa düşülməsi üçün müxtəlif modellər inkişaf etdirilmişdir ki, bunlar real trafikdə mövcud olan xüsusiyyətləri təkrarlamağa çalışır.

İk dəfə öz-özünə bənzər telekommunikasiya trafiki haqqında 1993-cü ildə W. Leland, M. Taqqu, W. Willinger və D. Wilson tərəfindən danışılıb. Onlar Bellcore şirkətinin Ethernet trafiki üzərində apardıqları araşdırmalarda bu trafik böyük miqyaslarda öz-özünə bənzərlik xüsusiyyətinə malik olduğunu kəşf etdilər. Eyni zamanda, orijinal qurğunun çox hissəsi yaxşı planlaşdırılmış və düşünülmüşdür, lakin sonra "böyümə" şərtləri altında inkişaf etmişdir. Trafik ölçmələri ilə bağlı tədqiqatlarda 4 dəst trafik ölçmələri istifadə olunub, hər biri 20 ilə 40 arasında ardıcıl saatları əhatə edir. Məlumatlar müxtəlif vaxtlarda təxminən 4 il ərzində şirkətin LAN şəbəkəsində toplanmışdır (avqust '89, oktyabr '89, yanvar '90 və fevral '92). Bellcore şəbəkəsində trafiklərin harada toplandığını və hansı növ trafik olduğunu tam başa düşmək üçün Ethernet trafiki tədqiq edilmişdir. Araşdırmalar nəticəsində məlum olmuşdur ki, böyük miqyaslarda Ethernet trafiki öz-özünə bənzərlik (self-similarity) xüsusiyyətinə malikdir, yəni o, hər hansı bir (kifayət qədər böyük) zaman miqyasında keyfiyyətcə eyni görünür. Bu zaman müəyyən olunub ki, öz-özünə bənzər trafik şəraitində kompüter şəbəkəsi hesablamaları (kanalların keçid qabiliyyəti) Markov modelləri və Erlang formulalarına əsaslanaraq, telefon şəbəkələrinin layihələndirilməsində müvəffəqiyyətlə istifadə olunan yanaşmalar çox optimist nəticələr verir və yüklərin alt dəyərləndirilməsinə səbəb olur.

Öz-özünə bənzər proses daha az düzləşdirilmiş, daha qeyri-bərabərdir və daha böyük dispersiyaya malikdir. Əvvəlcə telefon şəbəkələri kanal kommutasiyası prinsipinə əsaslanaraq qurulmuşdu. Telefon şəbəkələrində trafik xüsusiyyətləri yaxşı tədqiq edilmiş və kanalların dəstələrinin keçid qabiliyyətinə yaxınlaşan nəticələr əldə etməyə imkan verən hesablamalar inkişaf etdirilmişdir. Əgər bəzi vacib statistik xüsusiyyətləri müvafiq miqyas göstəriciləri ilə miqyaslama xüsusiyyətlərini nümayiş etdirirsə, stoxastik proses fraktal adlanır. Son araşdırmalar lokal və qlobal trafik haqqında göstərib ki, şəbəkə trafiki zaman miqyaslarının geniş diapazonunda dəyişkənlik nümayiş etdirir. Bu hadisənin Ethernet, ATM, LAN və WAN,

sıxılmış video və HTTP əsaslı WWW trafiki kimi müxtəlif şəbəkə texnologiyalarında geniş yayılması çox təəccüblüdür. Belə bir miqyas-invariant dəyişkənlik ənənəvi şəbəkə trafik modelləri ilə uyğun gəlmir, çünki onlar qısa zaman miqyaslarında pulsasiya xarakteri nümayiş etdirir, amma böyük zaman miqyaslarında çox düzleşir, buna görə də uzunmüddətli asılılıq (LTA) yoxdur. Çünki miqyas-invariant pulsasiya strukturunun trafiki şəbəkənin performansına güclü təsir göstərməsi mümkündür, buna görə də trafikin öz-özünə bənzərliyinin səbəbləri və nəticələri ilə bağlı analiz çox vacib bir məsələyə çevrilir. Çoxsaylı ölçmələr göstərib ki, miqyas-invariant pulsasiya strukturu təkcə ayrı-ayrı, təsadüfi hadisə deyil, əksinə şəbəkə mühitlərində formalaşan xarakterik bir xüsusiyyətdir.

Bildiyimiz kimi, kompüter şəbəkələrində paket kommutasiya prinsipi də istifadə edilib və hesablamalar üçün metodlar olduğu kimi qalmışdır, bu da böyük bir problemə səbəb olmuşdur, çünki hesablamalarla realıq arasında yükün nəticələri uyğunsuz olmuşdur. Hazırda paket kommutasiyası üzərində səs, multimedia və siqnal məlumatlarının ötürülməsi metodları daha çox yayılmaqdadır, bunların trafikləri isə öz-özünə bənzərlik xüsusiyyətinə malikdir.

Səs və video ötürülməsi sistemləri on illərdir ki, mövcuddur və həyatımıza çox təsirli şəkildə daxil olub. Zaman keçdikcə bu sistemlər inkişaf etmiş və təkmilləşmişdir, yeni imkanlar əldə etmiş və yeni texnologiyalar mənimsəmişdir. Səs ötürülməsi sistemlərinin inkişafı və abunəçi sayının artması ilə belə sistemlər daha da mürəkkəbləşib, mövcud layihələndirmə metodlarını keçərsiz etmişdir. Paketli ötürülməyə keçid hadisəsinin inkişafını göstərən bir nümunə: ənənəvi telefoniyada kanal kommutasiyası tətbiq olunurdu və tətbiq olunan hesablamalar paket kommutasiyası vəziyyəti üçün uyğun deyil.

Paketli kommutasiyanın xüsusiyyətləri ənənəvi telekommunikasiya nəzəriyyəsi və kütləvi xidmət nəzəriyyəsindən istifadə edərək telekommunikasiya sistemlərinin təhlil və sintezinə ənənəvi yanaşmaların yenidən nəzərdən keçirilməsini zəruri edir. Səs və video paketli ötürmə sistemlərini nəzərdən keçirərkən, ənənəvi telefoniyada olmayan yeni xüsusiyyətlər və xidmət keyfiyyəti parametrləri ortaya çıxır. Yeni metodologiyalar, məsələn, səsəki fasilələrin aradan qaldırılması və sərbəst resurslardan istifadə ilə bağlı yeni imkanlar yaranır. Bu, paketli səs ötürülməsi sistemlərinin layihələndirilməsi və modelləşdirilməsi üçün yeni metodikaların yaranmasına səbəb olur.

Paketlərlə ötürülmə üçün səs və video xidmətlərinin layihələndirilməsində xüsusi əhəmiyyət kəsb edən tıxaclardan və ya çoxlu axınlardan olan trafikin düzgün modelləşdirilməsidir. Son tədqiqatlar göstərir ki, telekommunikasiya trafiki, çox sayda xidmət növü üçün öz-özünə bənzər (fraktal) xüsusiyyətə malikdir. Bu sahədə çox sayda təcrübə və nəzəri tədqiqatlar mövcuddur. Lakin yalnız az sayda tədqiqat video və səs trafikinə aid fraktal xüsusiyyətləri tədqiq etmişdir. Video trafikin öz-özünə bənzərlik xüsusiyyətlərini təsdiq edən nəticələr məlumdur. Eyni xüsusiyyətlərin səs trafikinə də aid olduğu ehtimal edilir.

Hazırda səs və video ötürmə sistemlərinin keyfiyyətinə öz-özünə bənzər tıxaclardan ibarət trafikin təsirini araşdıran sistemli tədqiqatlar mövcud deyil. Bu məsələnin tədqiqi xüsusilə vacibdir, çünki öz-özünə bənzər trafik olduqda, Poisson trafiki halında müşahidə olunan keyfiyyətə nisbətən səs və video ötürmə sistemlərində xidmət keyfiyyətinin teorik olaraq daha aşağı olacağı gözlənilir. Öz-özünə bənzər (fraktal) trafik modellərinin istifadəsi, səs və video trafikini daha dəqiq təsvir etməyə və təkrarlamağa imkan verəcək, bu isə faktiki olaraq müşahidə edilən xidmət keyfiyyətinin (QoS) göstəriciləri ilə əlaqələndirilməsinə şərait yaradacaq.

Özünəoxşar Trafiklər

Özünəoxşar (fraktal) proseslərin əsas fərqləndirici xüsusiyyəti onların geniş zaman miqyasları aralığını əhatə etməsidir. Teletrafik ədəbiyyatında "dalğalanan struktur" anlayışı məhz bu kontekstdə tez-tez istifadə olunur. Özünəoxşar, fraktal və ya dalğalanan hadisələri təsvir etməyə çalışarkən istifadə olunan riyazi modellər, stoxastik özünəoxşar prosesləri və düzgün seçilmiş dinamik sistemləri istifadə edir. Bu modellərin ümumi xüsusiyyəti odur ki, onların məkan-zaman dinamikası müəyyən şəkildə güc qanunları və hiperbolik şəkildə azalan korrelyasiya funksiyaları vasitəsilə idarə olunur. Fraktal hadisələr, bir çox elm və texnika sahələrində – hidrologiya, maliyyə iqtisadiyyatı, biofizika və digər sahələrdə müşahidə

edilmişdir. Bu hadisələri nəzərə alan modellər teletrafik nəzəriyyəsi üçün nisbətən yenidir və paket kommutasiya şəbəkələrində trafik təsvirinin alternativ modelləri üçün mövcud böyük sinifə müasir töhfəni əks etdirir. Fraktal modellərin teletrafik nəzəriyyəsində uğurlu tətbiqi yalnız onların real şəbəkə trafikini necə yaxşı təsvir etməsindən deyil, həm də şəbəkə təhlili və idarəetməsi üçün necə geniş imkanlar təmin etməsindən asılı olacaq.

Trafikin modelləşdirilməsi tarixən ənənəvi telefoniyadan başlamış və demək olar ki, yalnız Poisson fərziyyələrinə əsaslanmışdır ki, bu da trafik axınlarının strukturunu və resurs tutma tələblərinin eksponensial fərziyyələrini nəzərdə tutur. Lakin müasir yüksək sürətli paket kommutasiya şəbəkələrinin (hüceyrə şəbəkələri) meydana gəlməsi yeni və mövcud olan ötürmə və kommutasiya texnologiyalarını çox müxtəlif xidmətlər və tətbiqlərlə birləşdirmək məsələsini ortaya qoydu. Nəticədə, paket trafikləri səs trafikinə nisbətən daha mürəkkəb və ya dalğalanan oldu, çünki onlar zaman miqyaslarını (mikrosaniyələrdən saniyələrə və hətta dəqiqələrə qədər) çox fərqli şəkildə əhatə edir. Praktiki nöqtəyi-nəzərdən, şəbəkə trafikini proqnozlaşdırarkən və şəbəkə performansını təhlil edərkən, stoxastik trafik axını modelləri geniş şəkildə istifadə olunur, çünki onlar şəbəkə ötürmə qabiliyyətini qəbul edilə bilən dəqiqliklə proqnozlaşdırmağa qadirdir. Bundan əlavə, trafik modeli yalnız onun statistik xüsusiyyətlərini təsvir etməklə yanaşı, müşahidə edilən trafik vizual xüsusiyyətlərini də əhatə edərsə, modelə olan etibar daha da artır. Ənənəvi telefoniyada, klassik trafik modelləri ümumilikdə sistemin ümumi performansını layihələndirmək və təhlil etmək üçün mükəmməl işləyir. Lakin müasir yüksək sürətli rabitə şəbəkələrinin (məsələn, B-ISDN-də ATM) meydana gəlməsi təəccüblü dərəcədə müxtəlif trafik qarışıqları yaratdı. Bəzi geniş istifadə olunan B-ISDN xidmətlərində (əsasən sıxılmış video və fayl ötürülməsi) mövcud olan dalğalanan struktur, ənənəvi modellərin qısa və uzunmüddətli asılılıqlar baxımından çatışmazlığını müəyyən edir. Yuxarıda qeyd edildiyi kimi, ənənəvi telefoniyaya əsaslanan teletrafik nəzəriyyəsi müasir rabitə sistemlərində trafiklə bağlı bir sıra vacib xüsusiyyətləri əks etdirmir. Müasir rabitə sistemlərində paket kommutasiya şəbəkələrində səs və video xidmətlərinin istifadəsinin artması, VoIP sistemlərinin populyarlığının artması müşahidə edilir. VoIP sistemlərinin inkişafı o qədər sürətlidir ki, bu sistemlərdə danışıq dəqiqəsinin qiyməti davamlı olaraq azalır. VoIP sistemlərinin inkişafı, qəbul edilə bilən telefon keyfiyyətini təmin edən yeni aşağı sürətli səs kodeklərinin meydana gəlməsinə səbəb olub. VoIP sistemlərinin vacib bir elementini səs fəaliyyəti aşkar edilməsi texnologiyası (VAD) təşkil edir ki, bu da abunəçinin susduğu və ya sözlər arasında dayandığı anlarda kanalı boşaldır. Səsin dayandırılmasını azaldan alqoritmlərin istifadəsi ilə yanaşı, statistik çoxsəviyyəli çoxalma imkanları kommutasiya xərcələrinin əhəmiyyətli dərəcədə azalmasına gətirib çıxarır.

VoIP şəbəkələrində VAD texnologiyasından istifadə etməklə yanaşı, belə sistemlərin layihələndirilməsi problemi də yaranır. Məlumat axınları artıq davamlı sürətə malik deyil, əksinə, abunəçinin səs fəaliyyəti intervalları və fasilə intervalları ilə uyğun gələn stoxastik proseslərlə təsvir olunur. Nəzəriyyədə bu cür mənbələr ON/OFF mənbələri adlanır, hansı ki, ON dövrü ərzində müəyyən sürətlə məlumat yaradır (VoIP sistemlərində sürət kodeklə müəyyən edilir), OFF dövrü ərzində isə mənbə sistemə məlumat ötürmür.

ON/OFF mənbələrindən əldə edilən trafik birləşdirildikdə, ümumi trafik də stoxastik xarakter daşıyır və bu, VoIP paketlərinin keçdiyi tranzit nöqtələrində növbə xidmət alqoritmlərinin məqsədlə seçilməsini tələb edir. Adətən, bu yollar İnternet infrastrukturunu ilə ötürülür, hansı ki, ən yaxşı səylər prinsipi (best effort) ilə işləyən bir şəbəkədir və buna görə də səs xidmətlərinin dəstəklənməsi üçün nəzərdə tutulmayıb. Belə bir vəziyyət VoIP xidmətlərinin keyfiyyətinə dair tələbləri nəzərə alaraq tranzit avadanlıqlarının konfigurasiyasına diqqətlə yanaşmağı tələb edir. Paket kommutasiya şəbəkələrində trafik tədqiq edən bir çox tədqiqat olsa da, yalnız çox az sayda tədqiqat VoIP sistemlərində trafikdə özünəoxşarlığın araşdırılmasına həsr olunur.

NƏTİCƏ

Bu işlərin nəticələrinə əsasən, müxtəlif ON/OFF səs mənbələrindən əldə edilən agregat trafik özünəoxşar olduğunu göstərir. Bir çox mənbənin agregat trafikində özünəoxşar xüsusiyyətlərin mövcudluğu, bu xüsusiyyətlərin hər bir mənbənin keyfiyyətinə təsirini diqqətlə

araşdırmağı tələb edir. Bu cür xüsusiyyətlərin digər trafik növlərində tez-tez xidmət keyfiyyətinə mənfi təsir etdiyi məlumdur, amma eyni zamanda trafik davranışını proqnozlaşdırmaq imkanlarını təmin edir. Beləliklə, VoIP sistemlərində agregat səs trafiklərinin özünəoxşarlığı və onların hər bir mənbənin keyfiyyətinə təsiri hələ də az öyrənilmişdir və daha detallı araşdırma tələb edir.

1. *Głabowski M., Kaliszan A., and Stasiak M.*, “Modeling product-form state-dependent systems with BPP traffic,” *Performance Evaluation*, vol. 67, no.3, pp.174–197, 2010.
2. *Sobieraj M., Stasiak M., Weissenberg J., and Zwierzykowski P.*, “Analytical model of the single threshold mechanism with hysteresis for multi-service networks,” *IEICE Transactions on Communications*, vol. 95, no.1, pp.120–132, 2012.
3. *Sobieraj M., Stasiak M., and Zwierzykowski P.*, “Model of the Threshold Mechanism with Double Hysteresis for Multi-service Networks,” in *Computer Networks*, vol. 291 of *Communications in Computer and Information Science*, pp. 299-313, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2012.
4. <https://www.statslab.cam.ac.uk/~frank/PAPERS/ima.pdf>
5. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S138912862100205X>
6. http://paper.ijcsns.org/07_book/200704/20070435.pdf

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАФИКА МУЛЬТИСЕРВИСНОЙ СЕТИ

САФАРЛИ Л.С., ГОЧУЕВА А.Ф.

Трафик передачи данных является ключевым компонентом систем связи. Для обработки растущих потоков трафика необходимы соответствующие методы анализа и мониторинга сети, поскольку сетевые системы сталкиваются со все более растущими и неполными требованиями со стороны пользователей и сетевых систем. Анализ трафика имеет решающее значение для понимания требований и возможностей сети. В последние годы было обнаружено множество моделей дорожного движения, которые не в полной мере отражают характеристики дорожного движения. Однако не существует единой модели трафика, которая могла бы эффективно отражать характеристики, присущие всем типам сетевого трафика. Поэтому понимание характеристик различных моделей и в конечном итоге определение наилучшей модели трафика для интересующей среды стало одной из самых важных и прибыльных задач. В данном исследовании будут рассмотрены некоторые широко используемые модели сетевого трафика, а также выделены основные особенности моделей и характеристики трафика.

Ключевые слова: мультисервисная сеть, трафик, концепция фрактальности.

MODELING MULTISERVICE NETWORK TRAFFIC

SAFARLI L.S., GOCHUYEVA A.F.

Data transmission traffic is a key component of communication systems. Appropriate network analysis and monitoring methods are required to accommodate the increasing traffic flows, as network systems face increasingly complex and incomplete demands from users and network systems. Traffic analysis is vital to understanding the requirements and capabilities of the network. In recent years, numerous traffic models have been observed that do not fully represent the traffic characteristics. However, there is no single traffic model that can effectively represent the characteristics inherent to all types of network traffic. Therefore, understanding the characteristics of different models and ultimately determining the best traffic model for the environment of interest has become one of the most important and profitable tasks. In this paper, some widely used network traffic models will be reviewed, and the main features of the models and traffic characteristics will be highlighted.

Keywords: multiservice network, traffic, concept of fractality.

DOI:10.70784/azip.5.2025293

MODUL ELEKTRİK STANSİYALARI VƏ İNTELEKTUAL İDARƏETMƏ SİSTEMİ HAQQINDA ƏDƏBİYYAT İCMALI

ALLAHVERDİYEVA A.Y., CƏBİYEVA A.C.

*Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti, Azadlıq prospekti 20,
Bakı, Azərbaycan, AZ1010
aytac_adna@mail.ru
aynur.jabiyeva@outlook.com*

İşdə ölkəmizdə və xaricdə tətbiq olunan daxili yanma mühərrikli modul elektrik stansiyalar haqqında, stansiyalarda tətbiq olunan avtomatik idarəetmə və intellektual idarəetmə sistemi haqqında ədəbiyyat icmalı verilmişdir.

Açar sözlər: modul elektrik stansiyalar, daxili yanma mühərriki, avtomatik idarəetmə, intellektual idarəetmə, dəyişən rejim.

Hər bir ölkədə elektrik enerjisinin istehsalı və istismarı dövlətin iqtisadi dinamikliyini və əhalinin həyat səviyyəsini göstərir. Energetika sistemi – elektrik stansiyaları, ötürücü sistemləri, paylayıcı elektrik şəbəkələri, onların avtomatik idarəetmə sistemi, tələbatçıların fasiləsiz enerji ilə təmin olunması mürəkkəb proseslərdir. Bu sistemin digər sahələrdən fərqi elektrik stansiyalarının dəyişən rejimdə işləməsidir. Bunun üçün enerji sistemində tələb olunan balans saxlamaq üçün Bakı şəhərində və rayonlarda daxili yanma mühərrikli modul elektrik stansiyaları tikilib istifadəyə verilib və gələcəkdə də tikilməsi nəzərdə tutulmuşdur. Belə mühərriklər daha da təkmilləşdirilərək Avropa, Cənub-Şərqi Asiya, Cənubi Amerika və Afrika ölkələrində geniş istifadə edilir. Modul elektrik stansiyalarda porşenli daxili yanma mühərriklərindən istifadə edilir. Bu maşınlarda, silindirdə yanacaq yandırılır və alınan istilik işə çevrilir. Belə stansiyalarda mühərrik və generator ümumi əsas çərçivəyə quraşdırılıb. Köməkçi qurğular isə, yəni qazın, havanın, soyuducu suyun və s. verilməsi modul bloklarda və qurğularda yerləşir. Buna görə də daxili yanma mühərrikli modul stansiyaları (DYM) modul elektrik stansiyası adlanır. Bu stansiyalar tez işə buraxılır və tez işdən saxlanılır. Dəyişən rejimdə bu stansiyalardan istifadə etmək əlverişlidir. Daxili yanma mühərriklərinin inkişaf tarixi 1860-cı ildə fransız mexaniki J.Lenyavin ixtira etdiyi ikitaklı qaz mühərriki ilə başlayır. Porşen gedişinin yarısında bu qarışıq qığılcımla alışdırılır, alınmış yanma məhsullar genişlənərək porşeni axıra qədər itələyib iş görür. Porşenin əks istiqamətdə hərəkəti zamanı yanma məhsulları xaric olunur. Belə mühərrikdə yanacağın istiliyindən istifadə dərəcəsi 4 %-ə qədər olurdu. 1862-ci ildə fransız mühəndisi Bo-de-Poşa qaz mühərrikində qarışıqın alışdırılmasından əvvəl, sıxılmasını təklif etdi. Belə mühərrik 1878-ci ildə alman texniki H.Otto tərəfindən yaradılmışdır. Bu mühərriklər istiliyi sabit həcmdə verilən tsikl üzrə işləyir və Otto mühərrikləri adlanır. Hazırda geniş tətbiq edilən porşenli benzin mühərrikləri Otto tsikli ilə işləyir. Rusiyada benzinlə işləyən ilk karbürətorlu mühərrik 1879-cu ildə dəniz donanması kapitanı J.L.Kosroviç tərəfindən hazırlanmışdır [3].

1892-ci ildə alman mühəndisi R.Dizel mühərriklərin yanacağın sıxılmış hava ilə alışdırılması (öz-özünə) ideyasını irəli sürdü.

1897-ci ildə dizel (istiliyi sabit təzyiqdə verilən daxili yanma mühərrikləri) tsikli üzrə ilə işləyən ilk mühərrik sınaqdan çıxdı. 1901-ci ildə rus mühəndisi Q.V.Trankler kompressorsuz işləyə bilən mühərrik təklif etdi. Belə mühərriklərdə yanacağı yüksək təzyiq altında silindrə püskürmək üçün kiçik ölçülü xüsusi nasos və forsunkadan istifadə olunur.

