

620.9(05)

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

კავშირი
"მეცნიერება და ენერგეტიკა"

ენერგეტიკა

სამეცნიერო-ტექნიკური რევირეზიული
ჟურნალი

1(97)/2021

თბილისი

ISSN 1512-0120

სარედაქციო კოლეგია:

მთავარი რედაქტორი – მერაბ ლორთქიფანიძე

მთავარი რედაქტორის მოადგილე – შალვა გაგოშიძე

სარედაქციო კოლეგიის წევრები: რ.არველაძე, გ.არაბიძე, ი.ბიჯამოვი, გ.ქაჯაია, ვ.კინკლაძე, ი.კალანდაძე, გ.ლეკიშვილი, ნ.მელაძე, ა.ნადირაძე, დ.ნამგალაძე, ა.ყუბანიშვილი, ა.ჭითანავა, გ.ხელიძე, ა.ჩიქოვანი, ივ.ჩოლოყაშვილი, ნ.ჩახვაშვილი (პასუხისმგებელი რედაქტორი), ვ.ტრასკინი (რუსეთი), ზ.სკვორცოვა (რუსეთი), ა.ალექსეევი (უკრაინა), კ.სეიხანი (თურქეთი), პ.პსაროპულოსი (საბერძნეთი), ა.სარუხანიანი (სომხეთი), ა.კულიევი (აზერბაიჯანი).

EDITORIAL BOARD:

The editor-in-chief – Merab Lordkipanidze

Deputy of the editor-in-chief - Shalva Gagoshidze

Editorial board members: R.Arveladze, G.Arabidze, Y.Bijamov, I.Kalandadze, G.Kajaia, V.Kinkladze, A.Kubaneishvili, G.Lekishvili, N.Meladze, A.Nadiradze, D.Namgaladze, G.Khelidze, A.Tshitanava, A.Chikovani, Iv.Cholokashvili, N.Chakhvashvili (managing -editor- in-chief), V.Traskin (Russia), Z.Skvortsova (Russia), A.Alekseev (Ukraine), K.Seyhan (Turkey), P.Psarropoulos (Greece), A.Sarukhanian (Armenia), A.Kuliev (Azerbaijan).

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Главный редактор – Мераб Лордкипанидзе

Заместитель главного редактора – Шалва Гагошидзе

Члены редакционной коллегии: Р.Арвеладзе, Г.Арабидзе, Я.Биджамов, Г.Каджая, А.Кубанейшвили, В.Кинкლაძე, И.Каланდაძე, Г.Лекишвили, Н.Меладзе, А.Надирадзе, Д.Намгалаძე, Г.Хелиძე, А.Читанავა, А.Чиковани, И.Чолокашвили, Н.Чахвашвили (ответственный редактор), В.Траскин (Россия), З.Скворцова (Россия), А.Алексеев (Украина), К.Сейхан (Турция), П.Псаропулос (Греция), А.Саруханян (Армения), А.Кулиев (Азербайджан).

ნომრის მომზადებაში მონაწილეობდნენ:

ტექნ. მეცნიერებათა აკადემიური დოქტორი ნ.ბარაბაძე, ე.ზამბახიძე, ბ.ბურჭულაძე (ნომრის კომპიუტერული აწყობა-დაკავშირება), ი.თუმანიშვილი (ტექსტის რედაქტირება), ს.ბერიძე (ინგლისური ტექსტის მომზადება).

ჟურნალ "ენერჯის" რედაქციის მისამართი: 0179 თბილისი, ი.აბაშიძის 40. ტელ. 218-09-51

The address of the editorial office of journal "Energy": 40, I.Abashidze str., Tbilisi, 0179, Georgia, tel. 218-09-51

Адрес редакции журнала "Энергия": 0179 Грузия, Тбилиси, ул. И.Абашидзе, 40.

тел. 218-09-51

რეგისტრაციის ნომერი № 5^ა / 4 - 645

© "ენერჯია". 2011

www.Energyonline.ge

სარჩევი – CONTENTS - СОДЕРЖАНИЕ

გვ. P. Стр.

ბ.არაბიძე, ბ.არაბიძე. წყალსაცავიანი ჰესების მშენებლობის აუცილებლობის შესახებ.....	5
ა.კონტაშვილი, ბ.ხორბალაძე. საქართველოს ელექტროენერგეტიკული სისტემის მართვის საოპერაციო ღონისძიებები.....	12
ქ.ბერიკაშვილი. საქართველოში მიწისქვეშა გაზსაცავის მშენებლობის პერსპექტივა და საწყის ეტაპზე მონიტორინგის ასპექტები.....	15
ბ.ხ შრცილაკა, ო.კილურაძე. მაღალი ძაბვის კაბელის ელექტროიზოლაციის გაზომვის შედეგის განუსაზღვრელობის შეფასება.....	21
ა.კონტაშვილი, ბ.ხორბალაძე. საქართველოს ელექტროენერგეტიკული სისტემის აგარიული მდგომარეობის მართვა.....	30
თ.ნათენაძე, ა.ჯერემიძე, ნ.კერესელიძე. ფაქტორები, რომლებიც განაპირობებენ წვეის ძრავების რესურსს და ექსპლუატაციის ოპტიმალურ ვადას.....	34
ი.ტაბატაძე, მ.ბიბილაშვილი. რელაქსაციური შინაგანი ხახუნი თერმულად დამუშავებულ n-GaAs:Te მონოკრისტალში.....	40
И. ТАБАТАДЗЕ. Неупругие свойства ванадия и сплава V0,95Nb0,05.....	45
ლ.ბესტაევა, ნ.დონდოლაძე, ზ.მეგრელიშვილი. ასკანთიხის იონცვლის (Ca-Na) იზოთერმის ექსპერიმენტული მონაცემების ერთგვაროვნების შემთხვევითობის და დროში სტაბილურობის დადგენა.....	49
რ.შქენტი. საკურორტო-რეკრეაციულ სისტემებში საზოგადოებრივი კვების ქსელში სეზონური დატვირთვების დარეგულირების ეფექტური მეთოდები.....	56
რ.შქენტი. საქართველოს კურორტებზე საზოგადოებრივი კვების ღია ქსელის ობიექტების ქალაქგეგმარებითი ორგანიზაციის სტრუქტურა.....	64
G. TUMANISHVILI, T.NADIRADZE, Giorgi TUMANISHVILI, S. BITSADZE, M. TSOTSKHALASHVILI. Decrease of rolling resistance of a railway wheel by perfection of tribological properties of wheel and rail contact zone.....	75
G.TUMANISHVILI, T.NADIRADZE, R.BITSADZE, Giorgi TUMANISHVILI, B.DIDEBASHVILI. Damage of the wheel and Rail interacting surfaces and the Rail corrugation.....	82

ვ უ ლ ო ც ა ვ ი

პროფესორი მერაბ ლორთქიფანიძე 75 წლისაა	93
სტატიების შემოტანის წესები.....	96

წყალსაცავიანი ჰესების მშენებლობის აუცილებლობის შესახებ

ტექნ. მეც. დოქტორი, პროფესორი **ბია არაბიძე**

აკადემიური დოქტორი, ასოცირებული პროფესორი **მარბალიტა არაბიძე**

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ანოტაცია. 2010-2019 წწ. საქართველოს ელექტროენერჯის ბალანსის მონაცემების ანალიზის საფუძველზე დადგენილია, რომ ბოლო 10 წლის განმავლობაში ელექტროენერჯის საშუალო წლიური მოხმარება გაზრდილია $\approx 51\%$ -ით, ხოლო გამომუშავება კი - მხოლოდ $\approx 17,8\%$ -ით, ისიც იმპორტირებულ გაზზე მომუშავე თესების, სეზონური და დერეგულირებადი ჰესების ხარჯზე შემცირებულია მარეგულირებადი ჰესების გამომუშავება. 7-ჯერ არის გაზრდილი ელექტრული ენერჯის იმპორტი. ელექტროენერჯის მოხმარების ტენდენციის დაზუსტების მიზნით 2019 წ. მონაცემები შედარებულია 2010-2018 წლების საშუალო წლიურ მონაცემებს. აქაც მოხმარება გაზრდილია 24% -ით, ხოლო გამომუშავება კი - 11% -ით. იმპორტი გაზრდილია 116% -ით, ექსპორტი შემცირებულია 65% -ით. ექსპორტ-იმპორტის ასეთი ბალანსის ძირითადი მიზეზი მარეგულირებადი სადგურების მიერ გამომუშავებული ელექტროენერჯის ხვედრითი წილის შემცირებაა.

საკვანძო სიტყვები: ბალანსი, ჰიდროელექტროსადგური, თბოელექტროსადგური, იმპორტი, გამომუშავება, ელექტროენერჯია.

შესავალი

საქართველოში დამოუკიდებელი ენერგეტიკული ბაზის შექმნა და, აქედან გამომდინარე, ქვეყნის ენერგეტიკული და ეროვნული უსაფრთხოების უზრუნველყოფა, ძირითადად ჰიდროენერჯიაზეა დაფუძნებული. მისი წილი, გენერირებული ელექტროენერჯის $75-80\%$ -ს შეადგენს.

მიუხედავად იმისა, რომ საქართველო მდიდარია წყლის რესურსებით, ობიექტური თუ სუბიექტური მიზეზების გამო, 1898 წლიდან (როდესაც ჩვენ ქვეყანაში პირველი ჰიდროელექტროსადგური აშენდა) დღემდე არსებული ჰიდროენერგოპოტენციალის მხოლოდ 22% -ის ათვისება გახდა შესაძლებელი [1]. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ მსოფლიოში პირველი ჰიდროელექტროსადგური ამუშავდა 1878 წელს ინგლისში, რომლის დანიშნულება იყო სამხატვრო გალერიის განათება ერთი ცალი რკალური ნათურით [2,3]. დღეისათვის ევროპაში, საშუალო ჰიდროლოგიურ წელს თითქმის 650 მლრდ. კვტ.სთ-ზე მეტი ელექტროენერჯია გამომუშავდება, რაც ევროპაში, თურქეთის ჩათვლით, ეკონომიკურად ეფექტური ჰიდროენერგოპოტენციალის 65% -ს შეადგენს.

ჩვენი ენერგეტიკული სისტემის ყველაზე დიდი პრობლემა იყო და არის ზამთრის პიკი. სისტემის მართვის კლასიკური მოდელის თანახმად, სადღეღამისო და სეზონური პიკები დაფარული უნდა იქნეს მარეგულირებადი (წყალსაცავიანი) და სეზონური ჰესებით ან

თანამედროვე კომბინირებული ციკლით მომუშავე გაზტურბინული დანადგარებით. მაგრამ საქართველოში როგორც იმპორტირებულ ორგანულ სათბობზე (გაზი, ნავთობი) ორიენტირებულ ქვეყანაში, სადაც ბაზისური თბოელექტროსადგურების წილი ელექტროენერჯის საერთო გამომუშავებაში არ აღემატება 20-25 %-ს, იძულებული ვართ ჰქსეხვამოთ ბაზისურ რეჟიმში. ამას ემატება ისიც, რომ ჩვენ წყალსაცავიან ჰქსეხვებს არ აქვთ დიდი პოტენციალი, დაგუბების კუთხით ძლიერი შეზღუდულობის გამო.

ენერგეტიკული სისტემის მდგრადობის გაზრდასთან ერთად, მარეგულირებელი ჰქსეხვები მნიშვნელოვან როლს ასრულებენ ალტერნატიული ენერჯის წყაროებით გამომუშავებული ელექტროენერჯის ქსელთან მიერთების კუთხითაც. ვინაიდან მზისა და ქარის ელექტროსადგურები არასტაბილურია და მათ დასაბალანსებლად აუცილებელია სარეზერვო სიმძლავრეები. ჩვენ შემთხვევაში ეს სიმძლავრეები აკუმულირებული უნდა იქნეს წყალსაცავიან ჰქსეხვებში [4].

ყოველივე ეს გვაძლევს საფუძველს განვაცხადოთ, რომ ჩვენ ქვეყანაში ახალი ენერგეტიკული ობიექტების (მარეგულირებელი, წყალსაცავიანი ჰქსეხვის) სწრაფი ტემპით მშენებლობა დიდ აუცილებლობას წარმოადგენს.

რა თქმა უნდა, ჩვენ შორს ვართ იმ აზრისაგან, რომ მშენებლობა უნდა ვაწარმოოთ ნებისმიერ ადგილზე ნებისმიერი კონფიგურაციით. მშენებლობა უნდა ემყარებოდეს კვლევას, რომელიც ინტეგრალურად შეაფასებს ენერგოგენერაციის განვითარების ტექნიკურ, ეკონომიკურ, გარემოს დაცვით და სოციალური ზემოქმედების საკითხებს. ე.ი. უნდა ავაშენოთ ის ობიექტები, რომელიც ენერგეტიკულად საჭიროა, ეკონომიკურად გამართლებული და ეკოლოგიურად მისაღები. მშენებლობის დაწყებამდე, საციცოცხლოდ აუცილებელია მოსახლეობასთან კომუნიკაცია, ინვესტორზე ძლიერი სოციალური პასუხისმგებლობის დაკისრება და გარემოს დაცვით კუთხით ყველა საერთაშორისი სტანდარტის შესრულება [5].

სტატისტიკური მონაცემები და ანალიზი [6,7]

კოვიდ პანდემიის გამო, 2020 წელს, როგორც მსოფლიოს ასევე საქართველოს ეკონომიკამ გადაუხვია ბუნებრივი განვითარების გზას. ამიტომ ელექტროენერგეტიკული ბალანსების გასაანალიზებლად საანგარიშო პერიოდად აღებული იქნა 2010-2019 წწ. ამ წლებში იყო როგორც მინიმალური, ასევე მაქსიმალური იმპორტი, ექსპორტი და გამომუშავება (ცხრ. 1, 2).

2010-2019 წწ. საქართველოს ელექტროენერჯის ბალანსის ცხრილი, მლნ. კვტ.სთ

ცხრილი 1

დასახელება	2010	2011	2012	2013	2014	2015
გამომუშავება	10057,7	10104,5	9697,6	10059,6	10369,6	10832,6
თესი	682,8	2212	2477	1788	2035,9	2378,8
ქარის ელექტროსადგური	0	0	0	0	0	0
ჰესი, მათ შორის:	9374,9	7892,4	7220,5	8271,5	8333,7	8453,8
მარეგულირებელი	6525,4	5217,5	4905,6	5385,1	5158,9	5118,5
სეზონური	2532,5	2379,3	2047,8	2557,6	2682,7	2817,3
დერეგულირებული	317	295,7	267	328,8	492,1	518
იმპორტი	222,1	471	614,6	484	793,3	699,2
ექსპორტი	1303	930,6	528,1	450	545,1	659,9
სასადგურო დანაკარგები და ს/მ	138,5	192,4	225,7	199	215,9	240
ტრანსპორტირების ხარჯი	175,8	196	179	204,1	231,9	260
ქსელში მიწოდება	10141,2	10383	10086	10344,7	10947	11291,7
მომხმარებელზე მიწოდება	8441,1	9256,5	9379,4	9690,2	10170,1	10381,8
გამომუშავება	11573,6	11530,4	12135,2	11856,8	10821,8	
თესი	2235,5	2233,0	2114,9	2840,4	2099,8	19,4
ქარის ელექტროსადგური	9	87,8	84,3	84,7	26,6	0,2
ჰესი, მათ შორის:	9329,2	9209,6	9936,0	8931,8	8695,3	80,4
მარეგულირებელი	5406,2	5347,8	5801,1	4969,5	5383,6	49,7
სეზონური	3238,8	3259,7	3456,1	3307,3	2827,9	26,1
დერეგულირებული	684,2	602,1	678,8	655	483,9	4,5
იმპორტი	478,9	1497,2	1508,8	1626,5	839,6	
ექსპორტი	559	685,7	588,6	243,4	649,3	
სასადგურო დანაკარგები და ს/მ	209	215,3	212,7	236,5	208,5	
ტრანსპორტირების ხარჯი	258	251,3	258,1	235,8	225,0	
ქსელში მიწოდება	11843,5	12812,3	13444,7	13246,8	11454,1	
მომხმარებელზე მიწოდება	11026,6	11875,3	12584,5	12767,7	10557,3	

2010-2018 წწ. საშუალო წლიური მონაცემები და 2019 წლის, საქართველოს ელექტროენერჯის ბალანსი, მლნ. კვტ.სთ

ცხრილი 2

დასახელება	2010-2018 წწ. საშუალო წლიური მონაცემები	2019 წ.
გამომუშავება	10706,7	11856,8
თესი	2017,5	2840,4
ქარის ელექტროსადგური	20,1	84,7
ჰესი, მათ შორის:	8669,1	8931,8
მარეგულირებელი	5429,6	4969,5
სეზონური	2774,6	3307,3
დერეგულირებული	464,8	655
იმპორტი	752,1	1626,5
ექსპორტი	694,4	243,4
სასადგურო დანაკარგები და ს/მ	205,4	236,5
ტრანსპორტირების ხარჯი	223,8	235,8
ქსელში მიწოდება	11254,9	13246,8
მომხმარებელზე მიწოდება	10311,7	12767,7

როგორც სტატისტიკური მონაცემების ცხრ. 2-დან ჩანს, 2010-2019 წწ. ქსელში მიწოდებული ელექტროენერჯის საშუალო წლიური რაოდენობა 5,8%-ით აჭარბებს გამომუშავებულს. გამომუშავების სტრუქტურა, %, კი ასეთია: თესები - 19,4; ჰესები - 80,4, ქარი - 0,2. მარეგულირებელ ჰესებზე მოდის საშუალო წლიური გამომუშავების 49,7%, სეზონურზე - 26,1%, ხოლო დერეგულირებულზე - 4,5%. ჰესების მიერ წლის განმავლობაში გამომუშავებული 8695,3 მლნ. კვტ.სთ ელექტროენერჯის 62% მარეგულირებელ ჰესების მიერ არის გამომუშავებული, 32,5% - სეზონურის, ხოლო 5,5% კი - დერეგულირებულის. როგორც ამ მონაცემებიდან ჩანს, გამომუშავებული ენერჯის და სისტემის მდგრადობა ძირითადად დამოკიდებულია **მარეგულირებელი სადგურების გამომუშავებაზე.**

ცალკე შევეხოთ 2010 წლის მონაცემებს და შევადაროთ 2019 წ. 2010 წლიდან იწყება ყოველწლიური მოხმარების შეუქცევადი ზრდა. გარდა ამისა, 2010 წ. იყო ერთ-ერთი საუკეთესო ჰიდროლოგიური (წყალუხვი) წელი. 2019 წ., 2010 წელთან შედარებით, ელექტროენერჯის მოხმარება გაიზარდა ≈51%-ით, ხოლო გამომუშავება - ≈17,8%-ით. გამომუშავების გაზრდა მოხდა იმპორტირებულ გაზზე მომუშავე თბოელექტროსადგურების ხარჯზე (316%). ჰესების ჯამური გამომუშავება შემცირდა 5%-ით, მათ შორის მარეგულირებელი სადგურების - ≈ 24%-ით. სეზონური ჰესების გამომუშავება გაიზარდა ≈31%-ით, მცირე სიმძლავრის ჰესების - ≈106%-ით. ელექტროენერჯის იმპორტი კი გაიზარდა ≈7-ჯერ. მიუხედავად იმისა, რომ გენერაციის ობიექტებმა (გარდა მარეგულირებელი სადგურებისა) მნიშვნელოვნად გაზარდეს გამომუშავება, გაზრდილი მოხმარების გამო 7-ჯერ გაიზარდა იმპორტი. **პრობლემა წყალსაცავების არასაკმარისი მოცულობაა.**

2010 და 2019 წლები ჰიდროლოგიის კუთხით ორი რადიკალურად განსხვავებული წელია. 2019 წელი იყო მძიმე ჰიდროლოგიური (წყალმცირე). ელექტროენერჯის მოხმარების ტენდენციის დაზუსტების მიზნით 2019 წლის მონაცემები შევადაროთ 2010-2018 წწ. საშუალო წლიურ მონაცემებს.

2019 წელს მოხმარება, 2010-2018 წწ. საშუალო წლიურ მოხმარებასთან შედარებით, გაიზარდა ≈ 24%-ით. გამომუშავება კი - ≈11%-ით. ამ შემთხვევაშიც იმპორტირებულ გაზზე მომუშავე თესების (≈41%) და ჰესების (≈3%) გამომუშავების ხარჯზე. მარეგულირებელი ჰესების გამომუშავება შემცირდა ≈8,5%-ით, ხოლო სეზონური და მცირე სიმძლავრის სადგურების გამომუშავება შესაბამისად გაიზარდა 19 და 41%-ით. ელექტროენერჯის იმპორტი გაიზარდა 2-ჯერ (≈116%-ით), ხოლო ექსპორტი შემცირდა ≈ 65%-ით. ამ შემთხვევაშიც სურათი იგივეა, იმპორტის ასეთ მკვეთრ ზრდას იწვევს **მარეგულირებელი სადგურების გამომუშავების შემცირება, გენერაციის სხვა წყაროების გამომუშავება ზრდადია.**

გავაანალიზოთ გენერაციის ობიექტების ხვედრითი წილი მოხმარების უზრუნველყოფაში. ამ მხრივ, 2010 წელთან შედარებით, 2019 წ. თესების წილი გაზრდილია $\approx 14\%$ -ით, ჰესების კი - შემცირებულია $\approx 41\%$ -ით. მათ შორის, მარეგულირებელი და სეზონური სადგურების წილი შესაბამისად შემცირებულია ≈ 38 და $\approx 4\%$ -ით, ხოლო მცირე სიმძლავრის ჰესების გაზრდილია $\approx 1,5\%$ -ით. იმპორტი გაზრდილია $\approx 10\%$ -ით. **პრობლემა კვლავ მარეგულირებელი სადგურებია.**

მოხმარების უზრუნველყოფაში, დაზუსტების მიზნით, ერთმანეთს შევადაროთ 2019 წ. და 2010-2018 წწ საშუალო წლიური მონაცემები. თესების წილი გაზრდილია $\approx 3\%$ -ით, ჰესების კი - შემცირებულია $\approx 14\%$ -ით მთლიანად მარეგულირებელი სადგურების ხარჯზე. სეზონური და მცირე სიმძლავრის სადგურების წილი პრაქტიკულად უცვლელია. იმპორტი გაზრდილია $\approx 6\%$ -ით. **პრობლემა კვლავ მარეგულირებელი სადგურებია.**

საქართველოს ელექტროენერგეტიკული ბალანსის ანალიზიდან ჩანს, რომ ექსპორტ-იმპორტის დაბალანსებისათვის, წყალსაცავიანი ჰესების წილი მოხმარების უზრუნველყოფაში უნდა იყოს არა ნაკლებ 50%-სა. 2010 წ. ექსპორტზე გატანილ იქნა 1303 მლნ. კვტ.სთ ელექტროენერგია, ხოლო შემოტანილი იქნა - 222 მლნ. კვტ.სთ. მარეგულირებელი სადგურების წილი მოხმარებაში იყო 77%. ასეთივე სიტუაცია იყო 2011- 2014 წლების პერიოდში. 2019 წელს იმპორტირებულ იქნა 1626,5 მლნ. კვტ.სთ ელექტრული ენერგია. მარეგულირებელი სადგურების წილი მოხმარების დაკმაყოფილებაში იყო 39 %.

თუ ჩავთვლით, რომ ელექტროენერგიის ყოველწლიური მოხმარება საშუალოდ 2,5%-ით გაიზრდება, მაშინ 2025 წლისათვის ელექტროენერგიის წლიური მოხმარება დაახლოებით 15500-16000 მლნ. კვტ.სთ-ს მიაღწევს. ექსპორტ-იმპორტის დაბალანსებისათვის, წყალსაცავიანი ჰესების ჯამური წილი აღნიშნული მოხმარების უზრუნველყოფაში უნდა იყოს არანაკლებ 7500-8000 მლნ. კვტ.სთ-სა. ბოლო 10 წლის განმავლობაში ამ ტიპის ჰესების საშუალო წლიურმა გამომუშავებამ ≈ 5400 მლნ. კვტ.სთ შეადგინა. ქვეყანას ესაჭიროება ახალი წყალსაცავიანი ჰესები, რომელთა წლიური გამომუშავება 2000-2500 მლნ. კვტ.სთ-ზე ნაკლები არ იქნება. აღნიშნული ენერგია, არა მარტო ექსპორტ-იმპორტის დასაბალანსებლად არის აუცილებელი, არამედ ის საწყის ეტაპზე მოგვცემს საშუალებას თამამად ავაშენოთ და ექსპლუატაციაში შევიყვანოთ ცვლადი რეჟიმებით მომუშავე ქარისა და მზის ელექტროსადგურები.

და ბოლოს, ადგილობრივი განახლებადი ენერგიის ათვისება და გამოყენება ქვეყნის დამოუკიდებლობის წინაპირობაა. განსაკუთრებით კი მარეგულირებელი ტიპის ჰესები ქმნის ამ გარემოს. აღსანიშნავია ის გარემოებაც, რომ ევროკავშირის დირექტივის მიხედვით მარეგულირებელი ჰესებიც განახლებადი ენერგიის ჯგუფს განეკუთვნება (ჰიდრო-მააკუმულირებელის გარდა). ჰიდროენერგეტიკის განვითარება ხელს შეუწყობს

ევროკავშირის განახლებადი ენერჯის შესახებ ღირეკტივით ნაკისრი ვალდებულების შესრულებას, რომლის მიხედვითაც ქვეყანას 2030 წლისთვის კონკრეტული სამიზნე მაჩვენებლის შესრულებას ავალდებულებს. ზუსტი მაჩვენებელი დადგენილი იქნება 2021 წ. ბოლოს, თუმცა“ განახლებადი წყაროებიდან ენერჯის წარმოებისა და გამოყენების წახალისების შესახებ“ კანონის მიხედვით, დღის მდგომარეობით აღნიშნული მაჩვენებელია 35%, რაც იმას ნიშნავს, რომ სრულ ენერგეტიკულ ბალანსში განახლებადების წილი 35%-ს უნდა წარმოადგენდეს 2030 წლისათვის.

დასკვნა

1. სისტემის მდგრადობისათვის ცვლადი რეჟიმებით მომუშავე ქარისა და მზის ელექტროსადგურების ექსპლუატაციაში ინტენსიურად შესაყვანად საჭიროა დაჩქარდეს ჰიდროელექტროსადგურების მშენებლობა, განსაკუთრებით წყალსაცავიანი სადგურების.

2. ექსპორტ-იმპორტის დაბალანსებისათვის 2025 წლისათვის აუცილებელია აშენდეს წყალსაცავიანი ჰესები, რომელთა ჯამური წლიური გამომუშაება 2000-2500 მლნ. კვტ.სთ იქნება.

3. მშენებლობა უნდა ემყარებოდეს, ენერგოგენერაციის განვითარების ტექნიკურ, ეკონომიკურ, გარემოსდაცვითი და სოციალური ზემოქმედების საკითხების ინტეგრალურ შეაფასებს.

4. მშენებლობის დაწყებამდე აუცილებელია მოსახლეობასთან კომუნიკაცია, ინვესტორზე ძლიერი სოციალური პასუხისმგებლობის დაკისრება და გარემოს დაცვით კუთხით ყველა საერთაშორისი სტანდარტის შესრულება.

ლიტერატურა

1. მირცხულავა დ. <http://energyplatform.ge/>
2. <http://engineeringsystems.ru/gidroelektrostancii/pervie-ges.php>;
3. <https://ru.wikipedia.org/wiki/>;
4. ჩიქოვანი გ. <http://energyplatform.ge/>;
5. თურნავა ნ. <http://energyplatform.ge/>
6. www.esco.ge
7. www.gse.com.ge
8. <https://matsne.gov.ge/ka/document/view/4737753?publication=1>

REGARDING NECESSITY OF CONSTRUCTION OF IMPOUNDMENT HYDRO POWER PLANTS.

G.Arabidze, M.Arabidze. "Energy". №1(97). 2021. Tbilisi. p. 5- 11. geo. sum geo. engl. rus.

Analysis of the Georgian Electricity balance between 2010-2019 shows that average annual electricity consumption during the last 10 years has increased by 51% and generation by only 17.8% mostly from thermal power plants operating on imported natural gas, seasonal and deregulated hydro power plants. Generation from regulating hydro power plants has decreased. Electricity import has grown 7 times. For better defining trend of electricity consumption, 2019 data is compared to average between 2010-2018 data. Consumption here has increased by 24% and generation by 11%. Import has increased by 116% and export has decreased by 65%. The reason behind this balance is attributed mostly to the decrease of share of regulating hydro power plants.

Tabl. 2, bibl. 8.

О НЕОБХОДИМОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА ВОДОХРАНИЛИЩНЫХ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ.

Г.Арабидзе, М.Арабидзе. "Энергия". №1(97). 2021. Тбилиси. с. 5-11. груз. реф. груз. англ. рус.

На основе анализа данных баланса электроэнергии Грузии 2010-2019 гг. было установлено, за последние 10 лет, среднегодовое потребление электроэнергии увеличилось на $\approx 51\%$ в то время как производство увеличилось всего лишь на $\approx 17,8\%$, за счет ТЭС, работающих на импортном газе, сезонных и дерегулируемых гидроэлектростанций. Снижена генерация электроэнергии регулирующими гидроэлектростанциями. Импорт электроэнергии увеличился в 7 раз. Для уточнения динамики потребления электроэнергии данные за 2019 год были сравнены со среднегодовыми данными за 2010-2018 гг.. Оказалось, что потребление выросло на 24, а генерация - на 11%. Импорт увеличился на 116%, а экспорт снизился на 65%. Основная причина такого экспортно-импортного баланса - сокращение доли электроэнергии, вырабатываемой регулирующими станциями.

Табл. 2, лит. 8 назв.

საქართველოს ელექტროენერგეტიკული სისტემის მართვის საოპერაციო ღონისძიებები

დოქტორი **არჩილ კოსტავილი**
დოქტორანტი **გიორგი ხორბალაძე**

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ანოტაცია. სტატია გამოიყენება საოპერაციო ღონისძიებების მართვისთვის. მისი გამოყენების მიზანია ნომინაციის ფიზიკური სიმყარის შენარჩუნება. საოპერაციო ღონისძიებები უნდა ჩატარდეს საქართველოს სახელმწიფო ელექტროსისტემის მიერ, განსაკუთრებით გადატვირთვის მართვისთვის, რომლებიც არ არის რეგულარული საბალანსო ბაზრის საქმიანობის ნაწილი, მაგრამ გარდაუვალია სისტემის უსაფრთხოების უზრუნველსაყოფად.

საკვანძო სიტყვები: საოპერაციო ღონისძიებები, სისტემის მართვა, სადისპეტჩერო, გადატვირთვის მართვა, სიმძლავრის შეზღუდვა, გენერაციის შეზღუდვა, მოხმარების გამორთვა, სახელმწიფო ელექტროსისტემა, ავარიული მდგომარეობა.

სტატია შეეხება ელექტროენერგეტიკული სისტემის საოპერაციო ღონისძიებებს, რომლებსაც გადამცემა სისტემის ოპერატორი (გსო) იყენებს უმეტესად გადატვირთვის მართვისთვის. გადატვირთვის მართვა არ წარმოადგენს ნორმალურ საბალანსო ბაზრის ოპერირების ოპერაციას, თუმცა მნიშვნელოვანია სისტემის უსაფრთხოების უზრუნველსაყოფად.

გადატვირთვის მართვისა და გამოსასწორებელი საოპერაციო ღონისძიებების განსახორციელებლად საჭირო კომპონენტებია: გრძელვადიანი ტრანსსასაზღვრო მოცულობის განაწილების უფლებების (PTR) შეზღუდვა, შემხვედრი ვაჭრობა, რედისპეტჩირება, ელექტროენერჯის წარმოებისა და მოხმარების მექანიკური ან/და ავტომატური ფიზიკური გამორთვა.

საოპერაციო ღონისძიებების გამოიყენება იმისათვის, რომ მოხდეს ბაზრის მონაწილეების ნომინაციების ფიზიკური სიმყარის შენარჩუნება. ნომინაციის ფიზიკური სიმყარის შეუძლებლობის შემთხვევაში, გამოყენებული უნდა იქნეს კორექტირების გრაფიკი, რათა შეამსუბუქოს დაინტერესებული ბაზრის მონაწილეების ფინანსური გავლენა.

თუ გსოს- ესაჭიროება PTR-ის შეზღუდვა, აუცილებელია შესაბამისი პერიოდისთვის ორი სცენარის იდენტიფიცირება:

სცენარი 1: ინციდენტი ხდება PTR-ის განაწილების შემდეგ, ნომინაციების წარდგენამდე - ინციდენტი სისტემაში ხდება ალოკაციის პროცესის შემდეგ, ნომინაციების

წარდგენამდე და აუცილებელია PTR-ების შეზღუდვა, გსო-მ ახალი NTC მოცულობების დასადგენად ხელახალი შეფასება უნდა ჩაატაროს. თუ განაწილებული მოცულობები აჭარბებს ახალ NTC მოცულობებს, უნდა განხორციელდეს PTR-ების სპეციფიკური შემცირება.

სცენარი 2: ინციდენტი ხდება ტრანსსასაზღვრო მოცულობის განაწილების და ნომინაციების წარდგენის შემდეგ - ინციდენტი სისტემაში, რომელიც იწვევს PTR-ების შემცირებას, ხდება მოცულობების ნომინაციების დადასტურების შემდეგ, სადისპეტჩერო ცენტრმა ფიზიკური სიმყარის შესანარჩუნებლად უნდა გამოიყენოს შემხვედრი ვაჭრობა, რომელიც აღწერილია ქვემოთ.

შემხვედრი ვაჭრობა ნიშნავს რეგულირებას მომატებაზე ან შემცირებაზე, განხორციელებული ერთი ან რამდენიმე გსო-ს მიერ, ერთ ან რამდენიმე სატენდერო ზონაში ფიზიკური გადატვირთვის შესამცირებლად. გამომდინარე იქიდან, რომ საქართველო განხილულია როგორც ერთი სატენდერო ზონა, საქართველოს ელექტროენერგეტიკული ბაზრისთვის, შემხვედრი ვაჭრობა ხორციელდება როგორც ტრანსსასაზღვრო საოპერაციო ღონისძიება.

რედისპეტჩირება ნიშნავს რეგულირებას მომატებაზე ან შემცირებაზე, რომელიც სრულდება ერთი ან რამდენიმე გსო-ს მიერ ერთ ან რამდენიმე სატენდერო ზონაში, რათა მოხდეს ფიზიკური გადატვირთვის მოხსნა.

რედისპეტჩირების გამოსაყენებლად, შემდეგ პრინციპებზე დაყრდნობით ხდება სისტემის უსაფრთხოების უზრუნველყოფა:

ა) გენერაციის ობიექტის/მომხმარებლის ადგილმდებარეობის განსაზღვრა არის მნიშვნელოვანი ფაქტორი;

ბ) რედისპეტჩირებისთვის ხდება საბალანსო ელექტროენერჯის გამოყენება; გ) საბალანსო ელექტროენერჯის გააქტიურება რედისპეტჩირების მიზნებისთვის ყოველთვის უნდა იყოს სიმეტრიული დროში და მოცულობაში;

დ) ქსელში განხორციელებული ინვესტიციებით, რედისპეტჩირების აუცილებლობა მცირდება.

წარმოებისა და მოხმარების მექანიკური / ავტომატური ფიზიკური გამორთვა, როგორც ერთი გამოსასწორებელი საოპერაციო ღონისძიება (როგორც უკიდურესი ღონისძიება), შეიძლება ჩატარდეს გსო-ს მიერ. ეს ღონისძიება არის ბოლო იმედის ინსტრუქცია ელექტროსადგურებისთვის, რომლებიც შესაბამისი პროდუქტის პერიოდში, როდესაც ინციდენტი მოხდა, არ არის წარმოდგენილი არც ერთ ტენდერში და, შესაბამისად, არ არის ხელმისაწვდომი მათი წინადადებები.

თუ სადისპეტჩერო შეაფასებს, რომ ინციდენტის მოგვარება შესაძლებელია მხოლოდ წარმოებისა და მოხმარების მექანიკური ან/და ავტომატური ფიზიკური დე /აქტივაციით, მაშინ გსო საჭიროებს ამ ღონისძიებების ჩატარებას.

**OPERATIONAL MEASURES FOR MANAGING THE POWER SYSTEM OF GEORGIA.
OPERATIONAL MEASURES FOR MANAGING THE POWER SYSTEM OF GEORGIA.**

A.Kokhtashvili, G.Khorbaladze. "Energy". №1(97). 2021. Tbilisi. p.12-14. geo. sum geo. engl. rus.

This article is used for the management of operational measures. The basic main principle of this applies that the physical firmness of a nomination shall be sought to be maintained. Operational measures need to be conducted by Georgian State Electrosystem (transmission system operator) , i.e. the National Control Center in case remedial actions are necessary, in particular for congestion management, that are not part of the regular Balancing Service activities but inevitable to ensure the system security.

ОПЕРАТИВНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ ГРУЗИИ.

А.Кохташвили, Г.Хорбаладзе. "Энергия". №1(97). 2021. Тбилиси. с. 12-14. груз. реф. груз. англ. рус.

В работе рассмотрены оперативные мероприятия для управления электроэнергетической системой Грузии, основной принцип которого состоит в необходимости обусловить сохранение физической стойкости номинации.

Показано, что оперативные меры должны быть выполнены Государственной электросистемой Грузии (оператор системы передачи), т.е. Национальным центром управления при необходимости корректирующих действий, в частности для управления перегрузками, которые не являются частью регулярной деятельности службы балансировки, но неизбежны для обеспечения безопасности системы.

