



ALGORITHM FOR OPTIMIZATION OF A RELIABILITY OF DISTRIBUTION SYSTEMS CONSIDERING THE RANDOM FACTORS

Fiodor ERHAN

State Agrarian University of Moldova

Abstract: Reliability of distributive systems of power supply of consumers is multi criteria's function. Therefore, when developing algorithms for definition of an optimum level of reliability of distributive networks it is necessary to consider probabilistic nature of change of the corresponding indicators.

In the submitted article the mathematical model and algorithm is developed for definition of an optimum level of reliability of systems of power supply taking into account probabilistic change of indicators of reliability of components.

Keywords. Reliability, distributive systems of power supply, mathematical model, algorithm, optimum level of reliability.

ALGORITM DE OPTIMIZARE A FIABILITĂȚII SISTEMELOR DE DISTRIBUȚIE ȚINÎND CONT DE FACTORII ALEATORI

Fiodor ERHAN

Universitatea Agrară de Stat din Moldova

Rezumat: Fiabilitatea sistemelor de distribuție și alimentare cu energie electrică a consumatorilor este o problemă tehnico-economică multifuncțională. Din aceste considerente în procesul de elaborare a algoritmilor de calcul analitic al nivelului optim de fiabilitate al sistemelor de distribuție și alimentare cu energie electrică al consumatorilor să se țină cont de factorii respectivi.

In lucrarea dată este propus și argumentat modelul matematic necesar pentru determinarea nivelului optim de fiabilitate al sistemelor de distribuție reieșind din factorii și indicatorii de fiabilitate al sistemelor respective. Este elaborat și descris principiul de alcătuire al algoritmilor de calcul analitic al nivelului de fiabilitate, ținând cont de categoria consumatorilor și dinamica de dezvoltare al sistemelor respective și modul de variație în timp al parametrilor ce poartă un caracter aleatoriu.

Cuvinte cheie: Algoritm de calcul analitic al nivelului de fiabilitate, sisteme de distribuție a energiei electrice, indicatori de fiabilitate, categoria consumatorilor, dinamică de dezvoltare al sistemelor de distribuție a energiei electrice.

АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УЧИТЫВАЯ СЛУЧАЙНЫЕ ФАКТОРЫ

Ерхан Ф.М.

Государственный Аграрный Университет Молдовы

Реферат. Надежность распределительных и питающих систем различных потребителей является многофакторной технико-экономической проблемой. Поэтому при разработке алгоритма оптимизации надежности распределительных и питающих систем, необходимо учесть изменении во времени показателей надежности, которые носят вероятностный характер.

Ключевые слова. Надежность распределительных и питающих систем, алгоритм оптимизации надежности распределительных и питающих систем, вероятностные факторы, влияющие на надежность распределительных и питающих систем.

INTRODUCERE.

Pentru ca eficacitatea de funcționare al consumatorilor să fie optimă e necesar ca nivelul de fiabilitate al sistemelor de distribuție și alimentare cu energie electrică să corespundă cerințelor tehnice înaintate de consumator față de furnizor.

Numai respectând aceste cerințe se poate de atins un așa nivel de fiabilitate, care poate fi optim atât pentru furnizor cât și pentru consumator. Pentru a atinge nivelul optim de fiabilitate e necesar de efectuat procesul

de optimizare, ținând cont atât de cerințele furnizorului cât și de cerințele înaintate de consumator. E cunoscut că fiabilitatea este o noțiune economică și depinde de cheltuielile curente și cele actualizate efectuate atât de furnizor cât și de consumator la concret [1].

Se poate de atins orice nivelul de fiabilitate stabilit preventiv dar depinde cu ce preț. Numai în așa condiții poate apărea problema de optimizare a nivelului de fiabilitate de structură al sistemelor de distribuție, precum și a fiabilității de alimentare al consumatorilor.

PROBLEMA ȘI MODUL DE SOLUȚIONARE

Problemele fiabilității de alimentare a consumatorilor sunt niște probleme aleatorice, care depind de o serie de factori atât determinați cât și nedeterminați și practic pot fi deviate în câteva grupe [2].

a) problemele fiabilității de structură a sistemelor de distribuție a energiei electrice;

b) problemele fiabilității de funcționare a elementelor și echipamentelor componente;

c) problemele fiabilității ale consumatorilor.