1903-1908-ci illərdə məşhur rus ixtiraçısı J.V.Mamin tərəfindən qənaətlə işləyən kompressorsuz dizel mühərrikləri yaradıldı. Mühərriklərin müasir inkişaf mərhələsində sovet alimlərindən H.A.Brulinq, A.A.Mikulın, V.J.Klimov, V.S.Steckin, Q.Q.Kalış, H.V.Jnozemtsev və başqalarının böyük əməyi olmuşdur. Qeyd etdiyimiz kimi DYM-in dəyişən rejimdə istifadə etmək əlverişlidir. Belə ki, stansiyanın yükü dəyişdikdə istehsal prosesi pozulur və bu xüsusiyyətlər energetika sisteminin avtomatlaşdırılmasını zəruru edir. Enerji sisteminin inkişafı, yeni texnologiyaların tətbiqi, texnoloji proseslərdə avtomatikanın, intellektual idarəetmə sisteminin, süni intellektin tətbiqini zəruri edir. İntellektual idarəetmə sistemi həyatın bütün sahələrinə daxil olub, mürəkkəb obyektlərin və proseslərin idarəetmə və avtomatlaşdırılması məsələlərinin həll edilməsində iştirak edir. İntellektual sistem anlayışı, süni intellekt və müasir idarəetmə sistemi ilə sıx bağlıdır. İntellektual idarəetmə sistemi və avtomatlaşdırma stansiyada bütün rejimlərdə, enerji istehsalı və ötürülməsi, paylanması və s. proseslərdə iştirak edir. Avtomatik və intellektual idarəetmə sistemi normal və qəza rejimlərdə elektrik stansiyalardakı prosesləri idarə edir. Son zamanlar idarəetmə sistemləri olan, avtomatik idarəetmə nəzəriyyəsi və süni intellekt nəzəriyyəsi geniş yayılmışdır. İntellektual idarəetmə sisteminin xaricdə sənayedə və qeyri-sənaye sahəsində tətbiqi çox marağa səbəb olmuşdur [1-2]. Alınan nəticələrin tətbiqi və kommersiya istifadəsi yapon firmasına məxsusdur. Bu geniş istiqamət haqqında çoxlu nəşrlərin olmasına baxmayaraq, sistemdə gedən proseslər haqda eyni fikirlər yoxdur. Hər hansı idarə sistemindən söhbət gedirsə, burada iki blokun əlaqəsindən söhbət gedir: idarəetmə obyektı (İO) və idarəetmə qurğusu (İQ). İO – dedikdə hər hansı texnoloji prosesi yerinə yetirən texnoloji prosedən söhbət gedir, hansı ki, kənardan xüsusi tsikl olunmuş təsirə ehtiyacı var ki, prosesi effektiv icra etsin.

LQ – idarəetmə qurğusu dedikdə, bu formalaşmış obyektin idarə olunmasına təsir edir. Bu bloklar bir-biri ilə sıx əlaqədar və bu sistemlər avtomatik idarəetmə sistemi adlanır. Avtomatik idarəetmənin əsas öyrənilən obyektı tənzimləyicilərdir. Belə sistemin vasitəsilə, operatorun köməyi olmadan verilən fiziki kəmiyyətlərin hüdudunda məsələ həll olunur. Hesablama maşınlarının yaranması, idarəetmə nəzəriyyəsinin inkişafına böyük təsir göstərdi. EHM məlumatları universal çevirir. EHM bu sistemdə məlumatları işləyir, hansı ki, bunu əvvəllər operator – adam yerinə yetirirdi. Tədqiqatlar nəticəsində birinci nəticələr alındı, hansı ki, maşın proqramlarının yaranması ilə əlaqədar idi və insanın yaradıcı fəaliyyətinə imitasiya edirdi. Beləliklə, elmi istiqamətdə yeni istiqamət yarandı. Sonradan bunu “süni intellekt” adlandırdılar. Süni intellektin əsas tətbiq sahəsi, problemlə sahələr haqqında biliklərdən istifadə edib, məsələləri həll edib, formalaşdırıb, intellektual idarə sisteminin konsepsiyasını formalaşdırmaqdır.

Son illər süni intellekt elmi haqqında aktiv tədqiqatlar gedir. Bu tədqiqatlar birləşmiş şəkildə “çoxagentli sistem” adlanır [4]. “Agent” ifadəsi o deməkdir ki, hər hansı bir canlı əşya, hər hansı bir yerdədir və bu hadisələr haqda agent məlumat alır və həmin sahəyə uyğun təsiri formalaşdırır. Nəzəri cəhətdən çoxagentli sistemin əsas məsələsi, agentlər arasında arxitektura yaratmaq, bir çox agentlər arasında və ayrı-ayrı agentlər arasında və mühit arasında əlaqə yaratmaqdır.

İntellektual idarə sisteminin yaradılması. İntellektual idarəetmə nəzəriyyəsi yeni perspektiv və tez inkişaf edən elm sahəsidir. Tətbiqi intellektual idarəetmə sistemi durmadan genişlənir. İnkişaf etmiş ölkələrdə intellektual idarəetmə sisteminə qoyulan kapital qoyuluşu milyard dollardır. Tədqiqatın intensivliyi və material xərcləri bazarın tələbinə əsaslanır. İntellektual informasiya sistemi həyatın bütün sahələrinə daxil olub, buna görə də mürəkkəb obyektlərin və proseslərin idarəetmə və avtomatlaşdırılması məsələlərinin həll edilməsində iştirak edir. İntellektual sistem anlayışı süni intellektlə (Sİ) və müasir idarəetmə nəzəriyyəsi ilə sıx bağlıdır [1, 2, 5].

(Sİ) keçən əsrin 50-ci illərindən başlayaraq, hesablama texnikası, informasiya və kibernetika elmləri ilə əlaqədar çox geniş yayılmağa başladı. Akademik Q.S.Pospelov “Süni intellekt yeni informasiya texnologiyasının əsasıdır” kitabında yazır. Süni intellekt dedikdə, ağıllı, insanın dediklərini, maşının getməsinə məcbur edən elm başa düşülür.

Filosofiyadan və psixologiya elmindən fərqli olaraq, süni intellektin tədqiqatları və texniki sistemin araşdırılması sadəcə başa düşməyə yox, intellektual sistemin qurulmasına əsaslanıb. A.S.Ostroux “İntellektual məlumat sistemləri və texnologiyaları” monoqrafiyasında intellektual sistemin konseptual əsasları və üsulları verilmişdir. İntellektual sistemin araşdırılması və layihəsində tətbiq olunan müxtəlif yanaşmalar, nəqliyyat kompleksi texnologiyaları, həmçinin süni intellekt sisteminin inkişafına baxılmışdır. Monoqrafiyadan “İnformatika və hesablama texnikası” ixtisası üzrə təhsil alan aspirantlar, elmi işçilər istifadə edə bilərlər.

B.H.Zaxarov “İntellektual idarəetmə sistemi əsas anlayışlar və təyinatlar” məqaləsində, iki blokun qarşılıqlı təşkil olunmuş əlaqəsindən, yəni idarəetmə obyektini (YO) və idarəetmə qurğusundan (YQ) bəhs edir. Qeyd edilir ki, (YO) hər hansı texnoloji prosesi yerinə yetirir və bunun üçün xaricdən xüsusi təşkil olunmuş təsirə ehtiyacı var. İdarəetmə qurğusu isə (YO) idarəetmə obyektinə lazımi təsir edir. Belə halda bu bloklar bir-biri ilə sıx əlaqədədir. Bu halda həm idarəetmə obyektini (YO) və ya avtomatik idarəetmə sistemi üçün (AYS) birlikdə formal model olmalıdır. Bu məqalədə idarəetmə quruluşu (İQ) və idarəetmə obyektini eyni cür başa düşülür və qurğunun idarə olunması (Qİ) kimi eyni formal model kimi fəaliyyət göstərməlidir. (YO) xarici mühitə giriş və çıxışı olan tək blokdir. B.M.İvanov “İntellektual sistemlər” adlı dərs vəsaitində süni intellektin əsas məsələləri və onların həll yolları, alqoritmləri, müxtəlif alqoritmlərin müqayisəsi və proqramlarda alqoritmin istifadəsinə aid məsələlər göstərilmişdir.

A.M.Korovin “İntellektual sistemlər” müəzirlər toplusunda sosial-iqtisadi idarəetmə sistemində və mürəkkəb texniki obyektlərdə istifadə olunan müasir intellektual sistemlər haqqında icmal formasında əsas anlayışları: üsulları, texnologiyaları göstərilmişdir. A.M.Korovin “İnformatika və hesablama texnikası” ixtisası üzrə təhsil alan magistrlərin tədris planına “İntellektual sistemlər” adlı fənnin əlavə edilməsini təklif etmişdir. Akademik Q.S.Pospelov “Süni intellekt – yeni informasiya texnologiyasının əsasıdır” və qeyd etmişdir ki, “Süni intellekt ağıllı adamın gördüyü işi, maşının yerinə yetirməsi” deməkdir. B.J.Sovetov və baş. “İntellektual sistemlər və texnologiyalar” dərcikdə süni intellektin texnologiyaları, layihə sistemləri, funksiyaları və kompleks problemləri məsələlərinə baxmışlar.

NƏTİCƏ

1. Enerji sistemində tələb olunan balanslı saxlamaq üçün daxili yanma mühərrikli modul elektrik stansiyalarından istifadə etmək daha əlverişlidir.
2. Bu stansiyalar tez işə buraxılır və tez işdən saxlanılır.
3. XXI - əsrdə intellektual idarəetmə sistemi aktiv və dinamik olaraq insanların həyatına daxil olmuşdur.
4. İntellektual sistemlər insanların həyat fəaliyyətinin bütün sahələrində tətbiq olunur və onların həyat şəraitini dəyişir.
5. Süni intellekt sistemləri mürəkkəb problemləri müvəffəqiyyətlə həll edir.

-
1. *Осипов Г.С.* Методы искусственного интеллекта. Издательство фирма «Физико-математическая литература». ISBN-978-5-9221-1323-6, Москва, 2016, 297 стр.
 2. *Ясницкий Л.Н.* Интеллектуальные системы. Учебник для высшей школы (Лаборатория знаний), ISBN -978-5-3208-714-5, Москва, 27 октября 2016, 224 с.
 3. Охотников Б.Л. Эксплуатация двигателей внутреннего сгорания. Учебное пособие. Издательство Уральского, ISBN-978-5-7996-1204-7, Москва 2014 – 140 с.
 4. *Ивацкин Ю.А.* Мультиагентное моделирование в имитационной системе. ISBN -978-5-93208-7621-9, Москва, 2016, 361 стр.
 5. *Андрейчикова О.Н., Андрейчиков А.В.* Интеллектуальные информационные системы и методы искусственного интеллекта. ISBN: 978-5-16014-8830, Москва, 2024, с.530

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ ПО МОДУЛЬНЫМ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯМ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМ СИСТЕМАМ УПРАВЛЕНИЯ

АЛЛАХВЕРДИЕВА А.Ю., ДЖАБИЕВА А.ДЖ.

В данной работе представлен обзор литературы по модульным энергетическим установкам с двигателями внутреннего сгорания, применяемым в нашей стране и за рубежом, а также по системам автоматического управления и интеллектуального управления, применяемым на установках.

Ключевые слова: модульные энергетические установки, двигатель внутреннего сгорания, автоматическое управление, интеллектуальное управление, переменный режим.

LITERATURE REVIEW ON MODULAR POWER PLANTS AND INTELLIGENT CONTROL SYSTEMS

ALLAHVERDIYEVA A.Y., JABIEVA A.J.

This work presents a literature review on modular power plants with internal combustion engines, applied in our country and abroad, and on automatic control and intelligent control systems applied in the plants.

Keywords: modular power plants, internal combustion engine, automatic control, intelligent control, variable mode.

DOI:10.70784/azip.5.2025297

ADAPTIV İDENTİFİKASIYA MODELƏRİ VƏ ALQORİTMLƏRİ ÜZRƏ QUYU QAZ-HİDRODİNAMİK TƏDQIQATLARININ QIYMƏTLƏNDİRİLMƏSİ**HƏŞİMOV X.X., MƏMMƏDOV İ.A.**

*Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti, Azadlıq prospekti 20, Bakı,
Azərbaycan, AZ1010
leylasafar03@gmail.com
xanlar.hashimov.x@asoiu.edu.az*

Bu tədqiqat qaz-hidrodinamik tədqiqatlarda filtrasiya müqavimətinin dəqiq qiymətləndirilməsinin əhəmiyyətini və adaptiv identifikasiya metodlarının rolunu araşdırır. Lay təzyiqindəki kiçik səhvlər filtrasiya müqavimətinin əmsallarında böyük sapmalara səbəb olur ki, bu da qaz və neft yataqlarının səmərəli işlənməsinə təsir edir. Adaptiv inteqrasiya modelləri metodu filtrasiya müqavimətinin daha dəqiq qiymətləndirilməsinə və sınaq rejimlərinin azaldılmasına imkan verir. Forxgeymer modelinin tətbiqi ilə qaz və neft laylarının hidrodinamik xüsusiyyətləri daha dəqiq müəyyən edilir. Tədqiqatın nəticələri göstərir ki, ölçmə cihazlarının həssaslığının artırılması və əlavə məlumatların tətbiqi qiymətləndirmələrin dəqiqliyini yüksəldir. Ümumilikdə, bu metodlar qaz quyularının idarə olunmasında daha effektiv qərarların qəbul edilməsinə və hasilat prosesinin optimallaşdırılmasına kömək edir.

Açar sözlər: qaz-hidrodinamik tədqiqatlar, adaptiv identifikasiya, modellər, lay, neft, quyu, hidrodinamik.

1. Giriş

Məqalədə, iki dəyişkənli və güc qanunu üzrə filtrasiya ilə dəyişən parametrləri nəzərə alaraq İnteqrasiya olunmuş modellər sistemləri müzakirə olunur, əlavə məlumatların və ekspert qiymətləndirmələrinin düzəlişi ilə birləşdirilir. İnteqrasiya olunmuş modellər sistemi, qaz və ya neft laylarının daha dəqiq qiymətləndirilməsinə imkan verir və bu sistemlər vasitəsilə filtrasiya proseslərinin necə baş verdiyini anlamağa kömək edir.

Tədqiqatların məqsədi qaz-hidrodinamik tədqiqatların nəticələrini daha dəqiq şərh etmək və əldə edilən nəticələri məlumatların düzgün işlənməsi ilə optimallaşdırmaqdır. Güc qanunu əsasında filtrasiya qanunu tətbiq edildikdə, layın xüsusiyyətləri daha dəqiq qiymətləndirilir və bununla da qazın və ya neftin yeraltı şəraitdə necə hərəkət etdiyi başa düşülür.

Bu fəsilə parametrik identifikasiya məsələləri həll olunur, burada əsas məqsəd lay parametrlərinin optimallaşdırılmış qiymətləndirilməsidir. Tədqiqatda, layların fiziki xüsusiyyətlərini təhlil edərək qaz-hidrodinamik modelin parametrləri müəyyən edilir. Bu metodologiya, verilmiş keyfiyyət kriteriyalarına uyğun olaraq, qiymətləndirmələrin dəqiqliyini artırır və layın davranışını daha doğru təsvir edir.

Filtrasiya qanunu olaraq güc qanununun tətbiqi ilə, məhdud yataq məlumatları ilə, xüsusən də az məlumatın mövcud olduğu hallarda, lay təzyiqinin daha doğru qiymətləndirilməsinə nail olunur. Güc qanunu, layın xüsusiyyətlərini daha dəqiq qiymətləndirməyə imkan verir və təzyiqin bərpası proseslərinin daha düzgün modelləşdirilməsini təmin edir.

Əlavə olaraq, lay təzyiqinin və filtrasiya müqavimətinin daha dəqiq təyin edilməsi məqsədilə quyudaxili təzyiq və debi məlumatlarının çoxaldılması məsələsi də güc qanunu əsasında həll edilir. Bu yanaşma, məlumatların təkrarlanması və daha dəqiq analizlər aparılmasına imkan verir. Layın parametrlərinin dəqiq qiymətləndirilməsi, qaz və ya neftin hərəkətinin düzgün təsvirini təmin edir və gələcəkdəki işlərin planlaşdırılması və optimallaşdırılmasına şərait yaradır.

Bu metodlar və alqoritmlər, quyuların sınaq nəticələrinin daha effektiv və sürətli emalını təmin edərək, qaz-hidrodinamik sistemlərin daha yaxşı anlaşılmasına və qiymətləndirilməsinə

imkan verir. Bu cür modellərin tətbiqi layların idarə olunmasında daha doğru qərarların verilməsini təmin edir və tədqiqatların effektivliyini artırır.

2. Adaptiv identifikasiya və quyu qaz-hidrokinamik tədqiqatlarının forxgeymer filtrasiya qanunu ilə istifadəsi

Bu bölmədə, dəyişən parametrlərlə Forxgeymer modelinin inteqrasiya olunmuş sisteminin istifadə edilməsi ilə qaz laylarının adaptiv identifikasiyası məsələsinin həlli müzakirə edilir. Həll üsulunda, filtrasiya müqavimətinin əmsalları olan \bar{a} və \bar{b} kimi aprior məlumatların düzəlişi və əlavə məlumatların daxil edilməsi nəzərə alınır [4].

Adaptiv identifikasiya prosesi, qaz-hidrokinamik sistemlərin parametrlərini daha dəqiq qiymətləndirməyə kömək edən bir yanaşmadır. Bu metodda, Forxgeymer modelinin tətbiqi, qazın və ya neftin yeraltı şəraitdə necə hərəkət etdiyini müəyyən etməyə və filtrasiya xüsusiyyətlərini daha dəqiq təyin etməyə imkan verir. Forxgeymer qanunu, xüsusilə poroz (bu tip mühitlər, əsasən daşlar, torpaq, qum, beton, sintez edilmiş materiallar və digər filtrasiya xüsusiyyətlərinə malik materiallar ola bilər) mühitdəki qaz axını və maye axınlarının təhlilində geniş istifadə olunur. Bu qanun, təzyiqin və debinin dəyişməsinin nəzərə alınmasını təmin edir və layın filtrasiya proseslərini təsvir edir.

Bu prosədə əsas diqqət, qaz laylarının parametrik identifikasiyasına yönəlmişdir. Filtrasiya müqavimətinin əmsalları \bar{a} və \bar{b} əvvəlcədən əldə olunan məlumatlarla müəyyən edilir və adaptiv identifikasiya alqoritmləri vasitəsilə bu parametrlər düzəldilir. Əlavə məlumatlar və ekspert qiymətləndirmələri düzgün təhlil aparmağa kömək edir və nəticələrin daha etibarlı olmasını təmin edir.

İnteqrasiya olunmuş sistemlər sayəsində, bu metod layların müxtəlif xüsusiyyətlərinin (məsələn, filtrasiya müqaviməti, təzyiq və debi şərtləri) və müxtəlif dəyişən parametrlərin necə əlaqələndiyini anlamağa imkan verir. Bu yanaşma, parametrlərin doğru qiymətləndirilməsi üçün yalnız nəzəri deyil, həm də praktiki məlumatlara əsaslanır.

Forxgeymer modelinin tətbiqi ilə, lay təzyiqi və filtrasiya müqaviməti daha düzgün qiymətləndirilir. Bu prosesin effektivliyi, qaz-hidrokinamik tədqiqatların daha doğru nəticələr əldə etməsinə kömək edir və lay parametrlərinin optimallaşdırılmasını təmin edir.

Son olaraq, adaptiv identifikasiya alqoritmləri sayəsində aprior məlumatların və ekspert qiymətləndirmələrinin daha düzgün tətbiqi qaz-hidrokinamik tədqiqatların düzgünlüyünü və effektivliyini artırır. Bu yanaşma, həmçinin layların məhsuldarlığının artırılması və neft və qaz sahələrinin daha effektiv işlənməsi üçün mühüm bir alət təqdim edir [1,2]:

$$\begin{cases} p_l^2 - p_{q,n}^2 = C_n + a_n^* q_n^* + b_n q_n^{*2} + \xi_n, \\ h_{k2,n} \cdot a = a_n + \eta_{1,n}, \\ h_{kq,n} \cdot b = b_n + \eta_{2,n}, \quad n = \overline{1, n_k}. \end{cases} \quad (1)$$

(1) ifadəsi inteqrasiya olunmuş sistem modelinin matris formasında parametr vektorunun müəyyən edilməsidir.

Bu tənlikdə, inteqrasiya olunmuş sistem modelinin parametrləri matris formasında ifadə edilir və həmin parametrlərin vektoru müəyyən edilir. Parametr vektoru, sistemin müxtəlif fiziki xüsusiyyətlərini təsvir edən dəyişənlərdən ibarətdir. Bu vektor, layın filtrasiya xüsusiyyətlərini, quyu təzyiqini və digər vacib parametrləri əhatə edir. Tənlikdə hər bir parametrin qiyməti, həm aprior məlumatlara, həm də eksperimentlərdən əldə edilən məlumatlara əsaslanır. Parametr vektorunun dəqiq müəyyən edilməsi, sistem modelinin düzgün qurulmasına və nəticədə layın məhsuldarlığının artırılmasına kömək edir [7].

Bu parametr vektoru, sistemə daxil olan hər bir dəyişənin qiymətləndirilməsi və layın xüsusiyyətlərini düzgün qiymətləndirmək üçün vacib bir alət rolunu oynayır. Filtrasiya müqaviməti və layın sıxlıq xüsusiyyətləri kimi parametrlərin dəqiq təyini, tədqiqatların doğruluğunu və əldə edilən nəticələrin etibarlılığını artırır.

Matris forması isə, hesablama proseslərini sürətləndirir və kompleks sistemlərin daha asan şəkildə analiz edilməsinə imkan verir.

$$\begin{cases} y_n^* = F_n \alpha_n + \xi_n, \\ W(h_{k,n}) \alpha = \alpha_n + \eta_n, \quad n = \overline{1, n_k}. \end{cases} \quad (2)$$

Adaptiv identifikasiya metoduna (2), oxşar olaraq [3, 6],

$$\alpha_n^*(\omega_n) = \arg \min_{\alpha_n} \Phi(t_n, \alpha_n, \omega_n), \quad \omega_n^* = \arg \min_{\omega_n} J_0(t_n, \alpha_n^*(\omega_n)), \quad n = \overline{1, n_k}$$

optimallaşdırma məsələlərinin həlli yolu ilə həyata keçirilir.

$$\alpha_n^*(\omega_n) = \arg \min_{\alpha_n} (\Phi(\alpha_n, \omega_n) = J_0(\alpha_n, h_{q,n}^*) + J_a(\alpha_n, h_{p,n}^*, h_{k,n}^*)), \quad (3)$$

$$\omega_n^* = \arg \min_{\omega_n} J_0(\alpha_n^*(\omega_n)). \quad (4)$$

Burada, $y_n^* = (p_l^2 - p_{q,n}^{*2}, \quad n = \overline{1, n_k})$ — lay təzyiqinin məlum dəyəri p_l ilə quyudaxili təzyiqlərin kvadratlarının fərqinin sütun vektoru

$F_n = (f_n = (1, q_n^*, q_n^{*2}), \quad n = \overline{1, n_k})$ -İnteqrasiya olunmuş modelin matrisidir, $\bar{\alpha} = (0, \bar{a}, \bar{b})$ — əlavə aprior məlumatlar vektoru, $\alpha_n = (\alpha_{1,n} = C_n, \quad \alpha_{2,n} = a_n, \quad \alpha_{3,n} = b_n)$ -İnteqrasiya olunmuş modelin qeyri-məlum parametrlərinin vektorları, $W(h_{k,n}) = \text{diag}(0, h_{k2,n}, h_{k3,n})$ — əlavə məlumatların düzəliş parametrləri matrisidir a ;

ξ_n, η_n -təsadüfi dəyişənlər vektorları, quyudaxili təzyiq və debi ölçmələrinin səhvlərini, əlavə məlumatlardakı səhvləri və ekspert qiymətləndirmələrini əks etdirir.

