

ელექტრონერგეტიკულ სისტემაში პრევენციული რემონტების ოპტიმალური დაგეგმვა

დავით ჯაფარიძე, სტუ-ს სრული პროფესორი
თენგიზ მაღრაძე, სტუ-ს დოქტორანტი

XX

ელექტრონერგეტიკული სისტემის მუშაობის საიმედოობის უზრუნველყოფაში განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება რემონტების ოპტიმალურად დაგეგმვას. რემონტების დაგეგმვაში გათვალისწინებული უნდა იყოს ოპტიმალურობის საერთო პრინციპები, რაც ნიშნავს მოწყობილობების ფაქტიური ტექნიკურ-ეკონომიკური მდგომარეობის, დადგენილი ნორმატივების და არსებული რესურსების შესაბამისად პრევენციული რემონტების ჩატარებას ელექტროსადგურების და სისტემაში შემავალი სხვა მოწყობილობების გეგმიურ-გამაფრთხილებელი რემონტების არსებული სისტემის ჩარჩოებში. რემონტების ჩატარებაზე დაკვეთის მომზადებას წინ უნდა უსწრებდეს სარემონტო სამუშაოების მოცულობის და ხანგრძლივობის შეფასება. სარემონტო რეზერვის სიმძლავრის მდგენელი უნდა დაიგეგმოს, ენერგოსისტემის მუშაობის საიმედოობისადმი წაყენებული მოთხოვნების მიხედვით, აგრეგატების და მოწყობილობების რემონტის ხანგრძლივობა უნდა შეიზღუდოს საექსპლუატაციო და ტექნოლოგიური ხასიათიდან გამომდინარე.

მსოფლიოს სხვადასხვა ენერგოკომპანიების მუშაობის და აღნიშნული მიმართულებით ჩატარებული კვლევების [3,7,8,9,10,11,12] ანალიზით ირკვევა, რომ ელექტრონერგეტიკულ სისტემებში რემონტების ოპტიმალური დაგეგმვის უზრუნველსაყოფად მრავალი პრობლემა გადასაჭრელი. როგორც წესი, ენერგეტიკულ სისტემებში არ არის შემუშავებული რემონტების დაგეგმვის სტრატეგია. სისტემური ხასიათი არ აქვს მიცემული ავარიული გამორთვების ანალიზს, რემონტების დაგეგმვა ხორციელდება ძირითადად ტექნიკური მიზნების მიხედვით, სათანადო ეკონომიკური ფაქტორების გათვალისწინების გარეშე. რემონტების პრევენციული დაგეგმვა წარმოებს ოპტიმიზაციის ტრადიციული პრინციპებით, რემონტის ოპტიმალურობაზე მოქმედი ფაქტორების შეფასების გარეშე. რაც მთავარია პრობლემის გადაწყვეტას არ აქვს მიცემული კომპლექსური ხასიათი. აღნიშნულიდან გამომდინარე ელექტრონერგეტიკულ სისტემაში პრევენციული რემონტების ოპტიმალური დაგეგმვა უნდა განხორციელდეს ღრმა მეცნიერული კვლე-

ვის შედეგების მიხედვით, რისთვისაც პირველ რიგში ელექტრონერგეტიკულ სისტემაში შემავალი ელექტრული სადგურების, ელექტროგადამცემის ხაზების ელექტრომოწყობილობების და დანადგარების ტექნიკური მდგომარეობა უნდა შეფასდეს კომპლექსურად. უნდა ეფუძნებოდეს მთლიანად სისტემის საიმედოობის მახასიათებლებს და ელექტრონერგეტიკულ სისტემაში პრევენციული რემონტების ჩატარების ოპტიმალური ხანგრძლივობის განსაზღვრის მეთოდიკას. რაც მთავარია ელექტრონერგეტიკული სისტემის საიმედო მუშაობის უზრუნველყოფაში გამოიკვეთოს რემონტების პრევენციული დაგეგმვის როლი და რემონტების ოპტიმიზაციის ამოცანა უნდა გადაიჭრას მასზე მოქმედი ყველა შესაძლო ფაქტორის გათვალისწინებით.

დასმული პრობლემების გადაწყვეტის მიზნით ჩატარებული კვლევის შედეგად ელექტრონერგეტიკულ სისტემაში შემავალ ენერგობიექტებზე არსებული მოწყობილობა-დანადგარების ტექნიკური მდგომარეობის კომპლექსურად შეფასებაში გამოიკვეთა არამკაფიო ლოგიკის მეთოდის დიდი უპირატესობა [1,5,6]. ეს მეთოდი საშუალებას იძლევა ელექტროდანადგარების ტექნიკურ-ეკონომიკური მდგომარეობის შეფასებაში გათვალისწინებულ იქნას ფაქტორების დიდი რაოდენობა. ამოცანა მდგომარეობს იმაში, რომ ელექტრონერგეტიკული სისტემის ენერგობიექტებზე არსებული ელექტროდანადგარების ტექნიკურ-ეკონომიკური შეფასებისათვის შეირჩეს ისეთი X_1, X_2, X_n ფაქტორები, რომლებიც უზრუნველყოფენ i ელექტროდანადგარის Y_d რეიტინგის სრულყოფილად დადგენას. არსებული გამოცდილების [3,7,8,9,10,11,12] და რეალური მდგომარეობის ანალიზის საფუძველზე შერჩეული იქნა 12 ფაქტორი:

X_1 - ელექტროდანადგარის მიმდინარე ტექნიკური მდგომარეობა (ვიზუალური), ქულა;

X_2 - პერსონალის უსაფრთხოებაზე ზემოქმედება, ქულა;