Asupra valorii finale al fiabilității sistemelor de distribuție și alimentare al consumatorilor influențează o serie de factori, care pot fi foarte diverși, dintre care se pot evidenția:

- caracteristicile elementelor sistemelor de distribuție și alimentare și fiabilitatea lor funcțională;

- schemele de racordare al elementelor sistemelor de distribuție și alimentare;

- tipul consumatorului și cerințele lui înaintate față de fiabilitatea de alimentare cu energie;

- influența factorilor atât determinați cât și a celor nedeterminați asupra fiabilității de alimentare al consumatorilor.

Prin urmare determinarea strictă a nivelului optimal al fiabilității al fiabilității sistemelor de distribuție și alimentare cu evidența acțiunilor factorilor exteriori e destul de complicată, deoarece toți factorii descriși au un caracter probabilistic de variație în timp.

Pentru a aprecia și determina nivelul optim al fiabilității sistemelor de distribuție și alimentare cu evidența influenței unor factori determinați e necesar de a aplica câteva criterii de optimizare al schemelor electrice al sistemelor de distribuție și alimentare printre care pot fi evidențiate:

- criteriul cheltuielilor raportate sumare;

- criteriul rezervării optimale al schemelor sistemelor de distribuție și alimentare în întregime;

- criteriul optimizării schemelor de distribuție și alimentare cu evidența la concret al utilajului electric instalat.

Determinarea nivelului optim al fiabilității sistemelor de distribuție și alimentare și aprecierea influenței factorilor exteriori asupra ei în nodurile sistemelor e necesar de a o examina ca o problemă tehnico-economică, rezolvarea căreia trebuie asigurată pe baza criteriului de minimizare a cheltuielilor raportate. Nivelul fiabilității în acest caz se apreciază reieșind din valoarea cheltuielilor capitale și a celor suplimentare, necesare pentru sporirea nivelului fiabilității de structură al sistemelor de distribuție și alimentare, valoarea daunelor așteptate atât la consumator cât și în SDAEE ca rezultat al fiabilității scăzute al funcționării schemelor și elementelor componente și a utilajului electric instalat, ținând cont de influența factorilor exteriori.

Dependențele precăutate analitic pot fi prezentate conform expresiei (1).

$$R = f(C_{\Sigma}, C_r, I_b^3, I_b^1) \quad (1)$$

Componenta cheltuielilor racordate (C_r) ce apreciază fiabilitatea de structură al sistemelor de distribuție și alimentare ținând cont de valorile funcțiilor aleatorii

$C=f(I_{s,c})$ poate fi determinată prin volumul sumar de energie ne livrată consumatorului precăutat $\Sigma W = f(\Delta t)$ și de valoarea daunelor probabile așteptate (D) la consumatori și sistem ce poate fi determinate conform ecuației (2).

$$D = \Sigma \alpha_i W_i \quad (2)$$

unde: α_i - caracteristica intensitatea specifică al fiabilității echipamentelor și elementelor componente al sistemelor de distribuție și alimentare în dependență de valorile probabile a funcțiilor ce caracterizează la curent valoarea precăutată în nodurile sistemului respectiv și pot fi determinate conform (3).

$$\alpha_i = (0,3 \div 0,75) u. c. / kWh \quad (3)$$

W_j - speranța matematică a volumului sumar de energie ne livrată în sistemelor de distribuție și alimentare din cauzat nivelului scăzut de fiabilitate de structură și de funcționare al elementelor componente al sistemului precăutat în dependență de apariția regimurilor ne simetrice și al altor fenomene (de cele mai dese ori însoțite de curenți de scurtcircuit).

Deconectările de avarie în sistemele de distribuție și alimentare al consumatorilor cauzate de fiabilitatea scăzută al echipamentelor aduc la acțiuni negative ce cauzează daune precum la consumatori, la fel și în SDAEE din cauza nelivrării de energie [3].

Pentru rezolvarea problemelor de acest tip nu e rațional de a determina decrementul la consumatori separați, deoarece e necesar de aplicat metodele de modelare matematică atât al daunelor duse cât și al nivelului de fiabilitate minim necesar pentru a evita daunele respective [4], p.81. Determinarea daunelor în SDEE unde sunt aplicate valorile minime și maxime a decrementului în dependență de tipul consumatorului, puterea lui instalată, categoria de fiabilitate de alimentare cu energie, durata staționării de avarie, poate fi efectuată conform [5].

