

ISSN 1512-0120



ენერჯიკა ENERGY

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
ენერჯეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტი

GEORGIAN TECHNICAL UNIVERSITY
FACULTY OF POWER ENGINEERING AND TELECOMMUNICATION

სერიზ : “ენერჯეტიკის თანამედროვე პრობლემები
და მათი გადაწყვეტის გზები”

SERIES : “MODERN PROBLEMS OF POWER ENGINEERING
AND WAYS OF SOLVING THEM”

№ 2 (98)/2021

||

თბილისი, TBILISI

ენერჯია

ENERGY

სერია: „ენერჯეტიკის თანამედროვე პრობლემები და მათი
გადაწყვეტის გზები“

SERIES: “MODERN PROBLEMS OF POWER ENGINEERING
AND WAYS OF SOLVING THEM”

2 (98)/2021

ნაწილი II
Part

ჟურნალი დაფინანსებულია სს „თელასი“-ის მიერ

The magazine was funded by JSC "Telasi"

თბილისი-Tbilisi

ISSN 1512-0120



ჟურნალ „ენერჯია“-ს თემატური გამოცემა „ენერგეტიკის თანამედროვე პრობლემები და მათი გადაწყვეტის გზები“ დააფინანსა სს „თელასმა“

მთავარი რედაქტორი - მერაბ ლორთქიფანიძე
მთავარი რედაქტორის მოადგილე - შალვა გაგოშიძე

საორგანიზაციო კომიტეტის პრეზიდიუმი:

დავით გურგენიძე, ევგენი სოკოლი (უკრაინა), მიხეილ ზაგირნიაკი (უკრაინა), რევაზ არველაძე, ვლადიმერ კლეპიკოვი (უკრაინა), ბადურ ჭუნაშვილი, ალექსანდრე პეტროსიანი

საორგანიზაციო კომიტეტი:

ზვიად ვაშაკიძე, თეიმურაზ გამრეკელაშვილი, უჩა უჩანეიშვილი, ენვერ ჩიჩუა, დავით კახიანი, ემზარ ჩაჩხიანი, ნუგზარ ბერიძე, მიკოლა მუხა (უკრაინა), ალა დრანკოვა (უკრაინა), ვერა შამარდინა (უკრაინა), რომან ზაიცევი (უკრაინა), ალექსეი ჩერნი (უკრაინა), იგორ ორლოვსკი (პოლონეთი), მამუკა კობალია, სიმონ ნემსაძე, ლევან იმნაიშვილი, ევტიხი მაჭავარიანი, არჩილ სამადაშვილი, ომარ ზივზივაძე, მაია ტულუში, თორნიკე კიზირია, ომარ კილურაძე, თენგიზ მუსელიანი, ლენა შატაკიშვილი, თენგიზ ჯიშკარიანი

ჟურნალის მომზადებაში მონაწილეობა მიიღეს:

ინა თუმანიშვილი (ტექსტის რედაქტირება), ეთერი ზამბახიძე, ბაბილინა ბურჭულაძე, ნათელა ბარაბაძე (ტექსტის კომპიუტერული აწყობა)

***JSC “Telasi” sponsored the thematic issue of the magazine “Energy”
“Modern Problems of Power Engineering and Ways of Solving them”***

The editor -in-chief – Merab Lortkipanidze
Deputy of the editor -in-chief – Shalva Gagoshidze

Presidium of the Organizing Committee:

David Gurgenidze, Evgeni Sokol (Ukraine), Mykhaylo Zagirnyak (Ukraine), Revaz Arveladze, Vladimir Klepikov (Ukraine), Badur Tchunashvili, Alexander Petrosyan

Organizing Committee:

Zviad Vashakidze, Teimuraz Gamrekelashvili, Ucha Uchaneishvili, Enver Chichua, Davd Kakhiani, Emzar Chachkhiani, Nugzar Beridze, Mykola Mukha (Ukraine), Alla Drankova (Ukraine), Vira Shamardina (Ukraine), Roman Zaitsev (Ukraine), Oleksii Chorny (Ukraine), Igor Orlovsky (Poland), Mamuka Kobalia, Simon Nemsadze, Levan Imnaishvili, Evtikhy Matchavariani, Archil Samadashvili, Omar Zivzivadze, Maia Tughushi, Tornike Kiziria, Omar Kighuradze, Tengiz Museliani, Lena Shatakishvili, Tengiz Jishkariani

In the preparation of the journal took part:

Ina Tumanishvili (Text editing), Eteri Zambakhidze, Babilina Burchuladze, Natela Barabadze (Computer assembly of text)

ელექტრომექანიკური სისტემები, ელექტრომომხარების ტექნოლოგიები
Electromechanical systems, Electrical energy consumption technologies

ო. ზივზივადე, ი. კაკაჩიძე, ბ. ზივზივადე, ა. გეგუჩაძე, ა. ყუფარაძე. ვტომობილის ინერციული რეკუპერატორის ექსპერიმენტულ-იმიტაციური დასაბუთება 5