$\Phi(\alpha_n, \omega_n)$ — ümumi keyfiyyət göstəricisi

$J_0(\alpha_n, h_{q,n}^*), \quad J_a(\alpha_n, h_{p,n}^*, h_{k,n}^*)$ - İnteqrasiya olunmuş modelin və əlavə məlumatların keyfiyyət göstəricilərinin törəmələri $\bar{\alpha}$ (2).

$\omega_n^* = (h_{q,n}^*, h_{p,n}^*, h_{k,n}^*)$ - Unudulma parametrlərinin idarəetmə parametrləri üçün optimal dəyərlər $h_{q,n}^*$, adaptiv interpretasiya prosesinin təşkilində, regularizasiya $h_{p,n}^* = (0, h_{p2,n}^*, h_{p3,n}^*)$ və əlavə məlumatların düzəlişi $h_{k,n}^* = (0, h_{k2,n}^*, h_{k3,n}^*)$ üçün optimallaşdırma məsələsinin həlli ilə əldə edilir.

Optimallaşdırma məsələlərini (3), (4) həll etmək üçün ümumi keyfiyyət göstəricisindən istifadə edəcəyik.

$$\Phi_n(\alpha_n, \alpha) = \left\| y_n^* - F_n \alpha_n \right\|_{K(h_n)}^2 + \left\| W(h_n) \bar{\alpha} - \alpha_n \right\|_{P(h_n)}^2 \quad (5)$$

Optimallaşdırma məsələsi (3), (5) nəzərə alınmaqla, aşağıdakı tipli xətti alqebraik tənliklər sisteminin həllinə gətirilir.

$$A_n \alpha_n^*(\omega_n) = B_n \quad (6)$$

$$A_n = (F_n^T K(h_{q,n}) F_n + W(h_{p,n})); \quad B_n = (F_n^T K(h_{q,n}) y_n^* + W(h_{p,n}) W(h_{k,n}) \bar{\alpha})$$

Burada, $K(h_{q,n}) = \text{diag} \left(w_n \left(\frac{(n-i)}{h_{q,n}} \right) \right), \quad n = \overline{1, n_k}, \quad i = \overline{1, n_k - 1}$ - unudulma parametri $h_{q,n}$

ilə çəkilərin funksiyasının dəyərləri matrisasıdır; $W(h_{p,n}) = \text{diag}(0, h_{p2,n}, h_{p3,n})$ -Regularizasiya parametrlərinin dəyərləri matrisidir.

Qeyd etmək lazımdır ki, $h_{p2,n} = h_{p3,n} = h_{p,n} = 0$ və $h_{p2,n} = h_{p3,n} = h_{p,n}^* = h_{2,n} = h_{3,n} = 0$ olduqda, (6) tənliyindən müvafiq olaraq, ən kiçik kvadratlar metodunun adaptiv qiymətləndirilməsi və regularizasiya metodunun adaptiv qiymətləndirilməsi alınır.

Modelin (1), (2) imitasiyalı modelləşdirmə metodu ilə filtrasiya müqavimətinin a , b əmsallarının qiymətləndirilməsinin dəqiqliyini analiz edəcəyik. Bunun üçün integrasiya olunmuş sistem modelini (1) modelləşdirmə üçün uyğun formatda təqdim edəcəyik.

$$\begin{cases} p_l^2 - p_{q,n}^{*2} = (C_0 + a_0 q_n + b_0 q_n^2)(1 + c_1 \xi_n), \\ \bar{a}_0 = a_0(1 + c_2 \eta), \\ \bar{b}_0 = b_0(1 + c_3 \varepsilon), \quad n = 1, \bar{n}_k \end{cases} \quad (7)$$

Burada, $p_{q,n}^{*2}$, $n = 1, n_k$ - verilən debi qiymətləri q_{n_k} ilə qaz quyusunun quyudaxili təzyiqinin kvadratlarının imitasiyalı qiymətləri, quyunun müxtəlif iş rejimlərində $n = 1, n_k$ və quyu təzyiqi $p_{n_k}^2$ verilən parametrləri üçün; p_l - lay təzyiqinin verilmiş qiyməti; \bar{a}_0, \bar{b}_0 - əlavə aprior məlumatlar və ekspert qiymətləndirmələri ilə filtrasiya müqavimətinin imitasiyalı qiymətləri; $c_i, i = 1, 3$ - filtrasiya müqavimətinin ölçülməsi zamanı təyin edilmiş səhv səviyyəsini göstərən sabitlər, hansı ki, quyudaxili təzyiq ölçmələrindəki səhvlərin və əlavə məlumatların və ekspert qiymətləndirmələrinin səhvlərinin ölçülməsini əks etdirir; $\xi_i, \eta_i, \varepsilon$ - təsadüfi dəyişənlər vektoru, burada təsadüfi dəyişənlər üçün psevdo-random ədədlər generatoru istifadə edilərək, normal paylanmaya uyğun gələn sıfır orta qiymət və vahid dispersiya ilə hesablanmış təsadüfi dəyişənlər əldə edilir - $N(0,1)$

Filtrasiya müqavimətinin əmsallarının qiymətləndirilməsinin dəqiqliyi kriteriyası olaraq $a_n^* = \alpha_{2,n}^*(\omega_n^*)$, $b_n^* = \alpha_{3,n}^*(\omega_n^*)$ istifadə ediləcək və biz onların nisbət səhvlərini tətbiq edəcəyik.

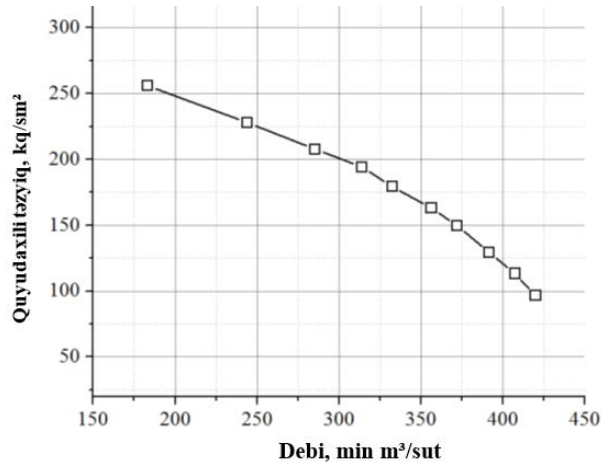
$$\delta_n(a_n^*) = \left| \frac{\alpha_{2,n}^*(\omega_n^*) - a_0}{a_0} \right| \quad \delta_n(b_n^*) = \left| \frac{\alpha_{3,n}^*(\omega_n^*) - b_0}{b_0} \right| \quad (8)$$

Burada, $\omega_n^* = (h_{3,n}^*, h_{p,n}^*, h_{k,n}^*)$ - filtrasiya müqavimətinin əmsallarının qiymətləndirilməsini təqdim edir. Filtrasiya müqavimətinin əmsallarının qiymətləndirilməsi $\alpha_{2,n}^*(\omega_n^*)$, $\alpha_{3,n}^*(\omega_n^*)$ - optimallaşdırma məsələsinin (6) həlli yolu ilə həyata keçirilir. Düzəliş parametrlərinin qiymətləndirilməsi $h_{k,n}$ (burada, $h_{kn} = h_{kn,2} = h_{kn,3}$) idarəetmə parametrləri vektorunda $\omega_n^* = (h_{k,n}^*, h_{p,n}^* = h_p, h_{3,n}^* = 3)$, optimallaşdırma məsələsini həll etməklə müəyyən edilir, burada $h_p \in [0.01-1]$ intervalında regularizasiya parametrlərinin verilən dəyəri və cari intervallarda müntəzəm olaraq birlik qiymətləri olan çəkirlərin funksiyası mövcuddur. Qeyd olunan intervalda, quyudaxili təzyiq və debi üzrə məlumatlar $\left(w_n \left(\frac{(n-i)}{h_{3,n}} \right) \right)$ istifadə edilərək $n-i \leq h_{q,n} = 3$ olduqda qiyməti 1, $n-i \geq h_{q,n} = i = \overline{0, n-1}$ olduqda isə 0 qəbul edilir.

Bu tənləklərdə h_{q_i} üçün uyğun səhvlər və təsadüfi dəyişənlər tətbiq olunur, burada əsas məqsəd qaz-hidrodinamik modelin daha düzgün işlənməsi üçün parametrlərin optimallaşdırılması və uyğun qiymətləndirilməsinin aparılmasıdır [5].

3. Qaz-hidrodinamik tədqiqatlarda adaptiv metodların tətbiqi

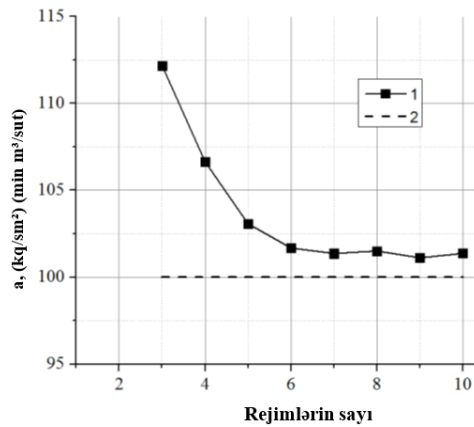
Şəkil 1.-də, qaz quyusunun 10 iş rejimində imitasiyalı quyudaxili təzyiq dəyərləri göstərilmişdir, bunlar modelə (7) əsasən $C_1 = 0,01$ və quyunun debi qiymətlərinin 180-dən 420 min $m^3/günə$ qədər olan intervallarda əldə edilmişdir.



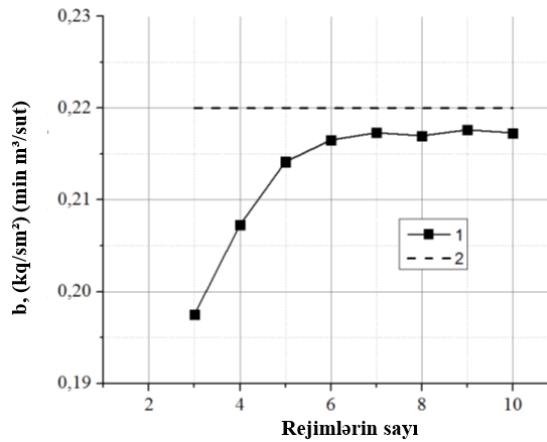
Şək.1. Quyudaxili təzyiqin imitasiyalı dəyərləri.

Şəkil 2. və şəkil 3.-də filtrasiya müqavimətinin qiymətləndirilməsi göstərilmişdir: $a_n^* = \alpha_{2,n}^*(\omega_n^*)$, $b_n^* = \alpha_{3,n}^*(\omega_n^*)$ (xətt 1), tədqiqat rejiminin nömrəsinə və onların dəqiq qiymətlərinə bağlı olaraq, $C_0 = -5900(\text{kqc/sm}^2)^2$, $a_0 = 100 \frac{(\text{kqc/sm}^2)^2}{\text{min.m}^2 / \text{sut}}$, $b_0 = 0.22 \frac{(\text{kqc/sm}^2)^2}{\text{min.m}^2 / \text{sut}}$ verilmişdir.

$c_1 = 0.01$, $c_2 = 0.1$, $c_3 = 0.1$. parametrləri verilir. Təyin edilmiş lay təzyiqi $p_l = 290 \text{ kqc/sm}^2$.



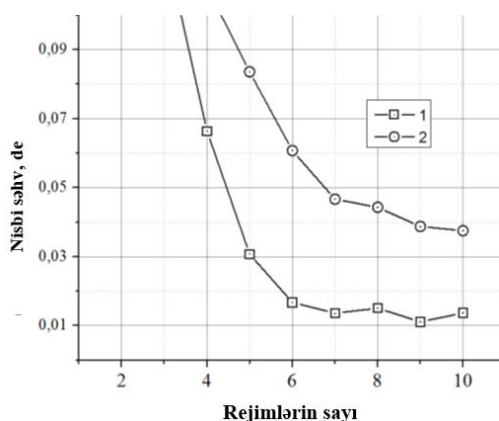
Şək.2. Filtrasiya müqavimətinin əmsalının qiymətləndirilməsi a_n^* (sətir 1) və $a_0 = 100$ (sətir 2).



Şək.3. Filtrasiya müqavimətinin əmsalının qiymətləndirilməsi b_n^* (sətir 1) və $b_0 = 0,22$ (sətir 2).

Şəkil 4. və 2.5-də filtrasiya müqavimətinin əmsallarının qiymətləndirilməsindəki nisbət səhvləri göstərilmişdir: (8), (9) tənliklərindən əldə edilən qiymətlər, (6) tənliyindən adaptiv

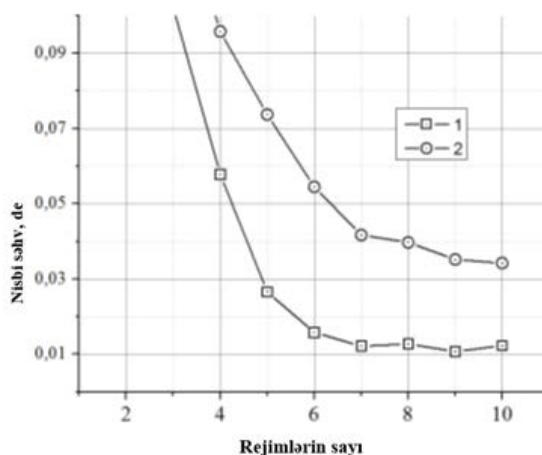
inteqrasiya modelləri metodu (xətt 1) və adaptiv regularizasiya metodu ilə müvafiq olaraq $h_{p,2,n} = h_{p,3,n} = h_{p,n}^*$ və $h_{k,2,n} = h_{k,3,n} = 0$ (xətt 2) istifadə edilərək əldə edilmişdir [8].



Şək.4. Filtrasiya müqavimətinin a_n^* əmsalının qiymətləndirilməsinin nisbi səhvləri, adaptive inteqrasiya olunmuş modellər metodu (xətt 1) və adaptiv regularizasiya metodu (xətt 2).

AİMM (adaptiv inteqrasiya modelləri metodu) qaz-hidrokinamik tədqiqatlarda parametrlərin qiymətləndirilməsini optimallaşdırmaq üçün istifadə olunur. Bu metod, əvvəlcədən əldə edilmiş məlumatları və ekspert qiymətləndirmələrini nəzərə alaraq adaptiv yanaşmalar tətbiq edir.

ARM (adaptiv regularizasiya metodu) yüksək səviyyəli səs-küyü olan problemləri həll etmək və modelin həddindən artıq uyumundan qaçmaq üçün tətbiq edilir. Bu metodlar neft və qaz sənayesində lay parametrlərinin dəqiq qiymətləndirilməsinə kömək edir.



Şək.5. Filtrasiya müqavimətinin b_n^* əmsalının qiymətləndirilməsinin nisbi səhvləri, adaptive inteqrasiya olunmuş modellər metodu (xətt 1) və adaptiv regularizasiya metodu (xətt 2).

Şəkil 2. və şəkil 5.-də təqdim olunan identifikasiya nəticələri, istifadə olunan alqoritmlərin keyfiyyətini və dəqiqliyini göstərir. Təklif olunan adaptiv inteqrasiya modelləri metodunun alqoritmləri, filtrasiya müqavimətinin əmsallarının qiymətləndirilməsində daha yüksək dəqiqlik əldə etməyə imkan verir. Bu metod, ənənəvi regularizasiya metodları ilə müqayisədə daha yaxşı nəticələr təqdim edir, çünki nisbət səhvləri daha aşağıdır.

Cədvəl 1.-də təqdim edilən nəticələr, qaz-hidrokinamik tədqiqatların aparılmasında filtrasiya müqavimətinin əmsallarının qiymətləndirilməsi üçün tələb olunan quyu tədqiqatlarının rejimlərinin sayı ilə əlaqəlidir. Bu hesablamalar, adaptiv inteqrasiya modelləri metodu və adaptiv regularizasiya metodu ilə əldə edilmiş nəticələr əsasında aparılmışdır. Hər iki metod üçün ekspert qiymətləndirmələrinin dəyişən qiymətləri nəzərə alınmışdır.

Tədqiqatların nəticələri, filtrasiya müqavimətinin daha dəqiq qiymətləndirilməsi məqsədilə qiymətləndirmə səhvlərinin azaldılmasının vacibliyini göstərir.

Tədqiqatın dəqiqliyi, ekspert qiymətləndirmələrinin doğruluğuna birbaşa təsir edir. Cədvəldə verilən hesablamalar, hər bir quyu tədqiqat rejimi üçün tələb olunan dəqiqlik səviyyələrini və təzyiqin ölçülməsi səhvlərini nəzərə alır. Məsələn, 1% ölçmə səhvi ($c_1 = 0,01$) qəbul edilir ki, bu da qaz-hidrokinamik quyuların tədqiqatlarının praktikasına üçün qəbul edilən dəqiqlik həddinə uyğundur. Bu dərəcə səhv, real dünyadakı qaz-hidrokinamik tədqiqatlarda çox vaxt qarşılaşılan səhv səviyyəsini əks etdirir.

Tədqiqatların başa çatması barədə qərarların qəbul edilməsi üçün tələb olunan rejimlərin sayı n^* filtrasiya müqavimətinin əmsalları üçün dəqiqlik kriteriyalarına əsaslanaraq hesablanmışdır və $\alpha_{2,n}^*(\omega_n^*) = a_n^*$; $\alpha_{3,n}^*(\omega_n^*) = b_n^*$ (8), (9) tənlikləri ilə, $\varepsilon_2 = \varepsilon_3 = (0.03; 0.06; 0.08; 0.1)$ qiymətləri verilmişdir.

$$\delta_n^*(a_n^*) = \left| \frac{\alpha_{2,n-i}^*(\omega_{n-i}^*) - a_0}{a_0} \right| \leq \varepsilon_2, \quad \delta_n^*(b_n^*) = \left| \frac{\alpha_{3,n-i}^*(\omega_{n-i}^*) - b_0}{b_0} \right| \leq \varepsilon_3, \quad i = 1, 2$$

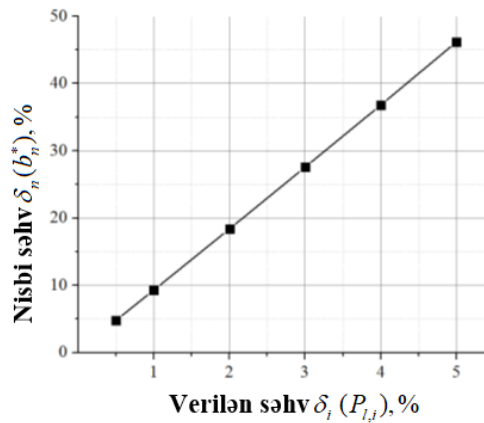
Cədvəl 1. Verilən dəqiqliklə qiymətləndirmələrin təmin edilməsi üçün quyunun sınaq rejimlərinin tələb olunan sayı.

İdentifikasiya metodu	Təxminlərin verilmiş dəqiqliyinə nail olmaq üçün sınaq rejimlərinin sayı							
	Qiymətləndirmələrin dəqiqlik səviyyəsi							
	$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0.03$		$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0.06$		$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0.08$		$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0.1$	
	Qiymətlər		Qiymətlər		Qiymətlər		Qiymətlər	
	a_n^*	b_n^*	a_n^*	b_n^*	a_n^*	b_n^*	a_n^*	b_n^*
Adaptiv requlyarizasiya metodu	-	-	8	7	7	6	6	5
Adaptiv inteqrasiya olunmuş modellər metodu	6	6	6	5	5	5	5	4

Cədvəl 1-də göstərilən nəticələrə əsasən, adaptiv inteqrasiya modelləri metodu, əlavə məlumatların və ekspert qiymətləndirmələrinin düzəlişi ilə filtrasiya müqavimətinin əmsallarının qiymətləndirilməsində tədqiqat rejimlərinin sayını azaldmağa imkan verir. Adaptiv inteqrasiya modelləri metodunun tətbiqi, daha dəqiq qiymətləndirmələrə və səhvlərin azaldılmasına gətirib çıxarır. Bu yanaşma, quyu sınaqlarının optimallaşdırılmasını təmin edir və nəticədə lay parametrlərinin daha düzgün qiymətləndirilməsinə kömək edir. Filtrasiya müqavimətinin əmsallarının qiymətləndirilməsində nisbət səhvlərinin kiçildilməsi, qaz-hidrokinamik tədqiqatların effektivliyini artırır.

Şəkil 6.-da, lay təzyiqinin qiymətlərinin təyin edilməsindəki səhvə əsaslanan, filtrasiya müqavimətinin əmsalı b_n^* qiymətləndirmələrinin nisbət səhvi göstərilmişdir.

$$\delta_i(p_{l,i}) = \left| \frac{p_{l,i} - p_l}{p_l} \right|. \quad (9)$$



Şək.6. Filtrasiya müqavimətinin əmsalının b_n^* nisbət səhvi.

Şəkil 6.-dan görünür ki, filtrasiya müqavimətinin əmsalı b_n^* - nin dəqiq qiymətləndirilməsi, lay təzyiqinin düzgün müəyyən edilməsindən birbaşa asılıdır. Yəni, lay təzyiqi məsələsindəki səhv, filtrasiya müqavimətinin əmsalının qiymətləndirilməsinin düzgünlüyünə böyük təsir göstərir. Bu vəziyyət qaz-hidrokinamik tədqiqatların düzgün aparılmasında ciddi əhəmiyyət kəsb edir, çünki lay təzyiqinin qiymətinin yanlış müəyyən edilməsi nəticəsində filtrasiya müqavimətinin qiymətləri də səhv ola bilər.

Nəticə

1. Filtrasiya müqavimətinin dəqiq qiymətləndirilməsi qaz-hidrokinamik tədqiqatların effektivliyinə birbaşa təsir edir. Lay təzyiqindəki kiçik səhvlər filtrasiya müqavimətinin əmsallarında böyük səpmələrə səbəb ola bilər ki, bu da neft və qaz yataqlarının işlənməsində problemlər yaradır. Adaptiv identifikasiya metodlarının tətbiqi məlumatların dəqiqliyini artırır və hesablamaların optimallaşdırılmasına imkan verir. Adaptiv inteqrasiya olunmuş modellər metodu filtrasiya müqavimətinin qiymətləndirilməsində ənənəvi regularizasiya metodlarından daha dəqiq nəticələr verir və daha az sınaq rejimi tələb edir.

2. Qaz-hidrokinamik tədqiqatlarda optimal metodların seçilməsi neft və qaz yataqlarının səmərəli işlənməsini təmin edir. Adaptiv yanaşmalar filtrasiya parametrlərinin daha real qiymətləndirilməsinə və qaz quyularının işlənmə prosesinin optimallaşdırılmasına kömək edir. Filtrasiya müqavimətinin qiymətləndirilməsində səhvlərin azaldılması tədqiqatların etibarlılığını artırır və lay məhsuldarlığının düzgün müəyyən edilməsinə imkan yaradır. Ölçmə cihazlarının həssaslığı və əlavə informasiya mənbələrinin istifadəsi tədqiqatların dəqiqliyini yüksəldir. Nəticədə, qaz quyularında filtrasiya müqavimətinin dəqiq qiymətləndirilməsi və tədqiqat rejimlərinin optimallaşdırılması yataqların idarə olunmasında daha effektiv qərarların verilməsini təmin edir.