Dacă durata staționării de avarie ($t_{av} < \Delta t_p$) este mai mică decât durata minimă preconizată a staționării de avarie (Δt_p), atunci la consumator nu apar daune ($\Delta D_c = 0$), în așa caz și în SDAEE daunele din cauza ne livrării energiei lipsesc ($\Delta D_s = 0$) [6], p.91.

Dacă durata staționării de avarie ($t_{av} \geq \Delta t_p$) este mai mare, atunci daunele duse de consumator din cauza ne livrării de energie trebuie să fie determinate ($\Delta D_c > 0$).

Deoarece majoritatea elementelor SDAEE sunt renovabile și se pot restabili, pentru așa tip de sisteme, la folosirea principiilor de rezervare al unor elemente, se poate de atins nivelul de fiabilitate optim necesar, determinat preventiv ținând cont de influența diferitor factori din exterior (tehnic această problemă e rezolvabilă, dar economic e ne rațională) [7].

Economic această problemă necesită sporiri esențiale ale cheltuielilor capitale actualizate necesare pentru sporirea fiabilității SDAEE, ce concomitent pot aduce la micșorarea daunelor atât în SDAEE, cât și la consumatori, cauzate de nivelul de fiabilitate scăzut.

ELABORAREA ALGORITMULUI DE OPTIMIZARE A FIABILITĂȚII SISTEMELOR DE DISTRIBUȚIE ȘI ALIMENTARE CU ENERGIE ELECTRICĂ A CONSUMATORILOR

Sistemele de distribuție și alimentare cu energie electrică (SDAEE) a diferitor receptori se află în stare dinamică de dezvoltare permanentă, de aceea fiabilitatea unui astfel de sistem este funcție de o serie de factori atât determinați cât și nedeterminați. Dacă un așa sistem conține n elemente cu fiabilitatea respectiv r_1, r_2, \dots, r_n , fiabilitatea la elementul - i este $-r_i$ atunci fiabilitatea sistemului în întregime reprezintă o funcție monoton neîntreruptă, $R=f(r_1, r_2, \dots, r_n)$ și poate fi reprezentată analitic prin ecuația (4).

$$R = r_i [\psi(r_1, r_2, \dots, r_n)_{r_j=1}] + (1 - r_i) [\psi(r_1, r_2, \dots, r_n)_{r_i=0}]$$

Deoarece fiabilitatea elementelor componente (r_1, \dots, r_n), al SDAEE este comparativ destul de înaltă, și poate să se afle în limitele $0,85 < r_i < 0,95$, apoi fiabilitatea SDAEE sporește concomitent cu creșterea fiabilității elementelor componente.

Dacă pentru sporirea nivelului de fiabilitate al elementului ide la r_i , până la r_j , deci

($\Delta r = r_j - r_i$) sunt necesare cheltuieli suplimentare actualizate $\Delta K_k(\Delta r)$, iar costul sistemului întreg este limitat și nu trebuie să depășească valoarea $\sum C(t)$ - stabilită în procesul de prognoză și proiectare. În așa caz modul de determinare al cheltuielilor actualizate pot fi determinate conform ecuației (5).

$$\sum C(t) = \sum K_k(r_i) \quad (5)$$

Practic aceasta înseamnă, că $C_i(r_i)$ este o funcție monoton crescătoare și neîntreruptă ce depinde de valoarea r_j . Problema dată constă în determinarea valorii C_j , ce contribuie la stabilirea valorii optime al fiabilității sistemului studiat la concret. Deoarece cheltuielile capitale sumare pentru structura determinată al SDAEE sunt determinate și fixate se poate de constatat că se va îndeplini egalitatea (6).

$$C(t) = const \quad (6)$$

Pentru rezolvarea acestei probleme de cele mai dese ori se poate folosi metoda factorilor nedeterminați a lui Lagranj.

În așa caz se poate determina mulțimea valorilor r_j , ce îndeplinesc expresia (7) [8].

$$\delta f(r_1, r_2, \dots, r_n) = 0 \quad (7)$$

unde: $\delta(t)$ este variația funcției studiate în dependență de limita stabilită, pentru care se îndeplinește relația de tip (8).

$$\delta C = \sum \delta K_{ij}(r_j) \quad (8)$$

În așa caz fiabilitatea de structură optimă a elementelor SDAEE se va determina conform (9).

$$\delta R(r_1, r_2, \dots, r_n) - \lambda |\delta C - \sum_{j=1}^n \delta K_j r_j| \quad (9)$$

unde: λ este constanta reală ce depinde de structura grafului SDAEE precăutat și dese ori poartă un caracter nedeterminat.