Г. Цхомелидзе, Р. Гургенадзе, Д. Турдзеладзе, Н. Гогинашвили. Особенности выбора, сравнительный анализ и расчет осветительных систем торговых центров 11

გ. ჯავახიშვილი ა. დიდებულოძე. ენერჯის გარდაქმნა უკუქცევით-წინსვლითი ცალნახევარპერიოდისანი ელექტრომაგნიტური ვიბრაციული მანქანის გენერატორულ რეჟიმში 15

გ. კიკოლაშვილი, გ. ლომინაძე. დინამიური რეჟიმების ფორმირება ასინქრონული ძრავების ოპტიმიზირებული დაგეგმარების ქვესისტემაში 19

კ. წერეთელი, ჯ. სირაძე. მძლავრი ასინქრონული ძრავის გადახურების კვლევა 22

თ. ნათენაძე, ა. ზერეკიძე, ნ. კერესელიძე. მუდმივი დენის მაგისტრალური ელმავლის ძალური სქემის მათემატიკური მოდელი, გარდამავალი პროცესების შესწავლისათვის 25

ბ. დაღუნდარიძე. ელექტრული და მექანიკური ენერჯიების ურთიერთგარდაქმნადობის ფენომენი 28

ლ. მაჭავარიანი. 6–10 კვ ძაბვის ღია ქსელში რეჟიმის პარამეტრების ანალიზი და რეგულირება 34

მ. დვალიძე, მ. სარსანია. საქართველოს ენერჯის სისტემის გენერატორების ძაბვის ავტომატური რეგულატორების მუშაობის ეფექტიანობა 39

დ. ჭიჭინაძე. ხიდური ამწის აწევის მექანიზმის მოკლედ შერთულ როტორიანი ასინქრონული ელექტროამძრავი სიხშირული მართვით 44

დ. ხარებავა. ელექტრომომარაგების სისტემაში მიმდინარე ელექტროდინამიკური პროცესების ექსპერიმენტული გამოკვლევის მოდელი 47

ი. შაველაშვილი, გ. შაველაშვილი, დ. ტურძელაძე, ნ. გოგინაშვილი. სს „თელასის“ გამანაწილებელი ქსელისათვის ელექტროენერჯის დანაკარგების სტრუქტურა და მათი ანგარიშის მეთოდების ანალიზი 50

ელექტროენერგეტიკური სისტემები და კომპლექსები. ძალური ელექტრონიკა
Electric power systems and complexes. Power electronics

ი. ქათამაძე. ულტრასწრაფი აღდგენის დიოდების გამოყენება თანამედროვე ძალურ გარდამქნელებში 55

ი. ქათამაძე. სწრაფი აღდგენის დიოდები და მათი მუშაობის თავისებურებები 59

დ. ჯაფარიძე ზემალაღი ძაბვის ელექტროგადამცემი ხაზების ცალმხრივად ჩართვის რეჟიმი. 62

ინფორმაციული და ციფრული ტექნოლოგიები ენერჯეტიკაში
Information and digital technologies in Energy Engineering

პ. გელხვიძე, ზ. მარდალეიშვილი. მონაცემთა გენერაცია, სტრუქტურა და მოძიება 68

გ. იაშვილი. კიბერუსაფრთხოება ენერჯეტიკის სექტორში 74

თ. მთვრალაშვილი. გისოსისებრი კოდების თავისუფალი ევკლიდური მანძილის საზღვრები 78

შ. მესტვირიშვილი, ი. დენისოვა, დ. ჭალიაშვილი. მალდივი საცხოვრებელი კორპუსების გაუმომარაგების ზოგიერთი საკითხი 84

ი. მოდებაძე, კ. ხოშტარია. ვირტუალური პრაქტიკული და ლაბორატორიული სამუშაოები სასწავლო პროცესისთვის 87

ს. დადუნაშვილი. უნივერსალური სკუტერის მართვის მიკროპროცესორული სისტემა 92

ს. დადუნაშვილი. საავტომობილო ტრანსმისიის საგზაო გამოცდის მიკროპროცესორული სისტემა 97

დ. ყუჟნიაშვილი, ზ. აზმაიფარაშვილი, გ. მურჯიკენელი, გ. მურჯიკენელი. ნავთობის რეზერვუარში ნავთობის დონის გაზომვა ელექტროვიზუალური მეთოდით 103

ზ. აზმაიფარაშვილი, მ. ფოლადაშვილი, ნ. მესხიძე, ნ. ებრალიძე. ლუმინესცენციური ნათურების მართვის სქემების ანალიზი, ტექნიკურ-ექსპერიმენტული მახასიათებლები და მათი კვლევის შედეგები 107

**ენერგოეფექტურობა და განახლებადი ენერჯის წყაროები.
ენერგორესურსების დამზოგავი ტექნოლოგიები ენერგეტიკაში
Energy efficiency and renewable energy sources.
Energy Saving technologies in Power Engineering**