საქართველოში მიწისქვეშა გაზსაცავის მშენებლობის პერსპექტივა და საწყის ეტაპზე მონიტორინგის ასპექტები

დოქტორანტი *ქეთევან ბერიკაშვილი*

საქართველოს ენერჯეტიკისა და წყალმომარაგების მარეგულირებელი
ეროვნული კომისია

ანოტაცია. მიწისქვეშა გაზსაცავი ყველა იმ ქვეყნისთვის, რომელიც მოიხმარს ბუნებრივ გაზს და განსაკუთრებით ისეთი ქვეყნისთვის, რომელიც ქვეყნის მოხმარების თითქმის 99%-ის დასაკმაყოფილებლად ბუნებრივი გაზის იმპორტს ახორციელებს, შეიძლება ითქვას, რომ სასიცოცხლოდ მნიშვნელოვანია. მიწისქვეშა გაზსაცავების ექსპლუატაციის ტექნოლოგიური და ეკონომიკური ეფექტურობის ზრდის ერთ-ერთი წყაროა ხელოვნური გაზის საბადოების ფორმირების დინამიკის მონიტორინგი, ანალიზი და პროგნოზი. ნაშრომში მოყვანილია აღწერილი მიწისქვეშა გაზსაცავის ოთხი პროცესის კომპლექსური მახვენებლები გაანგარიშება.

მიღებულია მიწისქვეშა გაზსაცავის მონიტორინგის კრიტერიუმის დადგენა ექსპლუატაციის წინა ეტაპზე. შემდგომში თითოეული ეტაპისათვის, თანმიმდევრობით მონაცემების აღრიცხვისას, უნდა მოხდეს აღნიშნული მონიტორინგის კრიტერიუმის შეფასება, დადგენა და მისაღები სცენარის გადაწყვეტილების მიღება.

საკვანძო სიტყვები: მიწისქვეშა გაზსადენი, პერსპექტივა, მონიტორინგი.

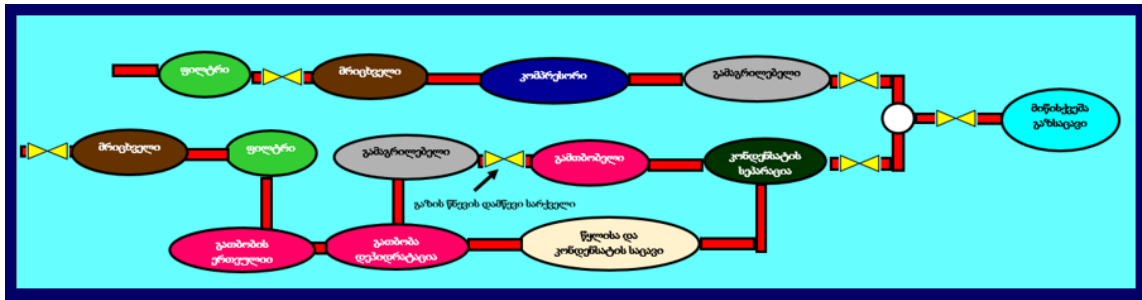
მიწისქვეშა გაზსაცავი ყველა იმ ქვეყნისთვის, რომელიც მოიხმარს ბუნებრივ გაზს და განსაკუთრებით ისეთი ქვეყნისთვის, რომელიც ქვეყნის მოხმარების თითქმის 99%-ის დასაკმაყოფილებლად ბუნებრივი გაზის იმპორტს ახორციელებს, შეიძლება ითქვას, რომ სასიცოცხლოდ მნიშვნელოვანია. წლებია, საქართველოს აქვს ინტერესი ქვეყანაში განხორციელდეს გაზსაცავის პროექტი, რომელიც ბევრი მიმართულებით გააძლიერებს ქვეყნის სტატუსს. ამგვარად, ნაშრომის თემატიკა მეტად აქტუალურია. მიწისქვეშა გაზსაცავის მშენებლობა განხორციელდება ქ. თბილისთან ახლოს, გარდაბნის მუნიციპალიტეტში სამგორის სამხრეთი თაღის დაცლილ, დამუშავებულ ნავთობის საბადოზე და მასში 300 მლნ. მ³-მდე გაზის შენახვა იქნება შესაძლებელი, რაც, საშუალოდ, ქვეყნის წლიური მოხმარების 15%-ს შეადგენს. კერძოდ, ტექნიკური პირობების შესაბამისად, გაზსაცავის სრული მოცულობა 400-450 მლნ. მ³, ხოლო აქტიური მოცულობა კი - 200-300 მლნ. მ³.

ნახ. 1-ზე ნაჩვენებია მომავალი მიწისქვეშა გაზსაცავის ტექნოლოგიური სქემა.

მრავალი წლის განმავლობაში მიწისქვეშა გაზსაცავის ობიექტების შექმნის, განვითარების და ექსპლუატაციის ტექნიკურ-ეკონომიკური ასპექტები გადაუდებელი და რთული გადასაჭრელი პრობლემაა [1,2].

ნაშრომის მიზანია საქართველოში მიწისქვეშა გაზსაცავის მშენებლობის პერსპექტივისა და საწყის ეტაპზე მონიტორინგის ასპექტების ანალიზი. მიწისქვეშა გაზსაცავების ექსპლუატაციის ტექნოლოგიური და ეკონომიკური ეფექტურობის ზრდის

ერთ-ერთი წყაროა ხელოვნური გაზის საბადოების ფორმირების დინამიკის მონიტორინგი, ანალიზი და პროგნოზი, გამოყენებული ობიექტის რთული მოდელის საფუძველზე. ინფორმაციის ერთობლიობით. ნაჩვენებია, რომ ამავე დროს არ არის საჭირო ძვირადღირებული საველე ან ჭაბურღილის კვლევების ჩატარება, ვინაიდან უმეტეს შემთხვევაში საკმარისია მეცნიერულად დამუშავებული სადისპეტჩერო მონაცემები და ობიექტის ტექნოლოგიური პროცესების კომპიუტერული მოდელების შექმნა [3].



ნახ. 1. მომავალი მიწისქვეშა გაზსაცავის ტექნოლოგიური სქემა

მიწისქვეშა გაზსაცავის ექსპლუატაციისას საჭირო და აუცილებელია სისტემის მონიტორინგი. არსებობს ორი სახის მონიტორინგი: პარამეტრებისა და მდგომარეობების. პარამეტრების მონიტორინგის შედეგი არის მუდმივად, განუყოფლად მომიჯნავე დროის ინტერვალებით მიღებული პარამეტრების გაზომილი მნიშვნელობების ერთობლიობა, რომლის დროსაც პარამეტრის სიდიდეები მნიშვნელოვნად არ უნდა იცვლებოდეს [4].

მდგომარეობების მონიტორინგი არის ობიექტის მდგომარეობის დაკვირვება, რათა დადგინდეს და მოხდეს პროგნოზი, როდის მიაღწევს იგი ზღვრულ მდგომარეობას. ობიექტის მდგომარეობის მონიტორინგის შედეგია მისი შემადგენელი სუბიექტების დიაგნოზების ერთობლიობა, მიღებული უწყვეტი მომიჯნავე დროის ინტერვალებით, რომლის დროსაც ობიექტის მდგომარეობა მნიშვნელოვნად არ იცვლება [5-7].

პრინციპული განსხვავება მდგომარეობისა და პარამეტრების მონიტორინგს შორის არის გაზომილი პარამეტრების ინტერპრეტაციის არსებობა მდგომარეობის თვალსაზრისით - ობიექტის მდგომარეობის შესახებ ექსპერტების მიერ გადაწყვეტილების მიღების მხარდაჭერა და შემდგომი სისტემის მართვა.

მონიტორინგის სისტემა წარმოადგენს ძირითადი კვანძების მახასიათებლების (პარამეტრების) მცირე რაოდენობის რეგისტრაციის, შეგროვებისა და აღრიცხვის, შენახვისა და ანალიზის სისტემის მოცემული ობიექტის მოქმედების (მდგომარეობის) შესახებ ერთობლიობას, რომლის მიზანიცაა შეფასების გაკეთება შემდგომი განვითარების პროგნოზირებისთვის. ეს არის ობიექტის შესახებ ისეთი დასკვნების

გაკეთება, რომელიც ახასიათებს მცირე მახასიათებლების ანალიზს, მის თვისებებს - დიაგნოსტიკურ პარამეტრებს [8-10].

მონიტორინგის სისტემა არის კომპლექსური, რომელიც ასრულებს დაკვირვების, კონტროლის, ანალიზის პირობების შეფასებასა და პროგნოზირების, პროცესებისა და სხვა მოვლენების ფუნქციას. მონიტორინგის სისტემა უკავშირდება ობიექტების ავტომატური მართვის ტექნოლოგიური პროცესების შედეგად წარმოქმნილ მონიტორინგს.

შემოთავაზებული მეთოდოლოგია საშუალებას გვაძლევს კვალიმეტროლოგის მონაწილეობით, მოიძებნოს ტექნოლოგიური პროცესის კავშირები, რომლებზედაც ყველაზე მეტად დამოკიდებულია პროდუქციის ტექნოლოგიური ხარისხი [11].

განვიხილოთ ორმხრივი და ცალმხრივი მაჩვენებელი:

$$\begin{cases} \mathbf{q}_i = 1 - \frac{(\mathbf{P}_i - \mathbf{P}_{oi})}{0,5\mathbf{T}_i}; \\ \mathbf{q}_i = 1 - \frac{(\mathbf{P}_i - \mathbf{P}_{oi})}{\mathbf{T}_i}. \end{cases} \quad (1)$$

სადაც \mathbf{P}_i არის i -ური შესაფასებელი ობიექტის (პროცესის) ერთეული მაჩვენებელი, რომელიც წარმოადგენს ერთ-ერთ თვისებას (მახასიათებელი); \mathbf{P}_{oi} - i -ური ერთეული ნომინალური მაჩვენებელი (საბაზო); \mathbf{T}_i - i -ური ერთეული მაჩვენებლის დაშვება, რომელიც ტოლია ზედა და ქვედა დასაშვები ზღვრული მნიშვნელობების სხვაობის.

ერთეული მაჩვენებლის წონა (მნიშვნელობადობა) მიზანშეწონილია დაადგინდეს ექსპერტის მიერ $0 < \mathbf{m}_i < 1$; $\sum_1^n \mathbf{m}_i = 1$. თუ საექსპერტო მეთოდის გამოყენება

შეუძლებელია, მაშინ უნდა გამოვიყენოთ ალბათური მიდგომის ფორმულა $\mathbf{m}_i = \frac{\mathbf{q}_i}{\sum_1^n \mathbf{q}_i}$.

მიწისქვეშა გაზსაცავის ობიექტის (პროცესის) ეფექტურობის კომპლექსური მაჩვენებელი (კრიტერიუმი), რომლისთვისაც მიუღებელია რომელიმე ერთეულოვანი მაჩვენებლის საზღვრები, სასურველია გამოითვალოს გეომეტრიული ჯამით, მონაწილეობის კოეფიციენტების გათვალისწინებით [12,13]:

$$\mathbf{R} = \left[\prod_1^n (\mathbf{q}_i \mathbf{y}_i) \right]^{1/n}. \quad (2)$$

ასე, რომ ორმხრივი და ცალმხრივი მაჩვენებლებისთვის საჭიროა შესაბამისი ფორმულების გამოყენება. მეთოდიკის დემონსტრირებისთვის, ძირითადი მაჩვენებლების მნიშვნელობების ნორმატიული პარამეტრები. მონიტორინგის ობიექტური შედეგების მისაღებად, აუცილებელია შემდეგი მაჩვენებლები.

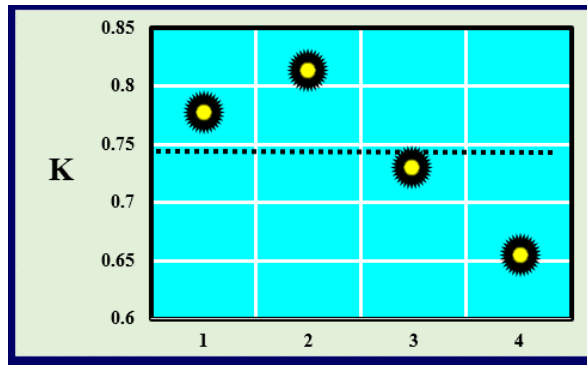
მიდგომის განხილვისას, სამრეწველო პროდუქციის ხარისხის უზრუნველსაყოფად, არსებობს ოთხი ეტაპი: შემუშავების წინა ეტაპი, შემუშავების ეტაპი, მომხმარებლის ხარისხის ზოგიერთი მახასიათებლიდან გადასვლა, დეტალებისა და კვანძების სიზუსტის მოთხოვნების დადგენა, ექსპლუატაციის პროცესის ეტაპი.

ძირითადი ფაქტორები, რომლებიც გავლენას ახდენს მიწისქვეშა გაზსაცავების ობიექტებში მონიტორინგისა და კონტროლის სისტემის პროცესების შედეგების მიღწევაზე და მისი შესაბამისი მახასიათებლები:

1) მიწისქვეშა გაზსაცავში გაზის ჩაჭირხენის მონაცემები: ჩაჭირხენის წნევა, შეტანილი ოდორანტის ოდენობა, გაზის სიჩქარე, მექანიკური მინარეგების ზღვრული ოდენობა, ტენიანობის ზღვრული ოდენობა; 2) მიწისქვეშა გაზსაცავის შენახვის მონაცემები: მაქსიმალური დღიურად გაანგარიშებული გაუონვა, მაქსიმალური წნევის შემცირება; გაზის წნევა მიწისქვეშა გაზსაცავის სიღრუეებში (მონაცემები); 3) გაზის წნევა მიწისქვეშა გაზსაცავის სიღრუეებში ნამის წერტილის ტემპერატურა, მიწისქვეშა გაზსაცავიდან გაზის ადების მონაცემები: წნევის შემცირება გაზის ადების დროს, გაზის წნევა მაგისტრალის შესასვლელთან, გაზის გამოდინების სიჩქარე, გაზის კალორიობა; 4) ზემოქმედობა გარემოზე: გაუხსნელი შეწონილი მარილხსნარის ამოტუმბული ნარევის ზღვრული შემცველობა, წყალში მავნე ნივთიერებების მაქსიმალური კონცენტრაცია. წყალში მავნე ნივთიერებების მაქსიმალური კონცენტრაცია და ა.შ.

ნაშრომში მოყვანილია აღწერილი მიწისქვეშა გაზსაცავის ოთხი პროცესის კომპლექსური მაჩვენებლების გაანგარიშების (2)-ის მიხედვით, შემდეგი მაჩვენებლების გაზომილი ერთეულის მნიშვნელობების შესაბამისად, გვექნება: $K_1 = 0,781$; $K_2 = 0,811$; $K_3 = 0,742$; $K_4 = 0,651$ (ნახ. 2). (2)-ის შესაბამისად, ოთხივე ძირითადი პროცესის კომპლექსური დონე (ეფექტურობის კრიტერიუმი) გვექნება: $K = 0,742$. თუ ჩავთვლით, რომ მიწისქვეშა გაზსაცავის წარმატებული ფუნქციონირებისთვის, დაუშვებელია კომპლექსური მაჩვენებლის შემცირება 0.7-ზე ნაკლებ მაჩვენებელზე, საჭირო იქნება ისეთი ზომების მიღება, რომლითაც იქნება აცილებული ხარისხის დონის შემცირება 0.7-ზე ნაკლები მაჩვენებლით, ექსპლუატაციის დროს ოთხივე ძირითადი პროცესისთვის.

შედეგების გამოყენების სფერო წარმოადგენს საქართველოს გაზის დარგში მშენებარე მიწისქვეშა გაზსაცავის შედეგების გამოყენებას „საქართველოს გაზისა და ნავთობის კორპორაციისათვის“ და მრავალი შესაბამისი გაზის სექტორის პერსონალისათვის.



ნახ. 2. კომპლექსური პროცესის ძირითადი პროცესების კომპლექსური მახვენებლების მნიშვნელობები

ამგვარად, მიღებულია დასკვნა ექსპლუატაციის წინა ეტაპზე. მიწისქვეშა გაზსაცავის მონიტორინგის კრიტერიუმის დადგენის შესახებ. ცხადია, რომ ამის შემდგომში თითოეული ეტაპისათვის, თანმიმდევრობით მონაცემების აღრიცხვისას, უნდა მოხდეს აღნიშნული მონიტორინგის კრიტერიუმის შეფასება, დადგენა და მისაღები სცენარის გადაწყვეტილების მიღება.

ლიტერატურა

1. Гладкой Е.А. Геологическое и гидродинамическое моделирование месторождений нефти и газа/ Учебное пособие. Томск: изд-во Томского политехнического университета. 2021.
2. Самсонов Р.О., Бузинов С.Н., Рубан Г.Н., Джафаров К.И. История организации подземного хранения газа в СССР-России. Георесурсы. №4 (36). 2010.
3. Osiezko K. and all. Factors determining the construction and location of underground gas storage facilities. Acta mentanica Slovenca. V.24 (2019). # 3.
4. Михайловский А.А. Аналитический контроль объемов газа в пластах-коллекторах ПХГ. М.: Газпром ВАНИИГАЗ. 2013.
5. Ермаков О.М. и др. Физика пласта, добыча и подземное хранение газа. М.:Наука. 1996.
6. Дегтёрев А.Ю. и др. Перспективы использования интерполяционного предсказательного моделирования при решении задач эксплуатации подземных хранилищ газа//Газовая промышленность. 2015. №8.
7. Osiezko K. and all. Factors determining the construction and location of underground gas storage facilities. Acta mentanica Slovenca. Volume 24 (2019). number 3, 234-244 pp\
8. Русев В.Н. Модели и методы построения вероятностно-статистических оценок для мониторинга показателей надежности в диспетчерском управлении транспортом газа. М. 2029.
9. Torp, T. and K.R. Brown, 2005: CO₂ underground storage costs as experienced at Sleipner and Weyburn. Proceedings of the 7th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies (GHGT-7), September 5–9, 2004. Vancouver. Canada. V. 531-540.
10. The role of gas storage in internal market and in ensuring securing of supply. EUROPEAN COMMISSION Directorate-General for Energy Directorate B — Internal Energy Market Unit B2 — Wholesale markets; electricity & gas. 2015.
11. Шичков Н.А. Выбор методов измерения процессов системы менеджмента качества. https://quality.eup.ru/MATERIALY11/selection_method.htm
12. Балонин Н.А., Гарибин П.А., Марлей В.Е., Рябов Г.Г. Перспективы использования информационных технологий для мониторинга технического состояния гидротехнических сооружений/ Научно-технические ведомости СПбГТУ. 2010. №1.

PERSPECTIVE OF CONSTRUCTION OF UNDERGROUND GAS STORAGE IN GEORGIA AND ASPECTS OF MONITORING AT THE INITIAL STAGE.

K.Berikashvili. "Energy". №1(97). 2021. Tbilisi. p. 15-20. geo. sum geo. engl. rus.

For every country which consume natural gas and especially for the country that imports natural gas to satisfy almost 99% of the country's consumption underground gas storage is a vitally important. One of the sources of growth of technological and economic efficiency of underground gas storages is monitoring, analysis and forecasting of the dynamics of formation of the gas reservoirs. The work describes calculation of the complex parameters of the four underground gas storage processes and consists the criteria for monitoring the underground gas storage at the previous stage of operation. Subsequently, for each stage, when sequential data accounting, the mentioned monitoring criterion should be evaluated, determined and will be accepted the decision about scenario.

Ill. 2, bibl. 12.

ПЕРСПЕКТИВА СТРОИТЕЛЬСТВА ПОДЗЕМНОГО ХРАНЕНИЯ ГАЗА В ГРУЗИИ И АСПЕКТЫ МОНИТОРИНГА НА РАННЕМ ЭТАПЕ.

К.Берикашвили. "Энергия". №1(97). 2021. Тбилиси. с. 15-20. груз. реф. груз. англ. рус.

Хранение подземного газа имеет жизненно важное значение для страны, потребляющей природный газ, и особенно для страны, импортирующей природный газ для удовлетворения почти 99% её потребления, что жизненно важно. Одним из источников роста технологической и экономической эффективности подземных газовых хранилищ является мониторинг, анализ и прогноз динамики формирования искусственных газовых залежей. Представлен расчет комплексных параметров четырех описанных процессов подземного хранения газа и приняты критерии мониторинга подземного газового хранилища на предыдущем этапе эксплуатации. Показано, что для каждого последующего этапа при последовательном учете данных необходима оценка указанного критерия мониторинга и принятие приемлемого решения сценария.

Илл. 2, лит. 12 назв.

**მაღალი ძაბვის კაბელის ელექტროიზოლაციის გაზომვის
შედეგის განუსაზღვრელობის შეფასება**

დოქტორანტი **ვიორგი ხურცილავა**

ტექნ.მეცნ.დოქტორი, პროფესორი **ოპარ კილურაძე**

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ანოტაცია. ძალოვანი კაბელის ელექტროიზოლაციის პარამეტრების პერიოდული შემოწმება აქტუალური ამოცანაა, რადგან იზოლაციის მასალა ექსპლუატაციის დროს დროთა განმავლობაში კარგავს თავის ხარისხს, ძველდება, მექანიკურად ზიანდება, რაც საბოლოოდ აისახება მისი გამრღვევი ძაბვის შემცირებაში. ეს კი ხელს უწყობს ავარიული რეჟიმების აღძვრას, შესაბამის ელექტრულ წრედებში და საბოლოოდ კაბელის იზოლაციის ელექტრულ გარღვევას. ამ არასასურველი რეჟიმების თავიდან აცილება შესაძლებელია, მუდმივი დენის მიმართ იზოლაციის წინაღობის სიდიდის კონტროლით.

ჩატარებულია ვიწროლიანდაგიანი მატარებლის ელმავალში გამოყენებული ძალოვანი კაბელების ელექტროიზოლაციის წინაღობის პერიოდული კონტროლი.

გაზომვის შედეგის უტყუარობის (სიზუსტის) შესაფასებლად გამოყენებულია განუსაზღვრელობის კონცეფცია, რამაც უკანასკნელ წლებში ძირითად განვითარებულ ქვეყნებში, ჩაანაცვლა გაზომვის სიზუსტის შეფასების „ტრადიციული“ ცდომილებების მეთოდი.

გაფართოებული განუსაზღვრელობის ინტერვალური შეფასებისათვის მიღებულია $(1.609 \leq R \leq 1.685)$ მგომი, $P = 0.95$.

საკვანძო სიტყვები: კაბელის ელექტროიზოლაცია, ვიწროლიანდაგიანი მატარებელი, გაზომვის განუსაზღვრელობა, შედეგის უტყუარობა, კორელაცია.

ელექტროკაბელის იზოლაციის წინაღობა ერთ-ერთი მთავარი პარამეტრია, რომლის ნორმებში შენარჩუნება აქტუალური ამოცანაა. ექსპლუატაციის დროს ძალოვანი კაბელები ყოველთვის იმყოფება სხვადასხვა გარე ნეგატიური ზემოქმედების ქვეშ და კაბელის იზოლაცია წარმოადგენს გარემოს ზემოქმედებისაგან დაცვის საშუალებას.

იზოლაციის მასალა ექსპლუატაციის დროს კარგავს თავის ხარისხს, ძველდება, ირღვევა იზოლაცია და ამ არასასურველი ცვლილებების ერთ-ერთ მაჩვენებელს წარმოადგენს მუდმივი დენის მიმართ იზოლაციის წინაღობის დადაბლება [1]. კაბელების იზოლაციის წინაღობა მუდმივი დენის მიმართ ნორმირებულია სტანდარტით. კაბელის პასპორტში მითითებულია ნორმალური წინაღობა ლაბორატორიული პირობებში გამოცდების მიხედვით 20°C ტემპერატურის დროს. გამოცდის დროს დაცული უნდა იყოს მაღალი ძაბვაზე მუშაობის უსაფრთხოების წესები.

ვიწროლიანდაგიანი მატარებლის ელმავალში გამოყენებულია 50 მ-დე სიგრძის ძალოვანი კაბელი კვეთით 70 კვ.მმ. მუდმივი მუშა ძაბვა ტოლია 1500 ვტ-ს. კაბელის იზოლაციის პერიოდული კონტროლი მნიშვნელოვანი საექსპლუატაციო ამოცანაა.

გაზომვის შედეგის უტყუარობის (სიზუსტის) შესაფასებლად გამოყენებულია ახალი მიდგომა „განუსაზღვრელობის“ კონცეფციის გამოყენებით, რომელიც სრულდება სახელმძღვანელო დოკუმენტში [2] და ლიტერატურაში [3] მოცემული ალგორითმის ანალოგიურად:

ეტაპი 1. საწყისი მონაცემები

1. გაზომვის ობიექტი - ვიწროლიანდაგიანი მატარებლის ელმავლის ძალოვანი კაბელი ППСРМ1500.
2. გასაზომი სიდიდე-კაბელის იზოლაციის ელექტროწინაღობა.

3. გაზომვის ერთეული - მგომი.
4. გამოყენებული ხელსაწყო - კაბელების ელექტროიზოლაციის წინაღობის საზომი (PEAKMETER PM890 C/D).
5. გაზომვის მეთოდი- ირიბი მეთოდი.
6. გაზომვის პირობები - ძაბვის წყაროდ გამოყენებულია ლაბორატორიული ავტოტრანსფორმატორი და ამამაღლებელი ტრანსფორმატორი გამმართველთან და ფილტრთან ერთად. ძაბვისა და დენის ძალის გაზომვა ხორციელდებოდა PEAKMETER PM890 C/D ტიპის მულტიმეტრებით. გარემო ჰაერის ტემპერატურის 25 °C დროს და ჰაერის ფარდობითი ტენიანობის 60% პირობებში.

ეტაპი 2. სამოდულო ფუნქციის შედგენა

კაბელის იზოლაციის გაზომვის სამოდულო ფუნქციას აქვს სახე

$$\bar{R} = \frac{\bar{V}}{\bar{I}}, \quad (1)$$

სადაც \bar{R} - იზოლაციის წინაღობა, მგომი; \bar{V} - ძაბვის განმეორებითი გაზომვების საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობა, ვოლტი; \bar{I} - დენის ძალის განმეორებითი გაზომვების საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობა, მიკროამპერი.

გაზომვის სქემის შესასვლელი სიდიდეებია: გაზომვის სერიის დამუშავებით მიღებული მონაცემების საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობები \bar{V} და \bar{I} ; გამოსასვლელი სიდიდეა - კაბელის იზოლაციის წინაღობა R .

ეტაპი 3. შესასვლელი სიდიდეების- ძაბვის და დენის ძალის გაზომვების შედეგები

ძაბვის პირდაპირი გაზომვების 12 სერიის შედეგი (ვოლტი) მოცემულია ცხრ. 1-ში.
ძაბვის გაზომვების დაუმუშავებული სერია (ნეღლი მონაცემები)

ცხრილი 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
500	465	490	505	515	525	505	495	500	490	510	520

დენის ძალის პირდაპირი გაზომვების 12 სერიის შედეგი (მკა) მოცემულია ცხრ. 2-ში.
დენის ძალის გაზომვების დაუმუშავებული სერია (ნეღლი მონაცემები)

ცხრილი 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
308	299	303	295	309	310	315	333	311	293	319	310

ეტაპი 4. ძაბვის და დენის ძალის განმეორებითი გაზომვების საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობების პირველადი შეფასება (\bar{V}) და (\bar{I}) მკა

ცხრ. 1-ის მიხედვით, \bar{V} მნიშვნელობის შეფასება გამოთვლილია ფორმულით:

$$\bar{V} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{n} = \frac{500 + 465 + 490 + 505 + 515 + 525 + 505 + 495 + 500}{12} + \frac{490 + 510 + 520}{12} = 501.67 \quad (3)$$

ცხრ. 2-ის მიხედვით, \bar{I} მნიშვნელობის შეფასება (მკა) გამოთვლილია ფორმულით:

$$\bar{I} = \frac{\sum_{i=1}^n I_i}{n} = \frac{308 + 299 + 303 + 295 + 309 + 310 + 315 + 333 + 311}{12} +$$

$$+ \frac{293 + 319 + 310}{12} = 308.75 \quad (\text{მკა})$$

ეტაპი 5. გაზომვის მონაცემების შემოწმება უხეში ცდომილებების შესაძლო არსებობაზე. ცალკეული გაზომვის სტანდარტული გადახრის შეფასება

ძაბვისა და დენის ძალის გაზომვის ცალკეულ შედეგებში შესაძლებელია არსებობდეს ისეთებიც (ისეთი), რაც შეიძლება შეიცავდეს უხეში ტიპის ცდომილებას. რადგან უცნობია (არ არის დადგენილი) გაზომვის მონაცემებში უხეში შეცდომების შესაძლო არსებობის მიზეზები, ამიტომ უხეში შეცდომების აღმოსაჩენად გამოთვლილია სტიუდენტის- t_{\max} კოეფიციენტი ფორმულით [4]:

$$t_{\max} = \frac{|A_i - \bar{A}|_{\max}}{s} \quad (2)$$

სადაც $|A_i - \bar{A}|_{\max}$ - გაზომვის ცალკეულ შედეგსა და ცდის მონაცემებით გაანგარიშებული საშუალო არითმეტიკულ სიდიდის შორის მაქსიმალური სხვაობის აბსოლუტური მნიშვნელობა; s - ცალკეული გაზომვის სტანდარტული გადახრის შეფასება.

ცხრ. 1-ის მიხედვით, ძაბვის მაქსიმალური აბსოლუტური გადახრა საშუალო მნიშვნელობიდან (501.67 ვ) შეადგენს $|V_i - \bar{V}|_{\max} = 36.67$ ვ. s - ცალკეული გაზომვის სტანდარტული გადახრის შეფასება :

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (V_i - \bar{V})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{2817}{12-1}} = 16.00 \quad \text{ვ}$$

სტიუდენტის სტატისტიკა (2) ფორმულით $t_{\max} = 2.2914$. სტიუდენტის კოეფიციენტი ცხრილიდან [4] სარწმუნო (სანდო) აღბათობით $P=0.95$ და თავისუფლების ხარისხით $k=n-1=12-1=11$ ტოლია $t(0.95;11) = 2.20$. რადგან, $t_{\max} = 2.29 > t(0.95;11) = 2.2$, ამიტომ გაზომვის შედეგებიდან უნდა გამოირიცხოს ცდის მონაცემი (465) როგორც უხეში ცდომილებით „დამძიმებული“ [3] და იგივე ალგორითმით ჩატარდეს დანარჩენი მონაცემების შემოწმება შესაძლო უხეში ცდომილების შემცველი მონაცემის აღმოსაჩენად მანამ, სანამ არ დაკმაყოფილდება უტოლობა $t_{\max} < t(0.95;k)$.

დარჩენილი 11 შედეგის ანალოგიური განხილვით მიიღება: $|V_i - \bar{V}|_{\max} = 20$; $s=10,488$; $t_{\max}=1.907$; $t(0.95;10) = 2.26$. რადგან, $t_{\max} = 1.907 < t(0.95;11) = 2.26$, ამიტომ ცალკეული გაზომვების ($n=11$) არც ერთი მონაცემი არ შეიცავს უხეში ტიპის ცდომილებას.

ცხრ. 2-ის მიხედვით, დენის ძალის მაქსიმალური აბსოლუტური გადახრა საშუალო მნიშვნელობიდან (308.75მკა) შეადგენს $|I_i - \bar{I}|_{\max} = 24.25$ მკა. s - ცალკეული გაზომვის სტანდარტული გადახრის შეფასება, ტოლია:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_i - \bar{I})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{1306}{12-1}} = 10.897 \quad (\text{მკა})$$

სტიუდენტის სტატისტიკა (2) ფორმულით $t_{\max} = 2.225$. სტიუდენტის კოეფიციენტი ცხრილიდან [4] სარწმუნო (სანდო) აღბათობით $P=0.95$ და თავისუფლების ხარისხით $k=n-1=12-1=11$ ტოლია $t(0.95;11) = 2.20$. რადგან $t_{\max} = 2.225 > t(0.95;11) = 2.2$, ამიტომ გაზომვის შედეგებიდან უნდა გამოირიცხოს ცდის მონაცემი (333), როგორც უხეში ცდომილებით „დამძიმებული“ [3] და იგივე ალგორითმით ჩატარდეს დანარჩენი მონაცემების შემოწმება

შესაძლო უხეში ცდომილების შემცველი მონაცემის აღმოსაჩენად მანამ, სანამ არ დაკმაყოფილდება უტოლობა $t_{\max} < t(0.95; k)$.

დარჩენილი 11 შედეგის ანალოგიური განხილვით მიიღება: $|I_i - \bar{I}|_{\max} = 13.545$; $s=8,153$; $t_{\max}=1.66$; $t(0.95;10) = 2.26$. რადგან, $t_{\max} = 1.661 < t(0.95;11) = 2.26$, ამიტომ ცალკეული გაზომვების ($n=11$) არც ერთი მონაცემი არ შეიცავს უხეში ტიპის ცდომილებას.

გაზომვების ორივე სერიის ერთობლივი განხილვის საფუძველზე რადგან ძაბვის გაზომვის დროს მონაცემი 465 ვ (მეორე სერია) უხეში გაზომვას მიეკუთვნება ამიტომ შესაბამისი დენის გაზომვის მონაცემიც 299 მკა უნდა გამოვიციხოთ დამუშავების ცხრილიდან, ანალოგიურად ამოსაღებია წყვილი 333 მკა და 495 ვოლტ (მე-8 სერია). შესაბამისად დამუშავებისათვის რჩება 10 წყვილი სერია.

ეტაპი 6. შესასვლელი სიდიდეების ძაბვის და დენის ძალის განმეორებითი გაზომვების საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობების დაზუსტებული შეფასება (\bar{V}) ვ და (\bar{I}), მკა:

$$\bar{V} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{n} = \frac{500 + 490 + 505 + 515 + 525 + 505 + 500 + 490 + 510 + 520}{10} = 506.00, \text{ ვ}$$

$$\bar{I} = \frac{\sum_{i=1}^n I_i}{n} = \frac{308 + 303 + 295 + 309 + 310 + 315 + 311 + 293 + 319 + 310}{10} = 307.30 \text{ (მკა)}$$

ეტაპი 7. გამოსასვლელი სიდიდის \bar{R} შეფასება:

$$\bar{R} = \frac{\bar{V}}{\bar{I}} = \frac{506.00}{307.3} = 1.647 \text{ მგომი.}$$

ეტაპი 8. გაზომვათა ცდომილების წყაროების ანალიზი

ძაბვისა და დენის ძალის გაზომვებს ახასიათებს გაზომვის როგორც შემთხვევითი ცდომილების, ასევე სისტემატური ცდომილების გამოურიცხავი მდგენელები.

ძაბვის გაზომვის შედეგის (საშუალო არითმეტიკულის) შემთხვევითი ცდომილების საშუალო კვადრატული გადახრის (სკვ) შეფასება და მისი ფარდობითი მაჩვენებელი:

$$U_A(\bar{V}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (V_i - \bar{V})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{1240}{10(10-1)}} = 3.71184, \text{ ვ და } \hat{U}_A(V) = \frac{3.71184}{506} \cdot 100 = 0.73\%$$

მულტიმეტრით (PEAKMETER PM890 C/D) ძაბვის გაზომვის გამოურიცხავი სისტემატური ცდომილების საზღვრებია (კალიბრების მონაცემებით) $\theta_V = \pm(0.5\% \cdot V + 3) = \pm(0.5 \cdot 506/100 + 3) = \pm 5.53$ ვ, რომელშიც უცნობი მნიშვნელობა შეიძლება იყოს თანაბარი აღბათობით განაწილებული. ასეთი განაწილებისათვის საშუალო კვადრატული გადახრა შეესაბამება B ტიპის განუსაზღვრელობას - $U_B(\bar{V})$: $U_B(\bar{V}) = \theta_V / (L\sqrt{3})$ ვ, სადაც $L=1,1$, როდესაც $P=0.95$, ანუ

$$U_B(\bar{V}) = 5.53 / (1.1\sqrt{3}) = 2.9059 \text{ ვ და } \hat{U}_B(\bar{V}) = \frac{2.9059}{506} \cdot 100 = 0.57\%$$

ძაბვის გაზომვის განუსაზღვრელობა A და B ტიპის მეთოდებით განსაზღვრული:

$$U(\bar{V}) = U_{AB}(\bar{V}) = \sqrt{[U_A(\bar{V})]^2 + [U_B(\bar{V})]^2} = \sqrt{3.71184^2 + 2.9059^2} = 4.7140 \text{ ვ.}$$

მულტიმეტრით (PEAKMETER PM890 C/D) დენის ძალის გაზომვის შემთხვევითი ცდომილების საშუალო კვადრატული გადახრის (სკვ) შეფასება და ფარდობითი მაჩვენებელი:

$$U_A(\bar{I}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_i - \bar{I})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{602}{10(10-1)}} = 2.5863, \quad \text{მკა} \quad \hat{U}_A(\bar{I}) = \frac{2.5863}{307.3} \cdot 100 = 0.84\%$$

მულტიმეტრით დენის ძალის გაზომვის გამოურიცხავი სისტემატური ცდომილების საზღვრებია (კალიბრების მონაცემებით) $\theta_I = \pm(0.8\% \cdot V + 3) = \pm(0.8 \cdot 307.3/100 + 3) = \pm 5.45$ ვ, რომელშიც უცნობი მნიშვნელობა შეიძლება იყოს თანაბარი ალბათობით განაწილებული. ასეთი განაწილებისათვის საშუალო კვადრატული გადახრა შეესაბამება B ტიპის განუსაზღვრელობას- $U_B(\bar{I})$, რომელიც ტოლია $U_B(\bar{I}) = \theta_I / (L\sqrt{3})$ მკა. სადაც $L=1,1$, როცა $P=0.95$, ანუ

$$U_B(\bar{I}) = 5.45 / (1.1\sqrt{3}) = 2.8639 \text{ მკა} \quad \text{და} \quad \hat{U}_B(\bar{I}) = \frac{2.8639}{307.3} \cdot 100 = 0.93\%$$

დენის ძალის გაზომვის განუსაზღვრელობა A და B ტიპის მეთოდებით განსაზღვრული

$$U(\bar{I}) = U_{AB}(\bar{I}) = \sqrt{[U_A(\bar{I})]^2 + [U_B(\bar{I})]^2} = \sqrt{2.5863^2 + 2.8639^2} = 3.85887 \text{ მკა.}$$

შესასვლელი სიდიდეების მახასიათებლები მოცემულია ცხრ. 3-ში.