X_3 - ელექტრონერგეტიკული სისტემის საიმედოობაზე ზემოქმედება, ქულა;

X_4 - გარემოზე ზემოქმედება, ქულა;

X_5 - ელექტროდანადგარის ღირებულება, ლარი;
 X_6 - ელექტროდანადგარის ავარიული გამორთველის სიხშირე, პროცენტი/100;
 X_7 - ელექტროდანადგარის რემონტის დრო, საათი;
 X_8 - ელექტროდანადგარის რემონტისთვის საჭირო სარემონტო პერსონალის რაოდენობა, კაცი;
 X_9 - ელექტროდანადგარის ექსპლუატაციაში ყოფნის ხანგრძლივობა, წელი;
 X_{10} - ელექტროდანადგარის ტექნიკური მდგომარეობის გაზომვის შედეგები, ქულა;

X_{11} - ხანგრძლივობა (ბოლოს ჩატარებული რემონტიდან), წელი;
 X_{12} - ელექტროდანადგარის საშუალო დატვირთვა, პროცენტი;
 Y_d - ელექტროდანადგარის მიმდინარე რეიტინგი, ქულა.
 Y_d - დაბალი ქულა (რეიტინგი) აღნიშნავს, ელექტროდანადგარის ცუდ მიმდინარე ტექნიკურ-ეკონომიკურ მდგომარეობას.
 $X_1, \dots, X_{12}$ ფაქტორების შეფასებათა სისტემა მოცემულია ცხრილ №1-ში;

$X_1, \dots, X_{12}$ ფაქტორების და Y_d რეიტინგის შეფასებათა სისტემა

ცხრილი №1

№	ფაქტორი	შეფასებათა სისტემა (მინიმალური და მაქსიმალური ზღვრები)		
1	X_1	1 (ცუდი)	2 (საშუალო)	3 (კარგი)
2	X_2	1 (დიდი)	2 (საშუალო)	3 (მცირე)
3	X_3	1 (დიდი)	2 (საშუალო)	3 (მცირე)
4	X_4	1 (დიდი)	2 (საშუალო)	3 (მცირე)
5	X_5	შესაფასებელი $I_1, I_2, \dots, I_n$ ელ.დანადგარების $Z_1, Z_2, \dots, Z_n$ ღირებულებებს შორის მინიმალური და მაქსიმალური მნიშვნელობა		
6	X_6	შესაფასებელი $I_1, I_2, \dots, I_n$ ელ.დანადგარების $G_1, G_2, \dots, G_n$ ავარიული გამორთველის სიხშირეებს შორის მინიმალური და მაქსიმალური მნიშვნელობა		
7	X_7	შესაფასებელი $I_1, I_2, \dots, I_n$ ელ.დანადგარების $T_1, T_2, \dots, T_n$ სარემონტო დროებს შორის მინიმალური და მაქსიმალური მნიშვნელობა		
8	X_8	შესაფასებელი $I_1, I_2, \dots, I_n$ ელ.დანადგარების რემონტისთვის საჭირო $P_1, P_2, \dots, P_n$ სარემონტო პერსონალის რაოდენობებს შორის მინიმალური და მაქსიმალური მნიშვნელობა		
9	X_9	შესაფასებელი $I_1, I_2, \dots, I_n$ ელ.დანადგარების $E_1, E_2, \dots, E_n$ ექსპლუატაციაში ყოფნის ხანგრძლივობებს შორის მინიმალური და მაქსიმალური მნიშვნელობა		
10	X_{10}	1 (ცუდი)	2 (საშუალო)	3 (კარგი)
11	X_{11}	შესაფასებელი $I_1, I_2, \dots, I_n$ ელ.დანადგარების ბოლოს ჩატარებული რემონტიდან $K_1, K_2, \dots, K_n$ ხანგრძლივობებს შორის მინიმალური და მაქსიმალური მნიშვნელობა		
12	X_{12}	0 % (მცირე)	50 % (საშუალო)	100 % (დიდი)
13	Y_d	1 (ცუდი)	2 (საშუალო)	3 (კარგი)

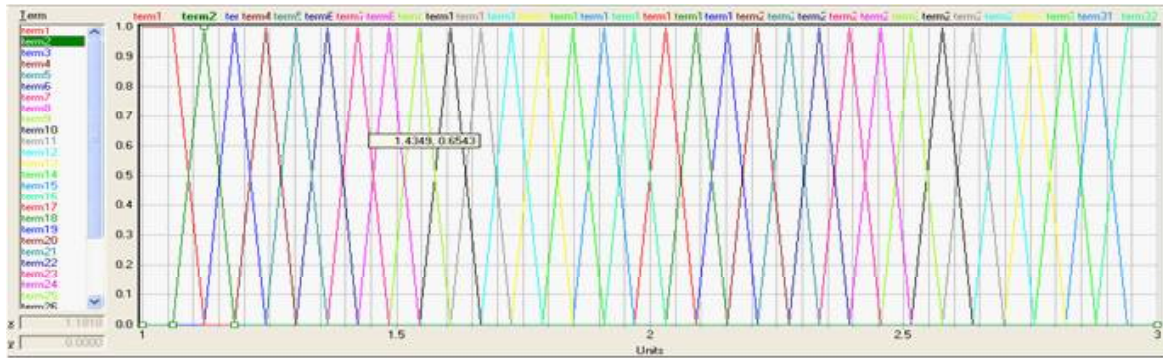
ექსპერტული შეფასების საფუძველზე შედგენილია $X_1, \dots, X_{12}$ მაზასიათებლების გავლენის მატრიცა Y_d რეიტინგზე. შედეგები შეტანილია ცხრილ №2-ში.