Dacă se va ține cont, că derivatele parțiale a funcției $R(r_1, r_2, \dots, r_n)$ în dependență de modul de schimb a valorii r_j are forma expresiei (10), se va obține funcția de tip

(11) ce exprimă modul de schimb a fiabilității de funcționare al sistemului în timp.

$$\frac{\partial R}{\partial r_j} = R(r_1, r_2, \dots, r_n)_{r_j=1} - R(r_1, r_2, \dots, r_i)_{r_j=0} \quad (10)$$

$$R(r_1, r_2, \dots, r_n)_{r_j=1} - R(r_1, r_2, \dots, r_i)_{r_j=0} = \lambda dC_1 l dr_j \quad (11)$$

Valoarea optimă a fiabilității elementelor componente al sistemului studiat r_j , ce se va obține din sistemul de ecuații analogice (11) alcătuite pentru toate elementele componente, când indexul j variază respectiv în limitele ($j=1, 2, \dots, n$) și poate fi definită cu ajutorul factorului nedeterminat λ . Pentru a determina valoarea coeficientului nedeterminat λ e necesar de cunoscut valoarea fiabilității elementului r_i și valoarea cheltuielilor suplimentare actualizate minimal necesare, pentru sporirea nivelului de fiabilitate al elementului respectiv $\Delta K_k(\mathbf{r})$. Analiza ecuației (11) indică că dacă sunt date limitele nivelului de fiabilitate al elementelor componente, fiabilitatea sistemului devine optimă în cazul când pentru toate elementele componente al SDAEE raportul dintre valoarea sporirii maxim al fiabilității elementului (Δr_i) către valoarea cheltuielilor minimal necesare ΔK_k sunt maxime și devin identice și egale valorii factorului nedeterminat λ , pentru toate elementele componente.

Deoarece fiabilitatea elementelor componente (r_1, r_2, \dots, r_n) al SDAEE poartă un caracter probabilistic și se află în limitele $0 < r_i < 1$, atunci cheltuielile minimal necesare pentru a atinge valorile date e necesar îndeplinească ecuația (8).

În așa caz pentru rezolvarea ecuațiilor de tip (10) se poate de folosit diferite metode, dar la concret au fost folosite metodele descrise în [8], p.68.

Reeșind din presupunerea, că sistemul precăutat, constă din elemente cu o conexiune mixtă între ele, apare necesitatea de a determina numărul optim de elemente paralele rezervate între ele, care asigură nivelul optim de fiabilitate în dependență de cheltuielile minim necesare limitate de cerințele inițiale.

Evident, că fiabilitatea sistemului în starea inițială se va determina conform (13).

$$R_0 = \prod_{j=1}^n r_j \quad (13)$$

Deoarece fiabilitatea elementului j a subsistemului i poate fi determină conform (14), apoi fiabilitatea sistemului cu elemente rezervate poate fi apreciată din expresia (15).

$$r_i = 1 - q_j^{x_j} \quad (14)$$

$$q_i = (1 - r_i) \quad (15)$$

$$R_s = \prod_{j=1}^n r_j \quad (16)$$

Dacă costul deplin al sistemului studiat se determină conform (17), unde C_j este costul elementului, și se îndeplinește inegalitatea $C_0 < C$ - atunci se va obține expresia (18).

$$C_s = \sum C_i x_i \quad (17)$$

$$\delta T = \delta[\log r_i - \lambda(C - \sum C_j x_j)] \quad (18)$$

La determinarea valorii maxime al logaritmului funcției ce determină nivelul de fiabilitate al elementelor componente al SDAEE, distribuția optimă x_i se va determina conform (19).

$$\frac{dg_i^{x_i}}{dx_i} + \lambda C_i = 0; (i = 1, 2, \dots, n) \quad (19)$$

La înlocuirea echivalentă al $\log r_i$ prin g_i se va obține o egalitate analitică de tip (20).

$$\frac{g_j^{x_j} \cdot \log g_i}{1 - g_j^{x_j}} - \lambda C_i = 0 \quad (20)$$

Dacă se va ține cont de expresiile (19 și 20) valoarea $g_j^{x_j}$ se va determina din expresia (21).

$$g_i^{x_j} = \lambda C_i / (\lambda C_i + \log g_i) \quad (21)$$

La rezolvarea ecuației (19) în dependență de valorile g_i , și x_a se va obține expresia (22).

$$\alpha_i = C_i / \log g_i \quad (22)$$

Dacă se va înlocui echivalent valoarea $x \log g_i$ conform expresiei (22) poate fi obținută expres

$$C_i = \sum_{j=1}^n x_j C_j \quad (23)$$

Pentru a determina nivelul optim de fiabilitate R se poate de aplicat metoda aproximației consecutive a treptelor componente respective [9].