ნ. არაბიძე, ს. მინდიაშვილი. განახლებადი ენერჯის და ენერგოეფექტური ტექნოლოგიების დანერგვის პერსპექტივები კერძო და საჯარო სექტორში	112
ვ. გოდაბრელიძე. RSS ბრუნვითი მართვადი სისტემის გამოყენებით გამრუდებული ჭაბურღილების გაყვანა	118
ზ. სურამელაშვილი. აჭარა-თრიალეთის აღმოსავლეთ დაძირვის (სართიჭალა-მანავის ზოლი) სტრატეგიაფიული ერთეულების ენერგეტიკული მდგომარეობა	123
მ. ლორია, ზ. მეგრელიშვილი, მ. ტულუში, დ. ჩხაიძე. აჭარის რეგიონის გადამუშავებას დაქვემდებარებული საყოფაცხოვრებო და საწარმოო ნარჩენების ენერგეტიკული რესურსების გამოკვლევა და მათი ათვისების პერსპექტივები	130
ნ. მირიანაშვილი, ზ. ლომსაძე, ქ. ვეზირიშვილი-ნოზაძე, ანტონ დვალაძე. მზის ენერგეტიკული რესურსების გამოყენების პერსპექტივები ქვემო ქართლის რეგიონში	135
ნ. მირიანაშვილი, ნ. ყავლაშვილი, ნ. დადიანი, ქ. კვირიკაშვილი. თბური ტუმბოები გათბობის სისტემებში	141
ქ. ვეზირიშვილი-ნოზაძე, ე. ფანცხავა, მ. ჯიხვაძე, მ. ლორია. ენერგოუსაფრთხოება - ქვეყნის მდგრადი განვითარების ქვაკუთხედი	146
გ. მეტრეველი. მზის ელექტროსადგურის პროექტირება მათემატიკური მოდელის გამოყენებით	151
მ. მარდალეიშვილი. გარემოსდაცვითი წყლის ხარჯის შეფასება ექსპლუატაციაში მყოფი ჰესებისათვის	157
ნ. ორმოცაძე, დ. ბიბილეიშვილი, მ. მესხიშვილი. პოლიმერული თერმომდგრადი კომპოზიცია ჰიბრიდული ინტეგრალური სქემებისათვის	162
გ. ხურცილავა, შ. ხურცილავა, ო. კილურაძე. ვიწროლიანდაგიანი „ბორჯომ-ბაკურიანის“ მატარებლის ელმავლის ენერგოეფექტური ელექტროკვების და საინფორმაციო დანიშნულების ელექტრონული კომპონენტების დამუშავება და ინსტალაცია	167
გ. ხურცილავა, შ. ხურცილავა, ო. კილურაძე. მეტროპოლიტენის მატარებლების საკონტაქტო რელსის მოდერნიზაცია	173
ს. ნემსაძე, გ. გელაშვილი. ქარის ტურბინები და ფრინველების ულტრაბგერითი მოსაგერიებელი მოწყობილობის მონტაჟის ეფექტურობა	176

**ენერგეტიკის ეკონომიკა, მენეჯმენტი, მართვა, რეგულირება
Power engineering economics, management, administration, regulation**

ა. სამადაშვილი, ქ. ილურიძე. ახალი ბიზნეს მოდელები ენერგოსექტორში	179
ქ. ილურიძე. ენერგომომსახურებაზე სპეციალიზებული ბიზნეს-ინკუბატორი	184
დ. ჯაფარიძე, გ. ლუღუშიძე. საქართველოს მცირე სიმძლავრის ჰიდროელექტრო-სადგურებისთვის დამაგროვებლების გამოყენების ეფექტიანობის შეფასება და დანერგვა ელექტროსისტემაში	189
დ. ჯაფარიძე, გ. ჯოჯუა. საქართველოს მსხვილი ელექტროენერგეტიკული კომპანიების მართვის ეფექტიანობის პრონოზული ანალიზი, პრობლემები და მათი გადაწყვეტის გზები ..	196
ლ. ბოჭორივილი, თ. ფილიპიდის, მ. თოფურია. ელექტრომომწყობილობების გეგმიური სარემონტო სამუშაოების ხარჯთაღრიცხვის თეორია და პრაქტიკა	203
ლ. ბოჭორივილი, მ. თოფურია. ენერგეტიკული საწარმოს ძირითადი საშუალებების აღრიცხვიანობისა და აუდიტის პროგრამა თანამედროვე მოთხოვნების გათვალისწინებით ...	209
შ. კოჩაძე. მსხვილ ენერგომომხმარებლებში ჭკვიანი ქსელების დანერგვის ეფექტიანობის ანალიზი, პრობლემები და მათი გადაწყვეტის გზები	215
დ. ნამგალაძე, ქ. ბერიკაშვილი. მიწისქვეშა გაზსაცავი - ქვეყნის სტრატეგიული ობიექტი მიწისქვეშა გაზსაცავების ველში წნევის დადგენის მიახლოებითი მეთოდი	219

ელექტრომექანიკური სისტემები. ელექტრომომხმარების ტექნოლოგიები
Electromechanical systems. Electrical energy consumption technologies