$X_1, \dots, X_{12}$ მაზასიათებლების გავლენის მატრიცა Y_d რეიტინგზე

ცხრილი №2

ფაქტორი	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}
	ზრდა	ზრდა	ზრდა	ზრდა	ზრდა	ზრდა	ზრდა	ზრდა	ზრდა	ზრდა	ზრდა	ზრდა
Y_d	ზრდა	ზრდა	ზრდა	ზრდა	კლება	კლება	კლება	კლება	კლება	ზრდა	კლება	კლება
	დადებითი კავშირი				უარყოფითი კავშირი					დადებითი კავშირი	უარყოფითი კავშირი	

Y_d რეიტინგის და $X_1, X_2, \dots, X_{12}$ ფაქტორების არამკაფიო სიმრავლეზე დასაყვანად გამოყენებულია სამკუთხედის წვერის ფუნქცია და ცხრილ №1-ში ასახული მაჩვენებლები დაყოფილია 32 ნაწილად. ერთ-ერთი მაჩვენებელს აქვს ნახ.1 მოცემული ზოგადი სახე:



ნახ №1. სამკუთხედის წერის ზოგადი ფუნქცია

$X_1, X_2, \dots, X_{12}$ ფაქტორების Y_d რეიტინგის შეფასებაზე ფუნქციურ დამოკიდებულებას აქვს შემდეგი სახე:

$$Y_1, Y_2, \dots, Y_i = \psi_1(X_1, X_2), (1) \quad Y_s = \psi_2(Y_1, Y_2, \dots, Y_i) (2)$$

სადაც, ψ_1 და ψ_2 პროცედურაა, რომელიც შეი-

ცავს წესების ბაზას და აკავშირებს $X_1, X_2, \dots, X_{12}$ და Y_d მახასიათებლებს ერთმანეთთან.

$X_1, X_2, \dots, X_{12}$ ფაქტორების Y_d რეიტინგზე გავლენის მატრიცის n რაოდენობის ჩამოყალიბებული წესების მიხედვით ღვინდება ყოველ $X_1, X_2, \dots, X_{12}$ მახასიათებლის ცვალებადობის გავლენა Y_d -ს მნიშვნელობაზე. ეს პროცესი აღწერილია ნახ. №2-ზე:

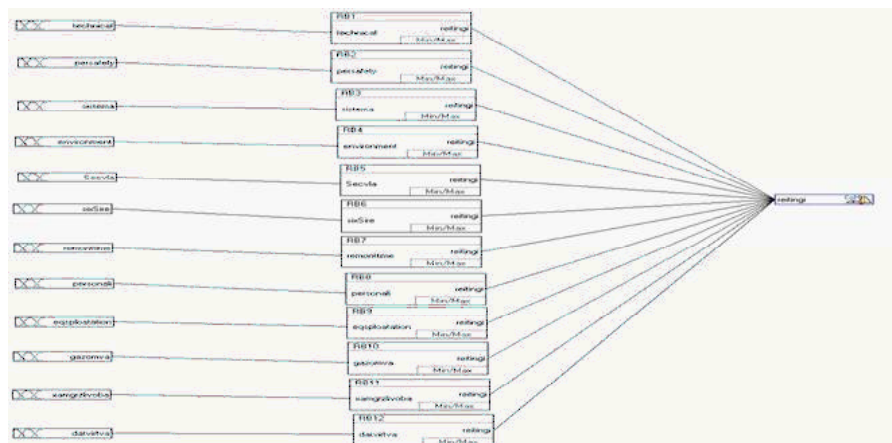
#	IF dat1	THEN DoS	risk1fin
1	term1	1.00	term32
2	term2	1.00	term31
3	term3	1.00	term30
4	term4	1.00	term29
5	term5	1.00	term28
6	term6	1.00	term27
7	term7	1.00	term26
8	term8	1.00	term25

ნახ №2. ჩამოყალიბებული წესების ზოგადი სტრუქტურა

სადაც, $term_i - X_1, X_2, \dots, X_{12}$ და Y_d მახასიათებლები i ინტერვალაა; $DoS - i$ ინტერვალის შესაბამისი წესის წონა;

წარმოდგენილი შემსვლელი ინფორმაციის დამუშავებისა (ფაზიფიკაცია) და საბოლოო შედეგის

(დეფაზიფიკაცია) მისაღებად სხვადასხვა დატვირთვის კვანძის გათვალისწინებით შემუშავდა არამკაფიო მოდელირების პროცესის მიმდინარეობის ინტერაქტიული ზოგადი ბლოკ-სქემა (ნახ. № 3).



ნახ № 3. ელდანადგარის კომპლექსური ტექნიკურ-ეკონომიკური მდგომარეობის შეფასების ზოგადი მოდელი

სადაც, $technical, \dots, datvirtva$ (პირველი ბლოკი) – i ფაქტორია; $RB_i - i$ ფაქტორის Y_d რეიტინგზე გავლენის წესების მაჩვენებელი ბლოკია; Y_d – ელექტროდანადგარის მიმდინარე რეიტინგია.

საბოლოო შედეგის მიღება (დეფაზიფიკაცია) განხორციელდა მაქსიმუმის ცენტრის მეთოდის გამოყენებით (მინიმალის პრინციპი) [1,5,6], რომელსაც აქვს შემდეგი ზოგადი სახე:

$$Y_d = \frac{(X_1 \mu_1 + X_2 \mu_2 + \dots + X_n \mu_n)}{(\mu_1 + \mu_2 + \dots + \mu_n)} \quad (3)$$

სადაც, $X_i - i$ ფაქტორია; $\mu_i - i$ ფაქტორის მნიშვნელობის დამაჯერებლობის ხარისხია (ალბათობა)

ზემოაღნიშნული მეთოდოლოგიით ენერგობიექტზე არსებული ყველა ელექტროდანადგარისათვის განხორციელდა ტექნიკურ-ეკონომიკური მდგომარეობის შეფასება და მიღებულია $Y_{d1}, \dots, Y_{dn}$ შეფასებათა სიმრავლე.