ეტაპი 9. შესასვლელი სიდიდეების მგრძობიარობის კოეფიციენტები :

ძაბვის მგრძობიარობის კოეფიციენტი

$$C_V = \frac{\partial R}{\partial V} = \frac{1}{I} \Big|_{I=\bar{I}} = \frac{1}{307.3} = 3.254 \cdot 10^{-3} \text{ მკა}^{-1};$$

დენის ძალის მგრძობიარობის კოეფიციენტი

$$C_I = \frac{\partial R}{\partial I} = -\frac{V}{I^2} \Big|_{I=\bar{I}} = -\frac{506.00}{307.3^2} = -5.411 \cdot 10^{-3} \text{ ვ/მკა}^2.$$

ეტაპი 10. შესასვლელი სიდიდეების კრებსითი მახასიათებლები

შესასვლელი სიდიდეების კრებსითი მახასიათებლები მოცემულია ცხრ. 3-ში.

ცხრილი 3

სიდიდე	მონაცემები
შესასვლელი სიდიდე- ძაბვა V, ვ	განუსაზღვრელობის ტიპი - A
	განაწილება - ნორმალური
	შეფასებული მნიშვნელობა- 506
	მგრძობიარობის კოეფიციენტი- 0,003254
	სტანდარტული განუსაზღვრელობა- 3,71184
	განუსაზღვრელობის ტიპი - B
შესასვლელი სიდიდე- დენის ძალა I, მკა	განაწილება - თანაბარი
	შეფასებული მნიშვნელობა - 506
	მგრძობიარობის კოეფიციენტი- 3,71184
	სტანდარტული განუსაზღვრელობა- 2,9059
	განუსაზღვრელობის ტიპი - A
	განაწილება - ნორმალური
შესასვლელი სიდიდე- დენის ძალა I, მკა	შეფასებული მნიშვნელობა - 307,3
	მგრძობიარობის კოეფიციენტი- -0,005411
	სტანდარტული განუსაზღვრელობა- 2,5863
	განუსაზღვრელობის ტიპი- B
	განაწილება - თანაბარი
	შეფასებული მნიშვნელობა - 307,3
მგრძობიარობის კოეფიციენტი- -0,005411	
სტანდარტული განუსაზღვრელობა- 2,8639	

ეტაპი 11. გაზომვათა შედეგის ცდომილების წყაროების ანალიზი

კაბელის წინაღობის მნიშვნელობის სტანდარტული განუსაზღვრელობა, რაც განპირობებულია მდგენელით $U_A(\bar{V})$:

$$U_{AV}(R) = \frac{\partial R}{\partial V} \cdot U_A(\bar{V}) = 3.254 \cdot 10^{-3} \cdot 3.71184 = 0.01208 \text{ მგომი.}$$

კაბელის წინაღობის მნიშვნელობის სტანდარტული განუსაზღვრელობა, რაც განპირობებულია მდგენელით $U_A(\bar{I})$:

$$U_{AI}(R) = \frac{\partial R}{\partial I} \cdot U_A(\bar{I}) = -5.411 \cdot 10^{-3} \cdot 2.5863 = -0.01399 \text{ მგომი.}$$

A ტიპის მიხედვით გამოთვლილი ჯამური სტანდარტული განუსაზღვრელობა:

$$U_A(R) = \sqrt{(U_{AV}(R))^2 + (U_{AI}(R))^2} = \sqrt{0.01208^2 + (-0.01399)^2} = 0.01849 \text{ მგომი.}$$

კაბელის წინაღობის მნიშვნელობის სტანდარტული განუსაზღვრელობა, რაც განპირობებულია მდგენელით $U_B(\bar{V})$,

$$U_{BV}(R) = \frac{\partial R}{\partial V} \cdot U_B(\bar{V}) = 3.254 \cdot 10^{-3} \cdot 2.9059 = 0.00946 \text{ მგომი.}$$

კაბელის წინაღობის მნიშვნელობის სტანდარტული განუსაზღვრელობა, რაც განპირობებულია მდგენელით $U_B(\bar{I})$,

$$U_{BI}(R) = \frac{\partial R}{\partial I} \cdot U_B(\bar{I}) = -5.411 \cdot 10^{-3} \cdot 2.8639 = -0.015497 \text{ მგომი.}$$

B ტიპის მიხედვით გამოთვლილი ჯამური სტანდარტული განუსაზღვრელობა:

$$U_B(R) = \sqrt{[U_{BV}(R)]^2 + [U_{BI}(R)]^2} = \sqrt{0.00946^2 + (-0.015497)^2} = 0.01815 \text{ მგომი.}$$

კაბელის იზოლაციის წინაღობის მნიშვნელობის ჯამური განუსაზღვრელობა A და B ტიპის განუსაზღვრელობების გათვალისწინებით ტოლი იქნება:

$$U_C(R) = \sqrt{[U_A(R)]^2 + [U_B(R)]^2} = \sqrt{0.01849^2 + 0.01815^2} = 0.0259 \text{ მგომი}$$

და ფარდობითი განუსაზღვრელობა :

$$\hat{U}_C(R) = U_C(R) / \bar{R} \cdot 100 = 0.0259 / 1.647 \cdot 100 = 1.57\%$$

იზოლაციის წინაღობის გაზომვის კომბინირებული სტანდარტული განუსაზღვრელობის გამოთვლა ჩატარებული იყო ორი დაშვებით: 1) სამოდულო ფუნქცია $R = \bar{V} / \bar{I}$ წრფივი ხასიათისაა და განვიხილეთ მისი გაშლა ტეილორის მწკრივად პირველი რიგის წევრების საშუალებით; 2) შესასვლელ სიდიდეებს (პრედიქტორებს) შორის არ არსებობს ნიშნადი კორელაცია (სრულად დამოუკიდებელი სიდიდეებია). შესამოწმებელია ამ დაშვებების სამართლიანობა.

ეტაპი 12. სამოდულო ფუნქციის ანალიზი (არაწრფივი დამოკიდებულების გათვალისწინება)

შესამოწმებელია კონკრეტული გაზომვების პირობებისათვის სამოდულო ფუნქციის საგრძნობი არაწრფივობის გავლენა კომბინირებული სტანდარტული განუსაზღვრელობის გაანსაზღვრაში. ამისათვის სამოდულო ფუნქციის გაშლაში შევაფასოთ უფრო მაღალი (მეორე რიგის წევრების) გავლენა ფორმულით [2,3]:

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \left[\frac{1}{2} \left(\frac{\partial^2 f}{\partial x_i \partial x_j} \right)^2 + \frac{\partial f}{\partial x_i} \cdot \frac{\partial^3 f}{\partial x_i \partial x_i \partial x_j^2} \right] \cdot U^2(x_i) \cdot U^2(x_j) \quad , \quad (3)$$

ჩვენ შემთხვევისათვის (ორი ცვლადის $R=f(V,I)$ ფუნქცია) ფორმულა (3) მიიღებს სახეს:

$$\Delta = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \left[\frac{1}{2} \left(\frac{\partial^2 R}{\partial V_i \partial I_j} \right)^2 + \frac{\partial R}{\partial V_i} \cdot \frac{\partial^3 R}{\partial V_i \partial V_i \partial I_j^2} \right] \cdot U^2(V_i) \cdot U^2(I_j) = \left[\frac{1}{2} \left(\frac{\partial^2 R}{\partial V^2} \right)^2 + \frac{\partial R}{\partial V} \cdot \frac{\partial^3 R}{\partial V^3} \right] \cdot U^4(V) +$$

$$+ \left[\frac{1}{2} \left(\frac{\partial^2 R}{\partial V \partial I} \right)^2 + \frac{\partial R}{\partial V} \cdot \frac{\partial^3 R}{\partial V \partial I^2} \right] \cdot U^2(V) \cdot U^2(I) + \left[\frac{1}{2} \left(\frac{\partial^2 R}{\partial I \partial V} \right)^2 + \frac{\partial R}{\partial I} \cdot \frac{\partial^3 R}{\partial I \partial V^2} \right] \cdot U^2(I) \cdot U^2(V) +$$

$$+ \left[\frac{1}{2} \left(\frac{\partial^2 R}{\partial I^2} \right)^2 + \frac{\partial R}{\partial I} \cdot \frac{\partial^3 R}{\partial I^3} \right] \cdot U^4(I). \quad (4)$$

ფორმულა (4)-ში შემავალი კერძო წარმოებულებებისა და მათი შეფასებების $V = \bar{V}$ და $I = \bar{I}$ გათვალისწინებით მივიღებთ:

$$\frac{\partial R}{\partial V} = \frac{1}{\bar{I}}; \quad \frac{\partial^2 R}{\partial V^2} = 0; \quad \frac{\partial^3 R}{\partial V^3} = 0; \quad \frac{\partial R}{\partial I} = -\frac{\bar{V}}{\bar{I}^2}; \quad \frac{\partial^2 R}{\partial I^2} = \frac{2\bar{V}}{\bar{I}^3}; \quad \frac{\partial^3 R}{\partial I^3} = -\frac{6\bar{V}}{\bar{I}^4}; \quad \frac{\partial^2 R}{\partial I \partial V} = \frac{\partial^2 R}{\partial V \partial I} = -\frac{1}{\bar{I}^2}; \quad \frac{\partial^3 R}{\partial V \partial I^2} = \frac{2}{\bar{I}^3};$$

საბოლოოდ მიიღება გამოსახულება, ანალოგიური გამოსახულებისა [3]:

$$\Delta = \left[\frac{3}{\bar{I}^2} \cdot U^2(\bar{V}) + \frac{8 \cdot \bar{V}^2}{\bar{I}^4} \cdot U^2(\bar{I}) \right] \cdot \frac{U^2(\bar{I})}{\bar{I}^2} \quad (5)$$

ფორმულა (5)-ში მონაცემების რიცხვითი მნიშვნელობების ჩასმით მივიღებთ:

$$\Delta = \left[\frac{3}{307.3^2} \cdot 4.7140^2 + \frac{8 \cdot 506^2}{307.3^4} \cdot 3.85887^2 \right] \cdot \frac{3.85887^2}{307.3^2} = 5.629 \cdot 10^{-7} \text{ მგომი}^2.$$

მაშინ იზოლაციის წინააღობის გაზომვის კომბინირებულ სტანდარტული განუსაზღვრელობის მნიშვნელობა $U_C(R)^*$ პრაქტიკულად მიიღება იგივე და სამოდულო ფუნქციის არაწრფივობა გაგვჩვენებს არ ახდენს საბოლოო შედეგზე:

$$U_C(R)^* = U_C(R) = \sqrt{[U_A(R)]^2 + [U_B(R)]^2 + \Delta} = \sqrt{0.01849^2 + 0.01815^2 + 5.629 \cdot 10^{-7}} \cong 0.0259 \text{ მგომი}.$$

ეტაპი 13. ძაბვისა და დენის ძაღის გაზომვის შედეგებს შორის კორელაციის შემოწმება

იზოლაციის წინააღობის გაზომვის კომბინირებული (ჯამური) სტანდარტული განუსაზღვრელობის ანგარიში ჩატარებული იყო იმ დაშვებით, რომ შესასვლელ სიდიდეებს (პრედიქტორებს) შორის არ არსებობს ნიშნადი კორელაცია (სრულად დამოუკიდებელი სიდიდეებია). შევამოწმოთ ამ დაშვების სამართლიანობა, რისთვისაც ვიანგარიშოთ კორელაციის კოეფიციენტი ამ სიდიდეებს შორის და ნიშნადი კორელაციის შემოხვევაში შევაფასოთ მის მიერ შეტანილი წვლილი ჯამურ განუსაზღვრელობაში.

შევაფასოთ პრედიქტორებს (V და I) შორის კორელაციური ხარისხი გამოსახულებით:

$$r(\bar{V}, \bar{I}) = \frac{CP_V}{\sqrt{\sum_{k=1}^n (V_k - \bar{V})^2 \cdot \sum_{k=1}^n (I_k - \bar{I})^2}} = \frac{\sum_{k=1}^n (V_k - \bar{V}) \cdot (I_k - \bar{I})}{\sqrt{\sum_{k=1}^n (V_k - \bar{V})^2 \cdot \sum_{k=1}^n (I_k - \bar{I})^2}} \quad (6)$$

ფორმულაში (6) შესაბამისი რიცხვითი მნიშვნელობების ჩასმით კორელაციის კოეფიციენტისათვის მიიღება:

$$r(\bar{V}, \bar{I}) = \frac{427}{\sqrt{1240 \cdot 602.1}} = 0.4942.$$

ექსელის პროგრამული გამოთვლებით კორელაციის კოეფიციენტები მოცემულია ცხრ. 4-ში.

$r(\bar{V}, \bar{I}) = 0.4942$ მიუთითებს საშუალო სიდიერის კორელაციაზე ძაბვასა და დენის ძაღას შორის, შესაბამისად იგი შეიძლება აღმოჩნდეს ნიშნადი იზოლაციის წინააღობის გაზომვისას.

კორელაციის კოეფიციენტები $r(V,I)$; $r(V,R)$ და $r(I,R)$.

ცხრილი 4

	V	I	R
V	1	0.494177216	0.392003104
I	0.494177216	1	-0.60578647
R	0.392003104	-0.60578647	1

პრედიქტორების იზოლაციის წინააღმდეგ მიმართებაში კორელაციის ხარისხი შემდეგია: საშუალო დადებითი კავშირია $r(V,R)=0,39$ დაბვასა და წინააღმდეგ შორის და უარყოფითი ძლიერი კავშირია $r(V,I)=-0,6$ დენის ძალასა და წინააღმდეგ შორის.

შესამოწმებელია პრედიქტორებს შორის არსებული კორელაცია ნიშნადია, თუ არა წინააღმდეგის გაზომვის არსებული პირობებისათვის.

კორელაციის არსებობის დროს კომბინირებული განუსაზღვრელობის დისპერსია იანგარიშება ფორმულით:

$$U_c^2(Y) = \sum_{i=1}^N C_i^2 \cdot U^2(x_i) + 2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=2}^N C_i C_j r(x_i, x_j) U(x_i) U(x_j), \quad (7)$$

ორი V და I ცვლადი სიდიდის შემთხვევაში ($N=2$) ფორმულა (7) ჩაიწერება:

$$U_c^2(R) = C_V^2 \cdot U^2(\bar{V}) + C_I^2 \cdot U^2(\bar{I}) + 2C_V C_I r(\bar{V}, \bar{I}) U(\bar{V}) U(\bar{I}) \quad (8)$$

რიცხვითი მნიშვნელობების ჩასმით მიიღება:

$$U_c^2(R) = (3.254 \cdot 10^{-3})^2 \cdot (4.7140)^2 + (-5.411 \cdot 10^{-3})^2 \cdot (3.85887)^2 + 2 \cdot 3.254 \cdot 10^{-3} \cdot (-5.411 \cdot 10^{-3}) \cdot 0.4942 \cdot 4.714 \cdot 3.85887 = 0.0003547$$

კომბინირებული განუსაზღვრელობისთვის მივიღებთ ახალ დაზუსტებულ მნიშვნელობას:

$$U_c(R) = 0.0188 \text{ მგომი, ანუ}$$

$$\hat{U}_c(R) = U_c(R) / \bar{R} * 100 = 0.0188 / 1.647 * 100 = 1.14\%$$

ეტაპი 14. თავისუფლების ხარისხთა ეფექტურობის რიცხვი და გაფართოებული განუსაზღვრელობა

თავისუფლების ხარისხთა ეფექტურობის რიცხვი იანგარიშება ველჩ-სატერსვეიტის ფორმულით [2], რომელიც ჩვენი შემთხვევისთვის ჩაიწერება

$$v_{\text{შვ}} = (10 - 1) \cdot \left(1 + \frac{U_B^2(R)}{U_A^2(R)} \right)^2 \quad (9)$$

ფორმულაში რიცხვითი მნიშვნელობების $n=10$; $U_B(R) = 0.01815$ მგომი და $U_A(R) = 0.01849$ მგომი, მიიღება:

$$v_{\text{შვ}} = (10 - 1) \cdot \left(1 + \frac{0.01815^2}{0.01849^2} \right)^2 = 34.73$$

$$v_{\text{შვ}} = 34 \text{ (დამრგვალება უმცირეს მთელ რიცხვამდე).}$$

$P=0.95$ სანდო აღბათობისათვის მოცვის კოეფიციენტი k განისაზღვრება როგორც სტიუდენტის განაწილების კოეფიციენტი $k = t_p(v_{\text{შვ}}) = t_{0.95}(34) = 2.03$, რასაც შეესაბამება გაფართოებული განუსაზღვრელობის შეფასება $U(R) = k \cdot U_c(R) = 0.0188 \cdot 2.03 = 0.038$ მგომი, ანუ $\hat{U}(R) = U(R) / \bar{R} \cdot 100 = 2.3\%$.

ინტერვალური შეფასება იქნება $(1.609 \leq R \leq 1.685)$ მგომი, $P = 0.95$.

1. Малиновский В.Н. Электрические измерения. М. 1985.
2. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement/First edition-ISO/Switzerland 1993/101p. Руководство по выражению неопределенностей измерения . Русский перевод. Санкт –Петербург. 1999.
3. ჟვანია რ. გაზომვის განუსაზღვრელობის თეორიის საფუძვლები. თბილისი. 2012.
4. Олейник Б.Н. Точная калориметрия. М. 1973.

ESTIMATION OF UNCERTAINTY OF MEASUREMENT RESULT OF HIGH-VOLTAGE CABLE INSULATION.

G. Khurtsilava, O. Kiguradze. "Energy". №1(97). 2021. Tbilisi. p. 21-29. geo. sum geo. engl. rus.

Periodic inspection of the parameters of the power cable insulation is current task, since, as the time passes, during exploitation, the insulation material loses its quality, gets old, gets damaged mechanically which eventually is reflected in the reduction of its breaking power. This, in return, helps to trigger emergency modes in relevant electrical circuits and finally the electric breakthrough of the cable insulation. It is possible to avoid such undesirable modes by monitoring the value of the insulation resistance against direct current.

Insulation resistance of the power cables used in the narrow-gauge train locomotive was periodically monitored.

Uncertainty concept was used for estimating infallibility (accuracy) of the measurement results which over the recent years, in the developed countries, has replaced “traditional” error method of the estimation of the measurement accuracy.

$(1.609 \leq R \leq 1.685)$ მგომო, $P = 0.95$ is received for intermediate estimation of the extended uncertainty.

Tabl. 4, bibl. 4.

ОЦЕНКА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ РЕЗУЛЬТАТА ИЗМЕРЕНИЙ ЭЛЕКТРОСОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО КАБЕЛЯ.

Г.Хурцилава, О.Кигурадзе. "Энергия". №1(97). 2021. Тбилиси. с.21-29. груз. реф. груз. англ. рус.

Периодический контроль параметров электроизоляции силового кабеля является актуальной задачей, поскольку изоляционный материал в процессе эксплуатации со временем теряет свои качества, устаревает, механически повреждается, что в конечном итоге отражается на снижении его пробивного напряжения. Это, в свою очередь, способствует возникновению аварийных режимов в соответствующих электрических цепях и, в конечном итоге - электрическому пробое изоляции кабеля. Избежать этих нежелательных режимов можно, периодически контролируя величину сопротивления изоляции.

Осуществлен контроль электроизоляции силовых кабелей, используемых в локомотиве узкоколейного поезда. Для оценки точности результатов измерений использовалась концепция неопределенности, которая в основных развитых странах в последние годы пришла на смену «традиционному» методу оценки точности измерений.

Для интервальной оценки расширенной неопределенности получено $(1.609 \leq R \leq 1.685)M\Omega$, $P = 0.95$.

Табл. 4, лит.. 4.

საქართველოს ელექტროენერგეტიკული სისტემის ავარიული მდგომარეობის მართვა

დოქტორი **არჩილ კოსტაშვილი**
დოქტორანტი **ვიორგი ხორბალაძე**

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ანოტაცია. განხილულია ავარიული მდგომარეობის მართვის პროცედურა. კერძოდ, არსებობს ორი განსხვავებული მდგომარეობა: საგანგებო და ავარიული. ზოგადად, მთავრობას უფლება აქვს გამოაცხადოს საგანგებო მდგომარეობა, ხოლო სსე - როგორც გადამცემი სისტემის ოპერატორი საქართველოში - უფლებამოსილია გამოაცხადოს ავარიული მდგომარეობა. მისი გაუქმების შემდეგ საჭიროა გამოიყენოს ადეკვატური კომპენსაციის მექანიზმები, აგრეთვე შესაბამისი ვადების გათვალისწინებით უბალანსობის მონაცემები უნდა იქნას შესწორებული.

საკვანძო სიტყვები: ავარიული მდგომარეობა, საგანგებო მდგომარეობა, ავარია, სადისპეტჩერო ცენტრი, საქართველოს სახელმწიფო ელექტროსისტემა, უბალანსობის კალკულაცია, ენერგეტიკული სისტემის მართვა, ავარიული რეზერვები.

საქართველოს სახელმწიფო ელექტროსისტემა (სსე) არის გადამცემი სისტემის ოპერატორი (გსო). აქედან გამომდინარე, მას უნდა შეეძლოს ავარიული მდგომარეობის იდენტიფიცირება, დეკლარაცია და გაუქმება. სტატია განიხილავს შემდეგ შემთხვევებს, რაც უმნიშვნელოვანესი ფაქტორია ავარიული მდგომარეობის მართვისათვის:

- ავარიული მდგომარეობის გამოცხადება/გაუქმება გსო-ს მიერ;
- რა პირობებში უნდა შეეძლოს გსო-ს მოითხოვოს დაბალანსებაზე პასუხისმგებელი პირისგან (BRP), გადაუხვიონ საკუთარ ნომინაციას;
- დაზარალებული მხარეებისთვის ანაზღაურების კომპენსაცია;
- რა პირობებში შეუძლია გსო-ს აიძულოს დაბალანსების მომსახურების მიმწოდებელს (BSP) გააქტიუროს რეზერვები;
- როგორ უნდა მოხდეს გსო-ს მიერ BSP-ის მხრიდან რეზერვის იძულებითი გააქტიურების მოთხოვნა და კომპენსაცია;
- რა პირობებში შეუძლია გსო-ს გააუქმოს/შეზღუდოს საექსპორტო/საიმპორტო სიმძლავრე.

თუ განვიხილავთ ენერგეტიკული სექტორის ორ უმნიშვნელოვანეს დოკუმენტს - კანონს „ენერგეტიკისა და წყალმომარაგების შესახებ“ და ქსელის წესებს დავასკვნით, რომ საგანგებო სიტუაციების ორი მდგომარეობაა: საგანგებო და ავარიული.

ენერგეტიკისა და წყალმომარაგების შესახებ კანონის 136-ე მუხლის თანახმად, მთავრობას ან მთავრობის მიერ უფლებამოსილ ორგანოს ელექტროენერჯის ორგანიზებულ ბაზრებზე შეუძლია გამოაცხადოს საგანგებო მდგომარეობა:

1. ელექტროენერჯეტიკის სექტორში საგანგებო მდგომარეობა შეიძლება გამოცხადდეს, თუ ელექტროენერჯის წარმოება, გადაცემა, განაწილება, მიწოდება ან/და ელექტროენერჯით ვაჭრობა ფერხდება მოულოდნელი გარემოებების ან შესაბამისი ელექტროენერჯეტიკული საწარმოს კონტროლის მიღმა არსებული გარემოებების გამო, რომლებითაც საფრთხე ექმნება ელექტროენერჯეტიკული სისტემის ერთიან უსაფრთხოებასა და საიმედოობას ან საბოლოო მომხმარებლების მოთხოვნის დასაკმაყოფილებლად მათთვის ელექტროენერჯის მიწოდებას.

2. ელექტროენერჯეტიკის სექტორში საგანგებო მდგომარეობა ცხადდება საქართველოს მთავრობის ან მის მიერ განსაზღვრული ორგანოს გადაწყვეტილებით. ელექტროენერჯეტიკის სექტორში საგანგებო მდგომარეობის გამოცხადების წესს ამტკიცებს საქართველოს მთავრობა.

მთავრობას უფლება აქვს გამოაცხადოს საგანგებო მდგომარეობა, ხოლო სსე უფლებამოსილია გამოაცხადოს ავარიული მდგომარეობა.

ქსელის წესები კი შემდგენაირად განმარტავს ავარიულ მდგომარეობას:

ოპერატიული მდგომარეობა, რომელიც ექვემდებარება გსო-ს კონტროლს ელექტროენერჯეტიკის სისტემაში არსებული ისეთი მდგომარეობის აღმოსაფხვრელად, რამაც გამოიწვია ან შეიძლება გამოიწვიოს ხარისხობრივი მაჩვენებლების გაუარესება, გენერაციისა და მოხმარების ბალანსის დარღვევა ან მისთვის საფრთხის შექმნა ან/და სისტემის იმ ავტომატური მოწყობილობების ამოქმედება, რომლებიც უზრუნველყოფენ სისტემის მდგრადობას, მიწოდებისა და მოხმარების ბალანსის დარღვევის თავიდან ასაცილებლად;

ავარიული მდგომარეობა არის რეჟიმული მდგომარეობა, რომლის დადგომის საფრთხეც არსებობს ან უკვე დამდგარია. როდესაც სისტემა იმყოფება ავარიულ მდგომარეობაში, ან არსებობს საფრთხე აღნიშნული რეჟიმის დადგომისა, გსო-მ უნდა მიაწოდოს ინფორმაცია ბაზრის მონაწილეებს ავარიული მდგომარეობისა და მისი ბუნების, ასევე სავარაუდო ხანგრძლივობის შესახებ, რადგანაც მნიშვნელოვანია ბაზრის მონაწილე იცოდეს აღნიშნული მდგომარეობა.

სსე-ს დისპეტჩერებმა უნდა მიიღონ ფინანსურად, ეკონომიკურად და ტექნიკურად გონივრული ოპერაციული ზომები, რათა აღადგინონ ოპერაციული მდგომარეობა საავარიო მდგომარეობის დაწყებამდე. აღნიშნული ქმედებები შეიძლება დაიყოს ორ ნაწილად:

1. ხდომილებამდე - დისპეტჩერები იღებენ პრევენციულ დამხმარე ზომებს, რომლებიც შეიცავს შემამსუბუქებელ ზომებს, როგორცაა: ნომინაციების შეზღუდვა, იმპორტ/ექსპორტის გრაფიკის ცვლილება.

2. ხდომილების შემდგომ - დისპეტჩერები იყენებენ ფიზიკურ დეაქტივაციას, რომელიც შეიცავს შემარბილებელ ზომებს, როგორცაა: მანუალური ფიზიკური დეაქტივაცია, ავტომატური დეაქტივაცია

ავარიული მდგომარეობის დროს, შემამსუბუქებელი ზომები შეიძლება დაიყოს ოთხ ნაწილად: სწრაფი და ნელი საავარიო რეზერვის აქტივაცია, ნომინაციების ცვლილება, იმპორტ/ექსპორტის შეზღუდვა, გენერაცია/მოხმარების გათიშვა.

სწრაფი და ნელი ავარიული რეზერვების გააქტიურება ემსახურება სისტემაში გენერაცია/მოხმარების დაბალანსებას.

სწრაფი ავარიული რეზერვის მომზადების პერიოდი შეადგენს 0-1 სთ-ს. სიმძლავრის აწევის დრო - 35 წთ. მინიმალური და მაქსიმალური ხანგრძლივობა აღნიშნული პროდუქტის მიწოდების პერიოდისა არის შესაბამისად 1 სთ და არაუმეტეს - 24 სთ.

ნელი ავარიული რეზერვის მომზადების პერიოდი შეადგენს 0-24 სთ-ს. სიმძლავრის აწევის დრო - 12 სთ. მინ. და მაქს. ხანგრძლივობა პროდუქტის მიწოდების პერიოდისა არის, შესაბამისად, 1 საათი და არაუმეტეს 24 სთ.

დისპეტჩერი აკვირდება სისტემის მუშაობის ტექნიკურ მაჩვენებლებს და აუქმებს ავარიულ მდგომარეობას საჭიროების შემთხვევაში. ამის შემდგომ მან უნდა შეატყობინოს ბაზრის მონაწილეებს. ის ანაღლიზებს ავარიულ მდგომარეობას და ანგარიშის სახით უგზავნის ბაზრის მოთამაშეებს.

ავარიული მდგომარეობის დროს მნიშვნელოვანია დაზარალებული მხარეების ანაზღაურება, რომელიც მოითხოვს სამართლიან კომპენსაციის მექანიზმს. ავარიული მდგომარეობის დროს, გადამცემი სისტემის ოპერატორმა უნდა უზრუნველყოს იმ მხარეების ანაზღაურება, რომლებმაც გადაუხვიეს თავიანთ ნომინაციებს გსო-ს მითითებით.

**MANAGEMENT OF EMERGENCY STATE OF ELECTRIC POWER SYSTEM OF GEORGIA.
A.Kokhtashvili, G.Khorbaladze. "Energy". №1(97). 2021. Tbilisi. p. 30-33. geo. sum geo. engl. rus.**

The article discusses the procedure used for the management of emergency cases. In particular, two different states of emergency are in place, i.e. Emergency State and Emergency Incident. In general, the Government is eligible to declare an Emergency State, whereas GSE – as the Transmission System Operator in Georgia – is empowered to announce an Emergency Incident. After the revocation of the emergency, adequate compensation mechanisms need to be applied as well as the imbalance data amended for the relevant time-frame.

УПРАВЛЕНИЕ АВАРИЙНЫМ СОСТОЯНИЕМ ЭЛЕКТРЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ ГРУЗИИ.

А.Кохташвили, Г.Хорбаладзе. "Энергия". №1(97). 2021. Тбилиси. с.30-33. груз. реф. груз. англ. рус.

Рассматривается порядок ведения экстренных случаев с целью защиты электроэнергетической системы Грузии от аварий. В частности, действуют два разных чрезвычайных положения: само чрезвычайное положение и аварийная ситуация. Как правило, правительство имеет право объявить чрезвычайное положение, в то время как Грузинская государственная электросистема - как оператор системы передачи в Грузии - имеет право объявить об аварийной ситуации. Показано, что после отмены чрезвычайной ситуации необходимо использовать адекватные механизмы компенсации, а также скорректировать данные о дисбалансе для соответствующего периода времени.

ზაქტორები, რომლებიც განაკირობებენ წვევის ძრავების რესურსს და ექსპლუატაციის ოპტიმალურ ვადას

ტექნ. მეცნ. კანდიდატი, პროფესორი *თენგიზ ნათენაძე*
ტექნ. მეცნ. კანდიდატი, ასისტ.-პროფესორი *არჩილ ზერეპიძე*
აკადემიური დოქტორი, ასოც. პროფესორი *ნატალია კერესელიძე*

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ანოტაცია. დადგენილია, რომ დროულად და ხარისხიანად ჩატარებული საქარხნო რემონტი და ქარხანა-დამამზადებლის მიერ შემუშავებული ექსპლუატაციის წესების და ინსტრუქციების სწორად დაცვა უზრუნველყოფს წვევის ძრავების მსახურობის ვადის გაზრდას.

გამოვლენილია, გაანალიზებულია და დასაბუთებულია გარემონტებული წვევის ძრავების პარამეტრების გაუარესების მიზეზები.

საკვანძო სიტყვები: ძრავების რესურსი, ოპტიმალური ვადა, ექსპლუატაცია.

სარკინიგზო ტრანსპორტის რიტმულად და საიმედოდ მუშაობა ძირითადად განპირობებულია წვევის ელექტრული მანქანების საიმედო მუშაობით. წვევის ელექტრულ მანქანებში იგულისხმება ელექტრომოდრავი შემადგენლობის წვევის ძრავები და დამხმარე მექანიზმების (ჰაერის კომპრესორები, ვენტილატორები და სხვა) მოძრაობაში მომყვანი მანქანები. წვევის ელექტრული მანქანების საიმედო მუშაობა, მათი მსახურობის ვადის გაზრდა განსაკუთრებულ მნიშვნელობას იძენს იმ პირობებში, როდესაც გაზრდილია წვევის ელექტრომოდრავი შემადგენლობის სინქარეები, ტვირთის ნორმები და უსაფრთხოების მოთხოვნები.

წვევის ელექტრულ მანქანებზე მთელი მოძრავი შემადგენლობის მტყუნებების დაახლოებით 19-20% მოდის.

ნორმატიული დოკუმენტების მიხედვით, სხვადასხვა ტიპის ელმავლების მსახურობის ვადა მთლიანობაში 30-40 წელს შეადგენს. თუმცა ამ ვადის გასვლის შემდეგაც შეიძლება ჩატარდეს რემონტი მსახურობის ვადის გაგრძელების მიზნით 50 წლამდე.

ელმავლების ერთ-ერთი ყველაზე უფრო მნიშვნელოვანი კვანძი, რომელიც, როგორც ზემოთ აღინიშნა, განაკირობებს ელექტრომოდრავი შემადგენლობის ნორმალურ ფუნქციონირებას, წარმოადგენს წვევის ძრავა. წვევის ძრავები მიეკუთვნება ელმავლების ყველაზე უფრო საპასუხისმგებლო და ძვირადღირებულ კვანძებს. მათი მსახურობის ვადა შეზღუდულია იზოლაციის დაბერებით, ექსპლუატაციის პროცესში წარმოქმნილი დინამიკური დატვირთვების მაღალი დონით და შემადგენელი ნაწილების ცვეთით.

ჩვეულებრივ, წვევის ძრავების მსახურობის ვადა დამოკიდებულია ექსპლუატაციის პირობებზე, კონსტრუქციულ მასალებზე, მორალური დაძველების ტემპებზე და ასევე სამუშაო პრაქტიკაზე, რომელიც, თავის მხრივ, დამყარებულია ცალკეული სახის მანქანების სამუშაო გამოცდილებით, ანუ ექსპლუატაციით.

ექსპლუატაციის პროცესში განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება წვევის ძრავების მომსახურების პირობების და ვადების დაცვას, აგრეთვე პროფილაქტიკურ (რემონტშორის) გამოცდებს.

პროფილაქტიკური გამოცდები იძლევა საშუალებას გამოვლენილ იქნეს ის უწყისობები, რომელთა გამოვლენა ვერ ხერხდება გარეგანი დათვალიერებისას, იმდენად რამდენადაც, მათ არ გააჩნიათ გარეგანი გამოვლინება. ამ გამოცდების დროს ხდება წვევის ძრავების იზოლაციის წინააღობის შემოწმება (1000 ვოლტზე ელ.მანქანების იზოლაციის წინააღობის შემოწმება უნდა მოხდეს 1000 ომიანი მეგაომმეტრით, ხოლო უფრო მაღალი ძაბვის მანქანებზე 2500 ვოლტ-ომიანი მეგაომმეტრით).

ტექნიკური მომსახურების სამუშაოების დიდი სხვადასხვაობის გამო მიზანშეწონილია გამოყენებულ იქნეს მომსახურების ტიპური მოცულობა, რომელიც გულისხმობს ყოველდღიურ ზედამხედველობას ქარხანა დამამზადებლის მიერ შემუშავებული ექსპლუატაციის წესებსა და ინსტრუქციების შესრულებაზე (დატვირთვის კონტროლი, წვევის ელ.მანქანის ცალკეული კვანძების ტემპერატურის კონტროლი, გამაცივებელი გარემოს კონტროლი, საპოხის რაოდენობის კონტროლი საკისრებში, გადამეტებული ხმაური და ვიბრაცია, მომატებული ნაპერწკლიანობა კოლექტორის ზედაპირზე) და მიღება-ჩაბარების გამოცდაზე რემონტის შემდეგ. გარდა ამისა, აუცილებელია წვევის ძრავების მართვისა და დაცვის სისტემების რემონტიც, რაც წვევის ძრავების ზღვრულ რეჟიმებში მუშაობის შესაძლებლობას ამცირებს.

ელმანქანების მუშაობაზე დიდ გავლენას ახდენს ცალკეული კვანძების მუშა ტემპერატურა, იმდენად რამდენადაც ელ.მანქანები მზადდება მასალებისაგან, რომელთაც ტემპერატურული გაფართოების სხვადასხვა კოეფიციენტები აქვთ. ანუ დიდი გადახურებისას საიზოლაციო მასალებში შეიძლება გაჩნდეს დიდი თერმოდინამიკური დაძაბულობები, რაც, თავის მხრივ, გამოიწვევს დიდ მექანიკურ დეფორმაციებს გრაფილების იზოლაციებში. გახურებისადმი განსაკუთრებით მგრძობიარე არაორგანულ ფუძეზე დამზადებული იზოლაციები [1, 2].

მაგისტრალური ელმავლებისგან განსხვავებით, სხვადასხვა ტიპის წვევის ძრავების სავარაუდო მსახურობის ვადა 20-25 წელს შეადგენს. ზემოთქმულიდან ჩანს, რომ ერთი ელმავლის მსახურობის ვადის (30-40 წელი) უზრუნველსაყოფად საჭირო ხდება მისი წვევის ძრავების ახლით ჩანაცვლება.

თავისი სასიცოცხლო ვადის განმავლობაში წვევის ძრავები გადიან რამდენიმე საშუალო და კაპიტალურ შეკეთებას. ჩვეულებრივ, წვევის ძრავების რემონტის წესები

დადგენილია წვევის ძრავების ტიპაჟის ან/და იმ პირობების მიხედვით, რომლისთვისაც განკუთვნილია ელმაგლის მუშაობა. რემონტის წესების მიხედვით დადგენილია საშუალო და კაპიტალური რემონტის ჩატარების შესაბამისი გარბენები. საშუალო და კაპიტალური რემონტის გარბენები შესაბამისად 660 და 1320 ათას კმ შეადგენს E20%-იანი გადახრის გათვალისწინებით.

მთავარი განმასხვავებელი ფაქტორი, რომლითაც განსხვავდება საშუალო და კაპიტალური რემონტები, არის ის, რომ საშუალო რემონტი ითვალისწინებს წვევის ძრავას იზოლაციის შეცვლას და საუღენტო სამუშაოების ჩატარებას, ხოლო კაპიტალური რემონტი – იზოლაციის და გრაგნილების სრულად შეცვლას ღუზის ლილვის გამოპრესვით.