ავტომობილის ინერციული რეკუპერატორის ექსპერიმენტულ-იმიტაციური დასაბუთება

ომარი ზივზივაძე, აკადემიური დოქტორი, პროფესორი

აკაკი წერეთლის სახ. უნივერსიტეტი, ქ. ქუთაისი, საქართველო, e-mail: omarzivzivadze@gmail.com

ისიდორე კაკაჩიძე, აკადემიური დოქტორი, ასოც. პროფესორი

აკაკი წერეთლის სახ. უნივერსიტეტი, ქ. ქუთაისი, საქართველო, e-mail: Isidore.kachakhidze@mail.ru

ბადრი ზივზივაძე, აკადემიური დოქტორი, ასოც. პროფესორი

აკაკი წერეთლის სახ. უნივერსიტეტი, ქ. ქუთაისი, საქართველო, e-mail: zivziva@mail.ru

არჩილ გეგუჩაძე, აკადემიური დოქტორი, პატენტმცოდნე,

აკაკი წერეთლის სახ. უნივერსიტეტი, ქ. ქუთაისი, საქართველო, e-mail: archigeguchadze@gmail.com

ანზორი ყუფარაძე, ბაკალავრი,

მაიკროსოფტის აკადემიის ასოც. წევრი, თბილისი, საქართველო, e-mail: anzo.vip@live.com

ნატა სულაკველიძე, ბაკალავრი

მაიკროსოფტის აკადემიის ასოც. წევრი, თბილისი, საქართველო, e-mail: natasulak@yahoo.com

ანოტაცია: ენერჯის ალტერნატიულ წყაროდ გამოყენების მიზნით, შეიქმნა ქანქარიანი ინერციული რეკუპერაციული საკიდარი, როგორც მასისა და ზამზარის ჰარმონიული ოსცილატორი, ასევე შეიქმნა საკიდარის გამოსაცდელი ინოვაციური სტენდი დამოუკიდებელი კომპიუტერული პროგრამით, რომელიც რეალურ დროში აგროვებს მონაცემებს შესანახად და შესადარებლად შემდგომი ექსპერიმენტებისთვის. ჩატარდა კომპიუტერული სიმულაციები, რამაც ასევე აჩვენა შეფასების მეთოდების საიმედოობა და კვლევის ეფექტურობა.

საკვანძო სიტყვები: რეკუპერაციული საკიდარი, მათემატიკური მოდელი, ჰარმონიული ოსცილატორი, კომპიუტერული სიმულაცია, შედეგების ვიზუალიზაცია.

Confirmation of the vehicle inertial recuperator by Experimental-imitation

Omar Zivzivadze, Doctor, Professor;

Akaki Tsereteli State University, Kutaisi, Georgia, e-mail: omarzivzivadze@gmail.com

Isidore Kachakhidze, PhD, Assoc. Professor,

Akaki Tsereteli State University, Kutaisi, Georgia, e-mail: Isidore.kachakhidze@mail.ru

Badri Zivzivadze, PhD, Assoc. Professor;

Akaki Tsereteli State University, Kutaisi, Georgia, e-mail: zivziva@mail.ru

Archil Geguchadze, PhD, Patent Specialist;

Akaki Tsereteli State University, Kutaisi, Georgia, e-mail: archigeguchadze@gmail.com

Anzor Kuperadze, Bachelor,

Microsoft Academy. Associate Member, Tbilisi, Georgia, anzo.vip@live.com

Nata Sulakvelidze, Bachelor,

Microsoft Academy. Associate Member, Tbilisi, Georgia, natasulak@yahoo.com

Annotation. As an alternative source of energy, an oscillating inertial recuperative suspension as a harmonic oscillator of a mass-spring pair and the innovative suspension system testing bench was created, with a stand-alone computer software that collects data in real-time for storing and comparison purposes for further experimenting. Computer simulations were carried out, which showed the authenticity of the assessment methods and the efficiency of the research.

Keywords: Recuperative suspension, mathematical model, harmonic oscillator, computer simulation, results visualization.

შესავალი. ავტომობილის კონომიურობის გაუმჯობესების ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი

სამუშაოა საკიდარში აკუმულირებული ენერჯის ელექტრო-ენერჯიად

გარდაქმნა და მისი საშუალებით აკუმულატორების დამუხტვა, რომელთა გამოყენება შესაძლებელია სხვადასხვა დანიშნულებით (ზოგადად ავტომობილის გათბობა, კონდიციონერება, გაშვება, ხოლო ელექტრომობილის მუშაობის პროცესში, ასევე რადიო-ტელე კომუნიკაციაში და ა. შ.) [1]. ამისათვის კი მნიშვნელოვანია საგზაო უთანაბრობებიდან მოქმედი დატვირთვების დადგენა. ამ მიმართებით არსებობს შრომები [2,3], რომლებშიც გარდამქმნელი ამორტიზატორშია ჩამონტაჟებული, რომლის კონსტრუქცია განსახორციელებლად ძნელია, ხოლო ექსპლუატაციის პროცესში არის ნაკლებად მდგრადი, საიმედო და ხანგამძლე, რადგან საგზაო უთანაბრობებზე გადავლის დროს ხდება კონსტრუქციის გადატვირთვა მკვეთრი და ნიშან-ცვლადი ბიძგებით. ადრინდელი შრომებით, ელექტრომობილებისათვის გარდამქმნელის მქკ არის 61-64%, ჰიბრიდებისთვის 56-58%, ხოლო ჩვეულებრივი ავტომობილებისათვის 44-49%. მქნევარ(ებ)იანი რეკუპერაციული საკიდრის შემთხვევაში კი იქნება მეტი. აღნიშნულით დგინდება, რომ მექანიკური რხევების ენერჯის ელექტრო-ენერჯიად გარდაქმნა რენტაბელურია.

კვლევა

ავტომობილის საკიდარის შესაბამისი ერთ თვალზე დაყვანილი მერხვეი დინამიკური სისტემის ორმასიანი მათემატიკური მოდელი აღწერილია მეორე გვარის დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემით (1):

$$m\ddot{z} + K(\dot{z} - \dot{q}) + C(z - q) - K_1(\dot{z}_1 - \dot{z}) - C_1(z_1 - z) = 0$$

$$m_1\ddot{z}_1 + K_1(\dot{z}_1 - \dot{z}) + C_1(z_1 - z) = 0$$

სადაც

m - დაურესორებელი მასაა; m_1 - დარესორებული მასაა; z - დაურესორებელი მასის გადაადგილება; z_1 - დარესორებული მასის გადაადგილება; C - სალტის სიხისტეა; C_1 - საკიდარის სიხისტეა; K - სალტის დემპფერებაა; K_1 - საკიდარის დემპფერებაა; q - გზის საფარის მიკროპროფილის ორდინატაა.

ეს ამოცანა ამოხსნილია კომპიუტერული სიმულაციით. ხრახნული გადაცემის კუთხე ხახუნის ძალის გამო ვერ იძლევა წინსვლითი გადაადგილების ბრუნვით მოძრაობად

გარდაქმნის შესაძლებლობას, ხოლო ხრახნის შესრულება მაღალი შესვლის კუთხით შესაძლებელია რამდენიმე შესავლით; თანაც მაღალი შესვლის კუთხე ვერ უზრუნველყოფს საჭირო გადაცემის რიცხვსა და შესაბამის ბრუნვის სიხშირეს, რის გამო მქნევარა ვერ ასწრებს სრული ბრუნის შესრულებას.

$$h = \pi d * \omega * t g \varphi, \text{ საიდანაც}$$

$$\omega = h / \pi d * t g \varphi \quad (2)$$

სადაც, h — ვერტიკალური ხრახნის შესვლის სიმაღლეა; d — ხრახნის დიამეტრია; ω — ხრახნის კუთხური სიჩქარეა; φ — ხრახნის შესვლის კუთხეა. კუთხური სიჩქარის კინეტიკური ენერჯია უდრის:

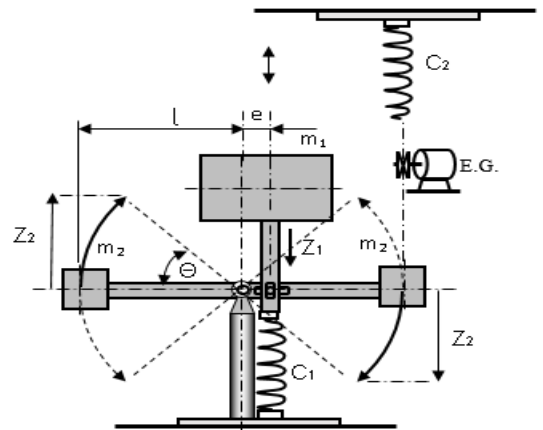
$$K = m * \omega^2 r \quad (3)$$

ავტომობილის საკიდარის დრეკად-მადემფერებელ ელემენტში აკუმულირებული ენერჯის სიდიდის დასადგენად შექმნილია მისი ექვივალენტური საანგარიშო დინამიკური სისტემა და ქანქარას ტიპის რეკუპერაციული საკიდარის (მასისა და ზამზარის ჰარმონიული ოსცილატორის) კინემატიკური სქემა (ნ.1), ხოლო განტოლება (2) სტატიკაში (აჩქარებების გარეშე) აღწერს მასებზე ვერტიკალური მიმართულებით მოქმედი ძალების მომენტთა ტოლობას:

$$e \cdot (m_1 \cdot g \cdot \cos \theta - C_1 \cdot Z_1) =$$

$$= l \cdot (m_2 \cdot g \cdot \cos \theta - C_2 \cdot Z_2) \quad (2)$$

სადაც m_1 - ავტომობილის მასის წილია თვალზე;