ენერგობიექტზე არსებული ელექტროდანადგარების პრევენციული რემონტებისათვის გამოყოფილი B_d შეზღუდული ბიუჯეტის პირობებში $Y_{d1}, \dots, Y_{dn}$ შეფასებათა სიმრავლეების საფუძველზე ოპტიმალურად შეირჩევა ელექტროდანადგარების ის ერთობლიობა, რომელთაც გააჩნიათ დაბალი რეიტინგი (ცუდი მიმდინარე ტექნიკურ-ეკონომიკური მდგომარეობა).

ზემოაღნიშნული პრობლემა გამოისახება შემდეგი კრიტერიუმების სახით:

1. პრევენციულ რემონტში გასაყვანი ელ.მოწყო-

ბილობების რაოდენობის მაქსიმუმი;

2. პრევენციულ რემონტში გასაყვანი დაბალი რეიტინგის მქონე ელ.მოწყობილობების მაქსიმუმი;

3. პრევენციული რემონტისთვის გამოყოფილი თანხის გამოყენების მაქსიმუმი.

მატემატიკურად ოპტიმიზაციის [2,4] ფუნქცია, შეზღუდვებით გამოისახება შემდეგნაირად:

$$L - \max \quad (4)$$

შეზღუდვები:

$$D+R - Y_d = L \quad (5)$$

$$D_1 + D_2 + \dots + D_n = D \quad (6)$$

$$R_1 * D_1 + R_2 * D_2 + R_3 * D_3 + \dots + R_n * D_n = R \quad (7)$$

$$Y_{d1} * D_1 + Y_{d2} * D_2 + Y_{d3} * D_3 + \dots + Y_{dn} * D_n = Y_d \quad (8)$$

$$R \leq B_d \quad (9)$$

$$R = B_d D_1, D_2, D_3, D_4, \dots, D_n; 0, 1 \quad (10)$$

სადაც, Y_d – ელ.დანადგარების ჯამური რეიტინგია; $R (B_d)$ – პრევენციული რემონტებისათვის გამოყოფილი ჯამური ბიუჯეტის თანხა; $D_i - 0$ ან 1 (0 ელ.დანადგარი არ ექვემდებარება პრევენციულ რემონტს, 1 ელ.დანადგარი ექვემდებარება პრევენციულ რემონტს); D – პრევენციულ რემონტში გასული ელ.დანადგარების ჯამური რაოდენობა; $Y_{di} - i$ ელ.დანადგარის მიმდინარე რეიტინგია.

ჩატარებული კვლევების შედეგებიდან გამომდინარე შემუშავებულია ელექტროენერგეტიკული სისტემის ენერგობიექტზე არსებული ელ.დანადგარების/მოწყობილობების მიმდინარე ტექნიკურ-ეკონომიკური მდგომარეობის შეფასების ალგორითმი, რომელიც ასახულია ცხრილ 3-ში:

ელექტროენერგეტიკული სისტემის ენერგობიექტზე არსებული ელ.დანადგარების/მოწყობილობების მიმდინარე ტექნიკურ-ეკონომიკური მდგომარეობის შეფასების ალგორითმი

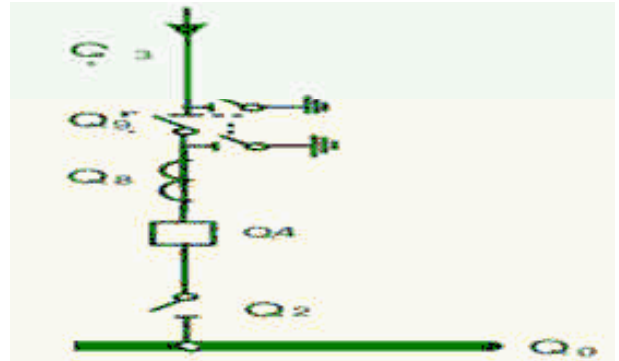
ცხრილი №3

დასაწყისი
შესაფასებელი $I_1, I_2, \dots, I_n$ ელ.დანადგარების სიის ფორმირება
$I_1, I_2, \dots, I_n$ ელ.დანადგარების შეფასებათა სისტემის ფორმირება (მინიმალური და მაქსიმალური ზღვრები)
ექსპერტული შეფასების საფუძველზე $X_1, \dots, X_{12}$ მახასიათებლების Y_d რეიტინგზე გავლენის მატრიცის ფორმირება
Y_d რეიტინგის და $X_1, X_2, \dots, X_{12}$ ფაქტორების არამკაფიო სიმრავლეზე დაყვანა
$X_1, X_2, \dots, X_{12}$ ფაქტორების Y_d რეიტინგზე გავლენის მატრიცის n რაოდენობის ჩამოყალიბებული წესების ფორმირება
ელ.დანადგარის კომპლექსური ტექნიკური მდგომარეობის შეფასების მოდელის ფორმირება
შესაფასებელი $I_1, I_2, \dots, I_n$ ელექტროდანადგარისათვის ტექნიკური მდგომარეობის შეფასება და $Y_{d1}, \dots, Y_{dn}$ შეფასებათა სიმრავლის ფორმირება
პრევენციული რემონტებისათვის გამოყოფილი B_d შეზღუდული ბიუჯეტის პირობებში $Y_{d1}, \dots, Y_{dn}$ შეფასებათა სიმრავლეების საფუძველზე ოპტიმიზაციის მიზნის ფუნქციის (კრიტერიუმების) და შესაბამისი შეზღუდვების ფორმირება
შემუშავებული (4) ოპტიმიზაციის ფუნქციის საფუძველზე პრევენციულ რემონტში გასაყვანი ელ.დანადგარების სიის ფორმირება
დასასრული

ზემოაღნიშნული მეთოდოლოგიის პრაქტიკული აპრობაციის მიზნით განხილულია ერთ-ერთი ქვესადგურის მინაერთის უჯრედი, რომლის ცალხაზოვანი სქემა მოცემულია ნახ. №4-ზე.