თბილისის სააქციო საზოგადოება “ელმაგალმშენებელში” შემუშავებული წვევის ძრავების რემონტის წესების მიხედვით, გათვალისწინებულია წვევის ძრავების საქარხნო რემონტის ჩატარების შემდეგი სტრუქტურა: პირველი რემონტი – საშუალო, მეორე – კაპიტალური და შემდგომ ისინი ერთმანეთს ენაცვლებიან, ანუ თითოეულ კაპიტალურ რემონტს წინ უსწრებს საშუალო რემონტი. თუმცა ეს სტრუქტურა შეიძლება დაირღვეს, თუ, მაგალითად, წვევის ძრავა მოხვდება ავარიაში. ან კიდევ აღმოჩნდება, რომ უკონტროლობის გამო წვევის ძრავას გარბენი მნიშვნელოვნად გადააჭარბებს რემონტის ჩატარების ნორმას. ერთი სიტყვით, ექსპლუატაციაში სარემონტო ციკლის სტრუქტურა არც თუ ისე იშვიათად შეიძლება დაირღვეს სხვადასხვა მიზეზების გამო, მაგრამ რემონტის ვადები და მოცულობები რჩება უცვლელი, რაც მოქმედებს მტყუნებების საერთო რაოდენობის გაზრდაზე ექსპლუატაციაში.

ამგვარად, პრაქტიკაში შეიძლება ადგილი ქონდეს სხვადასხვა მოცულობის საქარხნო რემონტების მრავალ კომბინაციას. ერთ-ერთი ასეთი მაგალითი წვევის ძრავების ღუზებზე მოცემულია ცხრილში [3].

რემონტების ჩატარების პირველი ოთხი შემთხვევისათვის პირველი საქარხნო რემონტი ჩატარდა კაპიტალური რემონტის მოცულობაში. ეს ავარიული სიტუაციის შექმნაზე მიუთითებს, რომლის მიზეზიც იზოლაციის გარღვევა შეიძლება იყოს ელმაგლის მაგისტრალზე მოძრაობისას.

ცხრილის ანალიზი აჩვენებს, რომ 13-ვე განხილული რემონტის თანამიმდევრობისთვის, გარბენები მცირდება წვევის ძრავების მსახურობის ვადის გაზრდასთან მიმართებაში.

ყოველი ახალი წვევის ძრავას თავისი ღირებულება აქვს, ხოლო მისი ღირებულების შეფარდება გარბენთან წარმოქმნის კუთრ დანახარჯებს წვევის ძრავას დამზადებაზე (ანუ, ამით განისაზღვრება რამდენი ჯდება გარბენის თითოეული კილომეტრი).

საშუალო რემონტში შორის გარბენების ცვლილება ჩატარებული საქარხნო რემონტების რაოდენობის ზრდის მიხედვით წვევის ძრავებისათვის

ცხრილი

№	საქარხნო რემონტების ჩატარების თანამიმდევრობა	ორ მიმდევრობით ჩატარებულ რემონტს შორის საშუალო გარბენები, ათ. კმ.						რემონტების ოპტიმალური რაოდენობა	გარბენი, წვევის ძრავას ზღვრულ მდგომარეობაში, ათ. კმ
		0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6		
1	H-K-K-Сопт--K-C-C-K	665	586	540	543	—	—	3	2334
2	H-K-C-C-Сопт--K-K	563	434	474	694	343	—	4	2508
3	H-K-C-K-Сопт--C-C	539	492	658	443	413	—	4	2545
4	H-K-C-Сопт--C-K-C-K	632	363	443	408	—	—	3	1846
5	H-C-K-Сопт--K-C-C	610	631	539	429	—	—	3	2209
6	H-C-K-Сопт--C-K-K-C-C	579	610	485	409	—	—	3	2083
7	H-C-K-C-Сопт--K-K-C-K	596	542	508	599	329	—	4	2574
8	H-C-K- C-Сопт--C-K-K	616	562	522	534	474	—	4	2708
9	H-C-K-Сопт--K-K-K-C	633	594	474	554	377	—	4	2629
10	H-C-C-K-Сопт--K-K	520	500	505	578	270	—	4	2373
11	H-C-C-K-C-Сопт--C-C-K	504	427	594	575	532	525	5	3157
12	H-C-C-K-C-Сопт--K-C-K	502	466	557	561	546	461	5	3093
13	H-C-C-C-K-Сопт--K-C-K	544	419	511	403	360	393	5	2730

აქ H – ახალი ძრავა (ექსპლუატაციის დასაწყისი); C – წვევის ძრავა საშუალო რემონტის ჩატარების შემდეგ; K – წვევის ძრავა კაპიტალური რემონტის ჩატარების შემდეგ.

კუთრი დანახარჯების სიდიდე წვევის ძრავის დამზადებაზე თანდათან მცირდება გარბენის კილომეტრაჟის ზრდასთან დამოკიდებულებით და საბოლოო ჯამში ეს სიდიდე განსაზღვრავს წვევის ძრავას გამოყენების ეკონომიკურ ეფექტურობას. თუმცა პრაქტიკაში წვევის ძრავებს არემონტებენ და რემონტის თითოეულ სახეს თავისი ღირებულება აქვს.

ამ ღირებულებების ფარდობა შესაბამის გარბენებთან წარმოქმნის კუთრი დანახარჯებს წვევის ძრავების რემონტზე.

როგორც ზემოთ აღინიშნა, ცხრილში მოცემული მონაცემები გვიჩვენებს, რომ საშუალო რემონტში შორის გარბენები მცირდება მსახურობის ვადის ზრდასთან ერთად. ამიტომ რემონტზე კუთრი დანახარჯები იზრდება (იმ პირობით, რომ რემონტების

ღირებულება განხილულ პერიოდში არ იცვლება). რადგან კუთრი დანახარჯები წვეის ძრავას დამზადებაზე გარბენის ზრდასთან ერთად მცირდება, ხოლო რემონტზე კი იზრდება, მაშინ შეიძლება ითქვას, რომ როდესაც მათ ჯამს ექნება მინიმალური მნიშვნელობა, იგი შეესაბამება წვეის ძრავას ოპტიმალურ მსახურობის ვადას, რომლის შემდგომაც წვეის ძრავების შემდგომი ექსპლუატაცია ეკონომიკურად არამიზანშეწონილი ხდება.

გარემონტებული წვეის ძრავების პარამეტრების გაუარესების მიზნებად ითვლება: ექსპლუატაციაში მუსდამჭერების არასწორი რეგულირება, დამატებით პოლუსებთან მეორე ღრეჩოს ცვლილება, მუსების ნეიტრალზე არასწორად დაყენება მთავარი და დამატებითი პოლუსების მიმართ, კოლექტორის გადაჩარხვა, რაც საზური სიჩქარის ცვლილებას იწვევს, რაც, თავის მხრივ, ამცირებს კომუტაციის პერიოდს, კოლექტორის ფირფიტების “გადაწყობა” კაპიტალური რემონტის დროს, რაც იწვევს კოლექტორის ფირფიტების არასწორ განლაგებას ღუზის კილოს ცენტრის საზის მიმართ, და, თავის მხრივ, გამოიწვევს ნაპერწკლიანობას.

ხარისხიანი რემონტი და ექსპლუატაციის პირობების სწორად დაცვა უფრო აქტუალურია იმის გათვალისწინებით, რომ მრეწველობაში ელ.ძრავებზე მთელი ენერგეტიკული სიმძლავრის 70% მოდის [4].

ლიტერატურა

1. Антонов М.В. и др. Эксплуатация и ремонт электрических машин. М.: Высшая школа. 1989.
2. Шантаренко С.Г., Белан Д.Ю. и др. Термодинамические процессы в тяговом электродвигателе/ Вестник Ростовского Гос. ун-та путей сообщения. Ростовский Гос. ун-т путей сообщения. Ростов-на-Дону. 2009. №1.
3. Исаев И.П. и др. От чего зависит ресурс тяговых двигателей//Электрическая и тепловозная тяга. 1988. №1.
4. Водолазов В.Н., Идиатулин Р.Г. Повышение эксплуатационной надежности тяговых электродвигателей с целью энергосбережения// Материалы 4-й Российской научно-технической конференции «Энергосбережение в городском хозяйстве, энергетике, промышленности». Ульяновск: УНТУ. 2003.

FACTORS THAT DETERMINE THE RESOURCE AND OPTIMAL SERVICE LIFE OF TRACTION MOTORS.

T.Natenadze, A.Zerekidze, N.Kereselidze. "Energy". №1(97). 2021. Tbilisi. p. 34-39. geo. sum geo. engl. rus.

It was found that timely and efficient factory repairs and compliance of the rules and operating instructions developed by the manufacturer provides an increase in the service life of traction motors.

The article identifies, analyzes and substantiates the reasons for the aggravation of the parameters of repaired traction motors.

Tabl. 1, bibl. 4.

ФАКТОРЫ, УСТАНОВЛИВАЮЩИЕ РЕСУРС И ОПТИМАЛЬНЫЙ СРОК ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ.

Т.Натенадзе, А.Зерекидзе, Н.Кереселидзе. "Энергия". №1(97). 2021. Тбилиси. с. 34-39. груз. реф. груз. англ. рус.

Установлено, что своевременно и качественно проведенный заводской ремонт и соблюдение правил и инструкций эксплуатации, разработанных заводом-изготовителем, обеспечивает увеличение срока службы тяговых двигателей.

Выявлены, проанализированы и обоснованы причины ухудшения параметров отремонтированных тяговых двигателей.

Табл. 1, лит. 4 назв.

რელაქსაციური შინაგანი ხახუნის თერმულად დამუშავებულ n-GaAs:Te მონოკრისტალში

აკად. დოქტორი *ირაკლი ტაბატაძე*

აკად. დოქტორი *მალხაზ ბიბილური*

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ანოტაცია. მაღალ ტემპერატურებზე ვაკუუმში მოწვევის გავლენით მონოკრისტალურ n - GaAs:Te-ის [100] ორიენტაციის ნიმუშებში გამოვლენილია დეფორმაციული წარმოშობის მაღალი ინტენსივობის შინაგანი ხახუნის მაქსიმუმები 400 და 500°C ტემპერატურათა არეებში. დადგენილია მათი რელაქსაციური ბუნება და განსაზღვრულია მოძრაობის აქტივაციის ენერჯისა და სიხშირის ფაქტორის მნიშვნელობები. ნახვენებია მაღალ-ტემპერატურული ფონის და რელაქსაციური მაქსიმუმების ინტენსივობის მნიშვნელოვნად ამადლება რხევითი ამპლიტუდური დეფორმაციის 10^4 - 10^3 დიაპაზონში. 100-120°C ტემპერატურულ ინტერვალში გამოვლენილია არადეფორმაციული წარმოშობის დაბალი ინტენსივობის რელაქსაციური პროცესი. გამოთქმულია მოსაზრება, რომ ის განპირობებულია დარიშხანის ატომების პოზიციებში ფორმირებული ვაკანსიების წყვილების მოძრაობით ნიშანცვლადი ძაბვის ველში.

საკვანძო სიტყვები: გალიუმის არსენიდი, რელაქსაცია, დისლოკაცია, აქტივაციის ენერჯია, ვაკანსიათა წყვილები.

ცნობილია [1,2], რომ ნახევარგამტარული კრისტალები, რომლებიც შეიცავენ მეტად დაბალი სიმკვრივის დისლოკაციებს (10^1 - 10^2 სმ⁻²), დაბალ ტემპერატურებზე განიცდიან დეფორმაციას მსხვრევით. მათ სტრუქტურაში დისლოკაციების სიმკვრივის მკვეთრი ამადლება (10^5 - 10^7 სმ⁻²) მაღალტემპერატურული თერმომექანიკური ზემოქმედებით წარმოქმნის პირობებს დაბალ ტემპერატურულ არეში პლასტიკური დეფორმაციის წარმოსაჩენად. ასეთ პირობებში შესაძლებელია შესწავლილ იქნას დისლოკაცია - მინარევი ატომების ურთიერთქმედების მექანიზმები და ასევე, დადგინდეს კორელაცია დინამიკურ-მექანიკური და ელექტროფიზიკური თვისებების მახასიათებლებს შორის.

წინამდებარე ნაშრომში შესწავლილია მონოკრისტალური n - ტიპის GaAs:Te - ის ელექტროფიზიკური და ფიზიკურ - მექანიკური თვისებები საწყის და მაღალ ტემპერატურებზე (700°C) მომწვარ მდგომარეობაში. კერძოდ, ექსპერიმენტულად შესწავლილია ჰოლის ეფექტის მეთოდით დენის მატარებელი ელექტრონების კონცენტრაციის, ძვრადობისა, ელექტროგამტარობის ცვლილებათა კანონზომიერებანი ვაკუუმში 700 და 800°C ტემპერატურებზე მოწვის პირობებში. გამოკვლეულია, აგრეთვე 1კვ სიხშირის დიაპაზონში. გრეხეთი რხევების მიღების ლოგარითმული დეკრემენტისა და ძვრის დინამიკური მოდულის პროპორციული რხევის სიხშირის კვადრატის ტემპერატურული და ამპლიტუდური დამოკიდებულებები. აღნიშნული კვლევები

საშუალებას იძლევა შეფასდეს წერტილოვანი დეფექტების (ვაკანსია, O, Te) მოძრაობის აქტივაციური მახასიათებლები და განისაზღვროს დისლოკაციურ სტრუქტურასთან მათი ურთიერთქმედების პარამეტრები.

კვლევები განხორციელდა ჩოხრაღსკის მეთოდით მიღებულ GaAs:Te მონოკრისტალებზე, რომლებიც ამოზრდილი იქნა [100] კრისტალოგრაფიული მიმართულებით. 0,3 ტესლა ინდუქციის მუდმივ მაგნიტურ ველში ჰოლის ეფექტის რეგისტრაციით განსაზღვრული ელექტროფიზიკური მახასიათებლები წარმოდგენილია ცხრ. 1-ში.

GaAs:Te მონოკრისტალის ელექტროფიზიკური მახასიათებლები

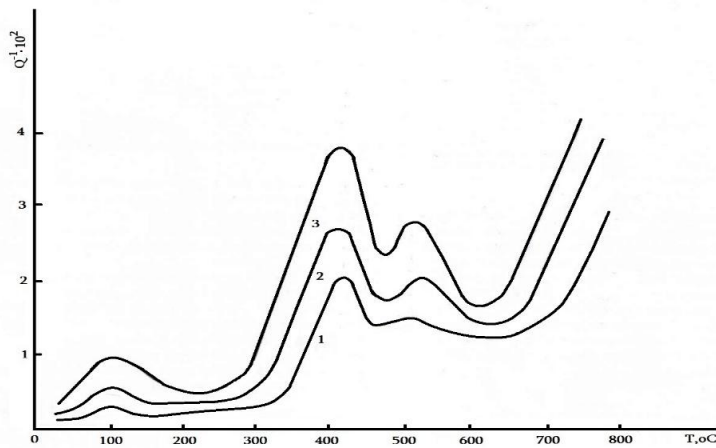
ცხრილი 1

n - GaAs:Te	კუთრი ელექტროგამტარობა, $\text{ომი}^{-1}\text{სმ}^{-1}$	ელექტრონების კონცენტრაცია, სმ^{-3}	ელექტრონების ძვრადობა, $\text{სმ}^2\text{ვ}^{-1}\text{წმ}^{-1}$
საწყისი	192	$2 \cdot 10^{17}$	6000
მომწვარი, 700°C, 3 სთ	81,9	$8 \cdot 10^{16}$	6400
მომწვარი, 800°C, 3 სთ	52,8	$5 \cdot 10^{16}$	6600

ცხრილიდან ნათლად ჩანს, რომ ვაკუუმური (10^{-5} ტორი) მოწვები ავლენს დენის მატარებელი ელექტრონების კონცენტრაციისა და კუთრი ელექტროწინააღობის შემცირებას. შესაბამისად იზრდება ელექტრონების ძვრადობის მნიშვნელობები. აღნიშნული ხასიათის ცვლილებები განპირობებულია კრისტალურ მესერში განხორციელებული დიფუზური პროცესებით. კერძოდ, მოსალოდნელია As-ის ატომების „აორთქლება“, ჩანაცვლების პოზიციებიდან, მათი თავმოყრა თერმულ კომპლექსებში. თანახმად ლიტერატურული მონაცემებისა [3], შესაძლებელია ასევე ვაკანსიების კომპლექსების ფორმირება. ყოველივე აღნიშნული ელექტრული ცვლილებები GaAs:Te მონოკრისტალს გადაიყვანს კომპენსირებულ მდგომარეობაში. ამით შეიძლება აიხსნას დენის მატარებელი ელექტრონების კონცენტრაციის შემცირება თერმული მოწვების გავლენით.

თერმულად მომწვარ მდგომარეობაში მონოკრისტალურ GaAs:Te-ის სტრუქტურაში განხორციელებული დეფექტების ქვესისტემის გარდაქმნები შესწავლილია შინაგანი ხახუნის ტემპერატურული და ამპლიტუდური დამოკიდებულებების გაზომვებით ტემპერატურის 20-500°C ინტერვალისა და გრეხითი დეფორმაციის ამპლიტუდების 10^{-5} - 10^{-3} დიაპაზონში.

საწყისი ნიმუშის შინაგანი ხახუნის ტემპერატურული სპექტრი ხასიათდება ექსპონენციალურად მზარდი ფონით, რომელზედაც ზედდებულია ორი მაქსიმუმი (ნახაზი)



ნახაზი. n – GaAs:Te მონოკრისტალის შინაგანი ხახუნის ტემპერატურული სპექტრები
 1 - საწყისი, $\epsilon=1,4$ ჰც.; 2 - მომწვარი, 700°C, 3 სთ; 3 - მომწვარი, 800°C, 3 სთ

ნახაზიდან ჩანს, რომ შინაგანი ხახუნის სპექტრი განიცდის ფორმის მნიშვნელოვან ცვლილებას. კერძოდ, მოწვის გავლენით ძლიერდება მაქსიმუმების ინტენსივობა, იზრდება ფონის დონე, მცირდება მაღალ ტემპერატურებზე კრიტიკული ტემპერატურა, რომელზედაც იწყება შინაგანი ხახუნის ფონის მკვეთრი ექსპონენციალური ზრდა. ეს მიუთითებს მასზე, რომ თერმული მოწვის გავლენით გამოწვეულმა სტრუქტურულმა ცვლილებებმა შექმნეს გრესითი რხევების ენერჯის შთანთქმის ახალი ცენტრები. ისინი უპირატესად ვაკანსიების სიმრავლეებისაგან შედგებიან და მათი კონფიგურაციული ცვლილებებით იწვევენ რელაქსაციურ შინაგან ხახუნს შემცირებული აქტივაციის ენერჯით.

შინაგანი ხახუნის მაქსიმუმები რელაქსაციური წარმოშობის არიან, ვინაიდან მათი გამოვლინების კრიტიკული ტემპერატურები იცვლებიან კრისტალის სიხშირის შეცვლით. რელაქსაციური პროცესების აქტივაციის ენერჯის სიდიდეები განისაზღვრება ორი მეთოდით - მაქსიმუმის ტემპერატურების ცვლილებით რხევის სიხშირის შეცვლით და, ასევე, მაქსიმუმის დამახასიათებელი კრიტიკული ტემპერატურისა და სიხშირის მეთოდით [3]. ორივე მეთოდით მიღებული შედეგები დაახლოებით ერთმანეთს ემთხვევა, რაც მიუთითებს რხევათა ენერჯის გაზომვას რელაქსაციური პროცესების დიფუზურ წარმომავლობაზე, ე.ი. ორივე რელაქსაციური პროცესი დაკავშირებულია რელაქსაციაში მონაწილე დეფექტების დიფუზურ გადაადგილებასთან მექანიკური ძაბვის ველში. რელაქსაციაში მონაწილე დეფექტების მახასიათებლები წარმოდგენილია ცხრ. 2-ში.

მაღალ ტემპერატურებზე მოწვით შესაძლებელია As - ის ატომების ვაკანსიების დიდი რაოდენობით წარმოქმნა. ეს გარემოება განაპირობებს ვაკანსიების დისკების ფორმის ცვლილებებს, რითაც შეიქმნება გავრცობილი კრისტალოგრაფიული დეფექტების ფორმირების პირობები. მოცემულ პირობებში დეფექტების ქვესისტემაში ცვლილებებით ყალიბდება წერტილოვანის დეფექტების სიმრავლეები განსაზღვრული კრისტალოგრაფიული პარამეტრების ნაწილობრივი დისლოკაციებით. ასეთი, ახლადფორმირებული

რელაქსაციური შინაგანი ხახუნის აქტივაციური მახასიათებლები

ცხრილი 2

n - GaAs:Te	დისლოკაციების სიმკვრივე, სმ ⁻²	აქტივაციის ენერგია , ევ	სისშირის ფაქტორი, წმ ⁻¹	მაქსიმუმის ტემპერატურა, °C
საწყისი	4·10 ⁴	1,10	1·10 ¹⁴	100
		1,15	2·10 ¹⁴	110
		1,15	2·10 ¹⁴	115
მომწვარი, 700°C, 3 სთ.	5·10 ⁴	1,10	1·10 ¹⁴	105
		1,10	2·10 ¹⁴	110
		1,15	2·10 ¹⁴	110
მომწვარი, 800°C, 3 სთ.	5·10 ⁴	1,15	2·10 ¹⁴	110
		1,15	2·10 ¹⁴	115
		1,15	2·10 ¹⁴	115

დისლოკაციური წარმოშობის დეფექტები წარმოადგენენ რელაქსაციური შინაგანი ხახუნის პროცესების წყაროებს. მათი არსებობა ნათლად არის დადასტურებული მაღალი ინტენსივობის შინაგანი ხახუნის მაქსიმუმების გამოვლინებით თერმულად მომწვარ n-GaAs:Te - ის მონოკრისტალების ტემპერატურულ სპექტრში. რელაქსაციურ პროცესებს 400 და 500°C ტემპერატურებზე, აგრეთვე მაღალი ინტენსივობის ექსპონენციალურ ფონს ახასიათებთ ძლიერი დამოკიდებულება მექანიკური რხევებით განვითარებულ დეფორმაციაზე. ეს მიუთითებს მათ დისლოკაციურ წარმოშობაზე [3]. 100-120°C ტემპერატურებზე გამოვლენილი რელაქსაციური მაქსიმუმები შესაძლებელია მივაკუთვნოთ As-ის პოზიციებში წარმოქმნილი ვაკანსიური წყვილების მოძრაობას პერიოდული მექანიკური ძაბვის ველში.

ლიტერატურა

1. Patel I.R., Chaudhuri A. R.// Journal of Applied Physics. 1962.33. 7. 2222–2224.
2. Hurth F. Structural defects of crystals//Journal Phys. Stat. Sol.. 29. K35. 1968. 361–364
3. Kressel H., Dunze I.U., Nelson H.//Jornal of Applied. Physics. 39. 2006. 1968–1972.

RELAXATION INTERNAL FRICTION IN THERMAL TREATED GAAS:TE MONOCRYSTALS

I. Tabaadze, M. Bibiluri. "Energy". №1(97). 2021. Tbilisi. p. 40-44. geo. sum geo. engl. rus.

Deformation origin high-intensity internal friction maxima have been revealed in the temperature areas of 400 and 500°C under the influence of hightemperature annealing of monocrystalline n-GaAs:Te samples with [100] orientation. Their relaxation character is established and the values of activation energy and frequency factors are determined. Significant increase of hightemperature background and relaxation maxima intensity are shown in a strain amplitude range of 10^{-4} - 10^{-3} . Nondeformation origin low intensity relaxation process is revealed in a temperature range of 100-120°C. It is supposed, that it is stipulated by the motion of pair of vacancies formed in positions of arsenic atoms in a periodical stress field.

Ill.1, tabl. 2, bibl. 3.

РЕЛАКСАЦИОННОЕ ВНУТРЕННЕЕ ТРЕНИЕ В ТЕРМИЧЕСКИ ОБРАБОТАННЫХ МОНОКРИСТАЛЛАХ n – GAAS:TE

И. Табаадзе, М. Бибилури. "Энергия". №1(97). 2021. Тбилиси. с. 40-44. груз. реф. груз. англ. рус.

В образцах монокристаллического n-GaAs:Te с ориентацией [100], отожженных в вакууме при высоких температурах, выявлены интенсивные максимумы внутреннего трения деформационного происхождения при температурах 400 и 500°C. Установлена их релаксационная природа и определены значения энергии активации движения и частотного фактора центров релаксации. Показано значительное повышение интенсивности высокотемпературного фона и релаксационных максимумов в диапазоне 10^{-4} - 10^{-3} колебательной амплитуды деформации. В интервале температур 100-120°C обнаружен релаксационный процесс с малой интенсивностью недеформационного происхождения. Высказано предположение, что процесс обусловлен движением в поле знакопеременного напряжения пар вакансий, сформированных в позициях атомов мышьяка.

Илл. 1, табл. 2, лит. 3.

НЕУПРУГИЕ СВОЙСТВА ВАНАДИЯ И СПЛАВА V0,95Nb0,05

Акад. доктор **ИРАКЛИЙ ТАБАТАДЗЕ.**

Грузинский Технический Университет

Аннотация. *Методом регистрации логарифмического декремента затухания и частоты крутильных колебаний изучены температурные зависимости внутреннего трения и динамического модуля поликристаллического ванадия и сплава V0,95Nb0,05. В диапазоне частот колебаний 0,5 – 5,0 Гц обнаружены релаксационные процессы, обусловленные миграцией атомов кислорода и азота. Определены значения энергии активации движения и частотного фактора. Оценена энергия миграции границ раздела зёрен. Показана тенденция её повышения вследствие легирования ванадия ниобием, обуславливающим возрастание динамического модуля сдвига и повышение концентрации O и N на 10-15%.*

Ключевые слова: *ванадий, релаксация, внутреннее трение, микроструктура, энергия активации.*

Известно, что для термоядерных реакторов основным конструкционным материалом считаются ванадиевые сплавы в основном на базе системы V-Ti-Cr. Однако в качестве альтернативных материалов разработаны также сплавы на базе системы V-Ga, которые имеют более высокую скорость спада наведённой радиоактивности, по сравнению со сплавами V-Ti-Cr [1]. Наряду с разработкой новых материалов для термоядерной энергетики, актуальной является задача улучшения их поверхностных и объёмных свойств (механических, физико-химических, трибологических, коррозионных и др. В работе проведены исследования влияния термической и механической обработки на динамические и механические свойства V и сплава V0,95Nb0,05.

Было изучено внутреннее трение чистого ванадия и его сплава V0,95Nb0,05 методом сверхбыстрой закалки из расплава. Выбор сплава обусловлен тем, что при закалке из жидкого состояния образуются термодинамически неравновесные фазы в тонкодисперсном состоянии и пересыщенные твердые растворы. Они характеризуются высокой концентрацией дефектов решётки и сильно развитой поверхностью межзёренных границ, вызывающих глубокие внутренние перестройки структуры, определяющие изменение механических свойств в широких пределах.

Температурная зависимость внутреннего трения была изучена в интервале 20-650⁰C методом регистрации затухания свободных крутильных колебаний на частоте 1 Гц, искусственно созданных в образцах 0,15 0,35 10 мм³. Измерения проводились в вакууме 10⁻⁵Торр. На кривой температурной зависимости внутреннего трения закаленного ванадия выявлены три максимума при температурах 190, 225, и 550⁰C (рисунок 1, кр.1).

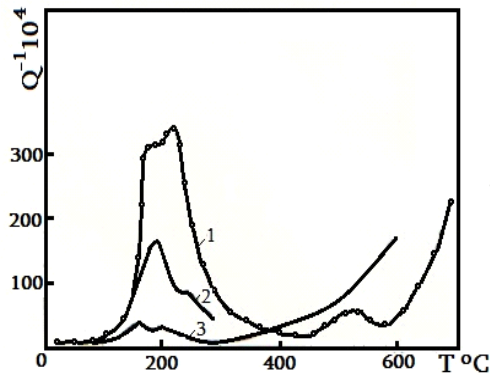


Рисунок. Температурный спектр внутреннего трения ванадия

Температуры проявления наблюдаемых максимумов оказываются зависящими от частоты колебаний, что свидетельствует о релаксационном характере процессов поглощения механических колебаний. Энергия активации релаксационных процессов, определенная по смещению максимумов при изменении частоты, оказалась равной для первого - 1,05 эВ, второго - 1,25 и для третьего - 1,65 эВ. Значения предэкспоненциального множителя в соотношении Аррениуса для времени релаксации у этих максимумов приблизительно одинаковы - 10^{-11} сек. Повторное измерение после охлаждения с 650°C показало, что фон внутреннего трения уменьшается, сужается интервал перекрытия максимумов, проявляемых в области $150\text{-}300^{\circ}\text{C}$. на рисунке приведены характерные для чистого ванадия спектры внутреннего трения. Кривая 2 относится к иодидному ванадию [1], а кривая 3 - к ванадию, полученному электронно - лучевой плавкой [2].

По своим характеристикам максимумы, обнаруженные в ванадии, полученной закалкой из жидкого состояния, имеют много общего с релаксационными процессами, известными из литературных источников. Сравнительный анализ приводит к выводу, что первые два близко расположенные максимума внутреннего трения обусловлены диффузией в поле напряжений внедренных атомов кислорода (при 190°C) и азота (при 225°C), распределенных в решетке в октаэдрических положениях. В тонкодисперсном ванадии кислородный и азотный пики затухания интенсивно проявлены по сравнению с литературными данными. Это, повидимому, обусловлено относительно высокой концентрацией межузельных атомов кислорода и азота, зафиксированных в твердом растворе при закалке расплавленного в вакууме ванадия. Максимум внутреннего трения в окрестности 550°C характеризуется заметным уширением и большим значением энергии активации. К нему со стороны высоких температур примыкает область резкого возрастания фона затухания. Учитывая наличие сильно развитых поверхностей межзеренных границ, указанный максимум можно отнести к релаксации на границах зерен. Подобное заключение сделано в работе [2], в которой обсуждается механизм слабовыраженного максимума внутреннего трения, при 550°C в крупнокристаллическом иодидном ванадии.

Изучена температурная зависимость внутреннего трения мелкодисперсного сплава $\text{V}_{0,95}\text{Nb}_{0,05}$. В процессе его формирования, видимо, сосуществуют условия образования многофазной системы, состоящей из чистого ванадия и метастабильных фаз. Наряду с этим, следует отметить, что согласно рентгенографическим исследованиям параметр решетки ванадия

увеличен. В такой сложной системе затухание механических колебаний носит чрезвычайно сложный характер. В температурном спектре внутреннего трения почти невозможно отдельно выделить какой-либо максимум затухания. Весь спектр представляет собой суперпозицию нескольких процессов. Начиная с температуры 650⁰С, во всех исследуемых образцах наблюдается резко восходящий фон внутреннего трения. В этом спектре наблюдаются следы максимумов, обычно проявляемых в чистом ванадии. В сплаве V_{0,95}Nb_{0,05}, по сравнению с чистым ванадием, найден новый максимум в области 300-350⁰С релаксационного происхождения, характеризуемый величинами энергии активации - 1,55 эВ и постоянной, имеющей размерность времени релаксации - 10⁻¹¹ сек. Следует отметить, что более интенсивно проявлен в сплаве зернограничный максимум в области температур 500-550⁰С. Форма максимумов и их температурное положение зависят от толщины образца. Чем тоньше образец, тем менее интенсивны кислородный и азотный максимумы и тем более уширяются и усиливаются два других высокотемпературных максимума внутреннего трения.

Наблюдаемые нерегулярности в температурном спектре внутреннего трения, видимо, обусловлены нестабильным структурным состоянием сплава. В исследуемом материале одновременно сосуществуют чистый ванадий и кластеры V - Nb. Кроме того, в самом ванадии образованы сложные, относительно стабильные кислородные, азотные и углеродные комплексы. Следовательно, можно ожидать понижения концентрации в решетке ванадия внедренных атомов кислорода, азота и углерода, что является причиной уменьшения релаксационных максимумов внутреннего трения, обусловленных их диффузией в механическом поле.

Мелкодисперсное состояние структуры сплава V_{0,95}Nb_{0,05} обуславливает сильное возрастание и уширение зернограничного максимума, по сравнению с исходным максимумом, наблюдаемом в чистом поликристаллическом ванадии.

Предполагается, что максимум, обнаруженный в интервале 300-350⁰С, характеризуемый энергией активации - 1,55 эВ, связан с миграцией в поле напряжений комплекса, одним из составляющих которого являются атомы ниобия.

Полученные результаты указывают на возможность изменения активационных параметров процессов релаксационного рассеяния упругих крутильных колебаний в V и сплаве V - Nb, что весьма важно для управления свойствами конструкционных материалов, используемых в ядерной энергетике.

ЛИТЕРАТУРА

1. Боровицкая Н.В. Исследование физико-химических свойств малоактивируемых сплавов на основе системы ванадий-галлий для ядерной энергетике// Автореф. дисс. на соискание учёной степени к.ф.-м.н. М.: ИМЕТ им. А.А. Баикова РАН. 2006.
2. Емельянов В.С., Евстяхин П.И., Стаценко В.И., Дашковский А.И.//Сб.: Металлургия и металловедение чистых металлов. М.: 1966.

INELASTIC PROPERTIES OF VANADIUM AND $V_{0,95}Nb_{0,05}$ ALLOY

I. Tabatadze. "Energy". №1(97). 2021. Tbilisi. p. 45-48. rus. sum geo. engl. rus.

Temperature dependences of internal friction and dynamic shear modulus in V and $V_{0,95}Nb_{0,05}$ alloys have been studied by registration of logarithmic decrement of damping and frequency of torsion oscillations. Relaxation processes caused by migration of oxygen and nitrogen atoms have been revealed in a frequency range of 0,5-5,0 Hz. The values of IF maxima's activation energy and frequency factor have been determined. Migration energy of grain boundaries has been estimated and its increasing tendency in $V_{0,95}Nb_{0,05}$ alloys is shown. Doping with Nb stipulates an increase of dynamic shear modulus and a decrease of concentration of O and N impurities by 10-15%.

Ill. 1, bibl. 2.

ვანადიუმისა და $V_{0,95}Nb_{0,05}$ შენადნობის არადრეკადი თვისებები.

ა. ტაბატაძე. "ენერჯია". №1(97). 2021. თბილისი. გვ. 45-48. რუს. ანოტ. ქართ. ინგლ. რუს.

გრეხითი რხევების მიღწევის ლოგარითული დეკრემენტისა და სიხშირის რეგისტრაციის მეთოდით შესწავლილია წვრილმარცვლოვანი სტრუქტურის V და $V_{0,95}Nb_{0,05}$ შენადნობის შინაგანი ხახუნისა და ძვრის დინამიკური მოდულის ტემპერატურული დამოკიდებულებები. რხევის სიხშირის 0,5-5,0 ჰც დიაპაზონში გამოვლენილია ჟანგბადისა და აზოტის ატომების მიგრაციით გამოწვეული რელაქსაციური პროცესები. განსაზღვრულია რელაქსაციური შინაგანი ხახუნის მაქსიმუმების მოძრაობის აქტივაციის ენერჯიისა და სიხშირის ფაქტორის სიდიდეები. შეფასებულია მარცვლების გამყოფი საზღვრების მიგრაციის ენერჯია და ნაჩვენებია მისი ამალღებისადმი მიდრეკილება $V_{0,95}Nb_{0,05}$ შენადნობში. Nb-ით ლეგირება განაპირობებს ძვრის დინამიკური მოდულის ზრდას და O და N მინარევების კონცენტრაციის შემცირებას 10-15%-ით.

ილ. 1, ლიტ. 2.

**ასკანთიხის იონცვლის (Ca- Na) იზოტომიის ექსპერიმენტული
მონაცემების ერთგვაროვნების შემთხვევითობის
და დროში სტაბილურობის დადგენა**

დოქტორანტი **ლელა ბესტაივა** ¹
ასისტენტ-პროფესორი **ნინო ღონღოლაკე** ²
სრული პროფესორი **ზურაბ მებრელიშვილი** ²

¹საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
²ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

ანოტაცია. ექსპერიმენტის შედეგებმა გვიჩვენა, რომ ასკანთიხის საშუალო სრულმა მიმოცვლითმა მოცულობის სიდიდემ 500 მგ-ეკვლ შეადგინა. დადგენილია ასკანთიხის Ca-Na იონცვლის კოეფიციენტი $k = 1,59$ მ/მ.

ექსპერიმენტიდან მიღებული მონაცემები ერთგვაროვანია, შემთხვევითია და დროში სტაბილურია. აქედან გამომდინარე, ექსპერიმენტიდან და ფორმულიდან მიღებული მონაცემების თანხვედრის შემოწმება პირსონის თანადობის კრიტერიუმითაა შესაძლებელი.

საკვანძო სიტყვები: პირსონის კრიტერიუმი, გამოყენების პირობა, იონცვლა, ასკანთიხა.

შესავალი

თიხების წარმონაქმნებს შორის განსაკუთრებული ადგილი უჭირავს ბენტონიტურ თიხებს. მათი თვისებებიდან გამომდინარე, ცნობილია ბენტონიტის გამოყენების 200-ზე მეტი სფერო [1]. სამშენებლო, მეტალურგიულ და სამთო მომპოვებელ მრეწველობაში ის გამოიყენება როგორც შემკვრელი დანამატი კერამიკის წარმოებისას, მადნის აგლომერაციისა და სამსხმელო ნაერთებისას [2,3]. საბურღი ხსნარების და ტამპონაჟური ცემენტის წარმოებისას ის ხელს უწყობს ბლანტი გელის წარმოქმნას [3]. ქაღალდისა და ქიმიურ წარმოებაში გამოიყენება როგორც მინერალურად აქტიური დანამატი ქაღალდის, რეზინის, მასტიკისა და ასაფეთქებელი საშუალების წარმოებისას. თხელი კერამიკისა და საპნის წარმოების დროს გამოიყენება როგორც პლასტიფიკატორი. სამრეწველო ნარჩენების გაწმენდისას გამოიყენება როგორც ადსორბციული მასალა, ასევე სტაბილიზატორის კოაგულანტი და საჭმლის ზეთის, ღვინის, ლუდის, წველებისა და წყლის გამაღიავებელი [4].