-
1. *Нгуен, Т.Х.Ф.* Адаптивная интерпретация газодинамических исследований скважин по индикаторной кривой в условиях неопределенности /Т.Х.Ф. Нгуен //Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине: сборник научных трудов III Международной научной конференции. – Томск: Изд-во ТПУ, 2016.– Ч. 1.– с. 184–186.
 2. *Nguyen T.H.P., Sergeev V.L., Strelnikova A.B.* Adaptive interpretation of gas well deliverability tests. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2016, vol. 43, no. 1. URL: <http://iopscience.iop.org/1755-1315/43/1/012015>.
 3. *Сергеев, В.Л.* Адаптивная интерпретация гидродинамических исследований с учетом влияния ствола скважины /В.Л. Сергеев, К.Д. Ву //Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов.–2016.–Т. 327, № 9.–с. 70–77.

4. *Хасанов, М.М.* Неравновесность, неоднородность и неустойчивость в задачах гидродинамического исследования скважин и пластов / М. М. Хасанов // Современные гидродинамические исследования скважин: Труды международного форума исследователей скважин. – М.: Институт нефтегазового бизнеса, 2004. – с.43–44.
5. *Хасанов, М.М.* Помехоустойчивые алгоритмы по обработке данных гидродинамических исследований скважин /М.М. Хасанов, Г.Т. Булгакова, Р.Н. Гарифуллин и др.–Уфа: Уфимский филиал ООО «ЮганскНИПИнефть»,2002.– с.80.
6. *Романова, Е.В.* Метод адаптивной идентификации и диагностики нефтяных пластов в процессе нормальной эксплуатации скважин и кратковременных остановок / Е. В. Романова, В. Л. Сергеев // Известия Томского политехнического университета. – 2014. – Т. 324. – № 5. с. 43–48.
7. *Газпром Р.* 086–2010. Инструкция по комплексным исследованиям газовых и газоконденсатных скважин. Часть I. – М.: Газпром экспо, 2011. – с. 234.
8. *Hashimov Kh.Kh., Allahverdiyev V.A.* Comparative Analysis of technical and operational characteristics of controllers used to automate the operation of rod depth pumps, Journal of Engineering Research and Reports, Vol. 26, Issue 4, pp. 11-17, DOI: 10.9734/JERR/2024/v26i41109

ОЦЕНКА ГАЗОГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН НА ОСНОВЕ АДАПТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ И АЛГОРИТМОВ ИДЕНТИФИКАЦИИ

ГАШИМОВ Х.Х., МАМЕДОВ И.А.

В данном исследовании рассматривается важность точной оценки сопротивления фильтрации в газогидродинамических исследованиях и роль адаптивных методов идентификации. Небольшие ошибки в пластовом давлении могут приводить к значительным отклонениям коэффициентов сопротивления фильтрации, что влияет на эффективность разработки газовых и нефтяных месторождений. Метод адаптивных интегрированных моделей (АИММ) обеспечивает более точную оценку сопротивления фильтрации и сокращает количество необходимых испытательных режимов. Применение модели Форхгеймера позволяет более точно определять гидродинамические характеристики газовых и нефтяных пластов. Результаты исследования показывают, что повышение чувствительности измерительных приборов и использование дополнительных данных увеличивает точность оценок. В целом, данные методы способствуют принятию более эффективных решений в управлении скважинами и оптимизации процессов добычи.

Ключевые слова: газо-гидродинамические исследования, адаптивная идентификация, модели, пласт, нефть, скважина, гидродинамика.

EVALUATION OF GAS-HYDRODYNAMIC WELL RESEARCH BASED ON ADAPTIVE IDENTIFICATION MODELS AND ALGORITHMS

HASHIMOV Kh. Kh., MAMMADOV I.A.

This study examines the importance of accurately assessing filtration resistance in gas-hydrodynamic research and the role of adaptive identification methods. Small errors in reservoir pressure can lead to significant deviations in filtration resistance coefficients, affecting the efficient development of gas and oil fields. The Adaptive Integrated Models Method (AIMM) enables more precise estimation of filtration resistance and reduces the number of required test modes. The application of the Forchheimer model allows for a more accurate determination of the hydrodynamic properties of gas and oil reservoirs. The research results indicate that improving measurement device sensitivity and incorporating additional data enhances the accuracy of assessments. Overall, these methods contribute to better decision-making in well management and optimize the production process.

Keywords: gas-hydrodynamic studies, adaptive identification, models, reservoir, oil, well, hydrodynamics.

DOI:10.70784/azip.5.20252106

NAXÇIVAN ÇÖKƏKLIYINDƏ EKOLOJİ TARAZLIĞIN VƏ SEYSMOLOJİ AKTİVLİYİN XÜSUSİYYƏTLƏRİ

KAZIMOV M.H., VƏLİBƏYOV İ.M.

Azərbaycan Respublikasının Elm və Təhsil
Nazirliyi, Təbii Ehtiyatlar İnstitutu
mahbubkazimov@yahoo.com
ilkin.velibeyov1980@gmail.com

Məqalədə Naxçıvan MR ərazisində baş verə biləcək regional seysmik aktivlik, təbii fəlakətlər, regionun atmosferində havanın temperaturunun süni surətdə artması, sel və daşqınlar, külək partlamalarının tədqiqinin nəticələri öz əksini tapmışdır. Çuxurda yerləşmiş Naxçıvan MR-in ərazisində ekoloji tarazlıq və baş verə biləcək təbii fəlakətlər araşdırılmış və aparılmış elmi tədqiqat işlərinin nəticələri göstərilmişdir. Fiziki coğrafi şəraitə uyğun olaraq, çökəklikdə yerləşən Naxçıvan MR-in ərazisində temperatur və iqlim dəyişikliyinə, ekoloji tarazlığın pozulmasına səbəb ola biləcək amillər göstərilmişdir.

Açar sözlər: seysmoloji aktivlik, ekoloji tarazlıq, hava axını, sel, təbii fəlakət, günəş şüaları, temperatur, külək partlamaları.

Artıq bütün dünyada ekologiyaya və ətraf mühitə qarşı insanların elmsiz, biganə davranışlarının müqabilində ətraf mühitin ittiqam alması baş verir. Təəssüf ki, son illər bu proseslər Naxçıvan MR-nın ərazisində də müşahidə olunur.

Naxçıvan Muxtar Respublikası Azərbaycan Respublikasının ekoloji cəhətdən ən təmiz regionudur. Naxçıvan MR-nın şimal- qərbindən cənub- şərqinə zəncirvari şəkildə uzanan dağları Muxtar Respublikanın təbii sərhədlərini təşkil edir.

Dəniz səviyyəsindən 720 - 930 metr hündürlükdə yerləşən Naxçıvan MR nisbətən kiçik əraziyə (5,5 min kv. km.) malik olmasına baxmayaraq, relyefi olduqca rəngarəngdir.

Yer kürəsindəki global iqlim dəyişikliyinə baş verməsi və temperaturun artması səbəbindən son zamanlar çuxurda yerləşən Naxçıvan MR-nın ərazisində havanın ən böyük müsbət temperatura malik olması və illik yağıntının azalması da müşahidə olunur. Havanın rütubətliliyi çox az 25-30%, isti aylarda isə 10-15% -ə bərabər olur.

Naxçıvan MR-da Qapıcıq dağının zirvəsində (dəniz səviyyəsindən 3817m. yüksəklikdə), “dağlıq tundra” deyilən iqlim zonası yerləşmişdir və bu yerin iqlimi indiyədək tədqiq olunmamışdır.

Çökəklikdə yerləşmiş Naxçıvan Muxtar Respublikasının ərazisindəki ekoloji şərait bir çox amillərlə (geoloji, geomorfoloji və iqlim) müəyyən olunur. Bunlara ərazinin yerləşdiyi coğrafi en dairəsi, ekvatora yaxınlıq, okean və dənizlərdən uzaq məsafədə olması, oroqrafiyanın qapalılığı, çökəkliyin alt qatının dəniz səviyyəsindən hündürlüyü (720-930m) və s. aiddir.

Naxçıvan MR-in yerləşdiyi coğrafi ərazi, Alp-Himalay qurşağının İran mikroqitəsinin Cənubi Azərbaycan seqmentinin Araz tektonik meqazonasının mərkəzi hissəsində yerləşir [1]. Araz meqazonasının sahəsi təqribən 40,4 min km² olaraq, güclü zəlzələlər potensialına malik iri dərinlik qırılmaları ilə sərhədlənmişdir.

Naxçıvan və Ordubad çökəklikləri zonalarında (Orta Devondan Sarmatadək) fasiləsiz dəniz rejimi mövcuddur və burada 6-7 km qalınlığa malik dəniz çöküntüləri (qum, qumdaşı, argillit, əhəngdaşı) toplanmışdır. Geofiziki, geodinamik və kosmik metodlarla əldə edilmiş xəritələr ərazinin lokal tektonikasını səciyyələndirir [3].

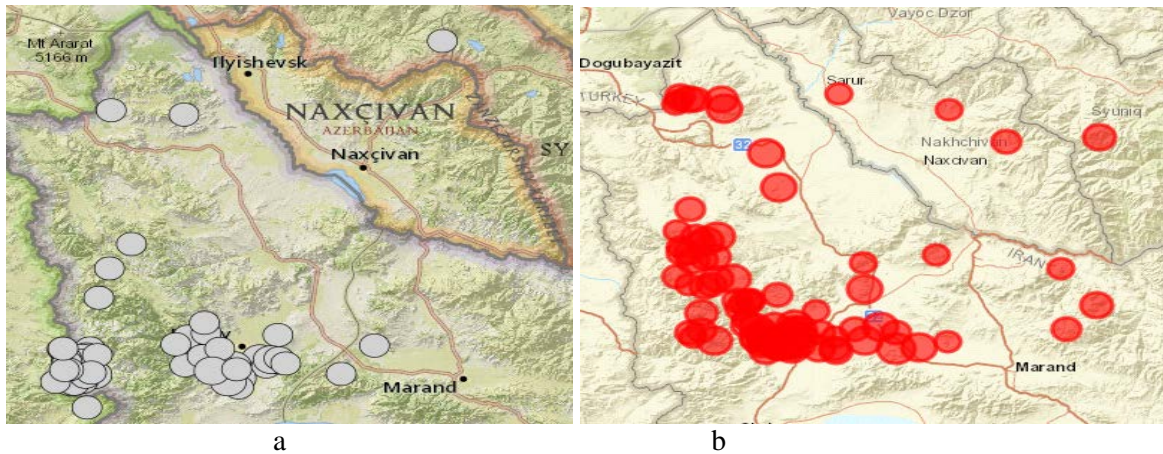
Ərazi tektonik cəhətdən ümumqafqaz istiqamətli Şərur-Culfa, Zəngəzur qalxımları, Ordubad qarılma və Naxçıvan çökəkliyinin qarşılıqlı münasibətləri ilə səciyyələnən, geoloji

formasiyaların tərkibinə, tektonik deformasiyaların xüsusiyyətlərinə görə fərqlənən, dərinlik yarılımları ilə hüdudlanmış tektonik yarımzona və bloklara bölünmüşdür [10].

Ərazidə aparılmış geoloji tədqiqatlar nəticəsində çökəkliyin uzanma istiqamətində 30 - dan artıq lokal qalxım aşkar olunmuşdur [4].

Naxçıvan Muxtar Respublikasında (Culfa və Ordubad r-nu) baş vermiş (1996-cı il) Tivi-Şurud ($M=4.0-4.7$), (2001-ci il) Nürgüt ($M=4.2$) və (2015-ci il) Dəmirlidağ ($M=4.1$) seysmik zəlzələlər ərazinin geodinamik cəhətdən sabit olmadığını göstərir [5]. 2019-2024-cü il tarixlərdə Naxçıvan Muxtar Respublikasının cənub-qərbində maqnitudası $m \geq 4.5$ -dən yuxarı olan zəlzələlər (sayı 91) müxtəlif intensivlikdə hiss olunmuşdur.

Bundan əlavə 2023-cü ildə baş verən zəlzələnin 22-si muxtar respublikanın ərazisində intensivliyi 5-3 bal olan titrəyişlər yaratmışdır. Seysmik aktiv zonada paylanmış zəlzələ episentrləri ilə Naxçıvan MR ərazisində olan məsafə 78-92 km aralığında dəyişir. (Şəkil 1.):



Şəkil 1. (a) ABŞ seysmoloji mərkəzi (USGS) (2019-2024) və (b) Avropa-Aralıq dənizi seysmoloji mərkəzi (EMSC) (2005-2024) tərəfindən hazırlanmış episentr xəritələri.

6 fevral 2023-cü ildə Türkiyə Respublikasının Kahramanmaraşın Pazarçiq və Elbistan rayonları ərazisində maqnitudası $M_w=7,8$ və $M_w=7,6$ olan yeraltı təkanlardan sonra Naxçıvan Muxtar Respublikası ərazisi və onun cənub-qərbində seysmikliyin digər illərlə müqayisədə fon səviyyəsindən xeyli aşağı düşdüyü müşahidə edilmişdir. Bölgədəki tektonik aktivlik nəticəsində yaranan qırılmalar və onların seysmik təsirləri xüsusi maraq kəsb edir. Ərazinin Şərur seqmentində qırılmalar əsasən regional gərginliklər nəticəsində qalxmalar və enmələr arasında, Culfa seqmentində isə şimal-qərb və cənub-şərq istiqamətli qırılmalarla təmsil olunur.

Zəlzələ aktivliyinin enerji boşalmaları nəticəsində yaranan təsirlərinin analizi göstərir ki, Naxçıvan qırılma zonalarının geodinamik potensialı böyükdür. Bu zonanın seysmik aktivliyi, genişmiqyaslı geodinamik proseslər və yer qabığının dərinliklərində enerji yığılması ilə izah olunur. Aparılmış tədqiqatlar göstərir ki, bu bölgələrdə enerji yığılması zəlzələlərin gücünü və tezliyini artırır. Bu baxımdan Naxçıvan seysmik zonasında baş verə biləcək potensial zəlzələlərin gücü və tezliyini qiymətləndirərək, həssas infrastrukturların, yolların, körpülərin, iqtisadiyyatın müxtəlif sahələri, kənd təsərrüfatı, turizm və sənaye sahələrində baş verə biləcək fəlakətləri qısa zaman kəsiyində aradan qaldırmaq həm təhlükəsizliyin, həm də bölgənin inkişafı üçün xüsusi əhəmiyyət kəsb edir.

Günəş şüalarının yer səthinə düşməsi və başqa şəkllə salınmış halda şüalanması arasında tarazlıq mövcud olarsa ərazidə ekoloji tarazlıq sabit qalar.

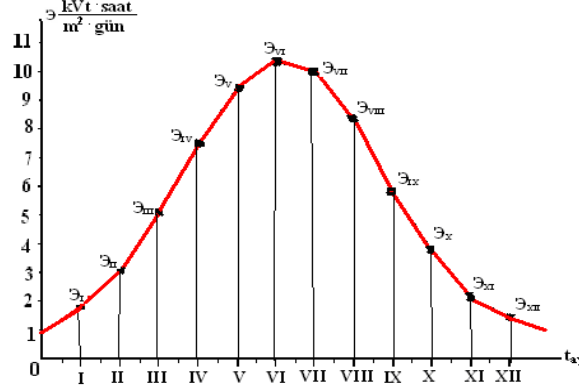
Naxçıvan MR-na düşən günəş şüalarının il ərzində davamiyyətliliyi 2900 -3000 saat təşkil edir. Naxçıvan MR- da günəşli günlərin davamiyyətliliyi martda 290 -300 saat, apreldə 300 - 310 saat, mayda 320 - 330 saat, iyunda 460 saat, iyulda 470 saat, avqustda 470 saat, sentyabrda 330 - 340 saat və oktyabrda 320 saat təşkil edir.

Müəyyən zaman kəsiyində Naxçıvan MR-in ərazisinə gələn günəş şüalarının enerjisinin qiyməti yay aylarında – $1170,11 \text{ Vt/m}^2$, qışda – $516,75 \text{ Vt/m}^2$ -ə bərabər olur. Cədvəl 1-də il ərzində əraziyə düşən günəş enerjisinin qiymətləri göstərilmişdir:

Cədvəl 1.

Aylar	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
T_g , saat	9,6	10,57	11,74	13,02	14,13	14,69	14,44	13,48	11,76	10,95	9,8	9,3
Σ , (kvt saat/ $\text{m}^2 \cdot \text{gün}$)	1,80	3,09	5,1	7,47	9,45	10,4	10,02	9,4	7,84	3,8	2,11	1,44

Şəkil 2 -də il ərzində əraziyə düşən günəş enerjisinin sxemi göstərilmişdir:



Şək.2. Bir ildə Naxçıvan MR ərazisinə düşən günəş enerjisinin qrafiki.

Son zamanlar Naxçıvan MR-nın ərazisində günəş enerjisini elektrik enerjisinə çevirmək üçün müstəvi növlü çeviricilər quraşdırılırlar. Müstəvi çeviricilərdəki kimyəvi yarımkeçirici materialların buxarlanaraq dağılması zamanı ətraf mühitə, ətrafdakı bütün canlılara ciddi zərər vurur.

Buna görə də mütləq çeviricilərin növləri yerli şəraitə uyğun seçilərək yaşayış yerlərindən uzaq məsafədə yerləşdirilməlidir. Naxçıvan MR ərazisində quraşdırılmış günəş çeviricilərinin faydalı iş əmsalları (FİƏ) ən kiçik 11-12% -ə bərabərdir.

Günəş şüalarının günəş çeviricilərində əks olunmasının qiyməti şüaların əks olunduğu cismin növündən asılıdır. Müstəvi növlü günəş çeviricilərində istifadə olunan şüşənin qalınlığından və növündən asılı olaraq əks olunma əmsalının qiymətləri 1,4–2,0 arasında dəyişir [7]:

Əgər ərazinin radiasiya balansı sabit qalarsa, onda həmin ərazidə temperatur balansı, iqlim dəyişməz qalır. Tarazlıq pozulduqda ərazidə iqlim və temperatur dəyişikliyi baş verir. Bu isə ekoloji tarazlığın pozulmasına və s. səbəb ola bilər [2].

Atmosferdə hava kütləsinin tərkibinə (dQ) əlavə istilik daxil olduqda hava kütləsinin daxili enerjisi artır. Bu isə atmosferdə havanın temperaturunun (T) artmasına səbəb olur.

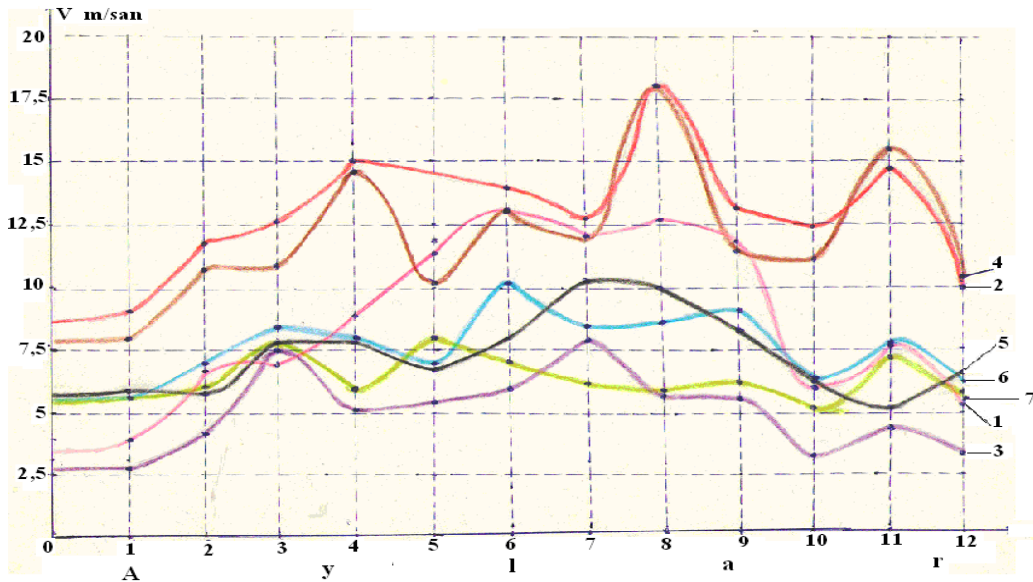
Çökəklikdə yerləşən Naxçıvan MR ərazisində atmosferin yer səthinə yaxın hissəsində havanın temperaturunun bir müstəvi çevirici (4 m^2) tərəfindən artmasının $0,0412^\circ\text{C}$ bərabər olduğunu tapırıq.

Naxçıvan MR-in 2023-2025- ci ilər üçün iqtisadi inkişaf planında ərazidə müstəvi növlü çeviricilərdən 850 MVt elektrik enerjisi alınması nəzərdə tutulur. Bu Naxçıvan MR ərazidə havanın temperaturunun süni surətdə $7-9^\circ\text{C}$ artması deməkdir.

Naxçıvan MR-da yay aylarında Naxçıvan çökəkliyində havanın temperaturunun $53-55^\circ\text{C}$ olduğunu nəzərə alsaq, əlavə olaraq süni surətdə havanın temperaturunun artırılması temperatur balansının kəskin şəkildə dəyişməsinə ($62-63^\circ\text{C}$) və ekoloji tarazlığın pozulmasına səbəb olar. Bu isə ərazinin yaşamaq üçün yararsız hala düşməsinə səbəb olacaq.

Əsrlərdən bəri külək bəşəriyyətin istifadə etdiyi ən qədim enerji mənbələrindən biri olaraq qalır. Naxçıvan MR- in ərazisinin çuxurda yerləşməsi səbəbindən yay və qış aylarında əsən küləklər dağ-vadi xüsusiyyətlərinə malik olurlar. Gündüzlər küləklər vadidən dağlara, gecələr isə dağlardan vadiyə tərəf əsir.

Şəkil 3-də Naxçıvan çökəkliyində küləklərin orta illik sürəti göstərilmişdir:

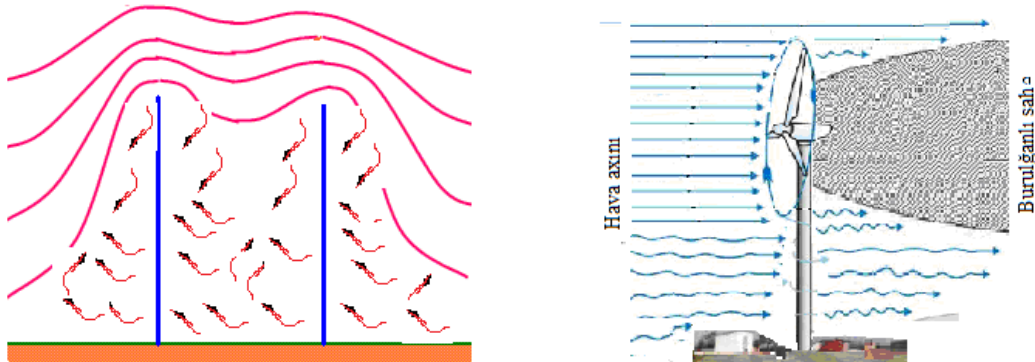


Şək.3. Naxçıvan çökəkliyində küləklərin orta illik sürəti.
 1 – Naxçıvan şəhəri; 2 – Culfa şəhəri; 3 – Şərur şəhəri;
 4 – Şahbuz şəhəri; 5 – Şahbuz r-nu, Biçənək kəndi;
 6 – Ordubad şəhəri; 7 – Ordubad r-nu Ağdərə kəndi.