La primul pas se fixează valoarea aleatorie R_j și înlocuind-o cu valoarea echivalentă a costului raportat conform (11) poate fi determinată valoarea x_j . Dacă în expresia (23) se va introduce valoarea obținută pentru mărimea x_i se poate determina și valoarea cheltuielilor raportate minim necesare pentru obținerea nivelului optim de fiabilitate conform (24).

$$\Delta K_{ij} = \sum_{j=1}^n x_j^i K_j \quad (24)$$

Dacă $K_i(t) > K(t)$, apoi valoarea nivelului de fiabilitate R depășește valoarea optimă, deoarece valorii R_j îi corespunde o valoare determinată $K_i(t)$.

Pentru elementele componente al SDAEE practic în majoritatea cazurilor valoarea fiabilității elementelor componente $r_j \Rightarrow I$ este destul de înaltă, deoarece elementele componente dispun de un nivel de fiabilitate destul de înalt și se află în limitele: $0.85 < r_j < 0.95$.

Dacă se va ține cont de expresia (22) se obține expresia (25).

$$x_j \approx (\log \lambda \alpha_i / \log g_i) \quad (25)$$

Dacă se va reieși din presupunerea că expresia (25) este determinată numeric și valoric, se poate determina cheltuielile necesare pentru crearea unei sistem cu nivelul optim de fiabilitate conform (26).

$$C_{OPT} = \sum_{j=1}^n \alpha_j \log(-\alpha) + \sum_{j=1}^n \alpha_j / \log(-\alpha) \quad (26)$$

Din expresia (25) se poate obține valoarea factorului nedeterminat λ conform (27)

$$\lambda = \exp[C - \sum_{j=1}^n \alpha_j \log(-\alpha)] / [\sum_{j=1}^n \alpha_j] \quad (27)$$

Valoarea obținută al factorului nedeterminat λ , poate fi folosită ca prima etapă de aproximare pentru determinarea nivelului optim de fiabilitate la sistemelor de distribuție a energiei electrice.

E necesar de menționat, că valoarea x_i poate fi doar un număr întreg al elementelor conectate în paralel al subsistemelor studiate.

În procesul de calcul analitic conform ecuației (25), x_j poate căpăta o valoare arbitrară ce nu este valoare întragă, în așa caz apare necesitatea de a rotunji valoarea x_i obținută până la un număr întreg conform legilor respectiv cunoscute.

În mod general pentru așa caz se va îndeplini inegalități de tip (28).

$$C_{\Sigma} - \sum C_j \cdot x_j \leq C_i \quad (28)$$

Dacă ecuația (28) se va îndeplini, în așa caz pentru mulțimea x_i se va îndeplini ecuația (26), în așa caz x_i este rezolvarea optimă a problemei fiabilității SDEE în caz concret.

Dacă se va îndeplini inegalitatea (29) atunci determinarea nivelului optim de fiabilitate pentru x_i fixată nu se va obține pentru condițiile descrise la concret.

$$C_{\Sigma} - \sum C_j \cdot x_j \geq C_i \quad (29)$$

Deoarece SDAEE din punct de vedere al fiabilității se atâră către sistemele cu nivelul de fiabilitate ce se schimbă aleatoriu și discret în timp, atunci se poate de a folosi următorul procedeu, pentru atingerea scopului respectiv:

Pentru fiecare nod al SDAEE se calculează raportul sporii nivelului de fiabilitate care se obține respectiv, reeșind din cheltuielile minimal efectuate.

După aceia în nodul dat se va ține cont de elementele rezervate în coincidență cu descreșterea rapoartelor descrise.

Din procedeele date se determină elementele și nivelul optim de fiabilitate respectiv.