განსაკუთრებით დიდ როლს ასრულებს ბენტონიტური თიხები საბურთო ხსნარებში ნავთობისა და სხვა სასარგებლო წიაღისეულის ღრმა ბურღვისას. გარდა ამისა, ბენტონიტი გამოიყენება გელ-ცემენტის მისაღებად, რომელიც გამოიყენება საბადოს ტამპონაჟისთვის. ბენტონიტის გელი და თვითონ ბენტონიტი არის კარგი სატამპონაჟო მასალა ვიწრო ბზარებისათვის [5,6].

საბადოს მიხედვით ბენტონიტის თვისებები განსხვავდება ერთმანეთისაგან. ამიტომაც მის გამოყენებამდე ამა თუ იმ სფეროში რეკომენდებულია გამოკვლევების ჩატარება.

კვლევის მიზანი

პირსონის კრიტერიუმის გამოყენების პირობების შემოწმება ასკანთიხის იონცვლის ექსპერიმენტული მონაცემებისათვის.

ძირითადი ნაწილი

საბურღ ხსნარებში იონცვლის პროცესების პროგნოზირებისა და ბურღვის პროცესის ეფექტურად ჩატარებისთვის საჭიროა მიღებული მათემატიკური მოდელის თანხვედრა რეალურ პროცესებთან.

მათემატიკური მოდელის ადეკვატურობის შეფასებისათვის ჩვეულებრივ რეკომენდებულია თანადობის კრიტერიუმის გამოყენება. ამისათვის უნდა დადგინდეს, რა პარამეტრებით და რის მიხედვით უნდა ვაწარმოთ კრიტერიუმის შერჩევა, მათემატიკური მოდელისა და ექსპერიმენტებიდან მიღებული მონაცემების თანადობის, თანხვედრის საიმედოობის შეფასება.

იზოთერმის აგების (იონცვლის) პროცესის დადგენისათვის საჭირო იყო დამოკიდებულებების დადგენა სითხეში არსებული იონცვლების კონცენტრაციისა და მყარ სხეულზე აღსორბირებულ იონებს შორის. იზოთერმა აღიწერება ექსპერიმენტებიდან მიღებული მონაცემებით და აპროქსიმირებულია განტოლებით [7]:

$$K = \frac{\alpha_{Ca}(A - C_{Ca})^2}{(E - \alpha_{Ca})^2 * C_{Ca}}$$

სადაც K - იონცვლის კოეფიციენტი; α_{Ca} - კალციუმ იონების რაოდენობა თიხაზე, გ-ეკვ/მ³; C_{Ca} - კალციუმ იონების რაოდენობა სითხეში, გ-ეკვ/მ³; A - კათიონების საერთო რაოდენობა სითხეში, გ-ეკვ/მ³; E - სითხის სრული მიმოცვლითი მოცულობა, გ-ეკვ/მ³.

ასკანთიხის სრული მიმოცვლითი მოცულობის დასადგენად 200 მლ. ქიმიურ ჭიქაში მოვათავსეთ 5 გ თიხა, დავუმატეთ 4 % CaCl₂-ის დისტილირებულ წყალზე დამზადებულ ხსნარი. საწყის ხსნარში გავზომეთ Ca-ის იონების რაოდენობა სტანდარტული მეთოდით [8], რომელმაც 727 მგ-ეკვ/ლ შეადგინა. ქიმიურ ჭიქაში რამდენჯერმე არევისა და დაყოვნების შემდეგ ხსნარში დავადგინეთ Ca-ის იონების რაოდენობა. სხვაობის შემთხვევაში იმავე თიხას დავასხით ახალი ხსნარი და ისევ დავადგინეთ Ca-ის იონების რაოდენობა. პროცედურა გავიმეორეთ მანამ სანამ კალციუმის რაოდენობა საწყისს და უკვე გამოყენებულ ხსნარებში არ გატოლდა. ამის შემდეგ ვიანგარიშეთ თიხის მიერ დაკავებული Ca-ის იონების რაოდენობა. 10 პარალელურმა ცდამ აჩვენა, რომ ასკანთიხის მიმოცვლით მოცულობის საშუალო სიდიდე 500 მგ-ეკვ/ლ ტოლია.

თუ ექსპერიმენტით და განტოლებით მიღებულ მონაცემებს შორის ცდომილებები ემორჩილებიან ნორმალური განაწილების კანონს, მაშინ არსებული მდგრადობის თანახმად ადეკვატურობის შეფასება შეიძლება ვაწარმოოთ პირსონის კრიტერიუმის გამოყენებით. ამისათვის დაკვირვების მონაცემები მოითხოვენ ამ რეალიზების შემოწმებას ერთგვაროვნებაზე, ამონაკრების შემთხვევითობასა (სტოქასტიკურად დამოუკიდებლობის დასაბუთებას) და დროში სტაბილურობაზე [9].

იონცვლის ექსპერიმენტული მონაცემების დამუშავება

ცხრილი 1

№	α_{Ca} გ- ქკვ/მ ³	C_{Ca} , გ-ქკვ/მ ³	$A - C_{Ca}$ გ-ქკვ/მ	ექსპერიმ. მონაცემები $K_{ექს}$	ფორმულით მიღებული $K_{ფორ}$	ცდომი- ლება %	ვარიაც. მწკრივი
1	300	2,0	18,5	1,28	1,59	-24,21	51,42
2	310	2,0	18,5	1,47	1,59	-8,16	40,7
3	350	4,0	18,2	1,29	1,59	-23,25	38,26
4	376	4,0	18,0	1,98	1,59	19,69	28,0
5	370	4,0	18,0	1,77	1,59	10,16	26,7
6	423	8,0	15,0	2,0	1,59	20,50	25,19
7	400	8,0	15,0	1,13	1,59	-40,71	24,21
8	410	8,0	15,2	1,46	1,59	-8,90	24,21
9	441	11,8	13,7	2,02	1,59	21,29	23,25
10	420	11,8	13,7	1,05	1,59	-51,43	22,8
11	432	11,8	13,7	1,48	1,59	-7,43	22,3
12	450	22,0	13,0	1,38	1,59	-15,22	22,3
13	460	22,0	13,0	2,21	1,59	28,05	20,5
14	450	22,0	14,1	1,63	1,59	2,45	21,2
15	465	36,9	12,4	1,58	1,59	-0,63	19,69
16	470	36,9	12,4	2,17	1,59	26,73	16,3
17	470	47,3	11,5	1,46	1,59	-8,90	15,2
18	468	47,3	11,5	1,28	1,59	-24,22	12,1
19	473	47,3	11,5	1,81	1,59	12,16	12,1
20	475	74,4	10,6	1,15	1,59	-38,26	10,16
21	480	74,4	10,6	1,81	1,59	12,16	8,9
22	475	74,4	11,3	1,30	1,59	-22,31	8,9
23	480	91,5	12,0	1,90	1,59	16,32	8,16
24	474	91,5	16,4	2,06	1,59	22,82	7,4
25	470	91,5	16,4	1,54	1,59	-3,25	4,79
26	448	21,5	14,1	1,53	1,59	-3,92	3,9
27	455	34,2	13,9	1,27	1,59	-25,20	3,2
28	460	40,3	13,5	1,30	1,59	-22,31	2,4
29	462	40,3	14,5	1,67	1,59	4,79	0,6

ექსპერიმენტებიდან მიღებული დაკვირვებების შედეგებიდან, მკაფიოდ განსხვავებული დაკვირვებების გამოსარიცხად ვიყენებთ კრიტერიუმს [9,10]:

$$t_{დაჯ} = \frac{|x_{max} - \bar{x}|}{\sigma}$$

სადაც

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i ; \quad \sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

n - დაკვირვების რიცხვი (ექსპერიმენტებიდან მიღებული მონაცემების რაოდენობა); x_i - დაკვირვებების მნიშვნელობები.

ამონაკრების შემთხვევითობის დასაბუთებას ვაწარმოებთ მედიანათა მეთოდის მეშვეობით. მედიანად მიღებულია ვარიაციული მწკრივის შუალედური ელემენტი.

თუ n კენტი რიცხვია,

$$x_{med} = x_{\left(\frac{n+1}{2}\right)};$$

თუ n ლუწი რიცხვია,

$$x_{med} = \frac{1}{2} \left[x_{\left(\frac{n}{2}\right)} + x_{\left(\frac{n}{2}+1\right)} \right],$$

სადაც

$$\left(\frac{n+1}{2}\right); \left(\frac{n}{2}\right); \left(\frac{n}{2} + 1\right) - \text{დაკვირვების მნიშვნელობების რიგითობა.}$$

ამონაკრების შემთხვევითობა დასაბუთებული იქნება, თუ შესრულდება პირობა:

$$l_{დაკ} > l_{კრ};$$

$$\tau_{დაკ} < \tau_{კრ};$$

სადაც $l_{დაკ}$ - დადებითი და უარყოფითი სერიების რიცხვი; $\tau_{დაკ}$ - ყველაზე გრძელი სერიის გაჭიმულობა.

$$l_{კრ} = \left[\frac{1}{2} (n + 1 - 1,96\sqrt{n-1}) \right]$$

$$\tau_{კრ} = [3,3 \ln(n+1)]$$

ექსპერიმენტიდან მიღებული დაკვირვების შედეგების დროში სტაბილურობის დასადგენად გამოიყენება თანაფარდობა

$$r^2 = q^2 / \sigma^2 ;$$

სადაც

$$q^2 = \frac{1}{2(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_{i+1} - x_i)^2$$

მონაცემების გაანგარიშების საფუძველზე დადგენილია:

ა) ერთგვაროვნება

$$\bar{x} = 18,12; \quad \sigma^2 = 146,6; \quad \sigma = 12,108;$$

$$\max t_{დაკ} = \frac{|51,43 - 18,12|}{12,108} = 2,75; \quad \min t_{დაკ} = \frac{|0,6359 - 18,12|}{12,108} = 1,44;$$

$$t_{დაკ} = 2,75 > t_{კრ} = 1,113; \quad t_{დაკ} = 1,44 > t_{კრ} = 1,113$$

$$t_{დაკ} = 2,75 > t_{კრ} = 1,456; \quad t_{დაკ} = 1,44 > t_{კრ} = 1,456$$

ამონაკრები ერთგვაროვანია.

ბ) დროში სტაბილურობისათვის

$$\bar{x} = 18,12; \sigma^2 = 146,6; q^2 = 180,26; r_{\text{დაჯ}}^2 = \frac{180,26}{146,6} = 1,229.$$

P = 0,001 სარწმუნოების შემთხვევაში $r_{\text{კრ}}^2 = 0,482$ და $r_{\text{დაჯ}}^2 = 1,229 > r_{\text{კრ}}^2 = 0,482$;

P = 0,01 სარწმუნოების შემთხვევაში $r_{\text{კრ}}^2 = 0,598$ და $r_{\text{დაჯ}}^2 = 1,229 > r_{\text{კრ}}^2 = 0,598$;

P = 0,05 სარწმუნოების შემთხვევაში $r_{\text{კრ}}^2 = 0,709$ და $r_{\text{დაჯ}}^2 = 1,229 > r_{\text{კრ}}^2 = 0,709$.

ამონაკრები დროში სტაბილურია.

ექსპერიმენტის შედეგების დამუშავება

ცხრილი 2

№	x_i	ერთგვაროვნებაზე		დროში სტაბილურობაზე		შემთხვევითობაზე - თუ $x_i < x_{med}$ + თუ $x_i > x_{med}$
		$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$	$x_{i+1} - x_i$	$(x_{i+1} - x_i)^2$	
1	24,21875	6,099901	37,20879	-16,0555	257,7786	+
2	8,163265	-9,95558	99,11367	15,09255	227,785	-
3	23,25581	5,136964	26,3884	-3,55884	12,66537	+
4	19,69697	1,57812	2,490462	-9,52748	90,77284	+
5	10,16949	-7,94936	63,1923	10,33051	106,7194	-
6	20,5	2,38115	5,669875	20,20796	408,3618	+
7	40,70796	22,58911	510,2681	-31,8039	1011,485	+
8	8,90411	-9,21474	84,91144	12,38302	153,3392	-
9	21,28713	3,168279	10,03799	30,14144	908,5066	+
10	51,42857	33,30972	1109,538	-43,9961	1935,66	+
11	7,432432	-10,6864	114,1995	7,784959	60,60558	-
12	15,21739	-2,90146	8,418463	12,83691	164,7862	-
13	28,0543	9,935449	98,71314	-25,6003	655,3759	+
14	2,453988	-15,6649	245,3879	-1,82108	3,316319	-
15	0,632911	-17,4859	305,758	26,0952	680,9594	-
16	26,72811	8,609261	74,11937	-17,824	317,695	+
17	8,90411	-9,21474	84,91144	15,31464	234,5382	-
18	24,21875	6,0999	37,20878	-12,0641	145,5414	+
19	12,1547	-5,96415	35,57113	26,10617	681,5323	-
20	38,26087	20,14202	405,701	-26,1062	681,5323	+
21	12,1547	-5,96415	35,57113	10,153	103,0833	-
22	22,30769	4,188842	17,5464	-5,9919	35,9029	+
23	16,31579	-1,80306	3,251027	6,499745	42,24668	-
24	22,81553	4,696684	22,05884	-19,5688	382,9372	+
25	3,246753	-14,8721	221,1793	0,674815	0,455376	-
26	3,921569	-14,1973	201,5628	21,27528	452,6376	-
27	25,19685	7,078	50,09809	-2,88916	8,347234	+
28	22,30769	4,188842	17,5464	-17,5173	306,8549	+
29	4,790419	-13,3284	177,6471	-4,79042	22,94812	-

Σ 525,4466

4105,268

10094,37

ვ) შემთხვევითობისათვის

ვინაიდან $n = 29$, მედიანა განისაზღვრება ფორმულით:

$$x_{med} = x_{\left(\frac{n+1}{2}\right)};$$

$$x_{med} = x_{15} = 19,69;$$

$$l_{კრ} = \frac{1}{2}(29 + 1 - 1,96\sqrt{29 - 1}) = 9,815; \quad l_{დავ} = 22;$$

$$\tau_{კრ} = 3,3 \ln(29 + 1) = 11,22; \quad \tau_{დავ} = 2$$

$$l_{დავ} = 22 > l_{კრ} = 9,815$$

$$\tau_{დავ} = 2 < \tau_{კრ} = 11,22$$

პირობა სრულდება. ამონაკრები შემთხვევითია, სტოქასტიკურად დამოუკიდებელი. გაანგარიშების შედეგები გვიჩვენებს, რომ ექსპერიმენტის მონაცემები ერთგვაროვანია, შემთხვევითია და დროში სტაბილურია.

დასკვნა

ბურღვის პროცესისათვის აქტიურად იყენებენ ბენტონიტის ფუძეზე დამზადებულ საბურღ ხსნარებს. ამიტომ საჭიროა მისი იონცვლის კოეფიციენტის დადგენა. ჩვენს მიერ ჩატარებულმა კვლევებმა გვიჩვენა, რომ ბენტონიტური თიხის კოეფიციენტი $k = 1,59$ მ³/მ³.

ექსპერიმენტიდან მიღებული მონაცემები ერთგვაროვანია, შემთხვევითია და დროში სტაბილურია. აქედან გამომდინარე, ექსპერიმენტიდან და ფორმულიდან მიღებული მონაცემების თანხვედრის შემოწმება პირსონის თანადობის კრიტერიუმითაა შესაძლებელი.

ლიტერატურა

1. Хатьков В.Ю. Замещение импортных потоков щелочноземельного бентонита в России // Успехи современного естествознания. 2004. № 9.
2. Эминов А.М., Собиров Б.С., Ерикиева О. Перспективы использования бентонитовых глин для разработки новых инновационных технологий //Респуб. Конф. "Инновационные разработки и перспективы развития химической технологии силикатных материалов". Узбекистан. 2012.
3. Снисарь В.П. Бентонит в литейном производстве – методы испытаний и перспективы использования //Литье Украины. 2015. №7 (179).
4. Бадей, Д. В. Эффективное осветление и стабилизация плодовых соков и вин. "Империя напитков". № 5. 2007.
5. Бентонит – буровой раствор! <http://www.voda.odessa.ua/bentonit-dlya-bureniya-skvazhin.html>. 2015;
6. ვარშალომიძე გ. საბურღი და ცემენტის ხსნარების დამუშავების ტექნოლოგიები. თბილისი. 2012.
7. Николаева Л.А. Водоподготовка на тепловых электростанциях. Ионнообменные технологии. Челябинск: ЧФ ПЭИпк. 2013.
8. Определение ионов кальция (Ca²⁺) <https://studfiles.net/preview/6489828/page:4/>
9. Мхитарян В.С. Статистические методы в управлении качеством продукции. М.:Наука. 1982.
10. Кузмичев Д.А., Радкевич И.А., Смирнов А.Д. Автоматизация экспериментальных исследований. М:Наука. Главная редакция физико-математической литературы. 1983.

ESTABLISHMENT OF RANDOMNESS AND TIME STABILITY OF THE EXPERIMENTAL ISOTHERM DATA ASKANTIKHA IONS (CA-NA).

Bestaeva L., Dondoladze N., Megrelishvili Z. "Energy". №1(97). 2021. Tbilisi. p. 49-55. geo. sum geo. engl. rus.

The experimental results showed that the average total exchange volume of Askantikha made up 500 mg/eqv/L/. The coefficient of ion exchange Ca-Na of Askantikha is established $k = 1.59 \text{ m}^3 / \text{m}^3$; The data obtained during the experiment are homogeneous, random and stable over the time. Therefore, it is possible to check the consistency of the data obtained as a result of the experiment and the formula with the Pearson equivalence criterion.

Tabl. 2, bibl. 10.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОДНОРОДНОСТИ, СЛУЧАЙНОСТИ И СТАБИЛЬНОСТИ ВО ВРЕМЕНИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ИЗОТЕРМИИ ИОННОГО ОБМЕНА (СА-НА) АСКАНИТА

Л. Бестаева, Н. Дондоладзе, З. Мегрелишвили. "Энергия". №1(97). 2021. Тбилиси. с. 49-55. груз. реф. груз. англ. рус.

Экспериментальные данные показали, что величина общего объема обмена асканита составила 500 мг/экв/л, а общего объема его обмена - 500 мг/ экв/ л. Установлен коэффициент обмена ионов асканита Са-На, $k = 1,59 \text{ m}^3/\text{m}^3$. Определены однородность, случайность и стабильность во времени экспериментальных данных изотермии ионного обмена (Са-На) асканита для решения задачи о применении критерия Пирсона для установления соответствия между данными, полученными из эксперимента, и рассчитанными по формуле. Приведены разработанные таблицы расчетных данных.

Табл. 2, лит. 10.

საკურორტო-რეკრეაციულ სისტემაში საზოგადოებრივი კვების ქსელში სეზონური დატვირთვის დარეგულირების ეფექტური მეთოდები

საინჟინრო მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი **რამაზ ჟღენტი**

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ანოტაცია. ჩატარებული კვლევის შედეგების და სიახლის რეალიზების პირობებში სოციალური ეფექტი პერსპექტივაში, 2025 წლისთვის, გულისხმობს საქართველოს კურორტებზე სეზონზე 5 მლნ.-მდე ადამიანის საზოგადოებრივი კვების საწარმოთა ღია ქსელით მაღალეფექტურ მომსახურებას, რაც ხელს შეუწყობს მათ სრულფასოვან დასვენებას და გაჯანსაღებას, გამოჯანმრთელებას, სიცოცხლის გახანგრძლივებას; საზოგადოებრივი კვების ღია ქსელის საწარმოებში ისეთი კონტრასტული სიტუაციების შექმნას მაღალმხატვრული და არქიტექტურული საშუალებებით, რომელიც აშკარად განსხვავდება ყოველდღიური ვითარებისგან. მთავარი განმასხვავებელი თავისებურებაა კვების ფუნქციისა და რეკრესაციის (დასვენება, გართობა, თამაშობანი და ა.შ.) შეთავსება.

საკვანძო სიტყვები: ქალაქკურორტები, ქალაქთმშენებლობის სტრუქტურა, საზოგადოებრივი კვების ღია ქსელი, საწარმოების მომსახურების რადიუსი, მუდმივი და დროებითი მოსახლეობის რაოდენობრივი შემადგენლობა.

საზოგადოებრივი კვების ქსელის სწორი ორგანიზებისას მნიშვნელოვან ფაქტორს წარმოადგენს ქალაქკურორტების მუდმივი და დროებითი მოსახლეობის რაოდენობრივი შემადგენლობის, ყოფითი პირობების, მოსახლეობის სხვადასხვა ჯგუფების ეროვნული თავისებურებების, სქესობრივი და ასაკობრივი შემადგენლობის, პროფესიული მონაცემების და მათი მოთხოვნათა მონაცემების შესწავლა. ამ ფაქტორების სრულფასოვანი აღრიცხვა შესაძლებლობას გვაძლევს უფრო ზუსტად დავასაბუთოთ საზოგადოებრივი კვების ქსელის რაოდენობა, შემადგენლობა, სიმძლავრე და განლაგება ქალაქთმშენებლობის კონკრეტული წარმონაქმნების პირობებში.

საზოგადოებრივი კვების ქსელის ორგანიზების საკითხის გადაწყვეტისას საჭიროა განვსაზღვროთ დასაჯდომი ადგილების საერთო საჭირო რაოდენობა, გავაკეთოთ ამ რაოდენობის დიფერენციაცია ქალაქთმშენებლობის სტრუქტურის შესაბამისად, ამოვარჩიოთ საწარმოების ოპტიმალური ტიპი და რაციონალურად განვათავსოთ ისინი კონკრეტული წარმონაქმნის სივრცეში. საწარმოების მომსახურების ამა თუ იმ ზონის შემადგენლობაში შედის საცხოვრებელი რაიონების და კვარტლების ტერიტორიები, მასობრივი დასვენების ადგილები, მაგისტრალთაშუა ტერიტორიები და ა.შ. საზოგადოებრივი კვების ღია ქსელის საწარმოების მომსახურების რადიუსი, როგორც წესი საქვეითო მისაღვლობის დროის მიხედვით, კლიმატური რაიონის, რელიეფისა და სხვა

პირობების გათვალისწინებით დასაშვებია 300-დან 700-მ-მდე.

ქალაქკურორტისთვის, საკურორტო-რეკრეაციული წარმონაქმნისთვის, საზოგადოებრივი კვების საწარმოების საერთო ტევადობა (ადგილების რაოდენობა) განისაზღვრება დიფერენცირებული გაანგარიშებით მოსახლეობის დაგეგმილი რიცხოვნობიდან გამომდინარე. საცხოვრებელ ზონაში განლაგებული საწარმოებისთვის 1000 კაცზე ადგილების საანგარიშო მაჩვენებელია: პირველი რიგის მშენებლობისთვის-12, ხოლო პერსპექტივაზე-16; საერთოსაკურორტო მნიშვნელობის საწარმოებისთვის – შესაბამისად 16 და 24. საზოგადოებრივი კვების ქსელის გაანგარიშება უნდა ჩატარდეს პირველი რიგის და პერსპექტივაზე გათვლილი მშენებლობისთვის 5 წლამდე საანგარიშო ვადით. საზოგადოებრივი კვების საწარმოს პირველი რიგის მშენებლობის რაოდენობა დამოკიდებულია საკვლევი საკურორტო-რეკრეაციული წარმონაქმნის სიდიდეზე და განისაზღვრება დადგენილი საანგარიშო მაჩვენებლის გამრავლებით მოსახლეობის დაგეგმარებით რიცხოვნობაზე.

ღია ქსელის საწარმოები უნდა განლაგდეს როგორც ცალკემდგარ, ასევე საცხოვრებელ შენობებში, სასტუმროებში, დიდ მაღაზიებში, სავაჭრო ცენტრებში და ა.შ. აგრეთვე ქალაქგარეთ ავტომაგისტრალზე, ტურისტულ მარშრუტებზე, მასობრივი დასვენების ადგილებში. საზოგადოებრივი კვების საწარმოებს მათი სადისლოკაციო ადგილის გათვალისწინებით წაყენება ისეთი ძირითადი მოთხოვნები, როგორცაა: მომხმარებელთან მაქსიმალური მიახლოება; განლაგება რეკრეანტების მასობრივი ნაკადების გზებზე და გზაჯვარედინებზე; საჭმლის მიღებაზე დროის მინიმალური დანახარჯის უზრუნველყოფა; საკვების მრავალფეროვნებითა და გემოს მაღალი ხარისხით რეკრეანტთა დაკმაყოფილება. ამასთან, საერთოსაკურორტო განაშენიანების სისტემაში საზოგადოებრივი კვების საწარმოსთვის შეიძლება გამოყვით ადგილი დასასვენებელი ზონის პერიმეტრზე, მიმდებარე უბნებზე, ცენტრში, საცხოვრებელი განაშენიანების ზონაში ან განაშენიანებისგან მოშორებით თავისუფალ ტერიტორიაზე.

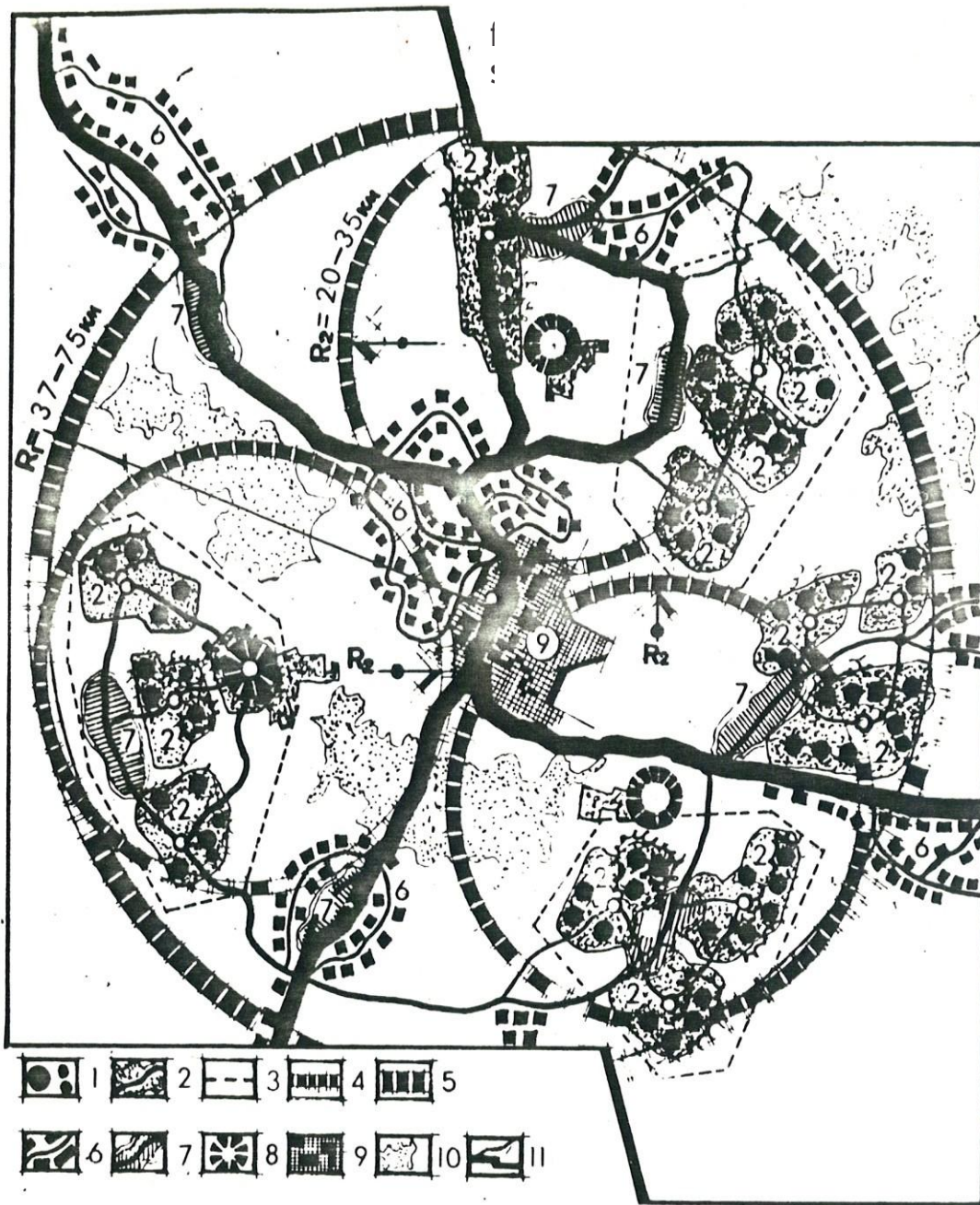
საზოგადოებრივი კვების საწარმოები მასობრივი დასვენების ადგილებში და საცხოვრებელ ზონებში განლაგდება ცალკე მდგარ შენობებში. შეიძლება ჩაშენებულ იქნენ პირველ სართულებში ან შედიოდეს კულტურულ-საყოფაცხოვრებო და სავაჭრო ცენტრების შემადგენლობაში.

ცალკე მდგარ შენობებში განლაგებული საწარმოები ძირითადად განკუთვნილია არაორგანიზებული დამსვენებლების (ამრ) კატეგორიის მომსახურებისთვის. მათ მიეკუთვნება თემატური რესტორნები, ატრაქციონული ტიპის საწარმოები, სასადილოები, კაფეები, ბარები, ასაწივ-დასასმელი და კონტეინერული ტიპის კვების სხვადასხვა

პუნქტები, კვების მობილ-ბლოკები და მათი მსგავსი ნაგებობები, რომლებიც აწესრიგებენ ღია ქსელის კვების საწარმოების სეზონურ, გამართულ ფუნქციონირებას კურორტებზე, მასობრივი დასვენებისა და ტურიზმის ადგილებში. ამასთან, შესაძლებელია განხორციელებულ იქნეს ჩაშენებულ-მიშენებული ვარიანტიც, ჩაშენებული საწარმოების არსებით ნაკლად უნდა ჩავთვალოთ მოცულობით-გეგმარებითი და კონსტრუქციული გადაწყვეტების შეზღუდული კომპოზიციური შესაძლებლობები. ჩაშენებული, მიშენებული და ჩაშენებულ-მიშენებული გადაწყვეტები განიხილება აუცილებლად ღია სივრცეში მოედნების მოწყობის შესაძლებლობით, რომლებიც გამოიყენება ზაფხულში სეზონური გაფართოების მიზნით. ამგვარი გადაწყვეტები არის არა მხოლოდ კვების დაწესებულების რაციონალურ-ფუნქციური გადაწყვეტების ტრადიციული მეთოდი, არამედ საზოგადოებრივი კვების ქსელში სეზონური დატვირთვების დარეგულირების ეფექტური ბერკეტი, როგორც საქალაქო განაშენიანების პირობებში, ასევე საკურორტო-რეკრეაციული წარმონაქმნების სხვადასხვა პირობებში.

კვლევის შედეგების და სიახლის რეალიზების პირობებში სოციალური ეფექტი პერსპექტივაში 2025 წლისთვის გულისხმობს საქართველოს კურორტებზე სეზონში 5 მლნ.-მდე ადამიანის საზოგადოებრივი კვების საწარმოთა ღია ქსელით მაღალეფექტურ მომსახურებას, რაც ხელს შეუწყობს მათ სრულფასოვან დასვენებასა და გაჯანსაღებას, გამოჯანმრთელებას, სიცოცხლის გახანგრძლივებას; საზოგადოებრივი კვების ღია ქსელის საწარმოებში ისეთი კონტრასტული სიტუაციების შექმნას მაღალმხატვრული და არქიტექტურული საშუალებებით, რომელიც აშკარად განსხვავდება ყოველდღიური ვითარებისგან. მთავარი განმასხვავებელი თვისებურებაა კვების ფუნქციისა და რეკროსაქმიანობის (დასვენება, გართობა, თამაშობანი და ა.შ.) შეთავსება.

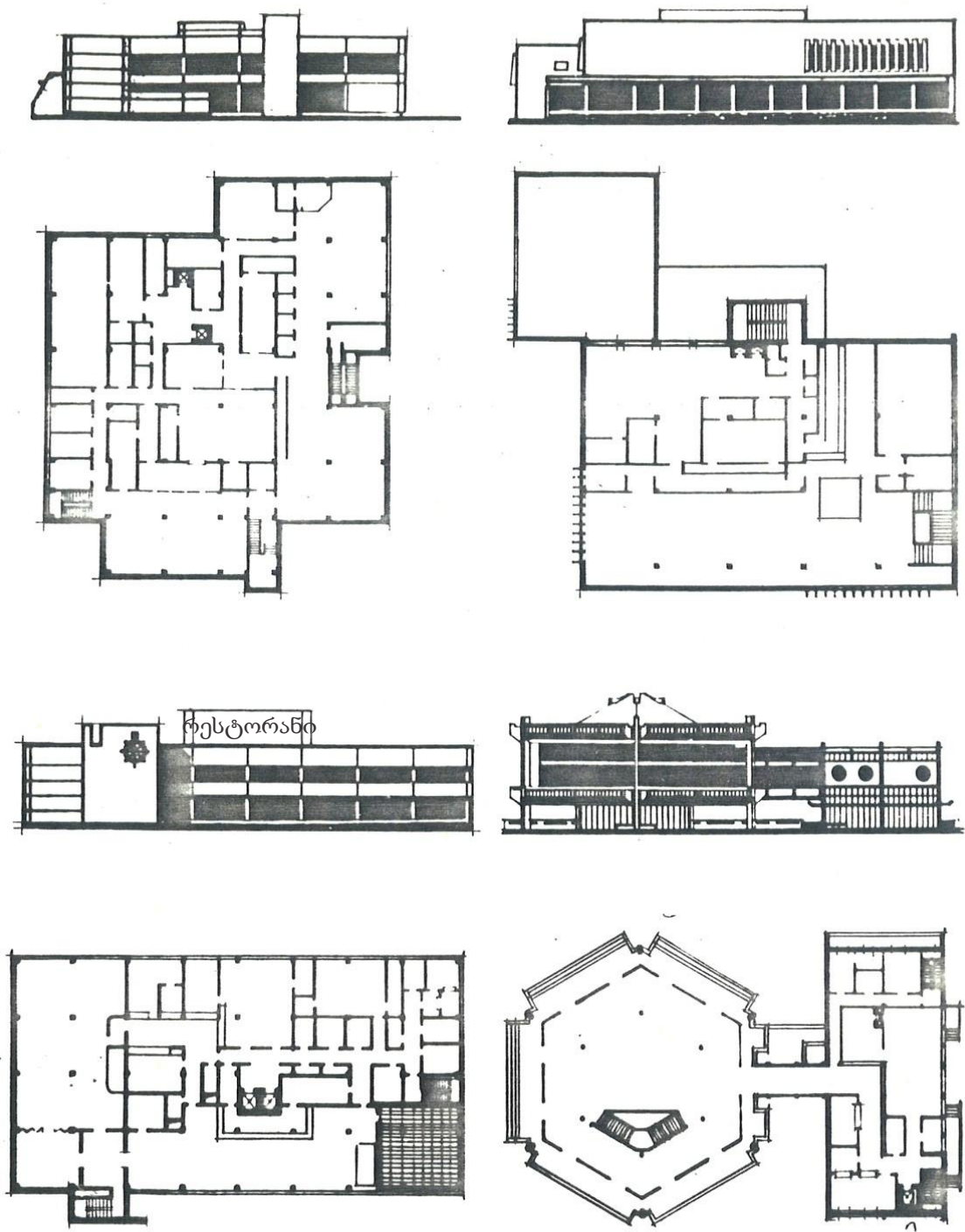
მომსახურების სფეროში საზოგადოებრივი კვების ღია ქსელის ინტეგრირებული მოდელის ეკონომიკური მიზანშეწონილობა ეჭვს არ იწვევს. სამამულო და უცხოური პრაქტიკის ჩატარებულმა ანალიზმა გვიჩვენა, რომ ისეთი საწარმოების ქსელის ორგანიზაცია, რომელიც ითვალისწინებს ფუნქციურ-ტექნოლოგიურ ინტეგრაციასა და წარმოების ცენტრალიზაციას, ნახევარფაბრიკატებისა და მზა საკვების ცენტრალიზებული მიწოდებას, ეკონომიკურად მის დეცენტრალიზებულად წარმოების ორგანიზაციაზე უფრო ეფექტურია. ეფექტი გამოიხატება 7-12%-ით ერთდროული დანახარჯების, და 8-12%-ით საექსპლუატაციო ხარჯების შემცირებით.



ნახ. 1.