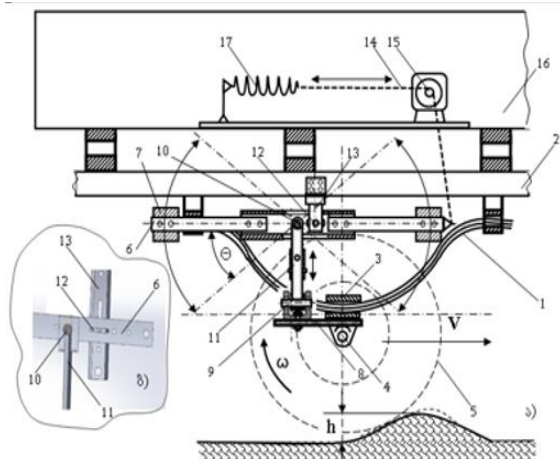


ნახ. 1. ქანქარას ტიპის რეკუპერაციული საკიდარის საანგარიშო კინემატიკური სქემა

m_2 - ტვირთების ჯამური მასაა ქანქარაზე; l - სახსნელი ტვირთის მხარია ქანქარაზე; $C_{1,2}$ - კუმშვის და დაჭიმვის ზამზარათა სიხისტის კოეფიციენტებია შესაბამისად; e - ავტომობილის

სიმძიმის ძალის მოდების მხარია; g - სიმძიმის ძალის აჩქარება; θ - ქანქარას გადახრის კუთხე; Z_1 - ავტომობილის დაურესორებელი მასის ვერტიკალური გადაადგილება; Z_2 - ქანქარას ტვირთების ვერტიკალური გადაადგილება.

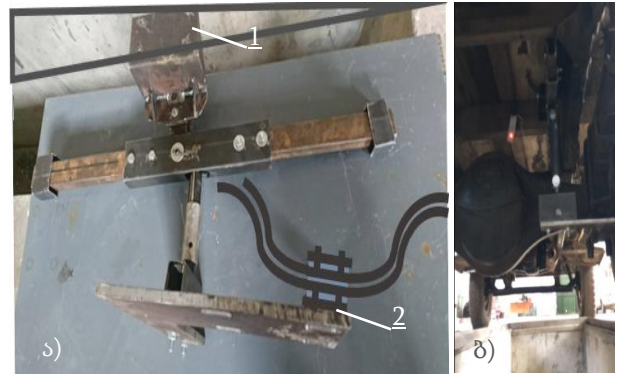
განგარიშების შედეგად დაგეგმარდა ქანქარას ტიპის რეკუპერატორი (ნახ. 2) და დამზადდა მისი საცდელი ნიმუში (ნახ. 3), დადგინდა მისი ავტომობილის საკიდარში ჩაყენების ოპტიმალური ადგილი. დამუშავდა ავტომობილის საკიდარის საიმიტაციო სტენდის კონსტრუქცია (ნახ. 6) და კომპიუტერული სიმულაციის საშუალებით მოხდა ავტომობილის საკიდარის საიმიტაციო გამოსაცდელი სტენდის მცირე მუშა მაკეტის (მოქმედი მოდელის) 3D-ბეჭდვა (ნახ. 7).



ნახ. 2. ქანქარას ტიპის რეკუპერაციული საკიდარის ა) კონსტრუქცია და ბ) სახსრული და კულისა შეერთებების სქემა.

ინერციული რეკუპერაციული საკიდარი შეიცავს (ნახ.2) ფურცლოვან რესორს 1, რომელიც ერთმანეთთან აკავშირებს ავტომობილის ჩარჩოსა 2 და სავალი ნაწილის ხიდს 3, რომელზეც ნახევარ ღერძებით 4 დასმულია თვლები 5, ქანქარას ბერკეტს 6 მის ბოლოებზე დამაგრებული ტვირთებით 7, კრონშტეინი 8, გრძივ-ჰორიზონტალური 9 და განივ-ჰორიზონტალური სახსრების 10 მეშვეობით საბიძგელასთან 11 ხიდისა 3 და ქანქარას ბერკეტის 6 დასაკავშირებლად, კულისას 12, საბიძგელას მეშვეობით 13 ქანქარას ბერკეტის 6 ავტომობილის ჩარჩოსთან 2 დასაკავშირებლად, ბერკეტის 6 ერთ-ერთ ბოლოზე გამობმულ

მოქნილ გრძივ (უწელვად) ელემენტს (მაგ. ძუას) 14, რომელიც ფიქსირებულად შემოხვეულია ელექტრო-გენერატორის 15 ღერძზე და მეორე ბოლოთი მიბმულია ძარაზე 16 დამაგრებულ ზამბარასთან 17.