Bu küləklər dağ silsilələrinin əyri-üyrü yamaclarından havanın aşağı hərəkət etməsi zamanı əmələ gəlirlər. Bu növ hava axını bütün vadilərdə mövcuddur. Lakin Naxçıvan MR ərazisində bu növ güclü hava axını özünü elə kəskin şəkildə biruzə verir ki, Naxçıvan MR-nın iqlimini quru və kəskin kontinental iqlim adlandırırlar.

Gecələr ətraf dağların yamaclarından aşağı gələn soyuq hava axını temperaturun kəskin azalmasına səbəb olur və gecə temperatur gündüzdəkindən 10 - 15°C fərqli olur.

Əgər küləyin hərəkətinə süni maneələr yaradılsa, bu ərazidə havanın hərəkət etməsinə maneə olar və burulğanların yaranmasına səbəb olacaq. Bu zaman dağlara qalxan isti havanın sürəti azalır və hava azacıq soyuyaraq yenidən aşağı enir və qızır. Bununla da ərazidə temperatur balansını pozularaq “parnik effekti” yaranır (Şəkil 4.):



Şək.4. Küləyin hərəkətinə süni maneələr yaradılması.

Naxçıvan MR- nın 2023-2025- ci illər üçün iqtisadi inkişaf planında Naxçıvan MR- nın ərazidə horizontal külək enerjisində çevirən mühərriklərdən istifadə etməklə 650 MVt elektrik enerjisi alınması nəzərdə tutulur.

Naxçıvan çökəkliyində küləyin orta illik sürəti maksimum 3-4 m/san bərabər olur.

Horizontal növlü mühərriklərlə küləkdən 650 MVt elektrik enerjisi alınması üçün Naxçıvan MR-nın kiçik ərazisinə 35-40 min ədəd horizontal mühərrik yerləşdirmək lazımdır. Burada küləyin “ştil” halı nəzərə alınmayıb.

Bizim araşdırmalara əsasən Naxçıvan çökəkliyində külək enerjisindən bu miqdarda elektrik enerjisi alınması qeyri mümkündür və bu ekoloji tarazlığın pozulmasına, ətraf mühitə,

insanların sağlamlığına ciddi zərər vura bilər. Bu ərazidə quşların miqrasiyasının tamamilə pozulması, ekoloji balansın öz dayanıqlığını itirməsi və ərazinin insan yaşayışı üçün yararsız hala düşməsi deməkdir.

Tərəfimizdən Naxçıvan çökəkliyində aparılmış tədqiqatlar nəticəsində müəyyən olunmuşdur ki, havanın temperaturu $+35^{\circ}\text{C}$ və daha çox olduqda Naxçıvan çökəkliyinin dağlarının zirvələrində üzərində doymuş buz hissəcikləri olan buludlar toplanır və ildırım çaxması, leysan yağışları ilə müşahidə olunan, dağıdıcı gücə malik olan “külək partlamaları” baş verir [8].

Bu partlamalar Dərələyəz - Zəngəzur yüksəkliklərində (2500–3500m) formalaşaraq, dərin dərələrlə sürətlə aşağıya doğru yönəlirlər.

Külək partlamalarının əsasını soyuq hava təşkil edir. Külək partlaması dağlardan yer səthinə çataraq, isti, az sıxlığa malik olan hava ilə qarşılaşaraq bütün istiqamətə yayılır. Naxçıvan çökəkliyinə xas olan, lokal, kiçik ərazilərdə baş verən bu partlamalar təbiətin çox təhlükəli təzahürüdür.

Adətən, bu güclü, qısamüddətli (10-20 dəqiqə) külək partlamaları Şahbuz, Culfa və Ordubad rayonlarının dağlıq ərazilərində saat 17⁰⁰- dan sonra meydana gəlirlər. Havanın temperaturu $+35^{\circ}\text{C}$ -dən aşağı olduğu halda ərazidə külək partlamaları müşahidə olunmur.

Aparılmış tədqiqatlar nəticəsində Naxçıvan MR ərazisində baş verən bu güclü külək partlamalarının ciddi təhlükə yaratdıqları öz təsdiqini tamamilə tapmışdır [6].

Diametri 300-400 metr, aşağı hissəsi qıf şəkilli olan külək partlaması sütunu şaquli burulğan yaradır və yer üzərində dairəvi şəkildə 25 - 30 m/san sürətlə hərəkət edərək, öz hərəkət yolunda tikililərə, evlərin damlarına zərbələr vuraraq onları dağıdır, ağacları, elektrik xətlərini qırır, insanlar və heyvanlar üçün təhlükə yaradır (Şəkil 5.):



Şək.5. Qıf şəkilli külək partlaması.

Naxçıvan çökəkliyinə xas olan, lokal, kiçik ərazilərdə baş verən bu çox təhlükəli külək partlamaları təbiətin meteoroloji təzahürüdür. Aparılmış tədqiqatlar nəticəsində Naxçıvan çökəkliyindəki bu partlayışlar haqqında ilkin nəticələr əldə edilmişdir.

Müşahidələr nəticəsində məlum olmuşdur ki, iyul-avqust aylarında quru, qızmar temperaturda buludlardan yağış yağmağa başlayır. Bundan sonra küləyin sürətinin qısamüddətli, kəskin artması, küləyin partlaması baş verir.

Aparılmış tədqiqatlar nəticəsində Naxçıvan çökəkliyində baş verən bu güclü külək partlamalarının ciddi təhlükə yaratdıqları öz təsdiqini tapmışdır.

Partlamalar Naxçıvan çökəkliyində qülləli konstruksiyalar, qurğular və sənaye obyektləri üçün ciddi təhlükə yarada bilərlər. Partlamalar tikililəri tamamilə məhv edə, evləri yıxa və böyük ağacları köklərindən çıxara biləcək gücə malikdirlər.

Naxçıvan MR-in çaylar şəbəkəsi 2000-2500 m hündürlükdə inkişaf etmişdir və son zamanlar ərazidə illik yağıntının kəskin azalması müşahidə olunur. Bu çayların qidalanmalarında ən böyük rolu yağış və ya ərimiş qar suyu oynayır (Cədvəl 2.):

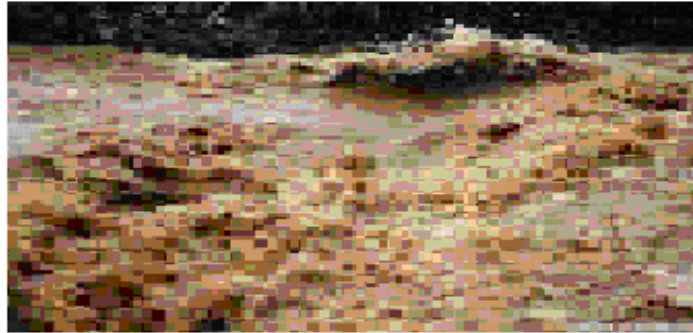
Cədvəl 2.

Çayın adı	Uzunluğu, km	Yerləşdiyi əraz.sahəsi, km ²	Çayın başlanğıcı (dən. səv. hünd.), m	Enmə bucağı, %
Araz çayı	1072	102000	2020	12,90
Arpa çayı	128	2630	3045	17,20
Naxçıvan çayı	84	1630	2720	27,80
Əlincə çayı	61	758	2800	29,30
Gilan çayı	53	432	3500	38,20
Düylün çayı	30	143	2650	33,60
Əylis çayı	24	58	3450	34,20
Vənənd çayı	29	94	3110	36,40
Ordubad çay	19	54	2900	31,80

Dərələyöz və Zəngəzur dağlarının cənuba tərəf yönəlmiş yamacları daha çox qızır və yazda burada qar sürətlə əriməyə başlayır. Ərimiş qar suları sürətlə aşağıya yönələrək torpaq hissəciklərini, çınqıl, daş və qaya parçalarını hərəkətə gətirərək sel daşqınları əmələ gətirir. Su sürətlə qayalara çırpılaraq, onları oyub uçuraraq qaya parçaları, qum və gili aşağıya aparır.

Sel axınları zamanı praktiki olaraq su palçıqlı mayedən seçilmir və böyük dağıdıcı gücə malik olur. Bu mayenin həcm çəkisi 1,5 - 2,4 L/m³ olur.

Culfa, Ordubad, Şahbuz rayonlarında dağlardan gələn çaylardakı su axını dağ kəndlərinin sakinləri üçün böyük fəlakətlər yaradır. Baş verə biləcək fəlakətlərdən dağ kəndlərinin sakinlərinin qoruması və ətraf mühitin mühafizəsi Naxçıvan MR üçün mühüm məsələlərdən biridir (Şəkil 6.):



Şək.6. Əlincə çayında sel (Culfa rayonu).

Qeyd etmək istərdik ki, Naxçıvan çökəkliyindəki ekoloji dəyişikliklər, insanların yerli iqlimə və ətraf mühitlə qarşı hər hansı bir düşünülməmiş addımları, atmosferdə baş verən mənfi proseslərə əks təsirə səbəb olacaq və yerli iqlimə nəzərə çarpacaq dərəcədə öz mənfi təsirini göstərəcəkdir.

Naxçıvan çökəkliyində ekoloji tarazlıq və seysmoloji aktivlik üzrə aparılmış elmi araşdırmalar nəticəsində ətraf mühitə ciddi zərər vura biləcək problemləri və Naxçıvan MR-nin nadir coğrafi relyefini nəzərə alaraq qeyd etmək istərdik ki, yerli ekoloji tarazlığa qarşı hər hansı bir düşünülməmiş addım əks təsirə səbəb olacaq və regionun ekoloji tarazlığına öz mənfi təsirini göstərəcəkdir.

Bundan əlavə dağ-vadi küləkləri vadidə qərarlaşmış çirkli havanı yuxarı qovmaqla havanı təmizləmək rolunu oynayırlar. Bu təbii prosesə hər hansı bir düşünülməmiş müdaxilə ətraf mühitə, insanların sağlamlığına ciddi zərər vura bilər. Belə ki, insanın istehsalat fəaliyyəti zamanı çuxurda havanın tərkibi ən həssas olur.

Şəhər və kəndlərdə çirklənmə mənbələrinin (nəqliyyat, mənzil-kommunal tullantılarının utilizasiyası) ümumi hava çirklənməsində payı 60-70% -ə qədər artır. Cədvəl 3-də havada his və kükürd dioksidin konsentrasiyası göstərilmişdir:

Cədvəl 3.

Küləyin sürəti, m/s	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5
His, Mq/m ²	0,147	0,129	0,119	0,108	0,099
Kükürd ioksid, Mq/m ²	0,320	0,150	0,130	0,120	0,100

Naxçıvan çökəkliyində sənaye müəssisələrinin olmamasına baxmayaraq, havanı çirkləndirən maddələrin konsentrasiyasının artması müşahidə olunur. Bu zaman ən mühüm problemlərdən biri onun ərazisində texniki tərəqqinin ətraf mühitə neqativ təsirinin qarşısının alınmasından ibarətdir [9].

Əks halda ərazinin iqliminə, insanların səhhətinə, canlı təbiətə və s. ciddi ziyan vurula bilər. Ətraf mühitin çirklənməsi birbaşa insan orqanizmində elementlərin təbii halda bioloji dövrünün qırılmasına səbəb olur və əhalinin uzunömürlü və keyfiyyətli həyat tərzinə təsir edir.

Naxçıvan MR-nın çökəklikdə yerləşməsinə nəzərə alaraq ərazidə atmosferin çirklənməsinin optimal variantını tapmaq üçün “atmosferdəki havanın meteoroloji potensialın”-dan (AMP) istifadə olunur. AMP aşağıdakı düsturla təyin olunur:

$$AMP = \frac{P_k + R_d}{R_y + P_{kt}}$$

Burada:

P_k – küləyin sürətinin 0-1 m/s arasında təkrarlanması, %;

P_d – dumanlı günlərin təkrarlanması, %.

R_y – yağıntılı günlərin təkrarlanması $> 0,5$ mm, %;

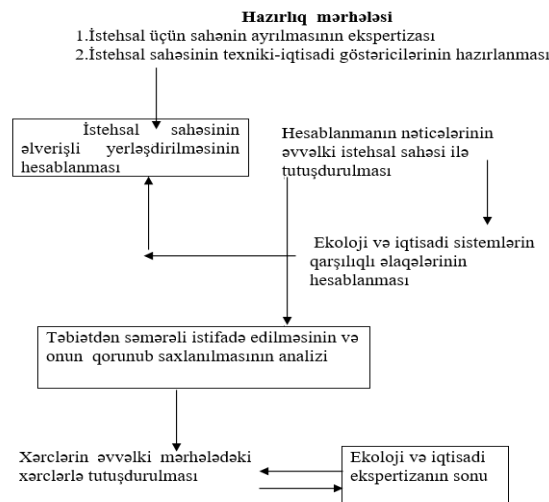
P_{kt} - küləyin sürətinin təkrarlanması > 6 m/s, %

– AMP1-dən az olduğu halda atmosferdə havanın özünü təmizləmə prosesi atmosferdə çirkləndirici maddələrin toplanması prosesinə üstün gəlir.

– AMP1-dən çox olduqda, atmosferdə havanı çirkləndirən maddələrin atmosferdə toplanması prosesi havanın özünü təmizləməsi prosesinə üstün gələcək və çirkləndirici maddələrin atmosferdə toplanması prosesi baş verəcək.

–AMP 3-dən çox olarsa atmosfərə atılan çirkləndirici maddələrin atmosferdə səpələnərək dağılması üçün son dərəcə əlverişsiz şərait yaranacaqdır.

Ərazidə istehsalın hər hansı bir sahəsinin inkişaf etdirilməsi zamanı ətraf mühitə vurulacaq zərərin azaldılması naminə ərazidə işlədilən texnoloji avadanlıqlar ekoloji mühitə uyğunlaşdırılmalıdır:



Qeyd etmək istərdik ki, Naxçıvan çökəkliyindəki ekoloji dəyişikliklər, insanların yerli iqlimə və ətraf mühitlə qarşı hər hansı bir düşünülməmiş addımları, atmosferdə baş verən mənfi proseslər əks təsirə səbəb olacaq və yerli iqlimə nəzərə çarpacaq dərəcədə öz mənfi təsirini göstərəcəkdir.

NƏTİCƏ

Ərazidə ekoloji tarazlığın qorunması və ətraf mühitə ciddi zərər vura biləcək problemlər aşağıdakı kimi həll edilməlidir:

1. Baş verə biləcək təbii fəlakətlərin əmələ gəlmə səbəbləri əvvəlcədən öyrənilərək onların qarşısının alınması və ya qəzanın fəsadlarının minimuma endirilməsi üzrə qabaqçılıq tədbirlərin görülməsi.

2. Ərazidə ekoloji tarazlığın qorunub saxlanması üçün ekoloji sistem daima nəzarət altında saxlanılmalıdır.

3. Ərazidə istifadə olunacaq qurğuların, avadanlıqların və texnikanın yerli şəraitə uyğun olmaları daim nəzarətdə saxlanılmalıdır.

4. Fiziki- coğrafi, mühəndis və ekoloji şərait nəzərə alınmaqla ərazidə ekoloji tarazlığın qorunması məqsədi ilə daima ekoloji yoxlamalar həyata keçirilməlidir.

1. Azərbaycanın geologiyası, Bakı, Elm, - c 2, - 2015, s. 372.
2. *Азизбеков Ш.А.* Геология Нахчыванской АССР, Москва, 1961.
3. Azərbaycan Respublikasının Milli Atlası: Bakı: 2014, s. 82.
4. *Babayev Ş.Ə., Kəngərli T.N., Məmmədov A.B.,* Naхçıvan Muxtar Respublikasının Stratiqrafiyası. Bakı, Nafta-Press, 2016, s. 6.
5. *Владимиров А.М., Ляхин М.Е., Матвеев Л.Т.* и др, Охрана окружающей среды, Ленинград, Гидрометеиздат, 1998, с. 184.
6. *Клименко В.В.* и др., Энергия, природа и климат, Москва, 2007, с. 247.
7. *Ландсберг Г.С.,* Элементарный учебник физики, Москва, 2009, с. 220- 656.
8. Naхçıvan Muxtar Respublikasının Fiziki coğrafiyası, I cild, Naхçıvan, 2017, s. 456.
9. *Переведенцев Ю.П.,* «Климат, энергия и экология», Учебное пособие, Казань, Издательство Казанского университета, 2004, с. 320.
10. *Rzayev O.Ə.* Naхçıvan çökəkliyinin dərinlik quruluşu və tektonik xüsusiyyətləri. Bakı, 2015, s. 33.

ОСОБЕННОСТИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО БАЛАНСА И СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ НАХЧЫВАНСКОЙ КОТЛОВИНЕ

КАЗЫМОВ М.Г., ВЕЛИБЕКОВ И.М.

В статье отражены результаты исследований сейсмической активности региона, стихийные бедствия, искусственного повышения температуры воздуха в атмосфере, наводнение и затопление, порывы ветра, которые могут возникнуть на территории Нахчыванской Автономной Республики. Приведены результаты научных исследований, проведенных по экологическому равновесию и возможным стихийным бедствиям на территории Нахчыванской котловине. Показаны факторы, которые могут вызвать изменение температуры, климата и нарушение экологического равновесия на территории Нахчыванской котловин в соответствии с физико-географическими условиями.

Ключевые слова: сейсмологическое активность, экологический баланс, поток воздуха, наводнение, стихийное бедствие, солнечные лучи, температура, порывы ветра.

FEATURES OF ECOLOGICAL BALANCE AND SEISMOLOGICAL ACTIVITY IN THE NAKHCHIVAN DEPOSIT

KAZIMOV M.H., VALIBEYOV I.M.

The article reflects the results of the study of regional seismic activity, natural disasters, artificial increase in air temperature in the region's atmosphere, floods, and wind blasts that may occur in the territory of the Nakhchivan Autonomous Republic. The results of scientific research conducted in Chekhur, where the ecological balance and possible natural disasters were investigated, were presented. In accordance with the physical geographical conditions, factors that may cause temperature and climate changes and disruption of the ecological balance in the territory of the Nakhchivan Autonomous Republic, which is located in a depression, have been indicated.

Keywords: seismological activity, ecological vulnerability, air flow, flood, natural disaster, solar radiation, temperature, wind gusts.

DOI:10.70784/azip.5.20252114

**XƏZƏR DƏNİZİNDƏ DALĞA ENERJISİNDƏN İSTİFADƏ
İMKANLARININ ARAŞDIRILMASI****SULTANOV E.F., İSMAYILOV S.S., ƏLİCANOV R.R.**

*“Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası” PHŞ
Az1000 Bakı ş. Z.Əliyeva küç.18
elshen_sultanov@mail.ru
sahib-ismayil@bk.ru
ralicanov@mail.ru*

Məqalədə xəzər dənizində dalğa enerjisinin perspektivləri və istifadə imkanları araşdırılmışdır. Yaxın gələcəkdə dünya ölkələri üzrə mövcud olan bərk, maye və qaz şəkilli yanacaq növlərinin tükənəcəyi ilə əlaqədar, yeni tükənməz və ekoloji cəhətdən daha təmiz enerji mənbələrindən istifadənin vacibliyi qeyd edilmişdir. Həmçinin məqalədə bir sıra dünya ölkələrində yaradılmış dalğa enerjisi texnologiyaları barədə qısa məlumatlar verilmiş və müqayisəli təhlillər aparılmışdır.

Açar sözlər: alternativ enerji mənbələri, dalğa enerji qurğuları, enerji çevriciləri, dalğa elektrik stansiyası

Giriş. XX əsrin ortalarından başlayaraq energetika və ekoloji problemlər kimi global problemlərin baş qaldırması səbəbiylə dünyada alternativ enerji mənbələrindən (AEM) istifadəyə maraq artmışdır. Aparılan proqnozlara görə dünyada neft ehtiyatları 80 ilə, qaz ehtiyatları 100 ilə, daş kömür ehtiyatları isə 350-400 ilə kəskin şəkildə tükənəcək.

Digər tərəfdən karbohidrogen ehtiyatlarının yanacaq kimi istifadəsi ətraf mühitin, xüsusən də atmosferin çirklənməsinə və nəticə etibarilə global iqlim dəyişikliklərinə gətirib çıxarır. Məhz bu səbəbdən də bir çox ölkələrdə ABOEM-dən istifadə sahəsində elmi-tədqiqat işlərinin aparılması və müasir energetik qurğuların yaradılmasına böyük önəm verilir.

Son dövrlərdə ABOEM-nin bir növü kimi dəniz və okeanlardakı dalğa enerjisindən istifadə edilməsi istiqamətində də elmi və praktiki işlərə daha böyük maraq göstərilməkdədir. Dəniz və okeanların dalğa enerjisi ekoloji təmiz olmaqla yanaşı, həm də bərpa olunandır. Digər tərəfdən də dalğa enerjisi külək və günəş enerjisi ilə müqayisədə daha böyük enerji tutumuna malikdir. Hesablamalara görə okean və dənizlərin dalğa enerjisinin illik miqdarı 8 106 TVtsaat/il təşkil edir ki, bu da dünyadakı bütün hidroelektrik stansiyaların illik istehsalından 100 dəfə çoxdur [1,9].

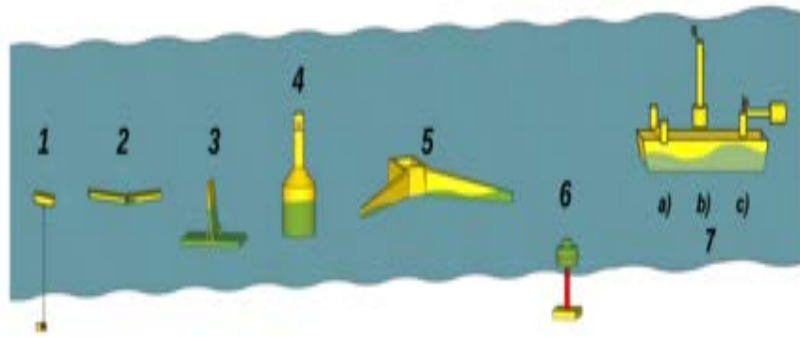
Dalğanın enerjisi onun hündürlüyündən, dənizdə küləyin sürətindən və əhatə sahəsindən, eləcə də dənizin dibinin topoqrafik xüsusiyyətlərindən asılı olaraq dəyişir. Günəş tərəfindən Yer kürəsinin qeyri bərabər qızması nəticəsində yaranan külək (yer səthinə yaxın olan və daha böyük sıxlığa malik külək) öz kinetik enerjisinin bir hissəsini dalğa enerjisinə çevirir. Bu enerji dalğanın potensial (suyun dənizin orta səviyyəsinə nəzərən şaquli istiqamətdə yerdəyişməsi) və kinetik enerjisi qismində (dalğaların üfüqi istiqamətdə hərəkəti) toplanır [2,9].