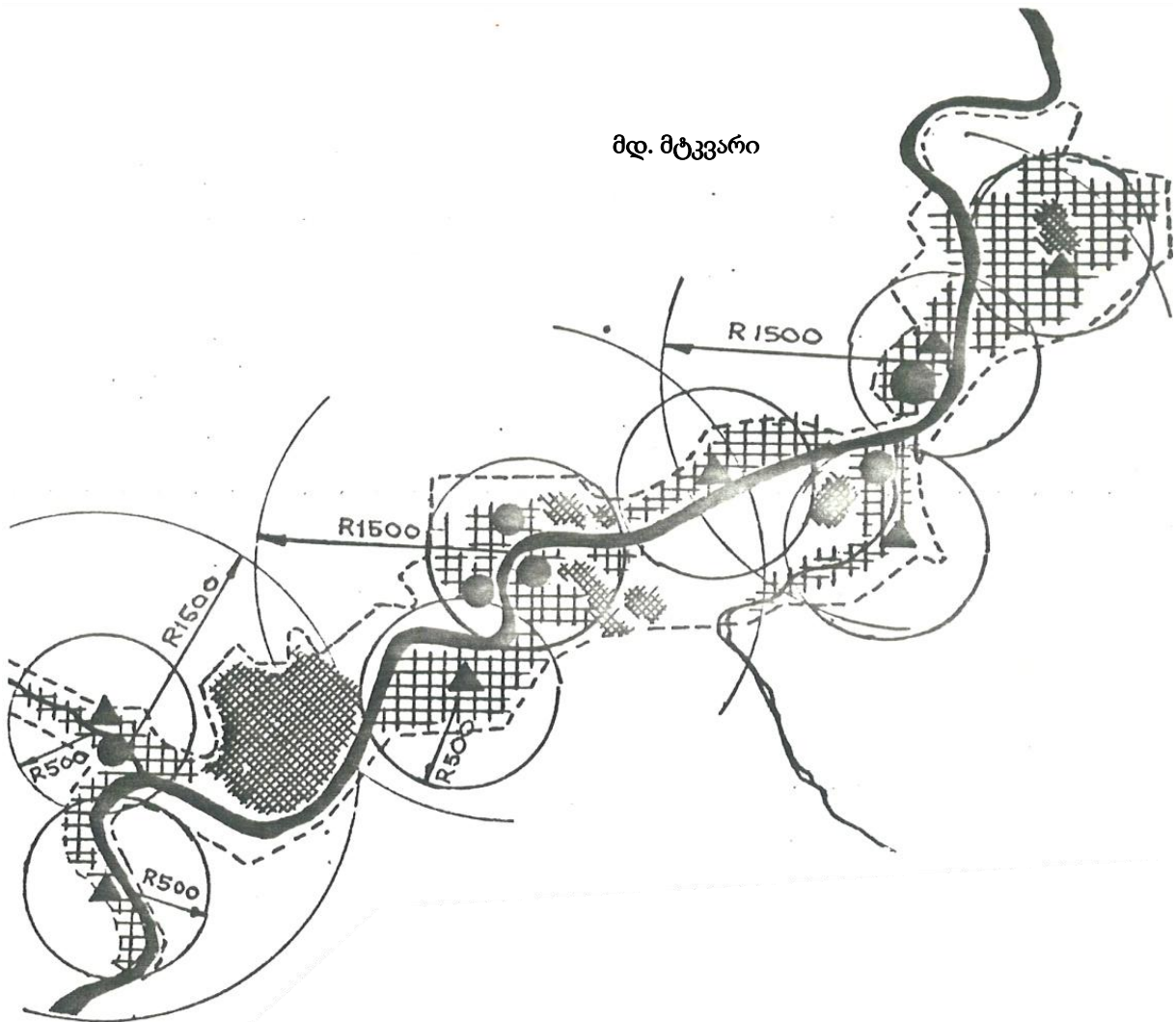
საქართველოს კონტინენტურ-ბუნებრივ პირობებში (მაღალმთიანი, შუამთიანეთი და დაბლობი) ზონალური რეკრეაციულ-ტურისტული სისტემის არქიტექტურულ-გეგმარებითი სტრუქტურის ფორმირების პრინციპული სქემა:

- 1 - რეკრეაციულ-ტურისტული სიმპლექს სისტემები (რეკრეაციის საერთო საანგარიშო ფართობი შეადგენს 2,5-12,6 კვ.კმ.); 2 - რეკრეაციული კომპლექსები (საერთო ფართობი - 12,6-78,5 კვ.კმ);
- 3 - რეკრეაციულ-ტურისტული სუბარეალის საზღვრები (სუბარეალის რეკრეაციული სისტემის ტერიტორიის საერთო საანგარიშო ფართობი მერყეობს 78,5-1256,0 კვ.კმ-ის ფარგლებში); 4 - რეკრეაციულ-ტურისტული არეალების საზღვრები (ტერიტორიის საერთო ფართობი - 1256,0-3846,5 კვ.კმ);
- 5 - ზონის რეკრეაციული საზღვრები (საერთო ფართობი - 3846,5-17662,5 კვ.კმ.) 6 - მომსახურე პერსონალის განსახლების სისტემა; 7 - კულტურულ-საყოფაცხოვრებო მომსახურების საზოგადოებრივი ცენტრები; 8 - არეალების ცენტრები; 9 - კულტურულ-გასართობი ზონის (კვზ) ადმინისტრაციულ-საზოგადოებრივი ცენტრი; 10 - ინტენსიური გამოყენების მწვენი ნარგავები (საფარი);
- 11 - სატრანსპორტო-საფეხმავლო კომუნიკაციები

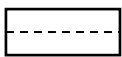
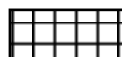

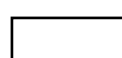

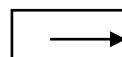


ნახ. 2.

კურორტებზე მასობრივი დასვენებისა და ტურიზმის ადგილებში საზოგადოებრივი კვების მსხვილი, ცენტრალური მწარმოებელ-დამამზადებელისა წარმოების მოცულობით-სივრცითი გადაწყვეტის თანამედროვე შესაძლო ვარიანტები

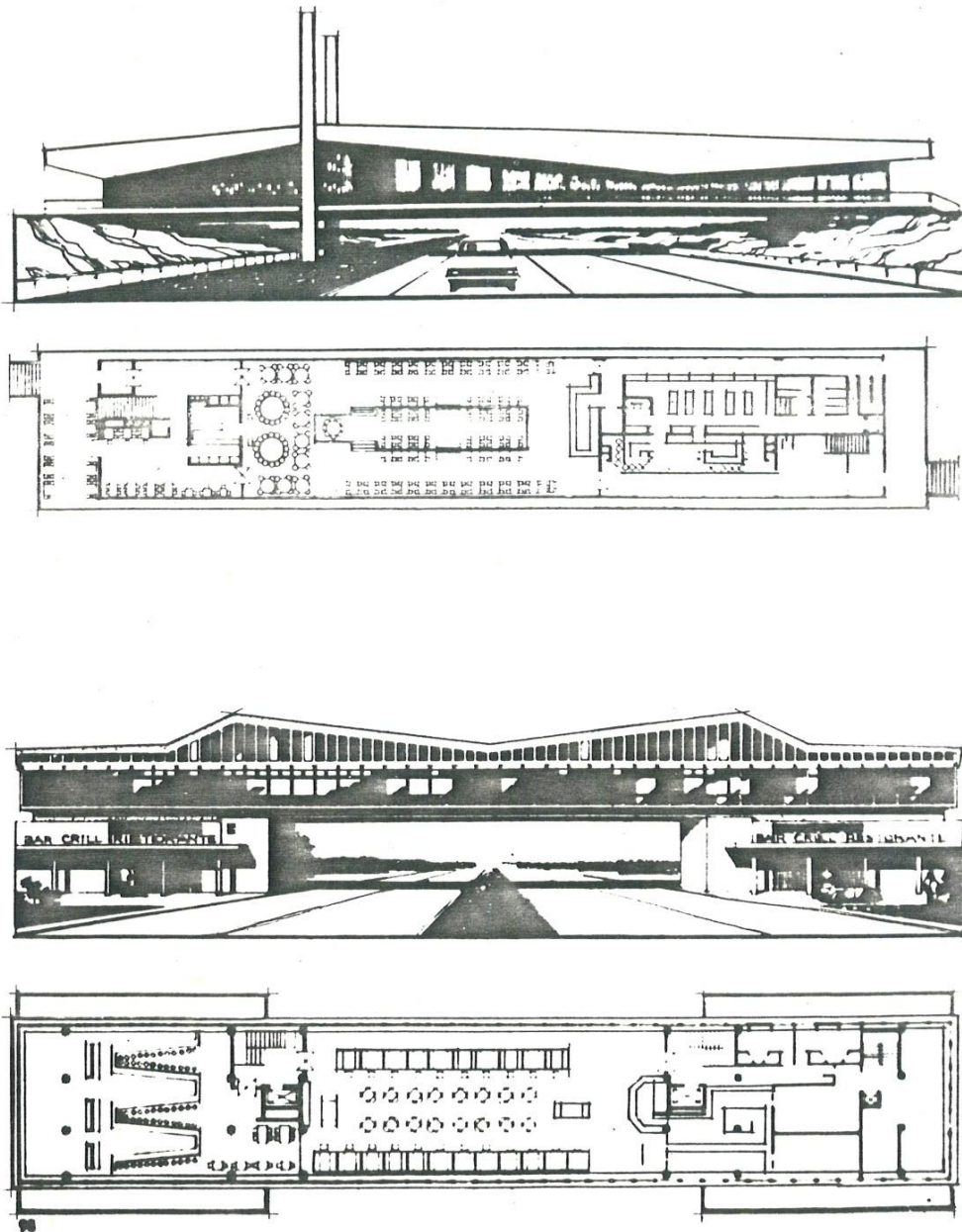


პირობითი ნიშნები

- | | |
|---|---------------------------------------|
|  | - ქალაქ კურორტის ტერიტორიის საზღვრები |
|  | - დასახლებული ტერიტორიები |
|  | - საკურორტო-რეკრეაციული არეალი |
|  | - საქალაქო მნიშვნელობის მომსახურე |
|  | - ადგილობრივი მნიშვნელობის მომსახურე |
|  | - მომსახურების რადიუსები |

ნახ. 3.

ქალაქ კურორტ ბორჯომის რეკრეაციული მომსახურების სისტემის განვითარებისა და რეკონსტრუქციის საანგარიშო სქემა, გათვლილი 2015-2025 საპროექტო წლების ვადებზე



ნახ. 4.

ავტომანქანების თავზე, მათი გადაკვეთის ადგილებში განთავსებული საზოგადოებრივი კვების საწარმოთა მოცულობით- სივრცითი გადაწყვეტის შესაძლო ვარიანტები

ლიტერატურა

1. Bilik M.S. Constructing of Optimal Models of Resort-recreation Systems. Central Scientific Technical Institute of Civil Engineering and Architecture. Review. 10. Moscow. 1985.
2. Jghenti R. Environmental and Architectural Challenges to Resort-Recreation Area Design-Case of Open Catering Networks//Energy. №1(57). 2011.

EFFECTIVE METHODS OF SETTLEMENT OF SEASONAL LOADS IN PUBLIC CATERING FACILITIES IN RESORT-RECREATIONAL SYSTEMS

R.Jghenti . "Energy". №1(97). 2021. Tbilisi. p. 56-63. geo. sum geo. engl. rus.

According to the results of the study and implementation of the novelty, the social effect in the future by 2025 means highly efficient maintenance of up to 5 million people at Georgia resorts for the season with an open network of catering facilities, which will contribute to their full rest and health, recovery and life expectancy; The creation of such contrasting situations in open-ended enterprises with highly artistic and architectural means, which are clearly different from everyday situations. The main distinguishing feature is a combination of nutrition and entertainment activities (recreation, entertainment, games, etc.).

Ill. 4, bibl. 2.

ЭФФЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ УРЕГУЛИРОВАНИЯ СЕЗОННЫХ НАГРУЗОК В СЕТИ ОБЩЕСТВЕННОГО ПИТАНИЯ В КУРОРТНО-РЕКРЕАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Жгенти Р. "Энергия". №1(97). 2021. Тбилиси. с. 56-63. груз. реф. груз. англ. рус.

По результатам исследования и реализации новинки социальный эффект в будущем к 2025 году означает высокоэффективное обслуживание до 5 млн. человек на курортах Грузии за сезон с открытой сетью заведений общественного питания, что будет способствовать их полноценному отдыху и здоровью, выздоровлению и продолжительности жизни. Такие контрастные ситуации на предприятиях открытого питания с привлечением высокохудожественных и архитектурных средств, существенно отличаются от таковых повседневно принятых, сочетанием функции питания и развлекательных мероприятий (отдых, развлечения, игры и т. д.).

Илл. 4, лит. 2.

**საქართველოს კურორტებზე საზოგადოებრივი კვების ღია
ქსელის ობიექტების ძალაშიაგმარებითი
ორგანიზაციის სტრუქტურა**

საინჟინრო მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი **რამაზ ჟღენტი**

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ანოტაცია. რეკრეაციული მომსახურების სფეროს განვიხილავთ როგორც რთულ, პოლიფუნქციურ სისტემას, რომლის ძირითადი ელემენტები და ქვესისტემები სხვადასხვაგვარია: სოციალურ-ეკონომიკური, დემოგრაფიული, ეკოლოგიური, იდეოლოგიური, ესთეტიკური და სხვათა "შეფერილობის" გამო მათი რანგითა და მნიშვნელობით, განვითარების კანონზომიერებითა და სივრცის ორგანიზაციის უნარით.

ვითვალისწინებთ რა სხვადასხვა რანგის და ტიპის რეკრეაციული წარმონაქმნების ფორმირების კონცეფციას, მიზანშეწონილად მიგვაჩნია რეკრეაციული სტრუქტურების ორგანიზაციის დროს კულტურულ-საყოფაცხოვრებო და საზოგადოებრივი კვების ღია ქსელის ობიექტების ადგილი და როლი აღნიშნულ სისტემაში განისაზღვროს ქალაქგეგმარებით პრინციპებზე დაყრდნობით და სხვადასხვა ტიპის რეკრეაციული სივრცის არქიტექტურულ-გეგმარებითი სტრუქტურის ფორმირების განსაკუთრებულობის ვათვალისწინებით.

საკვანძო სიტყვები: სეზონურობა, პიკის პერიოდი, საკურორტო-რეკრეაციული წარმონაქმნები, საზოგადოებრივი კვება, ობიექტების დაბალსიმძლავრეობა და დაქუცმაცებულობა.

საზოგადოებრივი კვების ორგანიზაციას კურორტებზე, მასობრივი დასვენებისა და ტურიზმის ადგილებში დიდი სოციალურ-პოლიტიკური მნიშვნელობა ენიჭება. ამასთან, საზოგადოებრივი კვების სისტემის ფუნქციონირების ხარისხის ამაღლებას ხელს უშლის "სეზონურობის" პრობლემა, რომლის გადაჭრის სირთულე უკავშირდება ე.წ. "პიკის" პერიოდის არსებობას და რაც, თავის მხრივ, სეზონური დატვირთვების პერიოდში ითხოვს ღია ქსელის დროებით გაფართოებას. აღნიშნული პრობლემა ყველაზე უფრო მკვეთრად გამოხატული საზოგადოებრივი კვების ღია ქსელში. ეს პრობლემა განსაკუთრებით აქტუალურია საქართველოს საკურორტო-რეკრეაციული წარმონაქმნების სპეციფიკურ პირობებში, ვინაიდან აქ განსაკუთრებით მკაფიოდ მუდავნდება რაოდენობრივი (მშენებლობის მასშტაბების ზრდა, დამსვენებელთა რაოდენობის მკვეთრი რყევები და ა.შ.) და თვისობრივი (განვითარებული ქსელის ფორმირება, ტექნიკური აღჭურვილობის სრულყოფა, და ა.შ.) ცვლილებები.

ქალაქი წყალტუბო - მსოფლიო მნიშვნელობის ბალნეოლოგიური კურორტია იგი მდებარეობს ქ. თბილისიდან ჩრდილო-დასავლეთით 235 კმ-ზე და ქ. ქუთაისიდან 12 კმ-ის დაშორებით. ეს საკურორტო ქალაქი გამოირჩევა ბალნეოლოგიური წყაროების სიუხვით და განლაგებულია თვალწარმტაც ხეობაში, გარშემოერთმულია დამრეცი ბორცვებით და

მდიდარი მცენარეული საფარით. ქალაქი განლაგებულია 730 კმ ტერიტორიაზე, რომელთაგან 10,9% (80 კმ) საკურორტო პარკს უკავია. კლიმატი თბილია, ზომიერად ტენიანი. ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურა – 14,7°C. შემოდგომა-ზამთრის და გაზაფხულის პერიოდში ჭარბობს ჩრდილო-აღმოსავლეთის, ხოლო ზაფხულის პერიოდში – სამხრეთ-დასავლეთის ქარები. ძირითადი სამკურნალო საშუალებაა სუსტი რადიოაქტიური, მინერალური თერმული წყალი ტემპერატურით +32-35°C, რომელიც გამოიყენება მოძრაობის ორგანოების, სისხლძარღვების მიმოქცევის, ნერვული სისტემის და ზოგიერთი გინეკოლოგიური დაავადებების სამკურნალოდ. საჭიროა ხაზი გაუსვათ იმ გარემოებას, რომ ქალაქ-კურორტ წყალტუბოს განვითარება და ჩამოყალიბება, ქვეყნის მრავალი საკურორტო ქალაქისგან განსხვავებით, წარმოებს ჯანდაცვის, კურორტოლოგიური წესებისა და მოთხოვნების განსაკუთრებული დაცვით, რის გამოც თავიდან იქნა აცილებული საკურორტო-რეკრეაციული სივრცისთვის დამახასიეთებელი ისეთი ნაკლოვანება, როგორცაა მოჭარბებული მშენებლობები, რასაც ვერ ვიტყვით ბორჯომსა და ბათუმზე. წყალტუბოს პირობებში საკურორტო ზონა მკაცრად შეზღუდულია და მოცილებულია საცხოვრებელ ზონას, რაც ხელს უწყობს საკურორტო რეჟიმის მკაცრ დაცვას, რომელიც მკურნალობისას მნიშვნელოვან ფაქტორს წარმოადგენს.

ქალაქი ბორჯომი - ადმინისტრაციულ-რაიონული ცენტრი საკურორტო რეკრეაციული ზონით და მასში თავმოყრილი საზოგადოებრივი და კულტურულ-საყოფაცხოვრებო დაწესებულებებით.

ბორჯომი - ჩვენი ქვეყნის სამთო-კლიმატურ და ბალნეოლოგიურ საკურორტო ქალაქებს შორის ერთ-ერთი ყველაზე პოპულარული საკურორტო ქალაქია, თვალწარმტაცი მთებით და მარადმწვანე წიწვოვანი ტყეებით. კლიმატი აქ თბილი და ზომიერად ტენიანია, ზამთარი-რბილი, ზაფხული-თბილი. საშუალო წლიური ტემპერატურა +9,2°C, საშუალო წლიური ფარდობითი ტენიანობა – 77%-მდე. წლიური ნალექების რაოდენობა – 595 მმ. ჭარბობს ჩრდილო-აღმოსავლეთის და აღმოსავლეთის ქარები. კურორტზე ძირითადი სამკურნალო (დასალევი, სააბაზანო) საშუალებაა ვულკანური წარმოშობის მინერალური წყალი.

ქალაქი ბათუმი - აჭარის დედაქალაქი, ქვეყნის ერთ-ერთი მთავარი საზღვაო ნავსადგური, საქართველოს შავი ზღვის სანაპიროზე ბათუმი-ციხისძირის რეკრეაციული ჯგუფის კლიმატურ-საკურორტო ქალაქებს შორის ერთ-ერთი ყველაზე პოპულარული.

ბათუმის ზღვის სუბტროპიკული კლიმატი ძალიან თბილი და ტენიანია. წლის ნალექების ნორმა დაახლოებით 2418 მმ-ია, მათ შორის წლის თბილ პერიოდში – 1460 მმ. ნალექების უდიდესი რაოდენობა მოდის სექტემბრის თვეზე. გაზაფხული აქ მოკლეა და შედარებით ცივი, შემოდგომა - თბილი, მაგრამ ნალექების გაზრდილი რაოდენობით; ზამთარი ძალიან რბილია, ზაფხული-ცხელი და ხანგრძლივი, მაქსიმალური ტემპერატურა

აღწევს $+36^{\circ}\text{C}$. საშუალო წლიური ტემპერატურა $+14,5^{\circ}\text{C}$, ხოლო ფარდობითი ტენიანობა დაახლოებით 80%.

ბათუმის ძირითად რეკრეაციულ პოტენციალს და სამკურნალო-პროფილაქტიკურ საშუალებას წარმოადგენს მთისა და ზღვის კლიმატი, მზისა და წყლის აბაზანები. ბათუმს განსაკუთრებულ სიბელს სძენს სუბტროპიკული და დეკორატიული მცენარეების სიუხვე, თვალწარმტაცი ზღვისპირა ბულვარი, სანაპირო ზოლის გასწვრივ ულამაზესი პლაჟი, მაგნოლიები, პალმების ხეივნები და სხვა ჯიშის მარადმწვანე მცენარეები, ციტრუსების პლანტაციები, უნიკალური სუბტროპიკული ბოტანიკური ბაღი. ბათუმი განსაკუთრებით მიმზიდველია დამსვენებლებისთვის წლის თბილ და ცხელ პერიოდში, რის გამოც ამ პერიოდში ქალაქის რეკრეაციული სისტემა რეკრეანტთა გარკვეული გადატვირთვებით გამოირჩევა.

ბათუმის საკურორტო რეკრეაციული სივრცე, მისი ქალაქგეგმარებითი სტრუქტურა მომსახურების სფეროს და რეკრეაციის ყველა ფენომენით (ბიოცენიზი), დარღვეულია აქ მიმდინარე მასშტაბური მშენებლობების გამო.

აღნიშნულ ქალაქ-კურორტებზე მომსახურების სფეროს სისტემის ფორმირება მეცნიერული კვლევის შედეგების საფუძველზე კი არ მიმდინარეობს, არამედ სტიქიურად. საზოგადოებრივი კვების დია ქსელის და სავაჭრო-საყოფაცხოვრებო მომსახურების სფეროს სხვა ობიექტები ამ ქალაქების გეგმარებაში არასწორად და არათანაბრადაა განაწილებული. 70-80%-ზე მეტი აღნიშნული დაწესებულებების თავმოყრილია ქალაქის ცენტრალურ ნაწილში. ამ ობიექტების განლაგების მსგავსი ექსცენტრიზმი დისკომფორტს უქმნის როგორც ადგილობრივ (მუდმივ მოსახლეობას), ასევე სხვადასხვა კატეგორიის დროებით მაცხოვრებლებს. ამასთან აღნიშნულ დაწესებულებებამდე სიშორე (გადაადგილების მანძილი) სცილდება დასაშვებ საფეხმავლო მისაწვდომობის ნორმების საზღვრებს და რიგ შემთხვევებში 1.5-3.0 კმ-ს შეადგენს, რაც იწვევს შიდასაქალაქო ტრანსპორტის ცნობილ გადატვირთვებს და ადამიანთა ნაკადით ცენტრის გადატვირთვას. ეს გადატვირთვები განსაკუთრებულად აისახება მომსახურების სფეროს მთელ სისტემაზე და კომუნიკაციებზე ზაფხულის პერიოდში, როცა მოსახლეობის რაოდენობა აღნიშნულ კურორტებზე ძალიან იზრდება. აღნიშნული სიტუაცია ფიქსირდება საქართველოს თითქმის ყველა კურორტზე. რეკრეაციული სისტემის ისეთი მანკიერი მხარეები, როგორცაა საქართველოს კურორტებზე, მასობრივი დასვენებისა და ტურიზმის ადგილებში მომსახურების სფეროს ობიექტების დაბალსიმძლავრიანობა და დაქუცმაცებულობა ზოგადად საზოგადოებრივი კვების სისტემის განვითარების და ფორმირების ქალტურ პროცესს უკავშირდება. ასეთი სახით ამ პროცესების წარმართვას შემდეგი ფაქტორები განაპირობებენ:

1. საკურორტო-რეკრეაციული ტერიტორიების რაიონული დაგეგმარების სქემების არარსებობა.

2. რეკრეაციული მომსახურების სისტემის და ზოგადად საკურორტო-რეკრეაციული სფეროს განვითარების პერსპექტიულ პროგნოზზე გაკეთებული არასაკმარისი გათვლები.

3. არსებული მომსახურების სისტემის ობიექტების არქიტექტურულ-გეგმარებითი იერსახის მანკიერება და ტექნოლოგიურ სქემებში საზოგადოებრივი კვების ობიექტების ფუნქციური სტრუქტურის ორგანიზაციის არასწორი გათვლები.

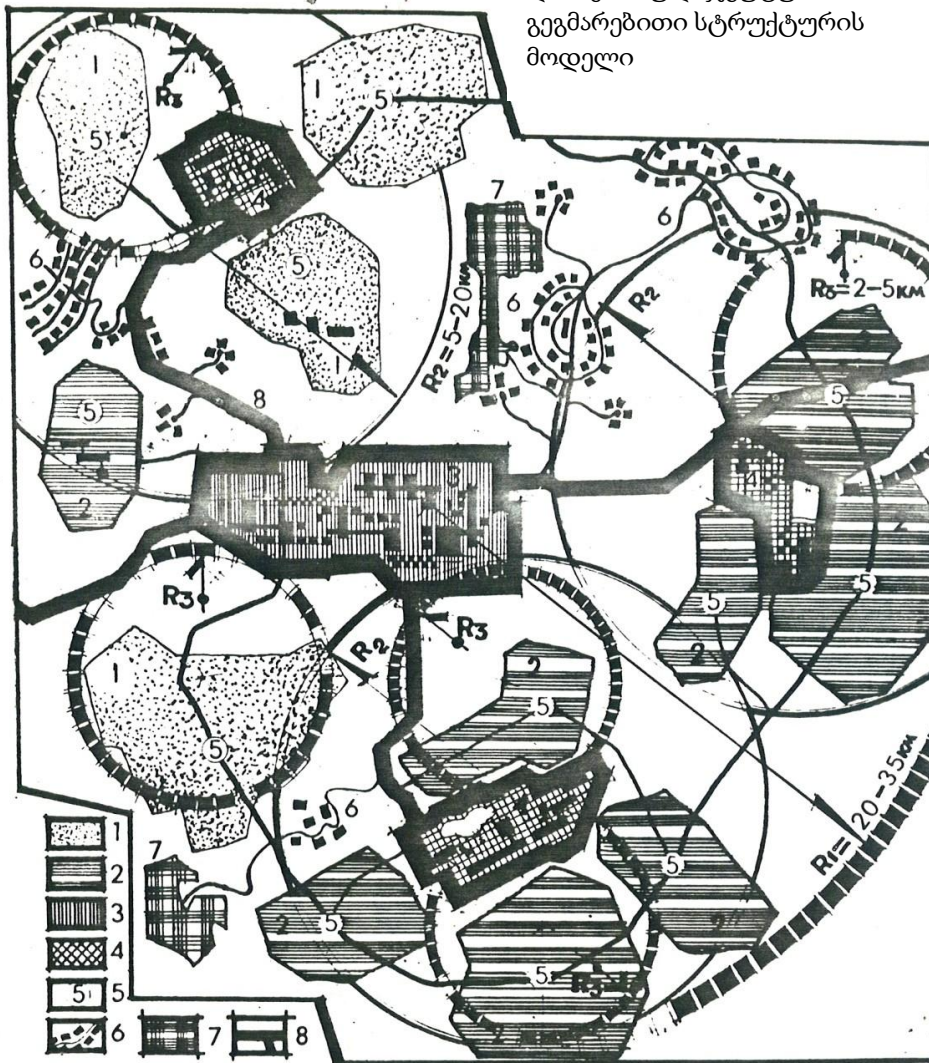
საქართველოს საკურორტო-რეკრეაციული სისტემის პირობებში კვების ობიექტების დაქუცმაცებულობის ტენდენციები ძირითადად განსაზღვრა კონკრეტულმა რაიონულ-გეგმარებითმა (გეოგრაფიული და ბუნებრივ-კლიმატური, რელიეფის სტრუქტურა, ეკოსისტემა და სხვა ფაქტორები) და სოციალურ-დემოგრაფიულმა (მხარის ტრადიციები, აბორიგენტთა ცხოვრების წესი, განსახლების სისტემის სტრუქტურა და ხასიათი) განსაკუთრებულობამ.

სამწუხაროდ, საზოგადოებრივი კვების ობიექტების მშენებლობა მიმდინარეობს ძირითადად "უპროექტო მეთოდის" გამოყენებით, ხოლო კვების სისტემის ორგანიზაციასპონტანურად, "თვითდინებით" საბაზო მიმართულებების და მთელი საკურორტო-რეკრეაციული სფეროს მომსახურების სისტემის რგოლებს შორის (ზონა, არეალი და ა.შ.) არსებული ყოველგვარი კორელაციური დამოკიდებულებისა და ურთიერთკავშირების გათვალისწინების გარეშე.

უნდა აღინიშნოს ის გარემოება, რომ მთელ რიგ გამოკვლევებში, რომელიც საკურორტო-რეკრეაციული სისტემის ქალაქგეგმარებითი ორგანიზაციის საკითხს ეხება, შემოთავაზებულია ინტეგრირებული, შერეული ტიპის დისპერსიულ-ჯგუფური არქიტექტურულ-გეგმარებითი სტრუქტურის მოდელი, სადაც დასაბუთებულია მოცემულ რეგიონში მისი კულტივაციის მიზანშეწონილობა.

რეკრეაციული მომსახურების სფეროს განვიხილავთ როგორც რთულ, პოლი-ფუნქციურ სისტემას, რომლის ძირითადი ელემენტები და ქვესისტემები სხვადასხვაგვარია სოციალურ-ეკონომიკური, დემოგრაფიული, ეკოლოგიური, იდეოლოგიური, ესთეტიკური და სხვათა "შეფერილობის" გამო მათი რანგითა და მნიშვნელობით, განვითარების კანონზომიერებითა და სივრცის ორგანიზაციის უნარით. ვითვალისწინებთ რა სხვადასხვა რანგის და ტიპის რეკრეაციული წარმონაქმნების კოჰერენტულად ფორმირების კონცეფციას, მიზანშეწონილად მიგვაჩნია რეკრეაციული სტრუქტურების ორგანიზაციის დროს კულტურულ-საყოფაცხოვრებო და საზოგადოებრივი კვების ღია ქსელის ობიექტების ადგილი და როლი აღნიშნულ სისტემაში განისაზღვროს ქალაქგეგმარებით პრინციპებზე დაყრდნობით და სხვადასხვა ტიპის რეკრეაციული სივრცის არქიტექტურულ-გეგმარებითი სტრუქტურის ფორმირების განსაკუთრებულობის გათვალისწინებით.

დისპერსიულ-ჯგუფური
გეგმარებითი სტრუქტურის
მოდელი



ნახ. 1.

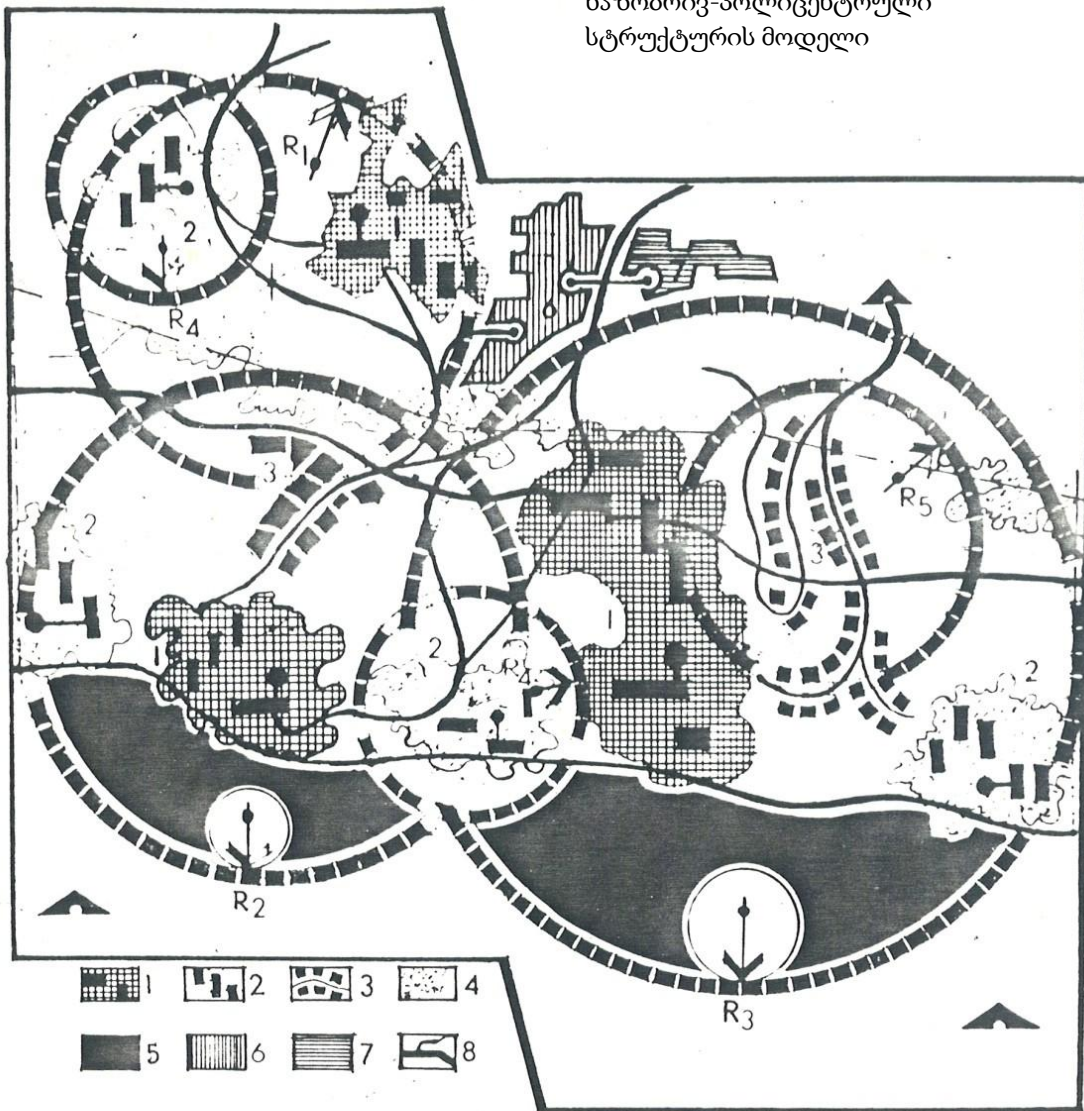
საქართველოს სარეკრეაციო-ტურისტული სისტემის არეალისა და სუბარეალის
არქიტექტურულ-გეგმარებითი ფორმირების პრინციპული სქემა:

1 - დაბალი და საშუალოსართულიანობის განაშენიანების დისპერსიული რეკრეაციულ-ტურისტული კომპლექსები; 2 - რეკრეაციული კომპლექსები, მაღლივი შენობებით განაშენიანებული რეკრეაციების სტრუქტურაში; 3 - არეალის ადმინისტრაციულ-საზოგადოებრივი ცენტრი; 4 - სუბარეალის კულტურულ-საყოფაცხოვრებო მომსახურების საზოგადოებრივი ცენტრი; 5 - კომპლექსების ცენტრები; 6 - მომსახურე პერსონალის განსახლების სისტემა; 7 - საწარმო-სამეურნეო და სასაწყობო ტერიტორიები; 8 - სატრანსპორტო-საფეხმავლო კომუნიკაციები.

ძირითადი პარამეტრები:

$$R_1 = 20-35 \text{ km}, R_2 = 5-20 \text{ km}, R_3 = 2-5 \text{ km}$$

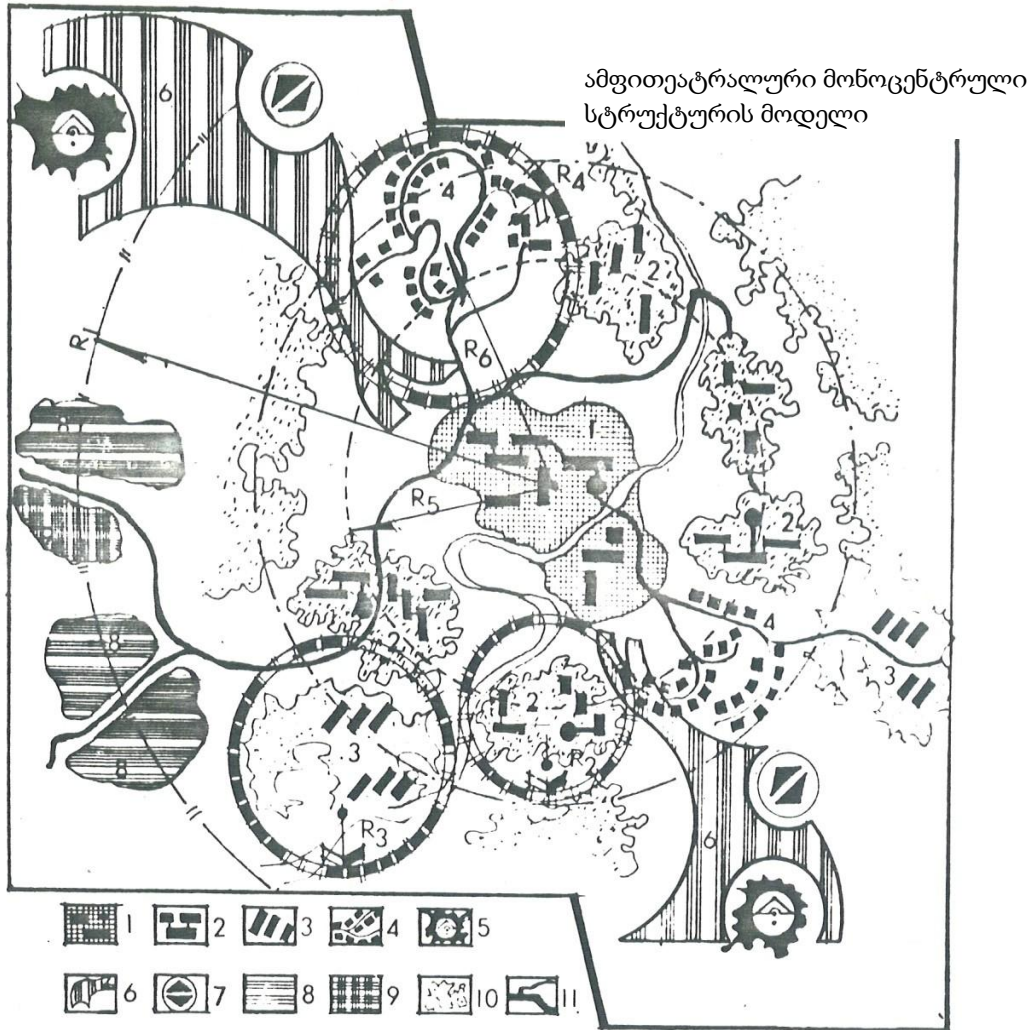
ხაზობრივ-პოლიცენტრული
სტრუქტურის მოდელი



ნახ. 2.