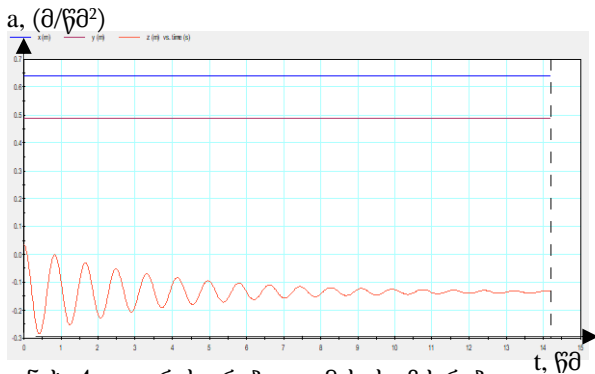
ნახ. 3. საცდელი ნიმუში: ა) ავტომობილის საკიდარის ინერციული რეკუპერატორი ქანქარა კვანძით — გამოცალკევებული, ჩარჩოსა 1 და რესორთან 2 დამაგრებების მონიშვნებით; ბ) იგივე, საკიდარში ჩამონტაჟებული.

სიმულაციის მეთოდით (MATLAB-ის პროგრამით) მოხდა რხევითი პროცესების ასახვა ავტომობილის რეკუპერაციული საკიდარის ერთჯერადი ვერტიკალური დატვირთვებით, ქანქარას ტიპის ინერციულ-რეკუპერაციული საკიდარის გარეშე და საკიდარით, რომელთა მიღევადი რხევების გრაფიკები ნაჩვენებია შესაბამისად ნახ. 4 და ნახ. 5-ზე.

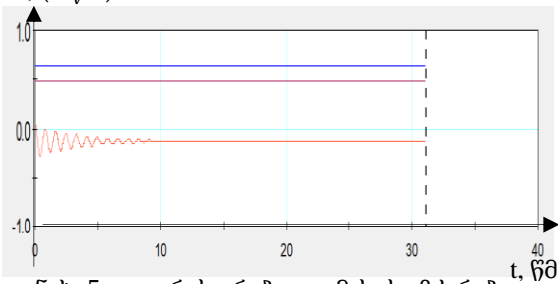
ავტომობილის საკიდარის რხევითი პროცესების სიმულაციისათვის შექმნილი სტენდის (ნახ. 6) მცირე მოქმედი მაკეტის (ნახ. 7) გამოყენება უზრუნველყოფს ავტომობილის მექანიკური რხევების დემპფერის სხვადასხვა სამუშაო რეჟიმების მოდელირებას. კერძოდ, დოლის 1 ბრუნვისას მასზე დამაგრებულ გზის საფარის უთანაბრობების მაიმიტირებელ საცვლელ რელიეფურ დაბრკოლებებზე 2 თვლის 3 გადაგორებისას ხდება ფილის 4 გადაადგილება (ასვლა) ვერტიკალურ მიმართველებზე 5, ხოლო მის მიერ დრეკადი ელემენტის 6 შეკუმშვის შედეგად ხდება იმავე მიმართველებზე 5 საცვლელ ტვირთებიანი 7 ფილის 8 გადაადგილება აღნიშნული შეკუმშვის ტოლი ჩამორჩენით. ამასთან, დაბრკოლების 2

ზედა წერტილიდან თვალი 3 მოწყდება (არ ეხება) მისი დაღმავალი ქედის ზედაპირს, მაგრამ

სახსრებით 10, 11 და წვეთით 12 დაკავშირებული მხრულას 13 (მექანიკური ქანქარას) ინერციის

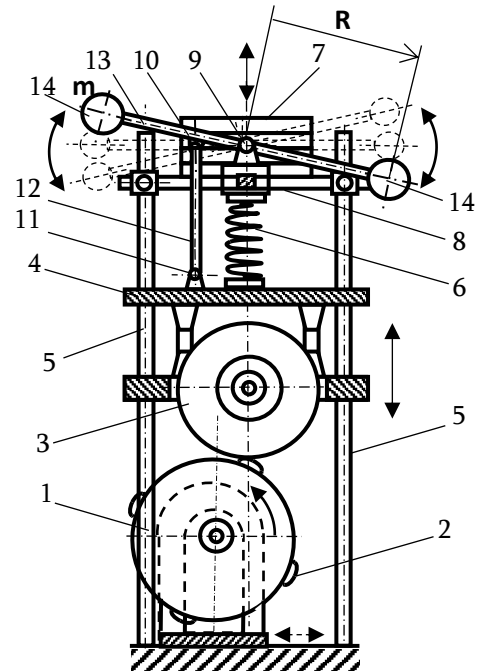


ნახ. 4. დაურესორებელი მასის აჩქარება (კომპიუტერული სიმულაციით) ქანქარის გარეშე, $m = 820$ კგ; რესორის სიხისტე $C = 2 \cdot 10^4$ ნ/მ; რესორის დემფერება $K = 2 \cdot 10^2$ ნმ/წმ²
 α , (მ/წმ²)