Əsas hissə. Dalğa enerjisindən istifadə texnologiyalarının tətbiqi və araşdırılması geniş elmi tədqiqat mövzusu olmaqla, alternativ energetikanın digər sahələri ilə yanaşı külək, hidroenergetika kimi sahələrlə müqayisədə daha yenidir.

Dalğa enerjisi çeviriciləri ümumiyyətlə metoda, yerə və enerji alma sisteminə görə təsnif edilir. Quraşdırma yeri: sahil xətti, sahil ərazisi və açıq dəniz. Güc alma növlərinə aşağıdakılar daxildir: hidravlik taran, elastomer hortum nasosu, sahil nasosu, hidroelektrik turbin, hava turbini və xətti elektrik generatoru.

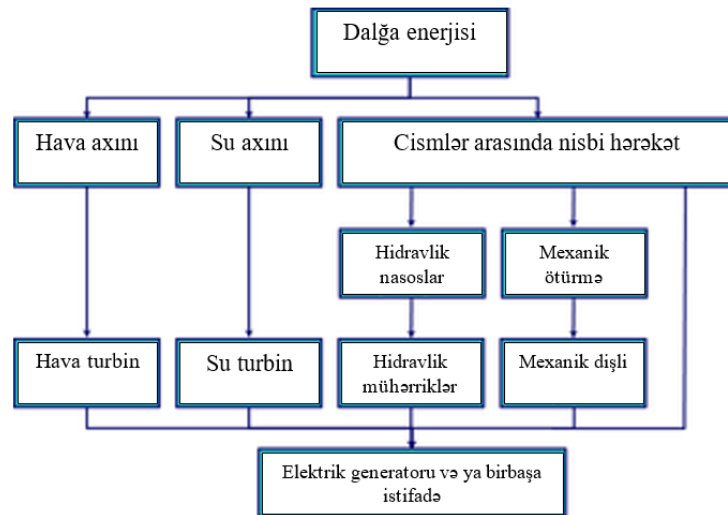
1997-ci ildə Finlandiyada “Waveroller” Şirkəti tərəfindən DEQ-nin istismara buraxıldığı elan edilmişdir, hansı ki, dalağa enerjisinin çevrilməsi suyun dibində quraşdırılmış lövhələrin yırtılması və bu hərəkətin porşenli nasosa ötürülməsi ilə həyata keçirilirdi.

2000-ci ildə Şotlandiyanın İsley adasında hasilat gücü 500 kVt olan LİMPET adlı DEQ quraşdırılmışdır. Həmin stansiya tərəfindən istehsal olunan elektrik cərəyanı Birləşmiş Krallığın şəbəkəsinə ötürülürdü. Bu dünyada kommersiya məqsədli ilk DEQ idi.



Şək.1. Dalğa enerjisi çevriciləri haqqında ümumi anlayışlar:

1. Nöqtə uducu, 2. Attenuator, 3. Sallanan dalğa pulsasiya çeviricisi,
4. Sallanan su sütunu, 5. Üstündən aşma qurğusu, 6. Sualtı təzyiq fərqi,
7. Havada üzən çeviricilər



Şək.2. Dalğa enerjisini elektrik enerjisi və ya birbaşa istifadə şəklində faydalı enerjiyə çevirmənin təsnifat sxemi.



Şək.3. Açuçadoura Dalğa Elektrik Stansiyası.

2008-ci ildə Portuqaliyada, Porto şəhərinin şimalında, sahilə yaxın yerdə tam gücü 2,25 MVt təşkil edən və üç ədəd enerji çevirici bloka malik Açuçadoura DEQ quraşdırılmışdır, hansı ki, dünyada ilk üzən DEQ idi [6].

Şəkil 3-də həmin DEQ-nun ümumi görünüşü təsvir olunmuşdur. Lakin texniki çatışmazlıqlar səbəbindən qurğu cəmi 2 ay fəaliyyət göstərdikdən sonra mexaniki olaraq sıradan çıxmışdır.

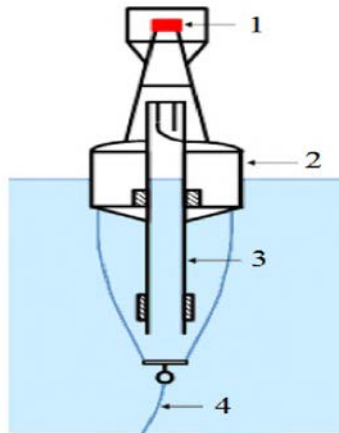
2009- cu ildə İspaniyanın Mutriku şəhərində gücü 300 kVt olan DEQ istismara verilmişdir. Həmin il İsraildə Yaffa limanı yaxınlığında S.D.E Energy LTD şirkəti tərəfindən gücü 40 kVt olan DEQ sınaqan keçirilmişdir.



Şək.4. "Wave Staf" Dalğa Elektrik Stansiyası. Şimal dənizi.

Müasir dalğa enerjisindən istifadə texnologiyalarının banisi Keçmiş yapon dəniz donaması zabiti Yoşio Masuda (1925-2009) hesab olunur [3,4].

O, 1940-cı illərdə hava turbinli "buy" -yəni naviqasiya məqsədli siqnal üzgəci işləyib hazırlayırsa hansı ki, sonradan onlar rəqs edən (aşağı və yuxarı rəqsi hərəkət edən) su sütunlu (oscillating water column- OWC) DEQ kimi adlandırılmışdır. Burada şaquli rəqsi hərəkət edən su sütununun təsiri ilə meydana çıxan hava axını generatorla bir ox üzərində icra olunmuş hava turbininə doğru yönəlir. Belə hava turbinli siqnal, naviqasiya buyları 1965-ci ildən kommersiya məqsədilə Yaponiyada istehsal edilməyə başlandı (Şəkil 5.). 1976-cı ildə Masuda daha böyük, uzunluğu 80 metr eni 30 metr hündürlüyü isə 12 metr olan üzən dalğa energetik platformasının inşasını həyata keçirdi [4,5].

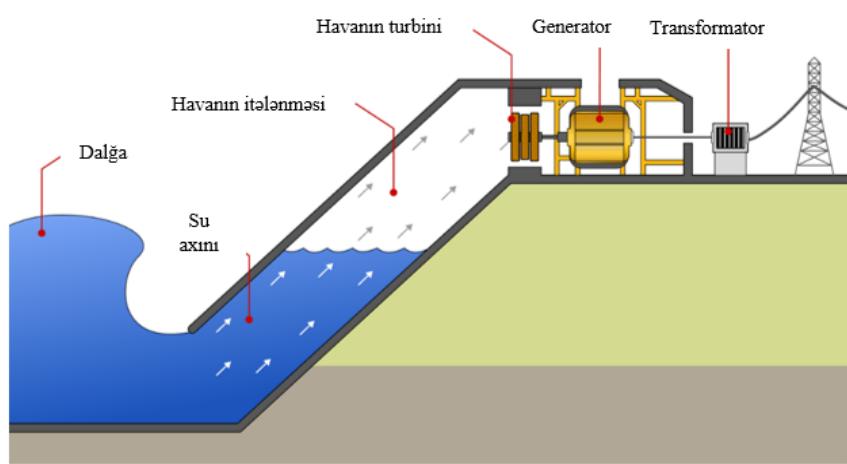


Şək.5. Hava turbinli, rəqs edən su sütunlu (OWC) "buy"
1-işiq mənbəyi (lampa), 2- üzgəc, 3-boru, 4- buraz.

"Kaymey" adlanan üzən platforma test-sınaq məqsədi daşıyırdı və onun üzərində hava turbinli bir neçə növ rəqsi hərəkətli su sütunlu dalğa energetik qurğusu quraşdırılmışdı. 1970- ci illərin əvvəllərində başlayan neft böhranı bütün diqqəti alternativ enerji mənbələrindən, o cümlədən dalğa enerjisindən istifadəyə yönəltdi. Bununla əlaqədar olaraq 1975-ci ildə İngiltərə, daha sonra isə Norveç elmi-tədqiqat işlərinin aparılması üçün proqram həyata keçirdi. Həmin

dövrədən etibarən Avropada və bir sıra inkişaf etmiş ölkələrdə dalğa enerjisindən istifadənin perspektivləri araşdırılaraq sənaye əhəmiyyətli DEQ inşa edilməyə başlandı.

Bundan başqa, onlarla digər layihələr də mövcuddur, hansılar ki, müxtəlif konstruksiyalı DEQ-lər sınaqdan keçirilmiş və onların səmərəliliyi qiymətləndirilmişdir. Qeyd etmək lazımdır ki, DEQ aid bir çox layihələr, ixtiralar və ideyalar texniki- iqtisadi cəhətdən səmərəli olmaması və yaxud da, effektivliyinin az olması səbəbiylə həyata keçirilməmişdir. Hazırda dəniz və okeanlara birbaşa çıxışı olan inkişaf etmiş bir çox ölkələrdə dalğa energetikasının inkişafı və tətbiqi istiqamətində bir sıra elmi-tədqiqat işləri görülür və qurğular inşa olunur.



Şək.6. "Dəyişən su sütunu" prinsipi ilə işləyən dalğa elektrik stansiyası.

Artıq sənaye əhəmiyyətli DEQ-ların inşası və istismarı istiqamətində fəaliyyət göstərən şirkətlər mövcuddur.

Aşağıda mövcud dalğa elektrik stansiyalarından bəzilərinin iş prinsipi haqqında qısa məlumatları verilmişdir [4,5]:

1. "Dəyişən su sütunu" prinsipi ilə işləyən dalğa elektrik stansiyasını nəzərdən keçirək. Bu konstruksiya variantında dalğalar təkan hərəkətləri edərək hava kütlələri olan xüsusi hazırlanmış kameraları doldurur. Hava sıxılır, həddindən artıq təzyiq yaradır, onun təsiri altında turbinə daxil olur, bıçaq mexanizmlərini döndərir. Turbinin fırlanma hərəkəti elektrik enerjisi yaradan generatora ötürülür. Beləliklə, elektrik stansiyasına yaxınlaşan dalğanın istiqamətində və əks istiqamətdə elektrik enerjisi yaranır.

2. "Sallanan cismə əsaslanan" dalğa elektrik stansiyaları. Belə stansiyalar suyun səthində yerləşir və onların fəaliyyəti dalğaların təsiri altında strukturun hərəkəti ilə təmin edilir. Sallanmadan yaranan mexaniki enerjinin elektrik enerjisinə çevirməyin çoxlu sayda müxtəlif yolları, salınan gövdəyə əsaslanan stansiyalar üçün geniş çeşidli konstruksiyaları formalaşmışdır. Bu cür qurğulara "Duzlu ördək", "dəniz ilanları", "Cockerell sal" kimi qeyri-adi stansiyalar və üzən şamandıralara əsaslanan qurğular daxildir.



Şək.7. "Dəniz ilanları" və "Duzlu ördək" prinsipi ilə işləyən dalğa elektrik stansiyaları.

Respublikamızda ABOEM-dən istifadənin aktual olduğunu və bir çox layihələrin həyata keçirildiyini nəzərə alsaq, Xəzər dənizində dalğa enerjisindən istifadənin perspektivlərini də araşdırmağa ehtiyac yaranır. Dalğanın formalaşmasında küləyin əhəmiyyətini nəzərə alsaq və onu da nəzərə alsaq ki, ilin 280 günü Bakıda və Abşeron yarımadasında küləkli keçir, bu da Xəzər dənizinin Azərbaycan sektoru üçün dalğa enerjisindən istifadə edilməsi imkanlarını artırmış olur. Tədqiqatçılar tərəfindən aparılan araşdırmalar Xəzər dənizinin də dalğa enerjisindən istifadə perspektiv və imkanlarının olduğunu göstərmişdir [6,7,8].

Məhz aparılmış araşdırmalardan və hesablamalardan sonra hansı növ DEQ-nun Xəzər dənizində daha effektiv şəkildə istismar olunduğunu müəyyənləşdirmək olar. Onu da qeyd etmək lazımdır ki, mövcud DEQ-larındakı bir sıra çatışmazlıqları nəzərə alaraq yeni iş prinsipləri əsasında çalışan, daha zəif dalğalarda belə enerji əldə etməyə imkan verən yüksək effektivli qurğuların işlənilib hazırlanması dalğa energetikası sahəsində aktual məsələlərdəndir ki, məhz bu da dalğa enerjisindən istifadə imkanlarını, onun inkişaf tendensiyasını artırır.

Ümumilikdə dalğa enerjisinin müsbət cəhətləri aşağıdakılardır:

1. Bərpa Olunan Enerji Mənbəyidir: Dalğa enerjisi təbii və davamlıdır. Dalğalar hər zaman mövcuddur, xüsusən də sahil bölgələrində davamlı bir enerji mənbəyi təmin edir.
2. Ətraf Mühitə Zərər Vermir: Dalğa enerjisi təmiz və ekoloji cəhətdən təhlükəsizdir, çünki zəhərli qazların yayılması və ya hava çirkliliyi yaratmaz.
3. Yüksək Enerji İstehsalı Potensialı: Dalğalar çox güclü ola bilər və bu da onların yüksək enerji istehsal etməyə imkan verir. Xüsusən dəniz və okeanlardakı güclü dalğalar böyük enerji istehsalına səbəb ola bilər.

Mənfi Cəhətləri isə:

1. Geoqrafik məhdudiyyətlər: Dalğa enerjisi yalnız sahil bölgələrində tətbiq oluna bilər, çünki dalğalar suyun açıq sahəsində yaranır. Bu da dalğa enerjisini yalnız müəyyən ərazilərdə istifadə etməyə imkan verir.
2. Dəyişkən güc: Dalğaların intensivliyi və istiqaməti dəyişə bilər, bu da dalğa enerjisinin sabitliyini və mövcudluğunu çətinləşdirir. Dalğaların çox zəif olduğu dövrlər, enerji istehsalını məhdudlaşdırı bilər.
3. Yüksək investisiya və texniki problemlər: Dalğa enerjisi qurğularının quraşdırılması və saxlanması bahalı ola bilər. Bu sistemlər hələ tamamilə inkişaf etməyib və tədqiqat və inkişaf sahəsində çətinliklər mövcuddur.

Xəzər dənizində dalğa enerjisinin effektivliyi, bir sıra amillərdən asılıdır və bəzi çətinliklərlə üzləşə bilər. Bu dəniz dünyada ən böyük daxili su hövzəsi olsa da, dalğa enerjisinin tətbiqi üçün xüsusi şərtləri nəzərə almaq lazımdır [7,8,9].

Xəzər dənizində dalğa enerjisinin effektivliyinə təsir edən amillər:

1. Dalğaların intensivliyi və yüksəklikləri: Xəzər dənizində dalğaların intensivliyi adətən okeanlara nisbətən daha azdır. Bu, dalğaların daha kiçik və daha zəif olduğu deməkdir. Bununla yanaşı, bəzi mövsümi dəyişikliklər və güclü küləklər dalğaların yüksəkliyini artırıb daha çox enerji istehsalına imkan verə bilər. Xəzər dənizində dalğaların ən böyük intensivliyi yaz və payız aylarında olur, buna görə də bu mövsümlərdə dalğa enerjisinin daha effektiv olma ehtimalı yüksəkdir.
2. Dənizin dayaz olması: Xəzər dənizinin bir çox hissəsi nisbətən dayazdır və bu, dalğa enerjisinin yığılması və tətbiqi baxımından bəzi məhdudiyyətlər yarada bilər. Dalğaların dayaz sularda effektiv olaraq toplanması və elektrik enerjisinə çevrilməsi daha çətin ola bilər.
3. Hidrodinamik şərait: Xəzər dənizində suyun axını və dalğaların hərəkəti müəyyən dərəcədə müxtəlifdir. Həmçinin, Xəzər dənizindəki dalğaların istiqamətinin və sıxlığının dəyişməsi, dalğa enerjisi sistemlərinin sabit işləməsi üçün əlavə çətinliklər yarada bilər.
4. Sahil xətti və infrastruktur: Xəzər dənizinin sahil xətti bəzi ölkələr tərəfindən çox sıx istifadə olunur (Xəzər dənizi ölkələri arasında), buna görə də dalğa enerjisi sistemlərinin qurulması üçün uyğun sahələrin tapılması çətin ola bilər. Eyni zamanda, bu sistemlərin qurulması və saxlanması yüksək maliyyə tələb edə bilər. Sahil zonasında yaşayış və turizm

sahələri olduğu üçün bu növ layihələrin tətbiqi üçün ətraf mühitə və cəmiyyətə olan təsirləri də nəzərə alınmalıdır.

Müsbət Cəhətləri:

1. Bərpa olunan enerji mənbəyi: Dalğa enerjisi təbii və davamlıdır. Xəzər dənizindəki bəzi sahil bölgələrində bu enerji mənbəyindən faydalanmaq, ətraf mühitə minimal təsir edərək təmiz enerji təmin edə bilər.
2. Yerli enerji təminatı: Xəzəryanı ölkələrdə enerji tələbatını qarşılamaq üçün dalğa enerjisi potensialından istifadə edə bilmək, regionda enerji müstəqilliyinə və bərpa olunan enerji mənbələrinə yönələn investisiyalara töhfə verə bilər.

Mənfi Cəhətləri:

1. Zəif dalğa intensivliyi: Xəzər dənizindəki dalğalar, okeanlara və ya daha böyük dənizlərə nisbətən daha zəif ola bilər. Bu da dalğa enerjisinin effektivliyini azaldır.
2. Texniki və iqtisadi çətinliklər: Dalğa enerjisi sistemlərinin qurulması, xüsusilə Xəzər dənizindəki xüsusi şəraitlərə uyğunlaşdırılması bahalı və texniki cəhətdən mürəkkəb ola bilər.
3. Ətraf mühit və sosial təsirlər: Xəzər dənizinin ekosistemi çox həssasdır və bu səbəbdən dalğa enerjisi sistemlərinin tətbiqi ətraf mühitə təsir göstərə bilər. Həmçinin, yerli icmalar və iqtisadiyyat da bu layihələrdən təsirlənə bilər.

NƏTİCƏ

Aparılan araşdırmalardan məlum olmuşdur ki, bəşəriyyətin bugünkü enerji və istehsalat məhsullarına tələbatı və artımı tempində karbohidrogen enerji daşıyıcıları yaxın gələcəkdə kəskin şəkildə azalacaq və tükənəcəkdir. Ciddi qabaqlayıcı tədbirlər görülmədiyi təqdirdə baş verməsi labüd olan global energetika probleminin və onun doğuracağı digər sosial-iqtisadi problemlərin qarşısının alınması məqsədilə alternativ və bərpa olunan enerji mənbələrindən istifadənin həcmi artırılmalı və bu istiqamətdə elmi-tədqiqat işləri genişləndirilməlidir. Qeyd olunduğu kimi, okean və dənizlərin dalğa enerjisi də ekoloji baxımdan saf və bərpaoluna bilən enerji mənbəyidir. Digər bərpaolunan enerji mənbələri ilə müqayisədə dalğa energetikası yeni sahədir, dəniz və okeanlara çıxışı olan bir çox inkişaf etmiş ölkələr tərəfindən bu və ya digər miqyasda istifadə olunur. Müvafiq istiqamət üzrə alim və mütəxəssislər tərəfindən aparılan elmi-tədqiqat işləri, müxtəlif şəraitlərə uyğun, fərqli iş prinsiplərin ilə çalışan DEQ-larının sınağı və istismarı dalğa energetikasıdan daha səmərəli şəkildə faydalanmağa yol açmış olur. Bu baxımdan Azərbaycanın da Xəzər dənizinin dalğa enerjisindən istifadə imkanları mövcuddur və araşdırma əsasında Xəzər dənizi şəraitinə uyğun yeni icralı DEQ-in işlənilməsi aktual mövzulardandır.

Xəzər dənizində dalğa enerjisinin effektivliyi daha məhdud ola bilər, çünki dalğalar daha zəif və dayazdır. Lakin, xüsusən bəzi bölgələrdə və mövsümi dəyişikliklər zamanı, dalğa enerjisi müəyyən dərəcədə faydalı ola bilər. Bu enerji növü hələlik təcrübə mərhələsində olsa da, gələcəkdə inkişaf etmiş texnologiyalarla və infrastrukturla bu enerjiden daha çox istifadə etmək mümkün ola bilər.

-
1. IMO MEPC 72, 2018. Initial strategy on greenhouse gas emissions reduction for ships. Tech. rep., International Maritime Organisation (IMO), April.
 2. MARPOL 73/78 Санкт-Петербург, ЗАО «ЦНИИМФ» - 2008
 3. *Salamov O.M., Atamoğlanova Q.M.* Ənənəvi və qeyri-ənənəvi yanacaq növlərindən istifadənin perspektivləri və müqayisəli analizi. AzTU-nun Elmi əsərlər toplusu, 2018, №4, s.
 4. *Sultanov E.F., İsmayilov S.S.* “Gəmilərdə alternativ enerji mənbələrindən istifadə imkanlarının araşdırılması”. ADDA Elmi əsərlər №2, Bak; 2021, səh. 151-157.
 5. *Sultanov E.F., İsmayilov S.S., Əlicanov R.R.* Günəş panelləri və onların gəmilərdə tətbiqinin araşdırılması. ADDA Elmi əsərlər №2, Bak; 2023, səh. 130-138.

6. *Koteswararaoa B, Ravib D, Appalarajuc P. Wave Power Conversion Systems for Power Generation. 2nd National Conference on Developments, Advances and Trends in Engineering Science. International Journal of Modern Engineering Research (IJMER).*
7. *Jhon Brooke, Wave Energy Conversion. Volume 6. Elsevier science, 2003, 204 p.*
8. *Wave Energy Converters (WECs) by James R Joubert, Johannes L van Niekerk, Josh Reinecke, Imke Meyer. October 2013. Centre for Renewable and Sustainable Energy Studies.*
9. *Alternativ və Bərpa Olunan Enerji Mənbələri üzrə Dövlət Agentliyi. Alternativ və bərpa olunan enerji mənbələrindən istifadə. Jurnal. Bakı. 2018.*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ВОЛН В КАСПИЙСКОМ МОРЕ

СУЛТАНОВ Э.Ф., ИСМАИЛОВ С.С., АЛИДЖАНОВ Р.Р.

В статье рассматриваются перспективы и возможности использования энергии волн в Каспийском море. В связи с тем, что существующие твердые, жидкие и газообразные виды топлива в ближайшем будущем будут исчерпаны по всему миру, была подчеркнута важность использования новых, неисчерпаемых и экологически чистых источников энергии. Также была предоставлена краткая информация о технологиях использования волновой энергии, разработанных в ряде стран мира, и проведен сравнительный анализ.

Ключевые слова: альтернативные источники энергии, волновые энергетические установки, преобразователи энергии, волновая электростанция.

RESEARCHING THE POSSIBILITIES OF USING WAVE ENERGY IN THE CASPIAN SEA

SULTANOV E.F., ISMAYILOV S.S., ALIJANOV R.R.

The article examines the prospects and possibilities of using wave energy in the Caspian Sea. Due to the fact that existing solid, liquid and gaseous fuels will be exhausted in the near future throughout the world, the importance of using new, inexhaustible and environmentally friendly energy sources was emphasized. Brief information on wave energy technologies developed in a number of countries was also provided, and a comparative analysis was conducted.

Keywords: alternative energy sources, wave energy devices, energy converters, wave power plant.