ექსპერტული შეფასების საფუძველზე ნახ №4-ზე მოცემული ცალხაზოვანი სქემის ელემენტების მონაცემები შეტანილია ცხრილ №4-ში.

ცხრილ №3-ში მოცემული ალგორითმის გამოყენებით, ცხრილ №4-ის მონაცემების საფუძველზე მიღებულ შედეგებს აქვთ ცხრილ №5-ში მოცემული სახე:



ნახ №4. ქვესადგურის ერთ-ერთი მინაერთის უჯრედის ცალხაზოვანი სქემა

ნახ №4-ზე მოცემული ცალხაზოვანი სქემის ელემენტების მონაცემებია

ცხრილი №4.

ელემენტი	დასახელება	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	ელ.დანადგარის პრევენციული ემონტის საჩუქარი	პრევენციული რემონტებისთვის გამოყოფილი ბიუჯეტის მაქსიმალური თანხა, ლარი
Q ₀	სალტე	3	3	1	3	2000	0.05	10	3	20	-	19	90	1000	10000
Q ₂	გამთიშველი	2	2	1	3	3000	0.04	15	4	10	-	10	90	2000	
Q ₃	შემომავალი სალტე	3	3	1	3	2000	0.025	10	3	20	-	19	90	1000	
Q ₄	ამომრთველი	1	1	1	2	5000	0.03	25	5	10	-	12	90	4000	
Q ₈	დენის ტრ-რი	1	1	1	2	2500	0.02	20	3	15	3	13	90	1500	
Q ₉	გამთიშველი	2	2	1	3	3000	0.01	15	4	12	-	14	90	3000	

ელ.დანადგარების ტექნიკურ-ეკონომიკური
მაჩვენებლები (რეიტინგი)

ცხრილი №5.

ელემენტი	დასახელება	რეიტინგი
Q ₀	სალტე	2.0
Q ₂	გამთიშველი	1.9667
Q ₃	შემომავალი სალტე	1.9791
Q ₄	ამომრთველი	2.1389
Q ₈	დენის ტრ-რი	2.1666
Q ₉	გამთიშველი	2.1963

პრევენციული რემონტებისათვის გამოყოფილი ბიუჯეტის თანხის მაქსიმალური 10000 ლარის პირობებში ოპტიმიზაციის ფუნქცია მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$L - \max \quad (11)$$

შეზღუდვები:

$$D + R - Y_d - L = 0 \quad (12)$$

$$1000 * D_1 + 2000 * D_2 + 1000 * D_3 + 4000 * D_4 + 1500 * D_5 + 3000 * D_6 = R \quad (13)$$

$$2 * D_1 + 1.9667 * D_2 + 1.9791 * D_3 + 2.1389 * D_4 + 2.1666 * D_5 + 2.1963 * D_6 = Y_d \quad (14)$$

$$R \leq 10000 \quad (15)$$

$$D_1, D_2, D_3, D_4, \dots, D_n: 0, 1 \quad (16)$$

ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში t დროის მონაკვეთში მაგენერირებული წყაროების რემონტების ოპტიმალური დაგეგმვის გადასაწყვეტად შემუშავებული მეთოდოლოგია ატარებს კომპლექსურ ხასიათს, მასში გათვალისწინებულია ოპტიმიზაციის შემდეგი კრიტერიუმები:

პრევენციული რემონტისთვის შერჩეული
ელდანდგარები

ცხრილი №6.

ელემენტი	დასახელება	პრევენციული რემონტის ჩატარება
Q ₀	საღებე	არა
Q ₂	გამთიშველი	კი
Q ₃	შემომაგალი საღებე	კი
Q ₄	ამომრთველი	კი
Q ₈	დენის ტრ-რი	არა
Q ₉	გამთიშველი	კი

1. ოპერატიული რეზერვის მაქსიმუმი (მგვტ-ში)
 $R \longrightarrow \max$
 2. ჰიდროელექტროსადგურების მიერ წყლის
გამოყენების მაქსიმუმი (კუბურ მეტრში)
 $H \longrightarrow \max$
 3. რემონტში გასაყვანი გენერატორების ავარიული
გამორთვების ალბათობის (კოეფიციენტის)
მაქსიმუმი $O \longrightarrow \max$
- ზემოაღნიშნული 3 კრიტერიუმის მიხედვით შემუშავდა
გენერატორების პრევენციული რემონტების ოპტი-
მალური დაგეგმვის წლიური (კვირების მიხედვით)
გრაფიკის წრფივი ოპტიმიზაციის ფუნქცია და
ალგორითმი, რომელსაც აქვს შემდეგი სახე:

$$X \longrightarrow \max \quad (17)$$

შეზღუდვები

$$X=R+H+O \quad (18)$$

$$A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_{521} = 1$$

$$A_2 + A_2 + A_3 + \dots + A_{522} = 1$$

$$A_{1n} + A_{2n} + A_{3n} + \dots + A_{3n} = 1$$

$$G_{1dadg} * A_1 + G_{2dadg} * A_2 + \dots + G_{ndadg} * A_{1n} = P_{1remont}$$

$$G_{1dadg} * A_2 + G_{2dadg} * A_2 + \dots + G_{ndadg} * A_{2n} = P_{2remont}$$

$$G_{1dadg} * A_{3n} + G_{2dadg} * A_{3n} + \dots + G_{ndadg} * A_{3n} = P_{3remont}$$

$$R_1 = G_d - D_1 - P_{1remont}$$

$$R_2 = G_d - D_2 - P_{2remont}$$

$$R_3 = G_d - D_3 - P_{3remont}$$

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_3$$

$$H_1 = h_1 * A_1 + h_2 * A_2 + \dots + h_{1n} * A_{1n}$$

$$H_2 = h_2 * A_2 + h_2 * A_2 + \dots + h_{2n} * A_{2n}$$

$$H_3 = h_{521} * A_{521} + h_{522} * A_{522} + \dots + h_{3n} * A_{3n}$$

$$H = H_1 + H_2 + \dots + H_3$$

$$O_1 = o_1 * A_1 + o_2 * A_2 + \dots + o_{1n} * A_{1n}$$

$$O_2 = o_2 * A_2 + o_2 * A_2 + \dots + o_{2n} * A_{2n}$$

$$O_3 = o_{521} * A_{521} + o_{522} * A_{522} + \dots + o_{3n} * A_{3n}$$

$$O = O_1 + O_2 + \dots + O_3$$

$$A_1, A_2, \dots, A_{1n} = 0 \text{ or } 1$$

$$A_2, A_2, \dots, A_{2n} = 0 \text{ or } 1$$

$$R_1, R_2, \dots, R_3 \geq M_1, M_2, \dots, M_3$$

19

სადაც, $A_j - i$ კვირაა, j გენერატორის რემონტში
გაყვანის მდგომარეობა.

0 - აგრეგატი არ არის რემონტში, 1 აგრეგატი
რემონტში;

$R_i - i$ კვირის აქტიური სიმძლავრის რეზერვის
სიდიდე, მგვტ-ში;

M_i - ელექტროენერგეტიკული სისტემისთვის i
კვირის აქტიური სიმძლავრის რეზერვის საჭირო
რაოდენობა;

$G_{idagm} - i$ გენერატორის დადგმული სიმძლავრეა,
მგვტ-ში;

$D_i - i$ კვირის ელექტროენერგეტიკული სისტემის
პიკური დატვირთვაა, მგვტ-ში;

$P_{iremont} - i$ კვირის რემონტში გასული
გენერატორების ჯამური სიმძლავრეა, მგვტ-ში;

$h_{ij} - i$ კვირას j გენერატორის წყლის ჩამონადენია,
კუბურ მეტრში;

$H_i - i$ კვირას რემონტში გასული ჰესების
მკვებავი მდინარეების ჯამური წყლის ჩამონადენია,
კუბურ მეტრში;

$o_{ij} - i$ კვირას j გენერატორის გამორთვის
ალბათობა;

$O_i - i$ კვირას რემონტში გაყვანილი
გენერატორების ავარიული გამორთვის ჯამური
ალბათობებია (კოეფიციენტებია);

$G_d -$ ელექტროენერგეტიკული სისტემის
დადგმული სიმძლავრეა, მგვტ-ში;

ჩატარებული კვლევების შედეგებიდან გამო-
დინარე შემუშავებულია ელექტროენერგეტიკული
სისტემაში პრევენციულ რემონტში გასაყვანი გენ-
ერატორების ოპტიმალური წლიური (კვირების
მიხედვით) გრაფიკის ფორმირების ალგორითმი,
რომელიც ასახულია ცხრილ 7-ში:

ელექტროენერგეტიკული სისტემაში პრევენციულ რემონტში გასაყვანი გენერატორების ოპტიმალური წლიური (კვირების მიხედვით) გრაფიკის ფორმირების ალგორითმი

ცხრილი №7.

დასაწყისი
რემონტში გასაყვანი $J_1, J_2, \dots, J_n$ გენერატორების სიის ფორმირება
$J_1, J_2, \dots, J_n$ გენერატორების და ელექტროენერგეტიკული სისტემის მონაცემების: $G_{id, adm}, o_{ij}, G_d, h_{ij}, D_i$ ფორმირება
ოპტიმიზაციის მიზნის ფუნქციის (კრიტერიუმების) და შესაბამისი შეზღუდვების ფორმირება
ოპტიმიზაციის ფუნქციის საფუძველზე $J_1, J_2, \dots, J_n$ გენერატორების პრევენციული რემონტების ოპტიმალური დაგეგმვის წლიური (კვირების მიხედვით) გრაფიკის ფორმირება
შემოაღნიშნული გრაფიკის საფუძველზე ელექტროენერგეტიკული სისტემის აქტიური სიმძლავრის ყოველკვირეული ოპერატიული რეზერვის ფორმირება
დასასრული

ცხრილ №7-ში წარმოდგენილი ალგორითმის და შემუშავებული მეთოდოლოგიის პრაქტიკაში გამოყენების მიზნით, პრევენციული რემონტების ოპტიმალური დაგეგმვა განხორციელებულია ერთ-ერთი ელექტროენერგეტიკული სისტემის მაგალითზე, რომელიც აერთიანებს 32 მაგენერირებელ წყაროს (გენერატორს). განხილული ელექტროენერგეტი-

კული სისტემის პირობებია: პრევენციულ რემონტში უნდა გავიდეს ყველა გენერატორი თითოეული 1 კვირის ხანგრძლივობით. აქტიური სიმძლავრის ყოველკვირეული რეზერვის უნდა იყოს ნოლზე მეტი. ანგარიშისათვის საწყისი მონაცემები მოცემულია ცხრილ №8, №9 და გრაფიკ №1-ზე.