საქართველოს ზღვისპირა რეკრეაციული სივრცის რეკრეაციულ-ტურისტული კომპლექსების არქიტექტურულ-გეგმარებითი სტრუქტურის პრინციპული სქემა:

- 1 - კომპლექსების რეკრეაციულ-ტურისტული ცენტრები; 2 - მრავალსართულიანი კორპუსებით მჭიდროდ განაშენიანებული რეკროს იმპლექსები (რეკროტორიის საერთო ფართობი - 2,5-4,5 კვ.კმ);
- 3 - სანაპირო ზოლის პერპენდიკულარულად საშუალო და მცირესართულიანი (9 სართულის ქვევით) განაშენიანება (რეკროტორიის საერთო ფართობი - 7,2-დან 12,6 კვ.კმ-მდე) შენობათა სართულიანობის ზრდისა და შემცირების გათვალისწინებით; 4 - ინტენსიური ათვისების გამწვანების (ტყე და ტყეპარკი) რეკროტორიები; 5 - აკვატორიები; 6 - მომსახურე პერსონალის (ავარიული მდგომარეობისთვის) განსახლების ზონა; 7 - სარეკრეაციო სამეურნეო-საწარმოო და სასაწყობო ტერიტორიები; 8 - სატრანსპორტო და საფეხმავლო კომუნიკაციები



ნახ. 3.

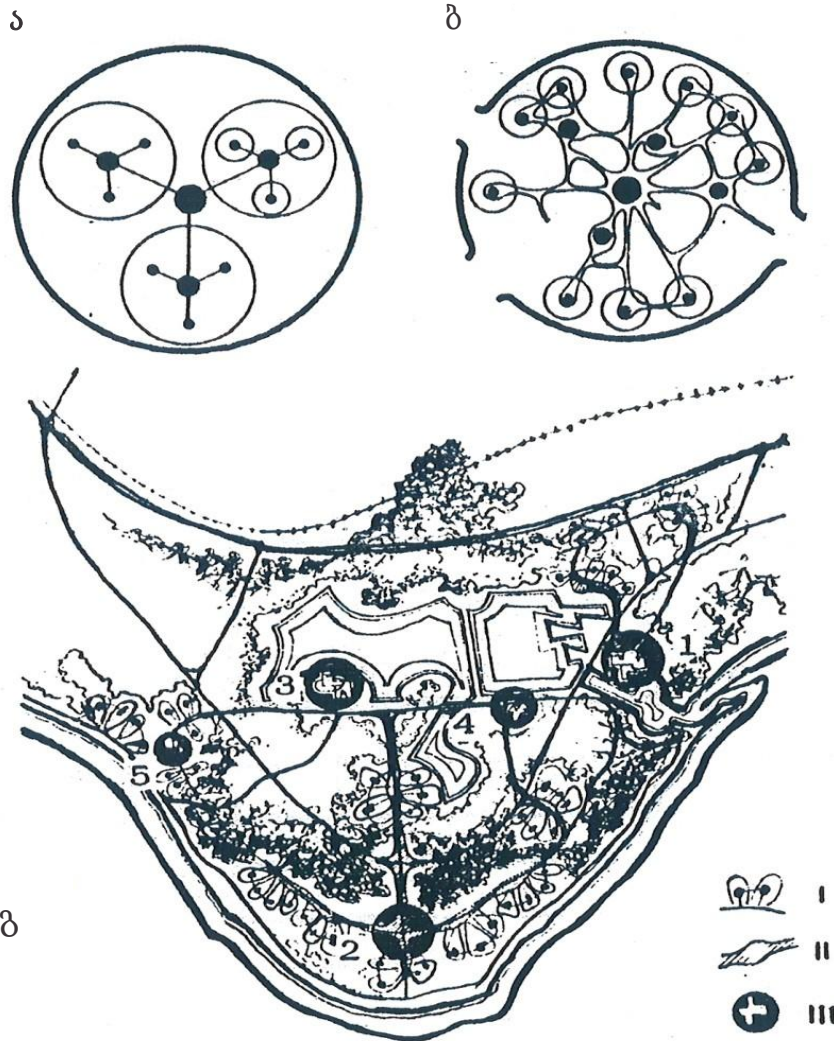
საქართველოს სამთო-რეკრეაციული სივრცის რეკრეაციულ-ტურისტული კომპლექსის არქიტექტურულ-გეგმარებითი სტრუქტურის ფორმირების პრინციპული სქემა:

1 - კომპლექსების სარეკრეაციო-ტურისტული ცენტრები; 2 - მრავალსართულიანი კორპუსებით (9-12 სართული) მჭიდროდ განაშენიანებული (რეკონტორიის საერთო ფართობი - 2,5 კვ.კმ.) რეკრეაციული სიმპლექსი; 3 - 3-7-სართულიანი კორპუსებით საშუალო სიმჭიდროვის განაშენიანების (რეკონტორიის საერთო ფართობი - 4,5 კვ.კმ.) რეკრეაციული სიმპლექსები; 4 - მცირესართულიანი (2-3 სართული) კორპუსებით დაბალი სიმჭიდროვის განაშენიანების (რეკონტორიის საერთო ფართობი - 7,2 კვ.კმ.) რეკრეაციული სიმპლექსები; 5 - "შალე"-ს, "ბუნგალო"-ს და სხვ. ტიპის ნაგებობები (ფაცხები); 6 - რეკრეაციული საქმიანობის (ძირითადი სპეციალიზებული სახეობები პროფილის მიხედვით: სათხილამურო ტერიტორიები, ტრასები, სოლარიუმები, პლაჟები და სხვ.) რეკონტორიები; 7 - რეკრეანტა ძირითადი ნაკადის მიმართულება; 8 - მომსახურე პერსონალის განსახლების ტერიტორიები; 9 - რეკრეაციის საწარმო-სამეურნეო და სასაწყობო ტერიტორიები; 10 - ინტენსიური გამოყენების მშენებარეების (საფარის) (ტყე და ტყეპარკები) რეკონტორიები; სატრანსპორტო და საფეხმავლო კომუნიკაციები

ძირითადი პარამეტრები:

$$R_1=2-3 \text{ km}, R_2=0.9 \text{ km}, R_3=1,2 \text{ km}, R_4=1,5 \text{ km},$$

$$R_5=1,2-1,5 \text{ km}, R_6=1,5-1,8 \text{ km}$$



ნახ. 4.

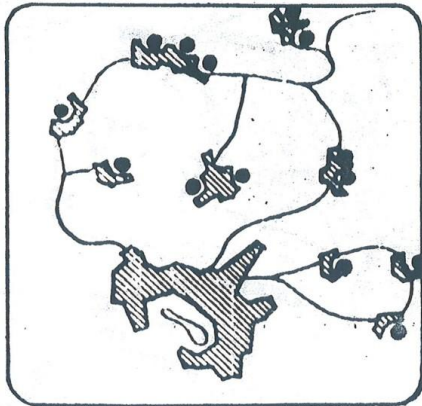
საკურორტო-რეკრეაციული სისტემების პირობებში კულტურულ-საყოფაცხოვრებო მომსახურების ტრადიციული მოდელების შედარებითი გრაფიკული ანალიტიკური დახასიათება (რეტროსპექტივა-პერსპექტივა):

ა) - მომსახურების სამსაფეხურიანი ორგანიზაციის მოდელი; ბ) - მომსახურების ბირთვულ-ქსელური ორგანიზაციის მოდელი; გ) - ზღვისპირეთის ზონის საკურორტო-რეკრეაციული არეალის კულტურულ-საყოფაცხოვრებო მომსახურების ბირთვულ-ქსელური სტრუქტურა:

I ლოკალური მომსახურების ჯგუფები; II მომსახურების დისპერსიული ქსელი;

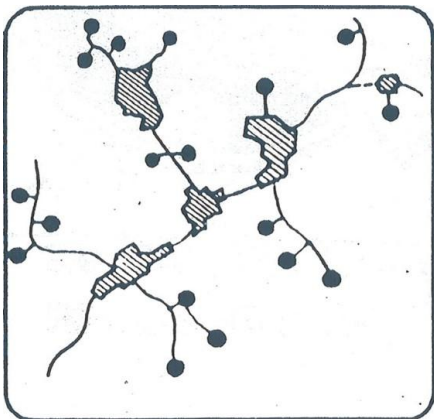
III საზოგადოებრივი ცენტრები (1 - ადმინისტრაციულ-სავაჭრო, 2 - კულტურულ-მასობრივი, 3 - სპორტული, 4 - საგამოფენო, 5 - საბავშვო)

ა



არსებული განსახლების სისტემების აგლომერაცია წინასწარ განსაზღვრავს: რეკრეაციულ ტურისტული სისტემების ფორმირებას, კოჰერენტულს არსებული დასახლებული ადგილების სისტემებთან, კულტურულ-საყოფაცხოვრებო მომსახურების ქსელთან და ფუნქციური ზონების ურთიერთგანლაგებასთან

ბ



შექმნილი განსახლების სისტემების რეკრეაციულ-ტურისტული ქსელის აგლომერაცია წინასწარ განსაზღვრავს: ტეროტორიის რაციონალური გამოყენების პირობებში, კულტურულ-საყოფაცხოვრებო მომსახურების და განსახლების ოპტიმალურ სისტემების ფორმირებას, კოჰერენტულს არსებული რეკრეაციული სისტემების პირობებთან



ნახ. 5.

სხვადასხვა ტიპის რეკრეაციული სივრცის არქიტექტურულ-გეგმარებითი ფორმირების თავისებურებანი:

ა - არსებული დასახლებული ადგილების და ა.შ. აგლომერაციების პრინციპული სქემა;

ბ - განსახლების და ა.შ. აგლომერაციების სარეკრეაციო- ტურისტული სისტემის არსებული ქსელის პრინციპული სქემა;

1 - დასახლებული ადგილებისა და ა.შ. აგლომერაციების სისტემა;

2 - სარეკრეაციო-ტურისტული კომპლექსები (სიმპლექსები); 3 - ძირითადი სატრანსპორტო კომუნიკაციები

ლიტერატურა

1. ჟღენტი რ., მ. ბილიკი. დანერგვა „თბილზნიიეპი“. სამეცნიერო-ტექნიკური ანგარიში 9/БД-87 №ГР92055432. 1987.
ქალაქ-კურორტ ბორჯომის რეკრეაციული სივრცის რეკრეაციულ-ტურისტული კომპლექსის არქიტექტურულ-გეგმარებითი სტრუქტურის ფორმირების, 2015 წლამდე მომსახურების სისტემის განვითარების და რეკონსტრუქციის კონცეფციის მეცნიერულად დასაბუთებული წინადადებების დამუშავება.
2. ჟღენტი რ., მ. ბილიკი. დანერგვა „თბილზნიიეპი“. სამეცნიერო-ტექნიკური ანგარიში 10/БД-88 №ГР10328028. 1988.
ქალაქ-კურორტ წყალტუბოს მომსახურების სისტემის სრულყოფის მიზნით სამამულო და უცხოური წარმოების უნივერსალური კონსტრუქციული სისტემების და მრავალმხრივი ტრანფორმაციის შესაძლებლობების მქონე ასაწყობ-დასაშლელი მსუბუქი კონსტრუქციული ელემენტების გამოყენების მეცნიერულად დასაბუთებული წინადადებების დამუშავება და რეკომენდაციების შემუშავება რეკრეაციულ-ტურისტული სისტემის არქიტექტურულ-გეგმარებითი სტრუქტურის ფორმირების პრინციპული სქემის შედგენით.
3. ჟღენტი რ., მ. ბილიკი. დანერგვა „თბილზნიიეპი“. სამეცნიერო-ტექნიკური ანგარიში 25-Н-89 №ГР19404532077. 1989.
საქართველოს ზღვისპირა საკურორტო-რეკრეაციული სისტემების პირობებში კულტურულ-საყოფაცხოვრებო მომსახურების ტრადიციული მოდელის გრაფო-ანალიტიკური დახასიათებით (რეტროსპექტივა-პერსპექტივა) და საზოგადოებრივი კვების ატრაქციონული ტიპის ობიექტების კულტივაციის დასაბუთებით 2010 წლამდე რეკრეაციულ-ტურისტული კომპლექსების არქიტექტურულ-გეგმარებითი სტრუქტურის პრინციპული სქემების შედგენა, მეცნიერულად დასაბუთებული წინადადებების დამუშავება და რეკომენდაციების შემუშავება.
4. ჟღენტი რ. საქართველოს კურორტებზე მასობრივი დასვენებისა და ტურიზმის ადგილებში საზოგადოებრივი კვების ღია ქსელის ფუნქციურ-დაგეგმარებითი საკითხები, დამსვენებელთა რიცხვის სეზონური მერყეობის გათვალისწინებით// „ენერჯია“. №2(42). 2007.
5. ჟღენტი რ. საკურორტო-რეკრეაციულ სფეროში „ატრაქციონული“ ტიპის საწარმოთა და ამ ტიპის საზოგადოებრივი კვებისა და დასვენების ობიექტების ფუნქციური განვითარების ტექნოლოგიები//„ენერჯია“. №2(42). 2007.

STRUCTURE OF URBAN PLANNING ORGANIZATION OF OPEN CATERING NETWORK IN RESORTS OF GEORGIA.

R.Jghenti. "Energy". №1(97). 2021. Tbilisi. p. 64-74. geo. sum geo. engl. rus.

We consider the sphere of recreational services as a complex, polyfunctional system, the main elements and subsystems of which differ in their socio-economic, demographic, environmental, ideological, aesthetic and other, colors "" in rank and significance, development patterns and ability to organize space.

Considering the concept of the consistent formation of different ranks and types of recreational formations, we find it advisable to determine the place and role of objects of an open network of cultural services and catering in the formation of recreational structures, based on urban planning principles taking into account architectural and planning features.

Ill. 5, bibl. 5.

СТРУКТУРА ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ОТКРЫТОЙ СЕТИ ОБЩЕСТВЕННОГО ПИТАНИЯ НА КУРОРТАХ ГРУЗИИ.

Р. Жгенти. "Энергия". №1(97). 2021. Тбилиси. с.64-74. груз. реф. груз. англ. рус.

Рассматривается сфера рекреационных услуг как сложной, полифункциональной системы, основные элементы и подсистемы которой различаются по: социально-экономическим, демографическим, экологическим, идеологическим, эстетическим и другим „окраскам” по рангу и значимости, закономерности развития и умения организовывать пространство.

Рассматривая концепцию последовательного формирования разных рангов и типов рекреационных образований, считаем целесообразным определить место и роль объектов открытой сети культурно-бытового обслуживания и общественного питания в формировании рекреационных структур, опираясь на градостроительные принципы с учётом архитектурно-планировочных особенностей.

Илл. 5., лит. 5.

DECREASE OF ROLLING RESISTANCE OF A RAILWAY WHEEL BY PERFECTION OF TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF WHEEL AND RAIL CONTACT ZONE

PHD George TUMANISHVILI

PHD Tengiz NADIRADZE

MSc Giorgi TUMANISHVILI

PHD Simon BITSADZE

PHd Mirian TSOTSKHALASHVILI

Abstract. *Improvement of tribological properties of the wheels and rails interacting surfaces, decrease of rolling resistance of a railway wheels, the train energy consumption, and wear rate is reached by their separation with the third body having due tribological properties. The ecological friction modifiers for tread and steering surfaces are developed. Presence of the third body in the contact zone is determined experimentally by the change of the friction moment and noise. The reasons of the negative, neutral and positive friction, mild, severe and catastrophic wear and types of damage of corresponding surfaces at various relative sliding velocities are revealed.*

Keywords: *rolling resistance, third body, tribological properties, wheel, rail.*

1. INTRODUCTION

Usually, the surfaces are covered with various types of natural and artificial coatings, which represent the components of the third body in the contact zone of the interacting surfaces and are subjected to heavy power and thermal loads. This causes deformations of these coatings, their destruction, activation of the physical and chemical processes proceeding between the coatings and surfaces, generation of new coatings. According to observations by Godet [1], dry friction is largely determined not by the properties of friction materials of the contacting pair, but by the characteristics of the structure and composition of the thin film that is formed on the surfaces of both bodies. During the interaction of surfaces, the processes of the third body destruction and restoration takes place in the contact zone continuously. When the intensity of destruction of the third body is greater than the intensity of their restoration, the amount of the micro-asperities coming into direct interaction that leads to the seizure, wear rate and types of surfaces damage increase. The power dissipated in the wheel–rail contact accounts for 13.5% [2]. Despite the important role the multidisciplinary approach plays in the reveal of parameters of the third body, there is no comprehensive model of the boundary friction that considers them.[3-6]. It is found in the works [7-9] that the properties of the tribo-film layers also depend on the working conditions and can be in some extent adapted to working conditions.

The adhesive approach to the friction means invasion of micro-asperities into each other in the contact zone, their close contact without the third body, and seizure of micro-asperities.

The thermal effects accompanying the displacement of the seized places relative to each other causes sharp increase of the shear stresses and corresponding deformations, value and instability of the friction forces and rupture of the coupled places.

The experimental researches have shown that at low total and relative sliding velocities of the surfaces, stability of the third body and its resistance to scuffing, are high and a main type of damage is fatigue wear [13, 14]. With increase of the total and relative sliding velocities of surfaces, thermal load of the actual contact zone, destruction intensity of the third body and rolling resistance of wheels increase. Variation of tribological properties of the surfaces is a result of various mechanical, physical and chemical processes proceeding simultaneously in the contact zone whose essence and mechanism of action are not properly studied [11–14].

For revealing the factors influencing tribological properties of the interacting surfaces, the experimental researches were carried out on the twin-disk machine.

1. THE EXPERIMENTAL RESEARCHES INTO VARIATION OF TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF THE INTERACTING SURFACES

For some heavy loaded interacting surfaces of machines are typical unpredictable change of tribological properties and sharp increase of the friction coefficient and wear intensity, so called catastrophic wear. As a main cause of the latter is considered the heaviest form of the adhesive wear – scuffing [14,15] that is not properly studied yet and whose signs are appearance of pits and scratches on the surfaces and transfer of the material from one surface on the other.

For more detailed study of the properties and state of the third body in the contact zone we performed the experimental researches on the twin disk machine MT-1 (Fig. 1) with the use of existing lubricants and ecologically friendly friction modifiers, developed by us.

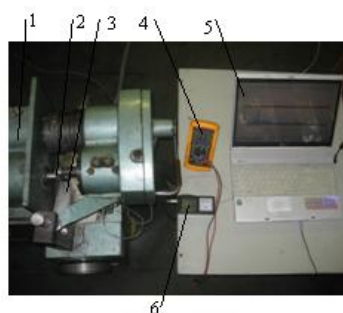


Fig. 1. The twin disk machine MT1 and measuring means:
1 - twin disk machine; 2 - tribo-elements; 3 - the wear products; 4 - tester;
5 - personal computer; 6 – vibrometer

The experimental researches were performed at rolling of discs with up to 20% of sliding. The rollers had diameters of 40 mm and widths of 10 and 12 mm. The tests were performed at single application of the friction modifier on the rolling surfaces of the rollers. After certain number of

revolutions, a thin layer of the friction modifier was destroyed that was revealed by appearance the initial impulses of friction moment and initial signs of scuffing on the surfaces. The rollers with various degree of damage are shown in Fig. 2: a) with initial signs of damage; b) damage in the form of a narrow strip; c) damage on the whole contacting area.

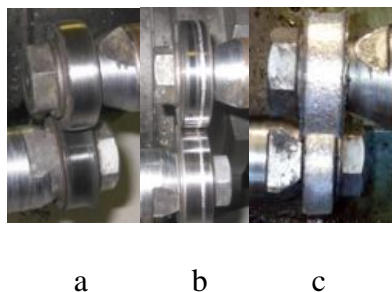


Fig. 2. The stages of damage of the interacting surfaces:
 a) damage in the separate points; b) damage in the form of the narrow strip;
 c) damage on the whole area of the contacting surfaces

The graphs of dependences of the friction coefficient and number of revolutions of rollers until appearance of the first signs of scuffing on the contact stress for initial linear contact of disks are shown in Fig. 3. It is seen from these graphs that for the initial linear contact, when the contact stress is in the range of 0.65 - 0.77 GPa, increase of the contact stress leads to decrease of the friction coefficient. It can also be seen that increase of the contact stress leads to decrease of number of revolutions until destruction of the third body and onset of scuffing.

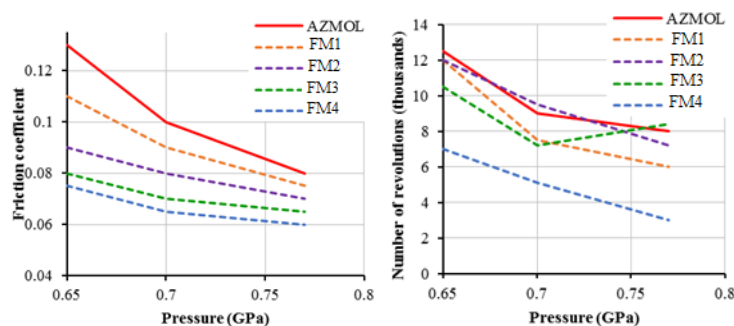


Fig. 3. Dependences of friction coefficients and numbers of revolutions until appearance of the first signs of scuffing on the contact stress for initial linear contact of disks and different anti-frictional friction modifiers

It was revealed experimentally that to negative friction corresponds the continuous or discontinuous but restorable third body; to neutral friction – multiple seizures of the interacting surfaces and to positive friction – increasing scuffing process that is spread on the whole surface. In Fig. 4 is shown variation of the tractive (friction) force with creep [16].

As it was shown by our experimental researches, at presence of the continuous third body increase of the relative sliding velocity leads to increase of the friction power and contact temperature; decrease of the lubricant viscosity, film thickness and friction force (Fig. 4, “negative

friction”), stable (or smoothly variable) friction torque and low destruction rate of the surfaces. Worsening of the working conditions caused by the partial, non-progressive damage of the third body in the separate unit places corresponds to the separate small impulses of the friction moment. Destruction of the third body in the multiple places leads to the multiple damage of the third body, multiple adhesive junctions of micro-asperities, disruption of these junctions, and a bit little increased impulse of the friction torque and “neutral friction.”

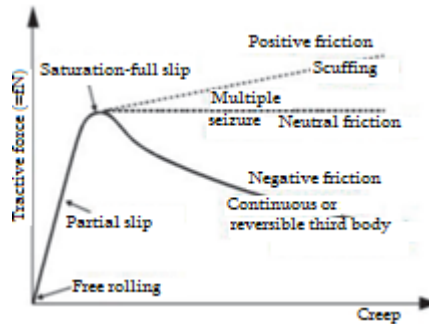


Fig. 4. Friction/creep relationship

At progressive damage of the third body, the friction torque increases and corresponds to positive friction. Our experimental researches have shown that in other equal conditions the variation of the friction coefficient mainly depends on degree of destruction of the third body. Therefore, preservation of the third body between interacting surfaces and avoidance the scuffing, has a crucial importance for decrease of the friction coefficient, wear rate, etc.

In Fig. 5 are shown dependences of the friction factor and various damage types on relative sliding velocity (a) and of the wear rate (types) on slip (b) [13].

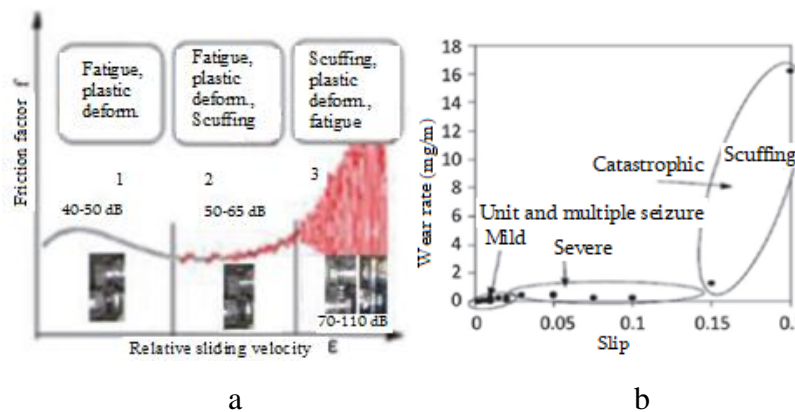


Fig. 5. Dependences of the friction factor and various damage types on relative sliding velocity (a) and of the wear rate (types) on slip (b)

Three zones can be distinguished in Fig. 6a. The low relative sliding velocity, full separation of the interacting surfaces and continuous third body provide high wear resistance of the interacting surfaces and relatively stable friction coefficient (zone 1, Figure 6a) that corresponds to “mild” wear rate (Fig. 6b). In such conditions, the main damage types are the fatigue and plastic deformations.

Small increase of the sliding velocity leads to appearance of small damage sources in multiple places and emergence of small surges of the friction torque (zone two, Fig. 5a). The rise of the third body destruction, as well as the magnitude of the friction coefficient and its instability, are clearly reflected in the oscillogram of the friction torque and may be predicted on the base of results of the experimental researches. The typical damage types of this zone are fatigue, plastic deformation, adhesive wear and limited rate of scuffing and correspond to “severe” wear rate (Fig. 6b).

At further increase of the relative sliding velocity, destruction of the third body becomes irreversible and extending and multiple seizures become uninterrupted (causing scuffing) and they propagate on the whole width of the interacting surfaces. The typical damage types of this zone are scuffing, plastic deformation and fatigue (zone 3, Fig. 6,a, and “catastrophic” wear rate Fig. 6,b). In this case, the scuffing can be avalanche in nature that quickly disables the machine.

5. Conclusions

- Tribological properties of the interacting surfaces mainly depend on tribological properties of the third body, degree of its destruction, disposition of the surfaces to seizure etc. The researches have shown that the continuous or discontinuous but restorable third body at the initial stage of destruction and progressively destructing third body have quite different properties. In the first case the said properties are stable and depend on the properties of the third body and in the second case, these properties are instable and worsened that are characterized by increasing friction coefficient, catastrophic wear and typical noise.

- Prediction of destruction of the third body is possible in the laboratory conditions by estimation of the friction torque variation.

- The friction coefficient (negative, neutral and positive), wear rate of the interacting surfaces (mild, severe and catastrophic), damage types (scuffing, fatigue, plastic deformation, adhesive wear) and vibrations and noise generated in the contact zone depend on tribological properties of the third body, its degree of destruction and area of the factual contact zone of the seized places;

- For improvement of tribological properties of the interacting surfaces, it is necessary to provide the contact zone with continuous or restorable third body having due tribological properties at the initial stage of destruction.

Acknowledgements:

Shota Rustaveli National Science Foundation of Georgia (SRNSFG) supported this work under GENIE project CARYS-19-588.

REFERENCES

1. M. Godet. The third-body approach: a mechanical view of wear. *Wear*, 100:437–452, 1984.
2. GuillermooldárragaAlarcón, NicoBurgelman, Juan MezaMeza, AlejandroToro,ZiliLi. The influence of rail lubrication on energy dissipation in the wheel/rail contact. *Wear*, Volumes 330–331, 2015.
3. Boundary lubrication and oxidational wear. *Journal of Physics D: Applied Physics* 19(10). 1999.
4. Stolarski, T. A. (1996). A system for wear prediction in lubricated sliding contacts. *Lubrication science*, 8(4).
5. Greenwood, J. A., & Williamson, J. B. P. (1966). Contact of nominally flat surfaces. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Mathematical and Physical Sciences*, 295(1442).
6. Zhang, H., Chang, L., Webster, M. N., & Jackson, A. (2003). A micro-contact model for boundary lubrication with lubricant/surface physiochemistry. *Journal of tribology*, 125(1).
7. Nehme, G., Mourhatch, R., &Aswath, P. B. (2010). Effect of contact load and lubricant volume on the properties of tribofilms formed under boundary lubrication in a fully formulated oil under extreme load conditions. *Wear*, 268(9). 1129-1147.
8. Aktary, M., McDermott, M. T., &McAlpine, G. A. (2002). Morphology and nanomechanical properties of ZDDP antiwear films as a function of tribological contact time. *Tribology letters*, 12(3), 155-162.
9. Nicholls, M. A., Do, T., Norton, P. R., Kasrai, M., & Bancroft, G. M. (2005). Review of the lubrication of metallic surfaces by zinc dialkyl-dithiophosphates. *Tribology International*, 38(1), 15-39.
10. F. Braghin a, R. Lewis b, R.S. Dwyer-Joyce b, S. Bruni. A mathematical model to predict railway wheel profile evolution due to wear. *Wear* 261 (2006) 1253–1264.
11. Lewis R., Dwyer-Joyce R.S., Bruni S., Ekberg A., Cavalletti M., Bel KnaniK.. A New CAE Procedure for Railway Wheel Tribological Design. 14th International Wheelset Congress, 17-21 October, Orlando, USA.
12. A.-L. Cristol-Bulth'e, Y. Desplanques, G. Degallaix. Coupling between friction physical mechanisms and transient thermal phenomena involved in pad–disc contact during railway braking. Laboratoire de Mrecanique de Lille (CNRS UMR 8107), Ecole Centrale de Lille, BP 48, F-59651 Villeneuve d'AscqCedex, France. Available online 23 May 2007.
13. Lewis R, Dwyer-Joyce RS (2004) Wear mechanisms and transitions in railway wheel steels. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, 218(6).
14. Drozdov YN, Pavlov VG, Puchkov VN. Friction and wear in the extreme conditions (in Russian). (in Russian) (1986) Moscow, Mashinostroenie.
15. Kenneth C. Ludema. Review of Scuffing and Running in of Lubricated Surfaces, with Asperities and Oxides in Perspective. *Wear*, 100 (1984) 315 – 69 331;
16. Eadie, D. T., Kalousec, J., Kelvin C.Chiddick. The Role of High Positive Friction (HPF) Modifier in the Control of Short Pitch Corrugation and Related Phenomena. *Wear* 2002, 53, 1-2, 185-192.

УМЕНЬШЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ВРАЩЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО КОЛЕСА СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕМ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЗОНЫ КОНТАКТА КОЛЕСА И РЕЛЬСА.

Г.Туманишвили, Т.Надирадзе, Гиორგი Туманишвили, С.Бицадзе, М.Цоцхалашвили
"Энергия". №1(97). 2021. Тбилиси. с. 75-81. англ. реф. груз. англ. рус.

Усовершенствование трибологических свойств взаимодействующих поверхностей колёс и рельсов, уменьшение сопротивления вращению колёс, потребления энергии и интенсивности изнашивания достигаются их разделением третьим телом, имеющим соответствующие трибологические свойства. Нами разработаны экологические модификаторы трения для поверхностей качения и направления. Наличие третьего тела в зоне контакта устанавливалось экспериментально изменением момента трения и шума. Были выявлены причины негативного, нейтрального и позитивного трения, лёгкого, тяжёлого и катастрофического износа и типы разрушения соответствующих поверхностей при различных скоростях относительного скольжения.

Илл. 5, лит. 16.

მატარებლის თვლის გორვის წინაღობის შემცირება თვლისა და რელსის კონტაქტის ზონის ტრიბოლოგიური თვისებების სრულყოფით.

გ. თუმანიშვილი, თ. ნადირაძე, გიორგი თუმანიშვილი, ს. ბიწაძე, მ. ცოცხალაშვილი.
"ენერჯია". №1(97). 2021. თბილისი. გვ. 75-81. ინგლ. ანოტ. ქართ. ინგლ. რუს.

თვლებისა და რელსების მოხახუნეზე და პირების სრულყოფა, თვლების გორვის წინაღობის და მატარებლის მიერ მოხმარებული ენერჯიის და ცვეთის ინტენსივობის შემცირება მიიღწევა ამ ზედაპირების განცალკევებით სათანადო ტრიბოლოგიური თვისებების მესამე სხეულით. ჩვენს მიერ დამუშავდა ეკოლოგიური ხახუნის მოდიფიკატორები თვლებისა და რელსების მიმართველი და გორვის ზედაპირებისათვის. კონტაქტის ზონაში მესამე სხეულის არსებობა დგინდებოდა ექსპერიმენტულად ხახუნის მომენტის და ხმაურის ცვლილებით. გამოვლინდა ნეგატიური, ნეიტრალური და პოზიტიური ხახუნის, მსუბუქი, მძიმე და კატასტროფული ცვეთის და ზედაპირების დაზიანების შესაბამისი სახეების ხვადასხვა ფარდობითი სრიალის პირობებში.

ილ. 5, ლიტ. 16.

DAMAGE OF THE WHEEL AND RAIL INTERACTING SURFACES AND THE RAIL CORRUGATION

PhD George TUMANISHVILI

PhD Tengiz NADIRADZE

PhD Rusudan BITSADZE

MSc Giorgi TUMANISHVILI

PhD Bezhan DIDEBASHVILI

Abstract. *The characteristic roll-slip phenomena between the wheel and the rail are prone to develop a rail corrugation. There are a lot of scientific works and opinions about rail corrugation, but some aspects of this phenomenon are still insufficiently studied.*

Studies have shown high sensitivity of the third body to the sliding speed, which for heavy loaded interacting surfaces, like wheel and rail, often destroys the third body. This leads to sharp increase in wear rate and other undesirable phenomena.

Was revealed the especially high sensitivity of various types of damage (scuffing, fatigue, plastic deformations) proceeding simultaneously in the contact zone to destruction degree of the third body.

The researches have shown that necessary conditions for the rail corrugation are periodic slipping of the interacting surfaces of wheels and rails, destruction of the third body, and seizure of separate places of the surfaces. The onset and degree of destruction of the third body were determined in the laboratory conditions. In the capacity of sliding sources are considered movement of the wheelset in curves, non-roundness of the wheel, and wheels of the wheelset with different diameters.

Keywords: *third body, friction force, sliding speed, rail corrugation.*

1. INTRODUCTION

Typically, surfaces are covered with various types of natural and artificial coatings, which are components of the third body in the contact zone of interacting surfaces and they are subjected to high power and thermal loads. The thermal effects accompanying the process have direct influence on the deformation value, and volume of the deformed material, variation of the surface structure and physical and mechanical characteristics. This causes destruction of these coatings, activation of the physical and chemical processes proceeding between them and the surfaces, and generation of new coatings. Thus, during the interaction of surfaces, the processes of the third body destruction and restoration take place in the contact zone continuously. When continuity of the third body is disrupted in individual places the parts of the direct contact are cleansed from various coatings and boundary layers and are approached to each other, leading to seizure. Displacement of the coupled places of surfaces relative to each other causes disruption of these junctions' proceeds at the high shearing stresses that increases instability of the friction forces, transfer of the pulled-out material from one surface on the other, sharp change of roughness of these surfaces, and development of the process of catastrophic wear – scuffing. The shear deformation generated on the surface sharply decreases towards the depth and multiple repetitions of such processes result in superficial plastic deformations, lamination, and fatigue damage, proceeding simultaneously. The damage scales and dominant types of damage proceed with various intensities and a dominant type of damage depend on the working conditions and ascertained visually.

It should be noted that some aspects of the rail corrugation as well as other types of wear are not studied sufficiently yet [1, 2] that hinders prevention of the undesired phenomena caused by it and rises heavy economic problems.

2. THE FEATURES OF THE WHEELSET MOVEMENT ON THE RAIL TRACK

Movement of wheelset in straight performs a zigzag movement close to the sinusoid which is accompanied by creeping. In the curves the inner wheel passes the shorter distance than the outer wheel causing deviation of the wheelset axis from the radial position. In such conditions, to return the wheelset into initial position it is necessary that one of wheel of the wheelset slide on the rail in the longitudinal direction. There are a lot of attempts to maintain more or less radial position of the wheelset [3, 4].

At moving of the wagon wheel-set in the curve its outer and inner wheels will travel the different distances (at pure rolling of the wheels) but due to the fact that at rotation through the given angle the difference between the lengths of the outer and inner rails is different for the curves with different radii of curvature and inclination of the wheel tread surface (1:20) is constant here also the wheel-set axle will deviate from the radial position and will be twisted at the same time(Fig. 1).

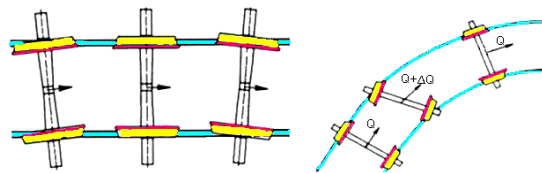


Fig. 1. Movement of the wheel-set in the straight and curve

The intermittent slipping of one of the wheels of the wheelset can cause the torsional vibrations of the wheelset shaft and the longitudinal vibrations of the vehicle (that have been identified as the flange noise [5]) and the respective wear of wheels and rails, like corrugation. The movement of a wheelset in the curve and a corrugated inner rail are shown in Fig. 2 [6].

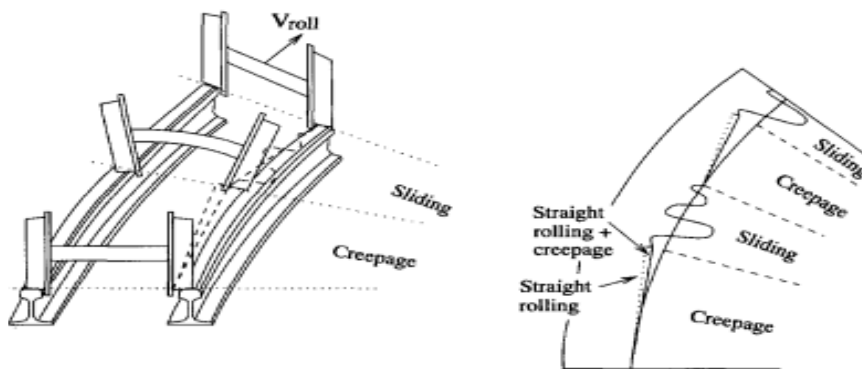


Fig. 2. Movement of a wheelset in the curve and a corrugated inner rail

The similar picture would be at difference of the tread surfaces or at various brake efforts of the wheelset. The wheel-rail contact is a simultaneous rolling and sliding contact, which can be divided into stick (no slip) and slip contacts. The slip zone of the contact of the tread surface is related to the traction force, creep, and geometry of the contact. The slip rate increases at movement in the curves, braking, and acceleration.

In Figure 3 is shown a rail with a trace left on it after the wheel climbing [7].