DOI:10.70784/azip.5.20252121

YÜKSƏK SÜRƏTLİ TELEKOMMUNİKASIYA SİSTEMLƏRİNDƏ MANEƏYƏ DAVAMLI KODLAŞDIRMANIN TƏŞKİLİ

NƏCƏFOVA F.N., QOÇUYEVA A.F.

*Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti, Azadlıq prospekti 20, Bakı,
Azərbaycan, AZ1010
fatimanajafova2@gmail.com*

Müasir radiorabitə sistemlərində tələb olunan vacib göstəricilərdən biri də yüksək sürətli telekommunikasiya sistemlərində maneəyə davamlı kodlaşdırmanın təşkil olunmasıdır əsas yerlərdən birini tutur. Hazırda kodlaşdırma nəzəriyyəsində kanalın ötürmə qabiliyyətinə yaxın işləyən yalnız bir neçə kodlaşdırma/dekodlaşdırma metodu məlumdur. Onlardan xaricdə aktiv inkişaf etdirilən turbo və turbonya bənzər kodlara yer vermək mümkündür. Lakin bu metodlar hələ də kifayət qədər yüksək hesablama mürəkkəbliyinə malikdir, bu da onların məlumat ötürmə sürəti yüzlərlə və minlərlə Mbit/s olan yüksək sürətli telekommunikasiya sistemlərində praktiki tətbiqini çətinləşdirir.

Açar sözlər: KEQ, çoxsərhədli dekoder, telekommunikasiya

Giriş. Müasir telekommunikasiya sistemlərinin layihələndirilməsində ən vacib məsələlərdən biri məlumatların yüksək etibarlı ötürülməsinin təmin edilməsidir. Bu problemin ən səmərəli həll yollarından biri düzəldici kodların tətbiqidir. Bu sahədə müdafiəedici kodlaşdırma nəzəriyyəsi son onilliklər ərzində əhəmiyyətli nailiyyətlər əldə etmişdir. Rəqəmsal məlumat ötürmə sistemlərində müdafiəedici kodlaşdırmanın tətbiqi kodlaşdırma enerji qazancı (KEQ) təmin edir; hər bir desibelin dəyəri qərb mütəxəssislərinin 20 il əvvəlki qiymətləndirməsinə görə milyonlarla dollar dəyərində idi. Bu, ötürücü gücünün azaldılması, məlumat ötürmə sürətinin artırılması, bahalı antenaların ölçülərinin kiçildilməsi, əlaqə məsafəsinin artırılması, tezlik bantının daha səmərəli istifadəsi və digər vacib xüsusiyyətlərin yaxşılaşdırılması kimi üstünlüklərin əldə olunmasına şərait yaradır. Buna görə də, bütün dünyada KEQ-nın artırılmasına böyük diqqət yetirilir və sadə, effektiv dekodlaşdırma alqoritmlərinin üstünlükləri yüksək qiymətləndirilir. Müasir kodlaşdırma nəzəriyyəsinin əsası V.A. Kotelnikov və K. Şennon tərəfindən təşkil edilmişdir.

Nəticələr və müzakirələr

Praktiki reallaşdırmada daha etibarlı və ucuz kodlaşdırma/dekodlaşdırma üsullarının axtarışı aktuallığını daha da artırmışdır. Məlumat mübadiləsinin sürətinin davamlı artması bu problemin hər il daha da aktuallaşmasına səbəb olur.

Araşdırmalar göstərmişdir ki, bu gün effektivliyi və praktiki reallaşdırma mürəkkəbliyi nisbəti baxımından ən yaxşı üsullardan biri öz-ortoqonal kodların dekodlaşdırılmasında istifadə olunan çoxsərhədli dekoderlərdir (ÇSD). Bu dekoderlər kod uzunluğundan asılı xətti mürəkkəbliklə optimal dekoder həllinə yaxınlaşma xüsusiyyətinə malik olduqları qat-qat sübut edilmişdir. Hal-hazırda ÇSD ilə bağlı aparılan araşdırmaların nəticələri yüzlərlə elmi işdə əks olunub və göstərilib ki, əməliyyat sayı baxımından ÇSD digər bütün dekodlaşdırma sxemlərinə nisbətən ən azı iki və daha çox əmr üstünlük təşkil edir. Üstəlik, ÇSD-in avadanlıqda reallaşdırılarkən əməliyyatların tam paralelləşdirilməsi mümkündür. Bu da ÇSD-in müasir, yüksək sürətli məlumat ötürmə sistemləri üçün mümkün olan ən yüksək enerji qazancı səviyyələri və çox yüksək sürət təmin edən əsas dekodlaşdırma metodu kimi qəbul olunmasına şərait yaradır.

Bununla belə, bu sadə və effektiv metodun imkanları hələ tam istifadə olunmayıb, çünki kodlaşdırma nəzəriyyəsinə əsasən ÇSD üçün əlavə olaraq təxminən 1,5 dB enerji qazancının

artırılması mümkündür. Buna görə də, çoxsərhədli dekodlaşdırma metodlarının səmərəliliyinin artırılması məqsədilə onların inkişafı, praktiki reallaşdırmanın sadəliyini maksimum dərəcədə qoruyaraq aktual qalmaqdadır.

Bundan əlavə, hazırda ÇSD-in xüsusiyyətləri yalnız iki fazalı modulasiya istifadə olunan qaus kanalları şəraitində ətraflı öyrənilmişdir. Lakin siqnalın tutduğu tezlik bantı üzərində ciddi məhdudiyyətlər olması səbəbindən, çoxmövqeli modulasiya sistemləri – məsələn, çoxmövqeli fazalı və kvadrat-amplitud modulasiya – aktiv şəkildə tətbiq olunmağa başlayıb. ÇSD-in çoxmövqeli siqnallarla birlikdə tətbiqinin səmərəliliyinin araşdırılması məlumat ötürmə sistemlərinin bu şəraitdə də xüsusiyyətlərinin yaxşılaşdırılmasına imkan verə bilər.

Qeyd etmək lazımdır ki, ÇSD-də “səhv ehtimalının doyması” adlanan bir sahə müşahidə olunur; bu sahədə siqnal/səs nisbətinin artması ilə dekodlaşdırma səhv ehtimalının azalma sürəti yavaşlayır. Bu vəziyyət adətən ÇSD-də kiçik kod məsafəsinə malik kodların tətbiq olunmasından irəli gəlir. Səhv ehtimalının doymasının mövcudluğu, dekodlaşdırma səhv ehtimalının çox aşağı səviyyələrə endirilməsini çətinləşdirir ki, bu da telekommunikasiya sistemlərində, məsələn, rəqəmsal yayımlı televiziya DVB sistemlərində tez-tez tələb olunur. Səhv ehtimalının doymasının aradan qaldırılması üçün mümkün yollarından biri ÇSD-in xarici kaskadda ən sadə səhv düzəltmə metodları ilə birgə tətbiq edilməsidir. Bu kodlaşdırma və dekodlaşdırma mürəkkəbliyində az miqdarda artımla ÇSD-in effektiv işləmə sahəsində səhv ehtimalını əhəmiyyətli dərəcədə azalda bilər. Beləliklə, telekommunikasiya sistemlərində müdafiəedici kodlaşdırmanın təşkili məlumat ötürülməsinin yüksək etibarlılığının təmin olunmasında ən vacib vasitələrdən biridir. Burada müdafiəedici kodlaşdırmanın təşkili dedikdə, reallaşdırılmasının sadəliyi ilə seçilən və məlumat mübadiləsinin yüksək etibarlılıq və sürətlə həyata keçirilməsinə imkan verən kodlaşdırma/dekodlaşdırma alqoritmlərinin hazırlanması, öyrənilməsi və tətbiqi nəzərdə tutulur.

Məqalədə əsas həll olunacaq məsələ telekommunikasiya sistemlərinin yüksək sürətli məlumat ötürmə kanallarında yüksək səviyyədə etibarlılıq təmin edən və praktiki reallaşdırmanın mürəkkəbliyi maksimum dərəcədə aşağı olan ÇSD əsasında müdafiəedici kodlaşdırma alqoritmlərinin hazırlanmasıdır. Məqsədə nail olmaq üçün aşağıdakı əsas tapşırıqlar yerinə yetirilməlidir:

- Mövcud kodlaşdırma/dekodlaşdırma alqoritmlərinin araşdırılaraq növbəti tədqiqat istiqamətlərinin müəyyənləşdirilməsi;
- Praktiki reallaşdırma mürəkkəbliyinin mümkün qədər aşağı səviyyədə saxlanması şərti ilə, yüksək korreksiya qabiliyyətinə malik ÇSD əsasında kodlaşdırma/dekodlaşdırma alqoritmlərinin hazırlanması və öyrənilməsi;
- Tipik məlumat ötürmə kanallarında çoxsərhədli dekoderlərin xüsusiyyətlərinin araşdırılması və onların maksimal səmərəlilik əldə olunması üçün parametrlərinin seçilməsi metodikasının hazırlanması;
- Hazırlanmış metodikadan istifadə edərək, tipik məlumat ötürmə kanalları modelləri üçün ən optimal ÇSD parametrlərinin seçilməsi;
- Müasir kodlaşdırma/dekodlaşdırma alqoritmlərinin səmərəliliyinin araşdırılması üçün proqram vasitələrinin hazırlanması.

Məqalədə çoxmövqeli siqnallara malik kanalın qeyri-bərabər energetikası kimi qiymətləndirildiyi ÇSD tətbiqi metodikasının təklif olunması ilə müəyyən edilmişdir. İşdə həmçinin ilk dəfə ÇSD ilə Hamming kodu və Viterbi kodunun kaskadlaşdırılması təklif olunub. Hazırkı işimizdə əsasən aşağıdakı bəndlərə baxılması daha məqsədəuyğun sayılır:

- Mövcud kodlaşdırma/dekodlaşdırma alqoritmlərinin effektivliyi və praktiki reallaşdırma mürəkkəbliyi nisbəti baxımından müqayisəli araşdırmalarının nəticələri;
- Siqnal dəstinin simvollarında informasiya və yoxlama bitlərinin yerləşdirilməsinin optimallaşdırılması vasitəsilə ÇSD-in səmərəliliyinin artırılması metodikası;
- ÇSD ilə dekodlaşdırılan ortoqonal kodun və Chase dekoderi vasitəsilə dekodlaşdırılan genişləndirilmiş Hamming kodlarının kaskadlaşdırma alqoritmi;
- Viterbi dekoderi ilə dekodlaşdırılan konvolyutsion kod və ÇSD ilə dekodlaşdırılan ikili

- ortoqonal kod əsasında müdafiəedici kodlaşdırma/dekodlaşdırma alqoritmi;
- Viterbi dekoderi ilə dekodlaşdırılan konvolyutsion kod və ÇSD ilə dekodlaşdırılan qeyri-ikili ortoqonal kod əsasında müdafiəedici kodlaşdırma/dekodlaşdırma sisteminin təşkili.

Çoxmövqeli siqnal sistemləri istifadə olunan kanallarda ÇSD-in səmərəliliyinin artırılması üçün hazırlanmış metodika, ÇSD-in effektiv işləmə sahəsinin kanalın ötürmə qabiliyyətinə ən azı 0,5 dB qədər yaxınlaşdırılmasını təmin edir. Təklif olunan ortoqonal kod və Hamming koduna əsaslanan kaskadlaşdırılmış kodlaşdırma/dekodlaşdırma sxemi əsas kaskadlaşdırılmamış kodlara nisbətən dekodlaşdırma səhv ehtimalını iki-üç əmr azalda bilir. Həmçinin, adi ÇSD və Viterbi kodlaşdırma üsuluna əsaslanan kaskadlaşdırılmış kodlaşdırma/dekodlaşdırma sxemi artıq Viterbi kodlaşdırma üsulunun tətbiq edildiyi mövcud məlumat ötürmə sistemlərində istifadə oluna bilər və bu məlumat ötürmə sisteminin enerji səmərəliliyini təxminən 1,5–2 dB qədər yaxşılaşdırır. Hazırlanmış bütün kodlaşdırma/dekodlaşdırma sxemləri praktiki reallaşdırma baxımından aşağı mürəkkəbliyə təşkil edir. Proqram vasitələri isə müasir kodlaşdırma/dekodlaşdırma alqoritmlərinin tipik məlumat ötürmə kanalları şəraitində hərtərəfli araşdırılmasına imkan yaradır və aşağıdakıların tətbiqi bu işdə özünü doğruldur: Ehtimal nəzəriyyəsi və riyazi statistika nəticələrinin düzgün tətbiqi; Müdafiəedici kodların kodlaşdırma və dekodlaşdırma alqoritmlərinin statistik modelləşdirilməsi yolu ilə əldə olunan maşın eksperimentlərinin nəticələri; Mövcud tətbiq aktlarının əldə olunması. Proqram vasitələri aşağıdakı modullardan ibarətdir: məlumat ötürmə kanalının modelləşdirilməsi modulu ilə qarşılıqlı əlaqədə olan interfeys modulu; kodlaşdırma və dekodlaşdırma cihazlarının işinin modelləşdirilməsi modulu; eksperimental parametrlərin idarə edilməsi modulu; eksperiment nəticələrinin göstərilməsi və qrafiklərin qurulması modulu.

Bu proqram vasitələri rəqəmsal məlumat ötürmə şəbəkələrinin layihələndirilməsi ilə məşğul olan mütəxəssislər üçün zəruridir. Onlar inkişaf etdirilən sistemlərdə müxtəlif düzəldici kod dekoderlərinin tətbiq olunma imkanını qiymətləndirməyə şərait yaradır və bu da yeni kommunikasiya sistemlərinin bütün elementlərinin tələb olunan enerji səmərəliliyi, mürəkkəbliyi, sürət, etibarlılıq, qərar qəbul etmə gecikməsi və digər seçim meyarları nəzərə alınmaqla düzgün layihələndirilməsinə imkan verir.

Proqram vasitələrində reallaşdırılmış məlumat ötürmə kanalının modelləşdirilməsi modulu aşağıdakı məlumat ötürmə kanalları modellərində tədqiqat aparmağa imkan verir: əlavə ağ Gaus səs-küyü və iki fazalı modulyasiya ilə məlumat ötürmə kanalı modeli; əlavə ağ Gaus səs-küyü və çoxmövqeli fazalı modulyasiya ilə məlumat ötürmə kanalı modeli; əlavə ağ Gaus səs-küyü və kvadrat-amplitud modulyasiya ilə məlumat ötürmə kanalı modeli;

Dəstəklənən bütün kanal modelləri və istifadə olunan təsadüfi ədəd generatorları diqqətlə test edilmişdir. Kodlaşdırma və dekodlaşdırma cihazlarının işinin modelləşdirilməsi modulu aşağıdakı kod modellərinin araşdırılmasına imkan verir:

- Hamming kodu modeli;
- Viterbi kodu modeli;
- Turbo kodu modeli;
- ÇSD əsasında hazırlanmış kod modelləri.

Hazırlanmış kod modellərinin düzgünlüyü, proqram vasitələri ilə əldə olunan nəticələrin məlum nəticələrlə müqayisəsi yolu ilə təsdiq olunur.

Məqalədə həmçinin modelləşdirmə nəticələrinin dəqiqliyinin və etibarlılığının təmin olunması məsələləri müzakirə edilir. Göstərilmişdir ki, məlumat ötürmə kanalında səhv ehtimalının qiymətləndirilməsi zamanı 20% səhv payı və 0,95 etibarlılıq şərtləri üçün ən azı 100 səhv əldə olunana qədər modelləşdirmə aparılmalıdır. Dekoder çıxışında səhvlərin qruplaşması səbəbindən dekodlaşdırma səhv ehtimalının qiymətləndirilməsi tələb olunarsa, modelləşdirmə daha çox, bir neçə dəfə artıq səhv əldə olunana qədər davam etdirilməlidir. Təqdim olunan bütün nəticələrin əldə olunması zamanı modelləşdirmə yalnız dekoder çıxışında 1000-bit səhv və ya 100 blokun səhv dekodlaşdırılması hallarında dayandırılmışdır. Mövcud kodlaşdırma/dekodlaşdırma alqoritmləri araşdırılmış və effektivliyi ilə praktiki reallaşdırma mürəkkəbliyi nisbəti baxımından ən yaxşı metodlardan biri kimi ortoqonal kodların çoxsərhədli

dekoderləri seçilmiş, eləcə də gələcək tədqiqat istiqamətləri müəyyənləşdirilmişdir. Səhvlərin yayılmasına minimal təsir göstərən blok şəklində ortoqonal kodların əldə olunmasına imkan verən proqram vasitələri hazırlanmışdır. Kvadrat-amplitud və çoxmövqeli faza modulyasiyası kimi çoxmövqeli modulyasiya sistemləri olan kanallarda çoxsərhədli dekodlaşdırma metodlarının tətbiqi məsələləri öyrənilmişdir. Göstərilmişdir ki, bu şəraitdə həm sərt, həm də yumşaq demodulyator qərarlarından istifadə edildikdə, ÇSD klassik Viterbi dekoderindən təxminən 1,3 dB daha səmərəli olur və turbo kod dekoderinə nisbətən təxminən 1,1–1,5 dB geri qalır. Signal dəstinin simvollarında informasiya və yoxlama bitlərinin yerləşdirilməsinin optimallaşdırılması vasitəsilə ÇSD-in səmərəliliyinin artırılması metodikası təklif edilmişdir. Bu metodikanın tətbiqi ÇSD-in effektiv işləmə sahəsinin kanalın ötürmə qabiliyyətinə ən azı 0,5 dB yaxınlaşdırılmasına imkan verir.

NƏTİCƏ

Çoxsərhədli dekoderlərin istifadə edildiyi üç kaskadlaşdırılmış kodlaşdırma dekodlaşdırma sxemi təklif olunmuş və ətraflı araşdırılmışdır. Təklif olunan kaskad sxemlərin istifadəsi həm ÇSD-in effektiv işləmə sahəsində dekodlaşdırma səhv ehtimalını 2–4 əmri azaldır, həm də ÇSD-in effektiv işləmə sahəsini kanalın ötürmə qabiliyyətinə təxminən 0,5 dB yaxınlaşdırır. Hazırlanmış proqram vasitələri rəqəmsal məlumat ötürmə şəbəkələrinin layihələndirilməsi ilə məşğul olan mütəxəssislər üçün zəruridir. Bu vasitələr, inkişaf etdirilən sistemlərdə müxtəlif düzəldici kod dekoderlərinin tətbiq olunma imkanını qiymətləndirməyə şərait yaradır və beləliklə, yeni kommunikasiya sistemlərinin bütün elementlərinin tələb olunan enerji səmərəliliyi, mürəkkəblilik, sürət, etibarlılıq, qərar qəbul etmə gecikməsi və digər seçim meyarları nəzərə alınmaqla düzgün layihələndirilməsinə imkan verir.

1. *Золотарев В.В.* Недвоичные многопороговые декодеры // Цифровая обработка сигналов, № 3. (2003), с. 10-12.
2. *Гринченко Н.Н., Овечкин Г.В.* Помехоустойчивое кодирование для высокоскоростных спутниковых каналов связи // Цифровая обработка сигналов, №4, (2006), с.29-33.
3. *Weiss Y., Freeman W.T.* On the optimality of solutions of the max-product belief-propagation algorithm in arbitrary graphs // IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 47, №2, (2001), pp. 736-744.
4. *Luby M.G., Mitzenmacher M., Shokrollahi M.A., Spielman D.A.* Improved low-density parity-check codes using irregular graphs // IEEE Trans. Inform. Theory. vol. 47. №2, (2001), pp. 585-598.

ПРЕПЯТСТВИЯ В ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ ОРГАНИЗАЦИЯ НЕПРЕРЫВНОГО КОДИРОВАНИЯ

НАДЖАФОВА Ф.Н., ГОЧУЕВА А.Ф.

Одним из важных показателей, предъявляемых к современным системам радиосвязи, является организация помехоустойчивого кодирования в высокоскоростных телекоммуникационных системах, которое занимает одно из основных мест. В настоящее время в теории кодирования известно лишь несколько методов кодирования/декодирования, работающих на уровне, близком к пропускной способности канала. К их числу можно отнести турбо- и турбоподобные коды, активно разрабатываемые за рубежом. Однако эти методы по-прежнему имеют достаточно высокую вычислительную сложность, что затрудняет их практическое применение в высокоскоростных телекоммуникационных системах со скоростями передачи данных в сотни и тысячи Мбит/с.

Ключевые слова: KEG, многограничный декодер, телекоммуникации

ORGANIZATION OF OBSTACLE-RESISTANT CODING IN HIGH-SPEED TELECOMMUNICATION SYSTEMS

NADJAFOVA F.N., GOCHUYEVA A.F.

One of the important indicators required in modern radio communication systems is the organization of obstacle-resistant coding in high-speed telecommunication systems, which occupies one of the main places. Currently, only a few coding/decoding methods are known in coding theory that work close to the channel capacity. Among them, it is possible to include turbo and turbo-like codes that are actively developed abroad. However, these methods still have a fairly high computational complexity, which complicates their practical application in high-speed telecommunication systems with data transfer rates of hundreds and thousands of Mbit/s.