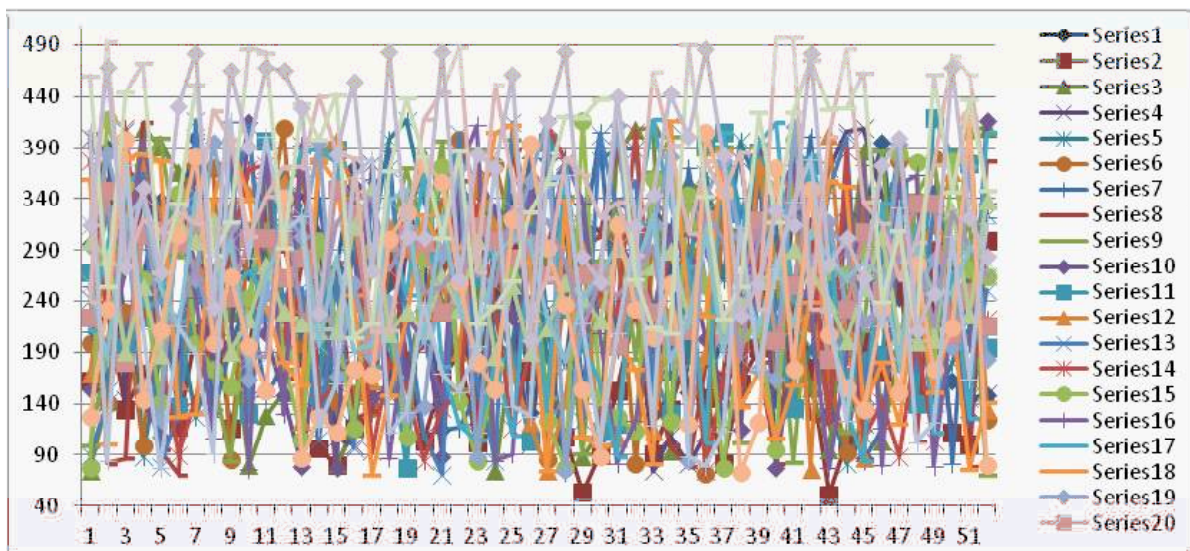
ელექტროენერგეტიკული სისტემის გენერატორების ტექნიკური მონაცემები

ცხრილი №8.

გენერატორი	1 (ჰიდრო)	2 (ჰიდრო)	3 (ჰიდრო)	4 (ჰიდრო)	5 (ჰიდრო)	6 (ჰიდრო)	7 (ჰიდრო)	8 (ჰიდრო)
დადგმული სიმძლავრე, მგვტ	12	12	12	12	12	20	20	20
ავარიული გამორთვის ალბათობა	0,01	0,02	0,03	0,01	0,02	0,04	0,05	0,03
გენერატორი	9 (ჰიდრო)	10 (ჰიდრო)	11 (ჰიდრო)	12 (ჰიდრო)	13 (ჰიდრო)	14 (ჰიდრო)	15 (ჰიდრო)	16 (ჰიდრო)
დადგმული სიმძლავრე, მგვტ	20	76	76	76	76	100	100	100
ავარიული გამორთვის ალბათობა	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,03	0,02
გენერატორი	17 (ჰიდრო)	18 (ჰიდრო)	19 (ჰიდრო)	20 (ჰიდრო)	21 (ჰიდრო)	22 (ჰიდრო)	23 (ჰიდრო)	24 (ჰიდრო)
დადგმული სიმძლავრე, მგვტ	100	100	100	155	155	155	155	197
ავარიული გამორთვის ალბათობა	0,03	0,04	0,01	0,01	0,02	0,03	0,01	0,01
გენერატორი	25 (ჰიდრო)	26 (ჰიდრო)	27 (ჰიდრო)	28 (ჰიდრო)	29 (ჰიდრო)	30 (ჰიდრო)	31 (თბო)	32 (თბო)
დადგმული სიმძლავრე, მგვტ	197	197	197	197	197	350	400	400
ავარიული გამორთვის ალბათობა	0,01	0,02	0,01	0,02	0,03	0,03	0,05	0,05

ელექტროენერგეტიკული სისტემის პიკური დატვირთვის მაჩვენებლები კვირების მიხედვით, მგვტ ცხრილი №9.

კვირა	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
დატვირთვა	2456,7	2565	2502,3	2376,9	2508	2396,85	2371,2	2297,1	2109	2100,45
კვირა	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
დატვირთვა	2037,75	2071,95	2006,4	2137,5	2054,85	2280	2148,9	2385,45	2479,5	2508
კვირა	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
დატვირთვა	2439,6	2311,35	2565	2527,95	2553,6	2453,85	2151,75	2325,6	2282,85	2508
კვირა	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
დატვირთვა	2057,7	2211,6	2280	2077,65	2069,1	2009,25	2223	1980,75	2063,4	2063,4
კვირა	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
დატვირთვა	2117,55	2120,4	2280	2510,85	2522,25	2590,65	2679	2536,5	2684,7	2764,5
კვირა	51	52	-	-	-	-	-	-	-	-
დატვირთვა	2850	2721,75	-	-	-	-	-	-	-	-



გრაფიკი №1. პიკური დატვირთვის მაჩვენებლები კვირების მიხედვით, მგვტ ცხრილი №9.