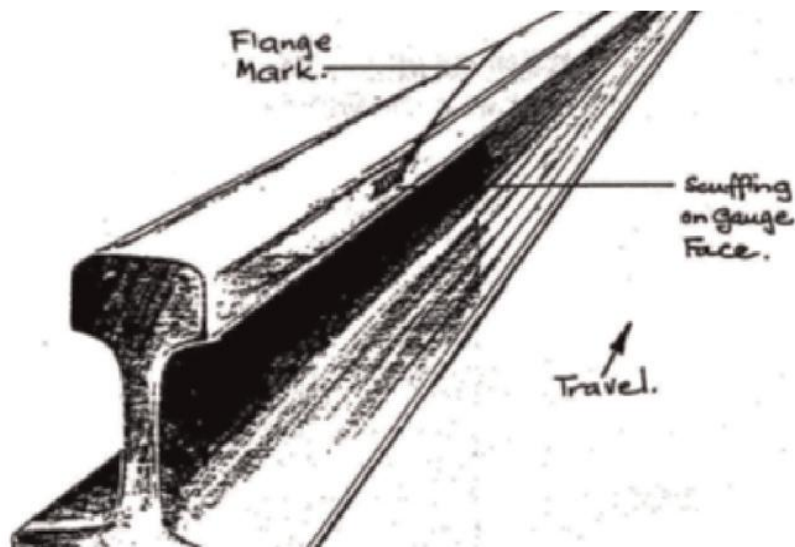


Fig. 3. The trace of the wheel climbing on the rail

The trace starts on the rail lateral surface and then passes on the rail tread surface. The mechanism of generation and development of this trace is not studied sufficiently yet and needs additional researches [18]. Besides, according to this paper, friction coefficient in the contact zone of the wheel and rail reaches 0.5 and more at derailments.

The wheel climbing on the rail is also promoted by decreasing the rail radius of curvature and deviation of the axle of symmetry of the wheelset from radial position (increased angle of attack) that causes advancement of the wheel flange and railhead lateral surface contact point.

As it is known, a vertical axis of symmetry of the rail is inclined by 20° according to the standard. Deflection of the rail in the opposite direction that decreases the angle of inclination of the wheel flange is especially dangerous for the wheel climbing on the rail.

The tread surface of the wheel is conical which passes gradually into the flange surface through its root. Therefore, the difference between diameters of interacting surfaces inside of the contact zone, relative sliding, contact stresses, deformations and temperatures towards of the flange are greater. The sliding distances for the curves and straights and for elliptic wheels are determined and the numerical calculations are given.

3. MOVEMENT OF THE WAGON WHEELSET IN THE CURVE

At pure rolling of the free wheelset (without bogie) in the curved rail track with radius of curvature R of the internal rail, its axle will be inclined from radial position because both wheels will have passed equal distances l . However, in the wagon wheelset rolling with velocity V , the outer wheel is constraint to maintain the radial position and pass greater distance $l + \Delta l$, rotating relative to the inner wheel in the clockwise direction if it is seen from axial direction A (Fig.4). At that, the wheelset axle is twisted through angle φ equal to the ratio of the difference Δl of the outer and inner arcs to the radius $D/2$ of the wheel tread surface, supposing that both wheels are rolling on the tread surfaces of equal diameters:

$$\varphi = \Delta l / (D/2) \quad (1)$$

From the drawing $\alpha = l/R = (l + \Delta l) / (R + \Delta R) = \Delta l / \Delta R$,

from where

$$\Delta l = l \Delta R / R, \quad (2)$$

and therefore

$$\varphi = 2l \Delta R / DR, \quad (3)$$

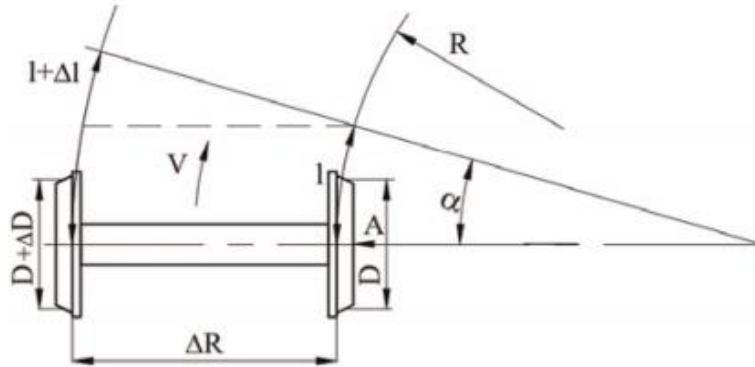


Fig. 4. Movement of wagon wheelset in the curve and wheelset shaft slope from the radial position

On the other hand, the maximum angle of twist of the wheelset axle φ_{\max} depends on the friction force

$$F = fQ \quad (4)$$

and is calculated by the known, from the resistance of materials, formula

$$\varphi_{\max} = ML / I_p G, \quad (5)$$

where M is a torque caused by the friction force

$$M = FD/2 = fQD/2; \quad (6)$$

f - friction coefficient; Q - vertical load (half of the load on the wheelset) of the wheel on the rail; L - length of the wheelset axle; I_p , polar moment of inertia of the wheelset axle cross section; and G - modulus of rigidity (shear modulus) of the axle material.

We determine distance between the worn-out segments of the rail or path l (at traveling this path, the wheels are rolling on the rail without sliding), at rolling of which the axle is twisted on the maximum angle φ_{\max} , from (3) replacing φ by φ_{\max}

$$l = DR \varphi_{\max} / 2 \Delta R = MLDR / 2 I_p G \Delta R \quad (7)$$

and putting the found l into (2) we obtain difference of the paths passed by the outer and inner wheels at which the axle is twisted on the maximum angle φ_{\max}

$$\Delta l = MLD / 2 I_p G \quad (8)$$

3. MOVEMENT OF THE WAGON WHEELSET WITH THE WHEELS OF DIFFERENT DIAMETERS IN THE STRAIGHT RAIL TRACK

At rolling of the free wheelset (without bogie) with the wheels of different diameters D and $D + \Delta D$ in the straight rail track the distance l , the greater wheel passes a greater distance $l + \Delta l$, deflecting the wheelset axle from its perpendicular position relative to the rail track (Figure 2a). But in the wagon wheelset the axle being constraint to retain perpendicular position, the smaller wheel is forced to pass the same distance $l + \Delta l$ and rotate relative to the greater wheel in the clockwise direction, if it is seen from axial direction A. At that, the wheelset axle is twisted through angle φ that is determined by formula (1), from where, considering (5), we obtain the value of Δl (see formula (8)) corresponding to the maximum angle of twist φ_{\max} .

The following proportion can be written from the drawing: $(l + \Delta l)/l = (D + \Delta D)/D$ or $\Delta l/l = \Delta D/D$, from which we obtain distance l between the worn-out segments at passing of which the wheelset axle will be twisted through angle φ_{\max} :

$$l = \Delta l D / \Delta D = M L D^2 / 2 I_p G \Delta D \quad (9)$$

5. MOVEMENT OF THE WAGON WHEELSET WITH ONE ELLIPTICAL WHEEL IN THE STRAIGHT RAIL TRACK

Consider a free wheelset with one wheel of diameter D and other elliptical wheel with the small D and bigger $D + \Delta D$ diameters moving in the straight rail track (Figure 5, a and b).

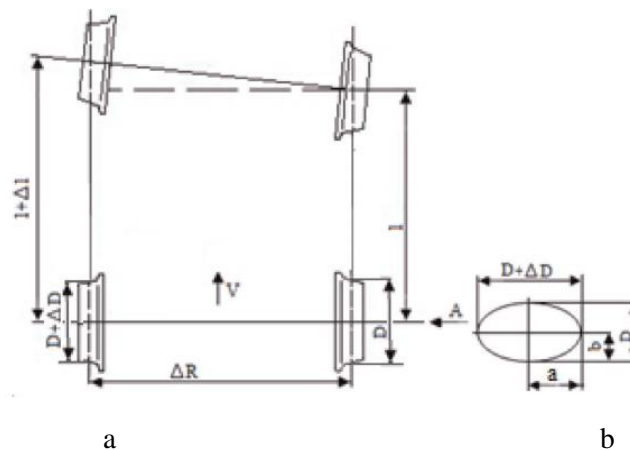


Fig. 5. Movement of the free wheelset in the straight rail track:
(a) with the wheels of different diameters or with one elliptical wheel; (b) parameters of ellipticity

At one revolution, these wheels will pass the different distances, correspondingly l and $l + \Delta l$, deflecting the wheelset axle from its perpendicular position relative to the rail track (Fig.4a). However, in the wagon wheelset the axle being constraint to retain perpendicular position, the wheel with diameter D is forced to pass the same (greater) distance $l + \Delta l$ and rotate relative to the elliptical wheel in the clockwise direction if it is seen from axial direction A. At that, the wheelset axle is twisted through angle φ that is determined by formula (1).

The difference of distances passed by the wheels at one revolution is $\Delta l = L - \pi D$, where the length of the elliptical tread surface

$$L = \pi[3(a+b) - (3a+b)(a+3b)] \quad (10)$$

or

$$\Delta l = \pi[3(a+b) - (3a+b)(a+3b)] - \pi D . \quad (11)$$

The value Δl corresponding to maximum angle of twist φ_{\max} is obtained considering formula (5)

$$\Delta l = \varphi_{\max} D/2 = MLD/2I_p G . \quad (12)$$

The distance l at passing of which the wheelset axle will be twisted on the angle φ_{\max} will be then

$$l = \pi D \Delta l / \Delta . \quad (13)$$

In all the three cases considered above, at removing or decrease of the torque M acting on the wheel that takes place at its vertical vibrations when the friction force F decreases, the angle of twist of the axle will start to decrease. Suppose φ_{\max} falls down to zero during time t . This will take place at rotation of the inner wheel in the clockwise direction relative to the outer wheel on the angle φ_{\max} since the flange of the outer wheel is pressed on the rail and the friction force arisen between the flange and rail additionally restricts its movement. Obviously, during this time t the inner wheel will roll and slide simultaneously on the rail and the rolling and sliding distance on the rail will be

$$S_r = Vt . \quad (14)$$

We note that the rolling and sliding distance on the wheel tread surface is

$$S_w = \Delta l + S_r, \quad (14')$$

or for the variant of the elliptical wheel

$$S_w = \Delta l + S_r \quad (15)$$

Here Δl or $\Delta l'$ is a sliding friction path and the wavelength of the worn-out rail (Fig. 3)

$$W = l + S_r. \quad (16)$$

This value of the wavelength assumes that at release of the inner wheel, the friction force acting on it from the rail is zero. When the friction force differs from zero, the wavelength will be less since its both components will decrease and its value depends on the friction force magnitude.

To determine time t , we present the wheelset as a one-mass torsional vibratory system (Fig.6,a), where C is a torsional rigidity of the wheelset axle and I , total moment of inertia of the inner wheel. Then, angle of twist φ_{\max} will fall down to zero in conformity with a law of free vibrations of this vibratory system during the period $P/4$ (Fig. 6,b).

At that, period of free vibrations

$$P = 2\pi\sqrt{\frac{I}{C}} \quad (17)$$

and consequently, time t will be

$$t = P/4 = \pi/2 \sqrt{\frac{I}{C}} \quad (18)$$

The average velocity of the wheel contact point relative to the wheel center (Fig. 7)

$$V_w = D\varphi_{\max}/2t + V_r , \quad (19)$$

Where $V_r = -V$ is a velocity of the rail contact point relative to the wheel center.

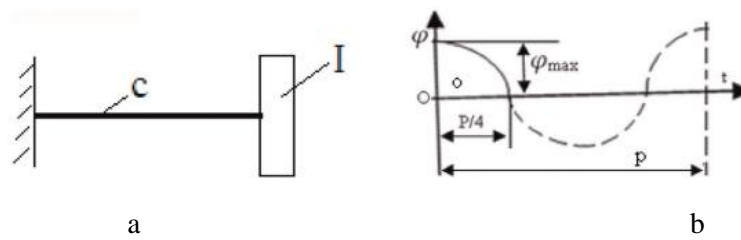


Fig. 6. (a) One-mass torsional vibratory system; (b) graph of the system free vibrations

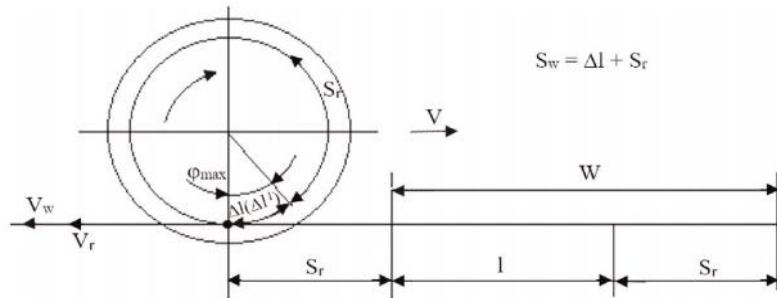


Fig. 7. The rolling and sliding distances on the rail and wheel

We note that maximum velocity of the wheel contact point relative to the wheelcenter.

$$V_w^I = -\frac{A\omega D}{2} + V_r = -\varphi_{\max} \sqrt{\frac{C}{I}} \times \frac{D}{2} + V_r \quad (20)$$

where $A = \varphi_{\max}$ is an amplitude of the wheelset shaft torsion vibrations and $\omega = \sqrt{\frac{C}{I}}$ is cyclic frequency of vibrations.

Sliding velocity

$$V_{sl} = V_w - V_r \quad (21)$$

Relative sliding velocities

$$K_r = \frac{V_{sl}}{V_r} \times 100\% \text{ and } K_w = \frac{V_{sl}}{V_w} \times 100\% \quad (21)$$

The depth of the worn-out layer a year of the rail segment S_r .

$$h = i\Delta l N, \quad (22)$$

where i is the wear intensity and N , number of cycles which is determined as follows:

$$N = N_1 N_2 N_3 N_4 \quad (23)$$

where N_1 is a number of the trains passing by a day; N_2 , number of wagons in the train; N_3 , number of wheels on one side of the wagon; and N_4 , number of days a year.

6. CONDITIONS OF DERAILMENT

Possibility of derailment or the wheel's rolling up on the rail is estimated by the criterion of the wheel flange contact point (point A, Figure 8) slipping down the rail lateral surface, based on the condition of equilibrium of forces acting on this point [8, 9]. Lateral L and vertical V forces determined from the condition of equilibrium of these forces are:

$$L = N \sin \beta - F^l \cos \beta \quad (24)$$

$$V = N \cos \beta - F^l \sin \beta \quad (25)$$

where N is a normal force; $F^l = f^l N$, friction force between the wheel flange and rail lateral surface; f^l , friction coefficient between these surfaces; and β , angle of inclination of the wheel flange.

It should be noted that the forces acting on point A are interdependent and equalities (24) and (25) are only valid for limited values of forces L and V, since their sum is limited by the friction force F^l is limited by the friction coefficient f^l . Therefore, at a certain ratio of forces L and V, the friction force F^l can no longer balance the contact point A, which will slip down on the rail lateral surface, and it is considered on this ground that the wheel cannot roll up on the rail. At that, equalities (24) and (25) become inequalities from where a criterion of impossibility of the wheel rolling up on the rail or derailment is obtained [9]:

$$\frac{L}{V} \leq \frac{\tan \beta - f^l}{1 + f^l \tan \beta} \quad (26)$$

However, at sign of equality (=) in (26) and to a certain extent at sign of inequality (<) also, the wheel can rotate about contact point A and roll up on the rail if such possibility exists or if moment of the force P acting on the wheel axle exceeds the moment of the vertical force V about contact point A (Figure 10). In other words, under such condition, two-point (O, A) contact of the wheel passes into one-point contact at A. In the first case (at sign =), the wheel will roll on the immobile point A with pure rolling, and in the second case (at sign <), the wheel will roll on the mobile point A creeping slowly down the rail lateral surface with combined rolling and sliding. Both cases lead to the wheel climbing the rail and derailment.



Fig. 8. Forces acting on the contact point A

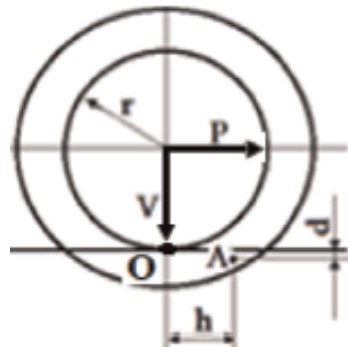


Fig. 9. Forces acting on the wheel axle

Therefore, it is necessary to provide the criterion (26) with additional condition of impossibility of the wheel rolling on the contact point A, which, on the base of Fig. 9, can be written as

$$Vh \geq P(r + d), \quad (27)$$

where h is the value of the climbing advance; r is the radius of the wheel rolling circle; d is the vertical coordinate of the contact point A.

Force P acting on the wheel axle cannot exceed the sum of the friction forces between the wheel and rail tread surfaces and between the wheel flange and rail lateral surface:

$$P \leq F + F^l = fV + f^l N, \quad (28)$$

where f and f^l are friction coefficients between the wheel and rail tread surfaces and the wheel flange and rail lateral surfaces correspondingly.

Determining N and V correspondingly from (24) and (26), substituting them into (28) and then putting obtained P into (27), from the latter we obtain the following criterion of impossibility of the derailment:

$$\frac{L}{V} \leq \frac{h(\sin \beta - f^l \cos \beta)}{(r + d)(f \cos \beta + f f^l \sin \beta + f^l)} \quad (29)$$

If this criterion is not satisfied, the wheel starts to roll on the contact point A and the contact between the wheel and rail tread surfaces is lost, or two-point contact at O and A passes into one-point contact at A. For obtaining a criterion of impossibility of the wheel rolling on the contact point A, it is necessary to put $f = 0$ in (29), which gives.

$$\frac{L}{V} \leq \frac{h(\sin \beta - f^l \cos \beta)}{(r + d)f^l} \quad (30)$$

The criteria (29) and (30) provide both, the wheel flange contact point sliding down the rail lateral surface and impossibility of the wheel rolling on this point. Besides, the criterion (30) ensures less value (more conservative) of the allowable ratio of the lateral and vertical forces L/V than criterion (27), while criterion (31), depending on the value of the climbing advance h , gives the ratio L/V less or more than criterion (27). For illustration, consider two variants of numerical data of the parameters:

- a. $\beta = 60^\circ$; $f = 0.4$; $f^l = 0.1$; $h = 62$ mm and $r + d = 485$ mm;
- b. $\beta = 60^\circ$; $f = 0.4$; $f^l = 0.1$; $h = 88$ mm and $r + d = 482$ mm.

Allowable maximum ratios L/V for these variants calculated by the criteria (26), (29), and (30) are given in the following table:

Variant	Criterion (27)	Criterion (30)	Criterion (31)
a	1.39	0.31	1.04
b	1.39	0.44	1.47

For analysis of the obtained results, suppose that ratio $L/V = 1.3$, i.e., criterion (26) is satisfied and derailment is not possible. However, it is seen from the table that for variant (a) neither criteria (29), nor (30) are satisfied and both predict derailment. For variant (b), criterion (30) is not satisfied, or it predicts derailment, and criterion (31) is satisfied, i.e., by this criterion, derailment is not possible. This means that the wheel starts to roll on the contact point A and two-point (O, A) contact passes into one-point contact at A. Then, this contact point slides down the rail lateral surface, the two-point contact restores, and so on, this process is repeated. However, at passing from two-point (O, A) contact into one-point contact at A, the lateral and vertical forces on the steering surfaces increase. Typical for these surfaces, increased relative sliding increases the power and thermal loads in the contact of these surfaces, generating the convenient conditions for destruction of the third body. This results in sharp increase of the cohesion forces, scuffing, and friction coefficient that promotes climbing of the wheel flange on the rail lateral surface. This is confirmed by the numerous laboratory researches carried out by us as well as the trace of the wheel climbing on the railhead lateral surface (Figure 1) that has a form of scuffing.

Thus, it is expedient to estimate possibility of derailment by criterion (30), since it provides both, the wheel flange contact point sliding down the rail lateral surface and impossibility of the wheel rolling on

the same point, and ensures less value (more conservative) of the allowable ratio of the lateral and vertical forces L/V than criteria (30) and (26).

7. CONCLUSION

Prediction and avoiding of derailment are the most important problems to which many scientific works are devoted but the desirable results are not obtained yet. The survey of the literature and our experience show that the derailment is especially influenced by the friction coefficient that is not predictable, and in contrast to other parameters, it varies in a wide range.

It is shown that for prediction of the friction coefficient and providing its stability, it is necessary to provide the contact zone with the continuous and restorable third body of due properties. The main results of the paper can be formed as follows:

- A friction factor as well as other tribological properties of interacting surfaces depends on the properties and degree of destruction of the third body;
- The sharp increase of the friction factor in the contact zone of steering surfaces indicates a beginning of the irreversible (progressive) destruction of the third body that contributes to the wheel climbing on the rail;
- For avoidance of derailment, decreasing the wear rate and ensuring sufficient durability of the rails, wheelsets, and brake shoes, a continuous or reversible third body must be provided in the contact zone;
- Destruction of the third body in the laboratory conditions is proposed to determine by the flash of the friction moment or criterion of destruction of the third body;

REFERENCES

1. S L Grassie. Rail corrugation: characteristics, causes, and treatments, REVIEW PAPER 1, DOI: 10.1243/09544097JRRT264, JRRT264, Proc. IMechE Vol. 223 Part F: J. Rail and Rapid Transit.
2. Eadie, D. T., Santoro, M., Oldknow, K., and Oka, Y. Field studies of the effect of friction modifiers on short pitch corrugation generation in curves. *Wear*, 2008, 265, 1212–1221.
3. Curt A. Swenson. Locomotive Radial Steering Bogie Experience in Heavy Haul Service. IHHA'99. pp. 79-86. 1999. 54.
4. C. Yang, F. Li, Y. Huang, K. Wang, B. He. Comparative study on wheel-rail dynamic interactions of side-frame cross-bracing bogie and sub-frame radial bogie. *J. Mod. Transport*. 21(1) c1-8. DOI 10.1007/s40534-013-0001-3.
5. Tickell, C.E., Downing, P., Jacobsen, C.J. RAIL WHEEL SQUEAL – SOME CAUSES AND A CASE STUDY OF FREIGHT-CAR WHEEL SQUEAL REDUCTION, Proceedings of ACCUTICS 2004. 3-5 November 2004, Gold Coast, Australia. 239-244. Mo.
6. Christophe Collette, Mihaita Horodincu and Andre Preumont. Rotational vibration absorber for the mitigation of rail rutting corrugation. *Vehicle System Dynamics*. Vol. 00, No. 0, Month 2008, 1–19.
7. Engineering Manual Track and Rolling Stock. TMC 213 Derailment Investigation - Track and Rolling Stock. Version 1.0; August 2011.
8. Eadie DT, Kalousek J, Chiddik KC. The role of high positive friction (HPF) modifier in the control of short pitch corrugations and related phenomena. *Wear*. 2002;253: 185-192.
9. Brian Marquis, Robert Greif. Application of Nadal Limit in the Prediction of Wheel Climb Derailment. In: Proceedings of the ASME/ASCE/IEEE 2011 Joint Rail Conference. JRC2011. March 16–18, 2011. Pueblo, Colorado, USA.

თვლისა და რელსის მოხახუნე ზედაპირების დაზიანება და რელსების ტალღური ცვეთა.

გ.თუმანიშვილი, თ.ნადირაძე, რ.ბიწაძე, გიორგი თუმანიშვილი, ბ.დიდებაშვილი.
"ენერჯია". №1(97). 2021. თბილისი. გვ. 82-92. ინგლ. ანოტ. ქართ. ინგლ. რუს.

თვლისა და რელსისათვის დამახასიათებელი გორვა-სრიალის მოვლენები რელსების ტალღური ცვეთისაკენ მიდრეკილებას განაპირობებს. რელსების ტალღური ცვეთის შესახებ მრავალი სამეცნიერო შრომაა ცნობილი, მაგრამ ამ მოვლენის ზოგიერთი ასპექტი ჯერ კიდევ სათანადოდ შესწავლილი არ არის.

კვლევებმა გვიჩვენა მესამე სხეულის მაღალი მგრძობიარობა სრიალის სიჩქარის მიმართ, რის გამოც მძიმედ დატვირთულ მოხახუნე ზედაპირებზე (როგორცაა თვალი და რელსი) ხშირად მესამე სხეულის რღვევას აქვს ადგილი.

გამოვლინდა კონტაქტის ზონაში ერთდროულად მიმდინარე სხვადასხვა სახის დაზიანების (ჩაჭდევა, პლასტიკური დეფორმაციები, დადლილობითი დაზიანება) მაღალი მგრძობიარობა მესამე სხეულის რღვევის ხარისხის მიმართ.

კვლევებმა გვიჩვენა, რომ რელსების ტალღური ცვეთის აუცილებელი პირობაა თვლისა და რელსის მოხახუნე ზედაპირების პერიოდული გასრიალების გამო უშუალო კონტაქტის ადგილებში მესამე სხეულის რღვევა და შეჭიდულობა. მესამე სხეულის რღვევის დასაწყისი და რღვევის ხარისხი დგინდებოდა ლაბორატორიულ პირობებში. თვლის რელსზე პერიოდული სრიალის წყაროდ განიხილება წყვილთვალის მოძრაობა ლიანდაგის მრუდ მონაკვეთზე, თვლების სიმრგვალიდან გადახრა და წყვილთვალის თვლების განსხვავებული დიამეტრები.
ილ. 9, ცხრ. 1, ლიტ. 9.

ПОВРЕЖДАЕМОСТЬ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ КОЛЁС И РЕЛЬСОВ И ВОЛНОВОЙ ИЗНОС РЕЛЬСОВ.

Г.Туманишвили, Т.Надирадзе, Р.Бицадзе, Гиорги Туманишвили, Б.Дидебашвили.

"Энергия". №1(97). 2021. Тбилиси. с. 82-92. англ. реф. груз. англ. рус.

Характерное явление качения со скольжением между колесом и рельсом определяют предрасположенность к образованию волнового износа рельсов. Существует множество мнений и научных работ по волновому износу рельсов, но некоторые аспекты этого явления до сих пор изучены недостаточно.

Исследования показали высокую чувствительность третьего тела к скорости скольжения, которая для тяжело нагруженных поверхностей, подобно колесу и рельсу, часто разрушает третье тело. Это приводит к повышению интенсивности изнашивания и другим нежелательным явлениям.

Исследования показали, что необходимыми условиями волнового износа являются периодическое проскальзывание трущихся поверхностей колёс и рельсов, разрушение третьего тела и схватывание отдельных мест поверхностей. Начало и степень разрушения третьего тела определялись в лабораторных условиях. В качестве источника скольжения рассматривалось движение колёсной пары в кривых, некруглость колёс и разность диаметров колёс колёсной пары.

Илл. 9, табл. 1, лит. 9.

**მთავარი რედაქტორი
მერაბ ლორთქიფანიძე**

75 წლისაა



მერაბ ლორთქიფანიძე დაიბადა 1946 წლის 7 თებერვალს თბილისში ვერაზე მიხეილ ლორთქიფანიძისა და ელისაბედ ჩოლოყაშვილის ოჯახში.

1962 წელს საშუალო სკოლის დამთავრებისთანავე ჩაირიცხა საქ. პოლიტექნიკურ ინსტიტუტში, სამდინარო ნაგებობებისა და ჰიდროელექტროსადგურების ჰიდროტექნიკური მშენებლობის ფაკულტეტზე რომელიც წარჩინებით დაამთავრა 1967 წელს.

2003 წ. მ.ლორთქიფანიძე აფუძნებს და დღემდე ხელმძღვანელობს კავშირს "მეცნიერება და ენერჯეტიკა". არის მთავარი რედაქტორი სამეცნიერო-ტექნიკურ ჟურნალ "ენერჯის" და ელექტრონულ საინფორმაციო სამეცნიერო-ტექნიკურ ჟურნალ Energyonline.ge.

1969 წლიდან მუშაობას იწყებს გრუზნიექსში - საქართველოს ენერჯეტიკისა და ენერჯეტიკულ ნაგებობათა სამეცნიერო კვლევით ინსტიტუტში.

1975 წელს გახდა ტექნ. მეცნ. კანდიდატი და 2003 წელს კი ტექნ. მეცნ. დოქტორი.

მ.ლორთქიფანიძე ენერჯეტიკისა და ენერჯეტიკულ ნაგებობათა სამეცნიერო კვლევით ინსტიტუტში მუშაობასთან ერთად ეწეოდა პედაგოგიურ მოღვაწეობას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის და ბათუმის რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტებში. აგრეთვე სამეცნიერო სამუშაოებს ასრულებდა სამშენებლო მასალებისა და ბეტონის ლაბორატორიებში. კერძოდ, საკანდიდატო დისერტაცია ეხება ბეტონისა და რკინაბეტონის ფიზიკო-მექანიკური თვისებების შესწავლას. ხოლო სადოქტორო დისერტაცია ბეტონისა და სხვა მყარი მასალების ცოცვადობის დეფორმაციის ბუნების დადგენას. მის მიერ მიღებულია ახალი მსუბუქი, მაღალი სიმტკიცის, წყალუქონადი პოლიმერ-ლერო ბეტონი და შესწავლილია მისი ფიზიკო-მექანიკური თვისებები.

მონაწილეობას იღებდა ენგურის კაშხლის ბეტონის ზედამხედველობის შეფასებისა და კონტროლის სამუშაოებში.

1992-2000 წლებში იყო მის მიერ დაფუძნებულ თბილისის არქიტექტურისა და მშენებლობის ინსტიტუტის რექტორი.

მ.ლორთქიფანიძეს გამოცემული აქვს 100-მდე სამეცნიერო ნაშრომი, მათ შორის 11 საზღვარგარეთ. აქვს 2 მონოგრაფია, 2 სახელმძღვანელო, 4 გამოგონება და პატენტი.

მონაწილეობდა საერთაშორისო სამეცნიერო ფორუმებში. მონაწილეობა აქვს მიღებული 11 სამეცნიერო გრანტში, მათ შორის ISTC, USAID და ევროკავშირის "BLACK SEA 2007-2013".

მ.ლორთქიფანიძე არის - საქართველოს ენერჯეტიკის აკადემიის და საინჟინრო აკადემიის ნამდვილი წევრი; აბრეშუმის გზის საერთაშორისო აკადემიის კომიტეტის

წვერი (ჩინეთი), ასევე Сб. "Физико-технические проблемы горного производства" - რედკოლეგიის წვერი.

დაჯილდოებულია ღირსების მედლით 2003 წელს.

მ.ლორთქიფანიძის ცხოვრების განუყოფელი ნაწილია პოეზიის სიყვარული. თვითონაც წერს და თარგმნის ლექსებს:

ყველგან დავებებ სიმართლეს,
იქაც სადაც არ ითქმის,
ხანდახან მგონი მიმართლებს,
მაგრამ ყოველთვის თითქმის.

XXXXXX

ზამთრის ღამე
ბორის პასტერნაკი
(თარგმანი)

სცრიდა სამყაროს უსასრულოს,
უსაზღვროდ სცრიდა,
სანთელი კრთოდა მაგიდაზე,
სანთელი კრთოდა.
ვით ქინქლის ხროვა გარს ეხვევა
ზაფხულში ალებს,
თოვლის ნამქერი ეხეთქება
ფანჯრების რაფებს.
ქარბუქის მტვერი ეწებება
ნახატად მინას,
სანთელი კრთოდა სიბნელეშია
სანთელი კრთოდა.
ოთახს ნათელი მოჰფენია
ირგვლივ ჩრდილებით,
ხელის, სხეულის ბედისწერის
ჯვარედინები.
და ძირს კაკუნით ეცემოდნენ
ფეხსაცმელები,
სანთლის ნაღვენთში ექცეოდნენ
კაბის კალთები.
იკარგებოდა ყველაფერი
იმ ღამეს თოვდა,
სანთელი კრთოდა სიბნელეში
სანთელი კრთოდა.
ქარი სანთელზე მონაქროლი
ჩემ სულს აგზნებდა,
ვით ანგელოზის ფრთა აღმართული
თრთოლვით ჯვარს წერდა.
სცრიდა მთელი თვე თებერვალში,
თითქოს მავრთობდა,
სანთელი კრთოდა მაგიდაზე
სანთელი კრთოდა.

გველი

ალბათ მოვალეა ის ცის,
მუდამ ბინადარი მიწის,
თითქოს ეშინია სივრცის,
სამოსს ფერწასული იცვლის.
მესმის, მძრომელობის მესმის,
მიწის სურნელება აღგზნებს,
ალბათ მიზეზია გესლის,
ღვარძლსაც ჩააყოლებს ნაღველს.

ბლოკი
(თარგმანი)

უზომოდ მინდა სიცოცხლე,
რომ არსებული უკვდავყო,
უსახო - კაცად გავხადო,
მივცე არასრულს სისრულე.
დამახრჩოს ყოფით ზმანებამ,
თუნდ გავიგუდო სიზმარში,
ჩემზე მხიარულ ყმაწვილმა,
მოგვითხროს დამდეგ გრიგალში.
ვპატიებ უჟმურს - ეს ხომ ტყუილია,
მისი მშფოთვარე სული ფარული,
სიკეთისა და ნათლის შვილია,
თავისუფლების დღესასწაული.

თანაკლასელის მილოცვა

ისეთი დრო დაგვიდგა, იმნაირად ვურთიერთობთ, შენ და მე რომ არ გვიყვარს, მაგრამ ამ ვირტუალურ კავშირსაც აქვს ერთი უპირატესობა-პირში რომ ვერ ეტყვი, ისეთ რამეს მისწერ მეგობარს. ვიცი, ამ სიტყვებსაც გამიტრიზავებ, მაგრამ მაინც უნდა გითხრა:

ჩემს გულში ყოველთვის იმ ხუჭუჭთმიან 10 წლის ბიჭად დარჩები, პეტრიაშვილზე, სკოლის დარბაზის სცენაზე გიტარას რომ ვერ იჭერდა მოხერხებულად, მაგრამ მაინც გულით მღეროდა თეთრგვარდიულ რომანსებს... დრო გავიდა და ისეთ ტიპად ჩამოყალიბდი, "ჭირშიც, ლხინშიც უმისობა არ იქნებაო", რომ ამბობენ, შენს გარეშე ჩვენი თაობა წარმოუდგენელია, რადგან, ნიჭით გამორჩეული, დღემდე უხვად გასცემ სიტბოს, სიყვარულს, გადამდებ სიხალისეს... „ფიცის კაცების" - ლორთქიფანიძეებისა და ჩოლოყაშვილების ჩამომავალს სხვა არც არაფერი შეგშვენის...

ერთი მაკვირვებს მართლ: ღრუბლებში საფრენად დაბადებულ რომანტიკოს კაცს ბეტონთან რა გინდოდა? (მაგასაც მივხვდები, ალბათ, როდესმე).

მოკლედ მოვჭრი: თავს გაუფრთხილდი, მერაბ, საქართველოს სწორედ შენისთანა კაცები ალამაზებენ!

ლილი თაბორიძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
სამშენებლო და ენერგეტიკის ფაკულტეტი

სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალ "ენერჯის" რედაქცია

რედაქციაში სტატიების უმმოტანის წესები

1. ჟურნალის რედაქციაში შემოსატანი მასალა უნდა შეიცავდეს:
 - საკუთრივ სტატიას - 1 ეგზ. (სტატია და რეფერატი უნდა იყოს სტრუქტურირებული და შედგებოდეს შემდეგი ნაწილებისგან:
 - მეცნიერების დარგი;
 - სამუშაოს საგანი, თემა, მიზანი;
 - სამუშაოს შესრულების მეთოდი ან მეთოდოლოგია;
 - სამუშაოს შედეგები;
 - შედეგების გამოყენების სფერო;
 - დასკვნები.
 - ანოტაციას ქართულ ენაზე - 1 ეგზ.
 - ანოტაციას რუსულ ენაზე - 1 ეგზ.
 - ანოტაციას ინგლისურ ენაზე - 1 ეგზ.
 - დისკეტაზე ჩაწერილ სტატიასა და სამივე ანოტაციას (სათაურებით ქართულ, რუსულ და ინგლისურ ენებზე).
2. რედაქციაში უმმოტანილი სტატიის გვერდის მოცულობა განისაზღვრება ერთნახევარი ინტერვალით. შრიფტის ზომაა 12; გვერდის ველები – ზევიდან, ქვევიდან, მარცხნიდან და მარჯვნიდან – 25 მმ. შრიფტები: ქართული – AcadNusx, ინგლისური და რუსული – Times New Roman.
3. სტატია შეიძლება წარმოდგენილი იქნას ქართულ, რუსულ ან ინგლისურ ენაზე. მისი მოცულობა არ უნდა იყოს 3 გვერდზე ნაკლები და 10 გვერდზე მეტი.
4. გრაფიკული (ნახაზი, ფიგურა, სქემა, დიაგრამა, ნომოგრამა) და ფოტო მასალა აღირიცხება ტექსტის შემადგენლობაში ისევე, როგორც ციტირებული ლიტერატურის ნუსხა და, თანაც აუცილებელია უახლესი. აუცილებელია ციტირებული ლიტერატურის რიგითი თანმიმდევრობის ნუმერაციის განთავსება ტექსტში. წარმოდგენილი გრაფიკული ან ფოტო მასალა იბეჭდება შავ-თეთრი გამოსახულებით. ფერად გამოსახულებაში მათი შესრულების შესაძლებლობა ყოველ კონკრეტულ შემთხვევაში დგინდება გამომცემლობა "ენერჯის" ხელმძღვანელობასთან შეთანხმებით. ყველა გრაფიკულ ან ფოტო მასალას უნდა ჰქონდეს დასახელება.
5. სტატიის ქართული, რუსული და ინგლისური ანოტაცია თითოეული უნდა შეიცავდეს 500 ნიშანს (დაახლოებით ხელნაწერი ტექსტის 8 სტრიქონს). ქართული, რუსული და ინგლისური ტექსტები უნდა ემთხვეოდეს ერთმანეთს.
6. ფიზიკური სიდიდეები უნდა იყოს წარმოდგენილი საერთაშორისო SI სისტემასთან შესაბამისობაში. ფორმულებში შემავალი სიდიდეები და აღნიშვნები უნდა გამოისახოს ქართული, ბერძნული ან ლათინური ანბანის შესაბამისად. როგორც გამონაკლისი, დასაშვებია რუსული ანბანის ასოების გამოყენება ეკონომიკური ხასიათის სტატიის წარმოდგენისას.
7. აუცილებელია სტატიის ავტორის (ავტორების) სახელის, სამეცნიერო ხარისხის, წოდების ან სპეციალობის მოყვანა. ავტორის (ავტორების) ხელმოწერის გარეშე სტატია არ მიიღება. საჭიროა ბინის ან სამუშაო ადგილის ტელეფონის მითითება.