Fie x_i numărul elementelor conectate paralel în sistemul de distribuție a energiei electrice.

Dacă se va reiese din presupune că în nodul ial sistemului respectiv va fi conectat încă un element k , atunci, notând prin $\gamma_k(x_k)$ raportul respectiv obținut, se va obține expresia (30) care destul de liber poate fi transformată în expresia (31).

$$\gamma_k(x_k) = \frac{\sum_{j=1}^n (1 - q_j^{x_m}) - \sum_{j=1}^m \log(1 - q_j^{x_m}) + \log(1 - q_j^{x_m})}{c_j} \quad (30)$$

$$\gamma_k(x_k) = C_j^{-1} \log[1 + q_j^{x_m} * r_j] / (1 - q_j^{x_m}) \quad (31)$$

Deoarece probabilitatea de refuz îndeplinește inegalitatea de tip (32), iar x_i e un număr pozitiv întreg, rezultă expresia (33) în așa caz e evident că se va îndeplini și inegalitatea (34).

$$q = (1 - r) < 1 \quad (32)$$

$$0 < q_i^x (1 - q_i)^r * (1 - q_j^{x+1})^r < 1 \quad (33)$$

$$\gamma_1(x + 1) < \gamma_1(x) \quad (34)$$

Prin urmare rezultă că pentru fiecare valoare k , expresia $y_k(x_k)$ funcție de (x_i) monoton descrescătoare . Din cele prezentate reiese că algoritmul elaborat pentru optimizarea nivelului de fiabilitate a nodurilor SDAEE dispune de câteva etape și poate fi descris în modul următor [9].

- se determină valoarea $y_k(x_k)$ pentru valorile $(x=1,2, \dots, n_0)$;
- se determină valoarea $y_k(x_k)$ și se aliniază în dependență de gradul de descrescere;
- în conformitate cu indicii k consecutivitățile $y_k(x_k)$ în noduri se asumă valorile elementelor rezervate și se calculează valoarea sumară a nodului sau a sistemului determinat integral;
- ciclul dat se repeta până nu va fi atinsa valoarea determinată al costului nodului studiat, sau al sistemului respectiv.

CONCLUZII

Determinarea nivelului optim de fiabilitate a sistemelor de distribuție și alimentare cu energie electrică a consumatorilor este o problemă multifuncțională care are un caracter aleatoriu în timp.

În lucrarea dată este propus și argumentat modelul matematic necesar pentru determinarea nivelului optim de fiabilitate al SDAEE.

Este elaborat principiul de alcătuire al algoritmilor de calcul analitic al nivelului de fiabilitate, ținând cont de categoria de alimentare al consumatorilor și dinamica de dezvoltare al SDAEE și modul de schimb în timp al parametrilor ce poartă un caracter aleatoriu.

BIBLIOGRAFIE

1. Ерхан Ф.М. Токи короткого замыкания и надежность энергосистем, Кишинев, Штиинца 1985г.,256с.
2. Ерхан Ф.М. Взаимосвязь между токами к.з. и надежностью электрооборудования, Изветия ВУЗов Энергетика, Минск.1991г, №11,13-17с;
3. Хамфис А. Переходное восстанавливающейся напряжение в режиме не удаленного к.з. в книге Отключение токов в сетях высокого напряжения /под. Редакцией К. Ригаллера-М., Энергоатомиздат, 1981г.,327с.
4. Ерхан Ф.М. Оценка влияния уровней токов к.з. на статическую устойчивость узлов электроэнергетических систем Известия АН МССР серия физико - технических и математических наук 1980, №2, с. 77-87.
5. Зорин В.В., Тисленко В.В., Клепель Ф. Адлер Г. Надежность систем электроснабжения. Киев, Вища школа, 1984г. с. 192.
6. Ерхан Ф.М. Исследование влияния уровней токов к.з. на надежность выключателей; Известия АН СССР серия Энергетика и Транспорт 1991г., №6,с.89 - 94.
7. Ендери Д. Надежность электроэнергетических систем; М.,Энергоатомиздат, 1983г.,с.421.
8. Ерхан Ф.М., Заика Е.Я. Выбор критерия оптимизации схем электроснабжения сельхозхозяйственных потребителей Известия АН МССР серия физико - технических и математических наук 1987, №2, с.62- 67.
9. Erhan T. Autoreferatul tezei de doctor habilitat în științe tehnice.,Chișinău, .2002.42p.