Keywords: KEG, multi-border decoder, telecommunications

MÜNDƏRİCAT

ELEKTROENERGETİKA

Balametov Ə.B. Enerji sistemin stasionar rejimlərinin operativ idarə olunmasında reqressiya modellərinin tətbiqi.....	3
Səfiyev E.S., Şixəliyeva Y.S. Elektrik veriliş xətlərində dayaq konstruksiyaları.....	25
İbadov Ç.Ş. Elektrik şəbəkələrində itkilərinin azaldılması tədbirlərinin səmərəliliyinin müəyyən edilməsi və işçi personalın mükafatlandırılmasının xüsusiyyətləri.....	37

TEPLOFİZİKA

Eminova V.İ., Hadiyeva A.A. Ag ₂ Se kristalının termoelektrik keyfiyyətliliyinin artırılmasında defektlərin rolu.....	45
---	----

ELEKTROFİZİKA

Nurubəyli T.K. Bərk cisimlərin element və izotop tərkibinin tədqiqi üçün yeni uçuş kütlə spektrometrinin hazırlanması və tətbiqi.....	49
Abdinov Ə.Ş., Hüseynov T.X. Aşağı temperaturu plazmada elektrik sahəsi intensivliyi rəqslərinin modullaşması.....	56
Süleymanova L.Ç. Müxtəlif aqrekat halında olan karbohidrogen mənşəli materialların tədqiqat məsələləri.....	62

ELEKTROTEKNOLOGİYA

Vəliyeva T.D. Neft istehsal obyektlərində elektrik təchizatının etibarlılığının modelləri.....	68
---	----

ENERJİ MƏNBƏLƏRİ

Həşimov A.M., Nayir A.R. İspaniyada enerji qaranlıqı ilə müxtəlif bərpa olunan enerji mənbələri üçün mülahizələr.....	76
Poladova V.N. Günəş panellərinin insan həyatında rolu və onun perspektivləri.....	84

DATA ANALİTİK VƏ SÜNİ İNTELLEKT

Səfərli L.S., Qoçuyeva A.F. Multiservis şəbəkəsi trafikinin modelləşdirilməsi.....	88
Allahverdiyeva A.Y., Cəbiyeva A.C. Modul elektrik stansiyaları və intellektual idarəetmə sistemi haqqında ədəbiyyat icmalı.....	93
Həşimov X.X., Məmmədov İ.A. Adaptiv identifikasiya modelləri və alqoritmləri üzrə quyu qaz-hidrokinamik tədqiqatlarının qiymətləndirilməsi.....	97

EKOLOGİYA

Kazımov M.H., Vəlibəyov İ.M. Naxçıvan çökəkliyində ekoloji tarazlığın və seysmoloji aktivliyin xüsusiyyətləri.....	106
---	-----

İŞ TƏCRÜBƏSİNDƏN

Sultanov E.F., İsmayılov S.S., Əlicanov R.R. Xəzər dənizində dalğa enerjisindən istifadə imkanlarının araşdırılması.....	114
Nəcəfova F.N., Qoçuyeva A.F. Yüksək sürətli telekommunikasiya sistemlərində maneəyə davamlı kodlaşdırmanın təşkili.....	121

СОДЕРЖАНИЕ

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

Баламетов А.Б. Применение регрессионных моделей в оперативном управлении стационарными режимами энергетической системы.....	3
Сафиев Э.С., Шихалиева С.Я. Конструкции опор линий электропередачи.....	25
Ибадов Ч.Ш. Особенности определения эффективности мероприятий по снижению потерь в электрических сетях и вознаграждению рабочего персонала.....	37

ТЕПЛОФИЗИКА

Эминова В.И., Гадиева А.А. Роль дефектов в увеличении термоэлектрической добротности в Ag_2Se	45
--	----

ЭЛЕКТРОФИЗИКА

Нурубейли Т.К. Разработка и применение нового времяпролётного масс-спектрометра для исследования элементного и изотопного состава твёрдых тел.....	49
Абдинов А.Ш., Гусейнов Т.Х. Модуляция колебаний напряженности электрического поля в низкотемпературной плазме.....	56
Судейманова Л.Ч. Основные направления исследований в области углеводородных соединений и выявление взаимосвязей структуры и свойств материалов.....	62

ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЯ

Велиева Т.Д. Модели надежности электроснабжения объектов нефтедобычи.....	68
--	----

ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Гашимов А.М., Наир А.Р. Соображения относительно различных возобновляемых источников энергии в условиях отключения электроэнергии в Испании.....	76
Поладова В.Н. Роль солнечных батарей в жизни человека и ее перспективы.....	84

АНАЛИТИКА ДАННЫХ И ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ

Сафарли Л.С., Гочуева А.Ф. Моделирование трафика мультисервисной сети.....	88
Аллахвердиева А.Ю., Джабиева А.ДЖ. Обзор литературы по модульным электростанциям и интеллектуальным системам управления.....	93
Гашимов Х.Х., Мамедов И.А. Оценка газогидродинамических исследований скважин на основе адаптивных моделей и алгоритмов идентификации.....	97

ЭКОЛОГИЯ

Казымов М.Г., Велибеков И.М. Особенности экологического баланса и сейсмической активности Нахчыванской котловине.....	106
--	-----

ИЗ ОПЫТА РАБОТЫ

Султанов Э.Ф., Исмаилов С.С., Алиджанов Р.Р. Исследование возможностей использования энергии волн в Каспийском море.....	114
Наджафова Ф.Н., Гочуева А.Ф. Препятствия в высокоскоростных телекоммуникационных системах организации непрерывного кодирования.....	121

CONTENTS

THE ELECTRICAL POWER ENGINEERING

Balametov A.B. Application of regression models in the operational management of stationary modes of the energy system.....	3
Safiyev E.S., Shikhaliyeva S.Y. Structures of support lines of electric transmission.....	25
Ibadov C.S. Characteristics of determining the efficiency of loss reduction measures in electrical networks and rewarding working personnel.....	37

THERMOPHYSICS

Eminova V.İ., Hadiyeva A.A. The role of defects in increasing of thermoelectric figure of merit in AG_2Se	45
--	----

ELECTROPHYSICS

Nurubeyli T.K. Development and application of a new time-of-flight mass spectrometer for the investigation of the elemental and isotopic composition of solids.....	49
Abdinov A.SH., Guseinov T.KH. Modulation of electric field strength oscillations in low temperature plasma.....	56
Suleymanova L.CH. Main directions of research in the field of hydrocarbon compounds and identification of interrelations of the structure and properties of materials.....	62

ELECTROTECHNOLOGY

Veliyeva T.D. Models of reliability of power supply to oil production facilities.....	68
--	----

ENERGY SOURCES

Hashimov A.M., Nayir A.R. Considerations for various renewable energy sources with blackout Spain.....	76
Poladova V.N. The role of solar panels in human life and its perspectives.....	84

DATA ANALYTICS AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Safarli L.S., Gochuyeva A.F. Modeling multiservice network traffic.....	88
Allahverdiyeva A.Y., Jabieva A.J. Literature review on modular power plants and intelligent control systems.....	93
Hashimov Kh. Kh., Mammadov I.A. Evaluation of gas-hydrodynamic well research based on adaptive identification models and algorithms.....	97

ECOLOGY

Kazimov M.H., Valibeyov İ.M. Features of ecological balance and seismological activity in the nakhchivan deposit.....	106
--	-----

FROM OPERATING EXPERIENCE

Sultanov E.F., Ismayilov S.S., Alijanov R.R. Researching the possibilities of using wave energy in the Caspian sea.....	114
Nadjafova F.N., Gochuyeva A.F. Organization of obstacle-resistant coding in high-speed telecommunication systems.....	121

MÜƏLLİFLƏRİN NƏZƏRİNƏ

1. Ümumi qaydalar.

“Energetikanın problemləri” “jurnalında energetikanın kompleks problemləri, elektroenergetika, istilik energetikası, istilik fizikası, elektrofizika, elektrotexnologiya, informatika və yeni texnika sahələrinə həsr olunmuş elmi-texniki məqalələr dərc edilir, eyni zamanda cari xronika da verilir.

Jurnalın əsas məqsədi yüksək elmi keyfiyyət kriteriyalarına cavab verən orijinal elmi-texniki məqalələrin dərc edilməsidir.

Jurnal eyni zamanda konfranslar, simpoziumlar, elmi məktəblər, ümumiyyətlə elmi həyatda cərəyan edən hadisələr haqqında məlumatları da dərc edir.

Redaksiya heyəti, bu və ya digər səbəblərdən, jurnalın tələblərini təmin etməyən məqalələri dərc etməmək hüququnu üzündə saxlayır.

2. Məqalələrin təqdim edilməsi.

Bütün məqalələr aşağıda göstərilən ünvana, jurnalın redaksiyasına göndərməlidir:

Azərbaycan, Az-1143, Bakı, HüseynCavidprospekti, 131

Azərbaycan MEAFizikaİnstitutu

Tel.: (994 12) 538 – 16 – 60; (994 12) 539 – 44 - 02; Faks : (994 12) 539 – 31 – 16

E – mail: a.hashimov@physics.science.az;

Məsul katib Nurubəyli Təranə Kamil qızı.

3. Məqalələrin mətninin dili.

Məqalələr azərbaycan, rus və ingilis dillərində qəbul edilir. Respublika müəlliflərinin məqalələri yalnız azərbaycan və ya rus dillərində, yaxın xarici ölkələrdən olan müəlliflərin məqalələri yalnız rus dilində, uzaq xarici ölkələrin müəlliflərinin məqalələri isə yalnız ingilis dilində qəbul edilir.

4. Məqalələrin tərtib edilməsi qaydaları.

- 4.1. Məqalələr, jurnalın redaksiyasına disket təqdim etməklə, fərdi kompyüterdə, A4 formatlı ağ kağızda, səhifənin parametrləri: yuxarıdan və aşağıdan – 2sm, soldan və sağdan – 2,5 sm məsafə ilə, Times New Roman 12 şriftində yazılaraq, 1 nüsxədə, sətir aralığı 1 interval olmaq şərti ilə çap edilərək, qoşulmuş CD disk ilə təqdim edilir.
- 4.2. Məqalələrin ümumi həcmi, qrafiki materiallar, fotolar, cədvəllər, düsturlar, ədəbiyyatın siyahısı və xülasələr də daxil olmaqla 8 səhifədən yuxarı olmamalıdır.
- 4.3. Məqalələrinin birinci səhifəsinin sol küncündə U onluq təsnifatı (UOT) üzrə indeks göstərməlidir. Sonra 1 interval aşağıdan, qalın və böyük həriflərlə məqalənin adı yazılır. Sonra 1 interval aşağıdan, qalın və böyük həriflərlə müəllifin (müəlliflərin) soyadı, adı və atasının adının baş hərifləri yazılır. 1 interval aşağıdan məqaləni təqdim edən təşkilatın adı yazılır. 1 interval aşağıdan, məqalənin mətninin dilinə uyğun olan, həcmi 10 sətirdən çox olmamaq şərti ilə, 10 şrifti ilə çap edilən xülasə, açar sözlər (5-6 söz), məqalənin əsas mətninin önündə verilir. Sonra 1 interval aşağıdan məqalənin əsas mətni 12 şrifti ilə çap edilir. Bilavasitə məqalənin mətninin davamı olaraq, heç bir başlıq vermədən, yalnız 20-25 simvolluq xətt çəkərək, say sırası ilə istifadə edilən ədəbiyyatın siyahısı verilir. Sonra ardıcıl olaraq rus (və ya azərbaycan) və ingilis dillərində olan xülasələr və açar sözlər (10 şrifti ilə çap edilərək) verilir. Məqalənin mətninin sonunda, əlaqə telefonları, telefakslar və E – mail-1 göstərməklə, müəlliflər məqaləni imzalayırlar.

- 4.4. Məqalənin qrafiki materialları, fotolar, cədvəllər, düsturlar mətnə uyğun yerlərdə yerləşdirilməlidir. Qrafiki materialların şərhinə aid olan yazılar məqalənin mətnində verilməlidir. Qrafiki materiallarda ədədi və ya hərfi işarələr göstərilərək, uyğun izahatlar mətnin içərisində verilməlidir. Qrafiki materialların aşağı hissəsində say sırası verilir və adı yazıla bilər (məsələn üçün, Şəx.3. Sınaq qurğusunun sxemi).
- 4.5. Ədəbiyyat say sırası qeyd edilməklə, orijinalın dilində verilir. Müəlliflərin soyadı, adı və atasının adı kursivdən istifadə etməklə yazılır. Ədəbiyyatın siyahısı aşağıda verilən nümunələr üzrə tərtib edilir.

Kitablar

1. *Разевиг Д.В., Соколова М.В.* Расчет начальных и разрядных напряжений газовых промежутков. М.: Энергия, 1977. - 178 с.
2. *De Gennes P.G.* The Physics of Liquid Crystals. London: Cambridge Univ. Press, 1974.
3. *Скальный А.В.* Химические элементы в физиологии и экологии человека. М.: Оникс 21 век. 2004. 216 с.

Jurnallar

4. *Аганов В.Г., Разевиг Д.В.* // Электричество. - 1972. - № 5. - с. 32-36.
5. *Ялякбяров О.З.* // Физика-1999-№ 3- с.44-49.
6. *Гашимов А.М., Нурубейли Т.К., Нуриев К.З., Гурбанов К.Б.* //Журнал технической физики. 2009, т. 79, № 8, с. 99-103,

Deponə edilmiş əl yazması.

7. *Иванов Л.П.* М., 1985. 40с. - Деп. в ВИНТИ 25.10.85, №19233.
8. *Викулина Т.Д.*; 1998. 214 с. – Деп. в ИНИОН РАН 06.10.98, № 53913.

Dissertasiyalar

9. *Петров В.Г.* Дис. канд. физ.-мат. наук. Л.: Институт Высокмолекулярных соединений, 1985.
10. *Сидоров Н.В.* Дис. д-ра хим. наук. Новосибирск: Институт Химии, 1979.
11. *Nurubeyli T.K.* Fiz. üzrə fəlsəfə dok. dis. Bakı: Fizika İnstitutu, 2010

Müəlliflik şəhadətnamələri və patentlər

12. *Алиев С.Г., Джалалов К.Х.* А.С. 163514 СССР // Б.И. 1988. № 4.с.50
13. Пат. 3386968 США // РЖ ФИЗ. 1970, 25, с. 400.
14. *Langsam M., Savoca A.C.L.* Pat. 4759776, USA, 1988.
15. *Нəşимов А.М., Nurubəyli Т.К., Nuriyev К.З.*//Pat. İ 2015 0010, Bakı, 2015

Konfranslar, simpoziumlar

16. *Медведев П.Т.* // Тез. докл. III Всесоюз. Совещ. по проблемам энергетики. Л.: Изд. ЛПИ, 1984, с.30.
17. *Нуриев К.З., Гурбанов К.Б., Нурубейли Т.К.*, //Тез.док. IV Всероссийская конференция «Масс-спектрометрия и ее прикладные проблемы» 2011 г. Москва с. 92

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

1. Общие правила.

В журнале “Проблемы Энергетики” публикуются научно - технические статьи в области комплексных проблем энергетики, электроэнергетики, теплоэнергетики, теплофизики, электрофизики, электротехнологии, информатики и новой техники, а также приводится текущая хроника.

Основной целью журнала является публикация оригинальных научно-технических статей, отвечающих требованиям высокого научного качества.

В журнале приводятся сведения о работе конференций, симпозиумов, различных научных школ, а также об интересных событиях, происходящих в научном мире.

Редакция сохраняет за собой право не публиковать материалы по тем или иным причинам, не удовлетворяющим требованиям журнала.

2. Представление статей.

Статьи должны быть представлены в редакцию журнала по следующему адресу:

Азербайджан, Аз-1143, Баку, пр. Г. Джавида, 131
Институт Физики НАН Азербайджана
Тел: (994 12) 538-16-60; (994 12) 539-44-02; Факс: (994 12) 539-31-16

E-mail: a.hashimov@physics.science.az;

Ответственный секретарь – Нурубейли Тарана Кямиль кызы.

3. Язык статей.

Статьи принимаются на азербайджанском, русском и английском языках, причем статьи авторов из Азербайджана должны быть представлены на азербайджанском или русском языках, статьи авторов из стран СНГ - только на русском языке, статьи авторов из дальнего зарубежья - только на английском языке.

4. Правила оформления статей.

- 4.1. В редакцию журнала представляются статьи, набранные и напечатанные в одном экземпляре через один интервал на персональном компьютере, на белой бумаге формата А 4, шрифтом Times New Roman, размер шрифта 12, а также представляется в электронном виде на CD диске. Поля сверху и снизу - 2 см, слева и справа - 2,5 см.
- 4.2. Объем статье должен превышать 8 страниц, включая графические материалы, фото, таблицы, формулы, список литературы и аннотации.
- 4.3. В верхнем левом углу первой страницы статьи указывается индекс УДК. Через 1 интервал ниже помещается название статьи жирным и заглавным шрифтом. Через 1 интервал помещается фамилия (фамилии), и инициалы автора (авторов) жирным и заглавным шрифтом. Через 1 интервал указывается наименование организации. Через 1 интервал помещается аннотация на языке статьи объемом не более 10 строк и ключевые слова (5-6 слов) шрифтом 10. Через 1 интервал помещается основное содержание статьи шрифтом 12. В конце основного текста статьи проводится прочерк длиной 20-25 символов, после чего помещается список литературы без

какого-либо названия, в порядке нумерации ссылок в тексте статьи. После этого через 1 интервал помещаются аннотации на двух других языках – русском (или азербайджанском), английском и ключевые слова (5-6 слов) шрифтом 10.

В самом конце статьи помещаются контактные телефоны, факсы и E – mail, а также подписи всех авторов.

4.4. Графические материалы, фото, таблицы, формулы помещаются в соответствующих разделах текста статьи. Надписи, относящиеся к графическим материалам, помещаются в тексте статьи. В графическом материале указываются буквенные и цифровые обозначения, а их комментарии помещаются в тексте статьи. В нижней части графического материала указывается номер и может указываться название материала (напр., Рис.3. Схема установки....)

4.5. Список цитированной литературы приводится на языках оригиналов. Фамилии и инициалы авторов печатаются курсивом. Список литературы оформляется по образцу, приведенному ниже:

Книги

1. *Разевиг Д.В., Соколова М.В.* Расчет начальных и разрядных напряжений газовых промежутков. М.: Энергия, 1977. - 178 с.

2. *De Gennes P.G.* The Physics of Liquid Crystals. London: Cambridge Univ. Press, 1974.

3. *Скальный А.В.* Химические элементы в физиологии и экологии человека. М.: Оникс 21 век. 2004. 216 с.

Журналы

4. *Аганов В.Г., Разевиг Д.В.* // Электричество. - 1972. - № 5. - с. 32-36.

5. *Ялякбяров О.З.* // Физика-1999-№ 3- с.44-49.

6. *Гашимов А.М., Нурубейли Т.К., Нуриев К.З., Гурбанов К.Б.* //Журнал технической физики. 2009, т. 79, № 8, с. 99-103

Депонированные рукописи

7. *Иванов Л.П.* М., 1985. 40с. - Деп. в ВИНТИ 25.10.85, №19233.

8. *Викулина Т.Д.*; 1998. 214 с. – Деп. в ИНИОН РАН 06.10.98, № 53913.

Диссертации

9. *Петров В.Г.* Дис. канд. физ.-мат. наук. Л.: Институт Высокомолекулярных соединений, 1985.

10. *Сидоров Н.В.* Дис. д-ра хим. наук. Новосибирск: Институт Химии, 1979.

11. *Аношкина Ю.В.* Дис. канд. хим. наук. Томский государственный университет, 2012

Авторские свидетельства и патенты

12. *Алиев С.Г., Джалалов К.Х.* А.С. 163514 СССР // Б.И. 1988. № 4.с.50

13. Пат. 3386968 США // РЖ ФИЗ. 1970, 25, с. 400.

14. *Langsam M., Savoca A.C.L.* Pat. 4759776, USA, 1988.

15. *Гашимов А.М., Гурбанов К.Б.* // Пат. İ 2015 0010, Баку, 2015

Конференции, симпозиумы

16. *Медведев П.Т.* // Тез. докл. III Всесоюз. Совещ. по проблемам энергетики. Л.: Изд. ЛПИ, 1984, с.30.

17. *Нуриев К.З., Гурбанов К.Б., Нурубейли З.К.*, //Тез. док. IV Всероссийская конференция «Масс-спектрометрия и ее прикладные проблемы» 2011 г. Москва с. 92

FOR THE ATTENTION OF AUTHORS

1. General Rules.

The **Journal of Electric Power** is dedicated to publicize scientific research articles reflecting the current problems in the electric power systems, heat transfer, technology and information technology, and digests.

The main purpose of the Journal is publishing of the original scientific articles, meeting high quality requirements.

The journal also informs about the results of conferences, seminars, various scientific schools, and the events taking place in the scientific society.

The editorial board reserves the right not to publish the submitted documents, which for various reasons do not satisfy the requirements of the Journal.

2. Submission of the papers.

The papers must be submitted to the editorial body at the following address:

Azerbaijan, A3-1143, Baku, pr. G.Javid, 131
Institute of Physics of the National Academy of Sciences of Azerbaijan
Tel: (994 12) 539-16-60; 539-44-02; Fax: (994 12) 539-31-16

E-mail: a.hashimov@physics.science.az;
For the Attention of T.K. Nurubeyli – the Responsible Secretary

3. The Language

The papers can be accepted in either of Azeri, Russian or English. The papers submitted by Azerbaijani authors must be submitted in Azeri and Russian, the papers of those from CIS countries—in Russian, and those originated from the countries outside CIS—in English.

4. The papers must be submitted in the following format.

- 4.1. The hard copy of the paper must be submitted on the A4 format in 1-line interval, typed in “Times New Roman”, in 12 font, with the borders from top and bottom – 20 mm, from left and right – 25 mm. The electronic copy on a CD-disk should be submitted along with the hard copy.
- 4.2. The paper must not contain more than 8 pages of text, inclusive of any graphs, photos, formulas, reference lists and annotations.
- 4.3. In the upper left corner of the paper the index of UDC must be indicated. Below that, omitting one line, the name of the article must be placed printed in a **BOLD CAPITAL LETTERS**. Underneath the name of the paper, omitting 1 line, the name of the author(s) printed in capital letters must be printed. Below that, omitting 1 line, the name of the organization must be indicated, which supported the research. The abstract follows that, leaving 1 line of blank space, which must be no more than 10 lines, and keywords (5-6 words) of font 10. The text of the paper follows the abstract, leaving 1 line. Drawing a line with the length 20-25 symbols must indicate the end of the text. The reference list is printed below the line, following the same order as it was referred to in the text. Below the

reference list, the summaries and keywords (5-6 words) in Russian and English must follow.

At the end of the paper, the contact details must be placed, and also all the authors must put their signatures.

4.4. All graphic materials, photos, tables, formulas must be placed in the corresponding place of the text. The legends must be placed in the text. All the keys to the symbols must be given in the text of the paper. Below the graphic material the number can be indicated followed by the name of the material (e.g. Fig. 3. Schematic drawing of the installation...)

4.5. The cited materials must be referred to using their original language. The names of authors must be given in *italics*. The reference list must follow the example below:

Books

1. *Gielen M., Tiekink E.R.T.* Metallotherapeutic Drugs and Metal-Based Diagnostic Agents. N.Y.: Wiley. 2005. 598 p.

2. *Venkatesh Iyengar G., Subramanian K.S., Woittiez J.R.W.* Element Analysis of Biological Samples: Principles and Practices, V II. N.Y.: CRC Press. 1997. 272 p.

Journals

3. *Timerbaev A.R.* // J. Anal. At. Spectrom. 2014. V. 29. № 6. P. 1058–1072.

4. *Guo W., Hu Sh., Zhang J., Hu Zh., Zhang H., Wang Y.* // Talanta. 2012. V. 91. P. 60–64.

Patents

5. *Langsam M., Savoca A.C.L.* Pat. 4759776, USA, 1988.

6. *Hashimov A.M., Qurbanov K.B.*//Pat. İ 2015 0010, Baku, 2015

Deposited manuscripts

7. *Ivanov L.P. M.*, 1985, 40s. - Dep. in VINITI 10/25/85, No. 19233.

8. *Vikulina T.D.*; 1998, 214 s. - Dep. at INION RAN 06.10.98, No. 53913.

Dissertation

9. *Petrov V.G.* Dis. Cand. phys.-mat. sciences. L.: Institute of High Molecular Compounds, 1985.

10. *Sidorov N.V.* Dis. Dr. chem. sciences. Novosibirsk: Institute of Chemistry, 1979.

11. *Anoshkina Yu.V.* PhD in chem. Tomsk State University, 2012

Conferences, symposia

16. *Medvedev P.T.* // Abstracts. report III All-Union. Meeting. on energy problems. L. : Ed. LPI, 1984, p. 30.

17. *Nuriev K.Z., Gurbanov K. B., Nurubeyli Z. K.*// Abstracts of documents. IV All-Russian conference "Mass spectrometry and its applied problems" 2011 Moscow p. 92

QEYD ÜÇÜN

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ENERGETİKANIN PROBLEMLƏRİ

elmi – texniki jurnal

№ 2 2025

AR Elm və Təhsil Nazirliyinin Fizika İnstitutunun əməkdaşı Z.A.Tağıyeva tərəfindən yığılıb,
nəşrə hazırlanmışdır

Qeydiyyat №-si: B 507

Tiraj 50 nüsxə

Bakı

Redaksiyanın ünvanları : Bakı, Az-1143, H.Cavid prospekti, 131, Az.MEA Fizika İnstitutu

Bakı, Az -1602, H.Zərdabi prospekti, 94, Az.ETE və ELİ