(12), (13), (14) ოპტიმიზაციის ფუნქციასა და ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში მომუშავე გენერატორების რემონტების ოპტიმალურ გრაფიკს, ჩასმის და შესაბამისად მისი ამოხსნით მივიღებთ რომლის შედეგებიც შეტანილია ცხრილ №10-ში.

გენერატორების რემონტების ოპტიმალური გრაფიკი კვირების მიხედვით

ცხრილი №10.

გენერატორი	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
კვირა	21	43	24	33	44	36	28	6	52	15	19	27	21	36	1	10
გენერატორი	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
კვირა	45	14	28	3	24	34	47	38	5	17	16	26	24	28	1	1

ჩატარებული კვლევების შედეგად, შემუშავებულია:

1. ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში შემავალ ენერგობიექტებზე არსებული მოწყობილობა-დანადგარების ტექნიკურ-ეკონომიკური მდგომარეობის კომპლექსური შეფასების მატემატიკური მოდელი და მის საფუძველზე ჩამოყალიბებულია ამ პრობლემის გადაწყვეტის მეთოდოლოგია და ალგორითმი.
 2. პრევენციული რემონტებისთვის გამოყოფილი შეზღუდული ბიუჯეტის პირობებში რემონტში გასაცემი ელექტროდანადგარების ოპტიმალური შერჩევის ოპტიმიზაციის ფუნქცია და ალგორითმი.
 3. მაგენიერებელი წყაროების პრევენციული რემონტების წლიური (კვირების მიხედვით) გრაფიკის ოპტიმალური დაგეგმვის ოპტიმიზაციის ფუნქცია და ალგორითმი.
- ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში პრევენციული რემონტების ზემოთ ჩამოყალიბებული მეთოდოლოგია ატარებს უნივერსალურ ხასიათს, მისი გამოყენება შესაძლებელია ნებისმიერი ენერგოკომპანიისთვის. აღნიშნული მეთოდის პრაქტიკაში დანერგვა მნიშვნელოვანწილად განაპირობებს ელექტროსისტემის საიმედო ფუნქციონირებას, მომხარებელთა ელექტროენერგიით უწყვეტ ელექტრომომარაგებას და გააუმჯობესებს ორგანიზაციის ეკონომიკურ მაჩვენებლებს.

ლიტერატურა

1. დ.ჯაფარიძე, ზ.გაჩეჩილაძე, თ.მალრაძე. საშუალოვადიან პერიოდში საქართველოს ელექტროენერგეტიკული უსაფრთხოების უზრუნველსაყოფად ოპტიმალური საინვესტიციო პორტფელის შერჩევა. სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „ენერგია“. №3(59). 2011 წ. ივნისი. გვ: 11-19. <http://www.energyonline.ge/energyonline/issue5/ge/ax-Japaridze.pdf>
2. დ.ჯაფარიძე, თ.მალრაძე. საქართველოში ელექტროენერგიის მოთხოვნის საშუალოვადიანი პროგნოზირება მრავალფაქტორული მოდელის გამოყენებით. სამეცნიერო-ანალიტიკური ჟურნალი „საქართველოს ეკონომიკა“ №9. 2009 წ.
3. Резницкий Александр Исаакович. Разработка нового метода планирования ремонтов оборудования электростанций с учетом расходовемых ресурсов. Диссертация на соискание ученой степени канд. технические науки. 2007 год.
4. Amemiya. Advanced Econometrics. Harvard University Press. ISBN 0-674-00560-0. 1985 year.
5. Young Fang. Fuzzy portfolio optimization. Springer, Berlin. 2008 Year.

6. Cornelius T. Leondes. Fuzzy logic and expert system applications. Academic press. Los angeles. 1998 Year.
7. Maintenance Optimization for Power Distribution Systems. Doctoral thesis. Royal Institute of Technology Stockholm, Sweden, 2008 year. http://www.etk.ee.kth.se/personal/hilber/hilber_PhD_thesis.pdf
8. Keshav P. Dahal, Nopasit Chakpitak. Generator maintenance scheduling in power systems using
9. metaheuristic-based hybrid approaches. 2006 year. Journal “Electric power systems research”. <http://eastwest.inf.brad.ac.uk/document/publication/KeshavNopasit-EPSR.pdf>
10. S. Baskar, P. Subbaraj, M.V.C. Rao, S. Tamilselvi, Genetic algorithms solution to generator maintenance scheduling with modified genetic operators, IEE Proceedings: Generation, Transmission and Distribution 150 (01) (2003) 56–66.
11. J. Yellen, T. M. Al-Khamis, S. Vemuri, and L. Lemonidis, “A decomposition approach to unit maintenance scheduling,” IEEE Trans. Power Syst., vol. 7, no. 2, pp. 726–733, May 1992.
12. Marwali, M. and Shahidehpour, M., Maintenance Scheduling in Restructured Power Systems, Kluwer Academic Publishers, London. Page 14. 2000 year.

*David Japaridze, full professor GTU
Tengiz Magradze, Phd GTU*

**OPTIMAL PLANNING OF PREVENTIVE
MAINTENANCE IN POWER SYSTEM**

SUMMARY

Based on world experience study the necessity of optimal planning of preventive maintenance in power system is proved. By using of fuzzy logic method it's developed mathematical model of comprehensive assessment of the technical-economical condition of electrical equipment and based on that it's formed methodology and algorithm of solving this problem. Optimization function and algorithm of electrical equipment selection for preventive maintenance in the conditions of limited budget allocated are made. Optimization function and algorithm are made for optimal maintenance scheduling of generators in power system. For the practical testing of above created new method for example it's examined power system and results are got.