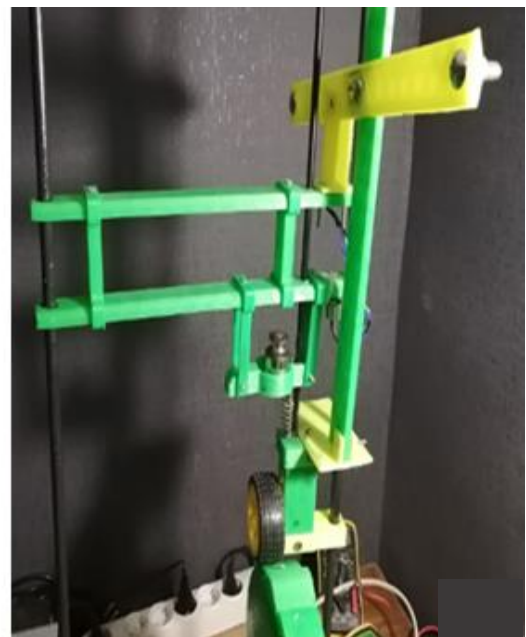


ნახ. 5. დაურესორებელი მასის აჩქარება (კომპიუტერული სიმულაციით) ქანქარათი, დაურესორებელი მასა $m_1 = 820$ კგ; ქანქარას ტვირთების საერთო მასა $\Sigma m = 2m_2 = 20$ კგ; რესორის სიხისტე $C = 2 \cdot 10^4$ ნ/მ; რესორის დემფერება $K = 2 \cdot 10^2$ ნმ/წმ²

დრეკადი ელემენტით 6 გადაცემული ზედა ფილის 8 ზეწოლის ქვეშ იწყებს დაბლა დაშვებას და — დოლის 1 დაბალი სიხშირით (ნელი მოძრაობის სიჩქარის შესაბამისად) ბრუნვისას მალევე უკავშირდება რელიეფური დაბრკოლების 2 დაღმავალი ქედის ზედაპირს, ან დოლის 1 მაღალი სიხშირით (ავტომობილის სწრაფი მოძრაობის სიჩქარის შესაბამისად) ბრუნვისას დაბლა ეშვება დაყოვნებით, რის გამო გასცდება აღნიშნულ დაბრკოლებას 2 და და ეშვება დოლის 1 ზედაპირზე, რის შედეგად თვლის 3 მოწყვეტის ხანგრძლივობა არის პირველ შემთხვევაში ნაკლები, ხოლო მეორე შემთხვევაში მეტი, რაც დამოკიდებულია ერთმხრივ (დამაჩქარებლად) დრეკადი ელემენტის 6 სიხისტეზე, ხოლო მეორე მხრივ კი — (დამაყოვნებლად) ზედა ფილაზე 8 სახსრით 9 დასმული და ქვედა ფილასთან 6 ასევე



ნახ. 6. რეკუპერაციული საკიდარის საიმიტაციო სტენდის კინემატიკური სქემა (ისრები უჩვენებს მოძრაობებს)



ნახ. 7. რეკუპერაციული საკიდარის საიმიტაციო სტენდის მოქმედი მაკეტი

მომენტზე (მისი მხარისა R და მასზე დასმული საცვლელი ტვირთების 14 ჯამური მასის $m_2 = 2m$ ნამრავლზე $M = 2mR$). ამ რხევით პროცესში ენერგიის ნაწილი დაიხარჯება მექანიკური რხევების ჩამხშობის (მხრეულიანი მექანიკური ქანქარას — მხრეულას 13 ბოლოებზე დასმული საცვლელი ტვირთების 14) კინეტიკურ ენერგიაზე ($E = 2m\omega^2 R$, სადაც ω მხრეულას 13 კუთხური სიხშირეა). რეკუპერაციული საკიდრის გამოსაცდელი სტენდის მუშაობა იხ. ვიდეოში ბმულზე:

https://www.youtube.com/watch?v=q2nVn_Z-NI0&feature=share&fbclid=IwAR39LTQZGHREj33IKi1_c_OpNKO2uFr5YKznzhkNp828kT8WgvRYuUOBQAds

დასკვნა

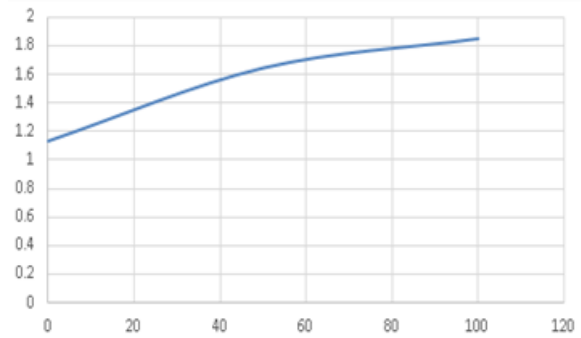
ავტომობილის საკიდარის მაიმოტირებელი სტენდის კონსტრუქციამ და 3D-ბეჭდვით დამზადებულ მის მცირე მუშა მაკეტში (მოქმედ მოდელში) ჩატარებულმა ექსპერიმენტმა (სიმულაციამ), გზის უთანაბრობით გამოწვეული რხევების კუთხურ რხევებად გარდაქმნის პროცესის იმიტაციისას კვლევის შედეგების ვიზუალიზაციამ (იხ. ცხრ.1, ნახ.8 და ცხრ.2, ნახ.9), უჩვენა საკვლევი ობიექტის ეფექტურობის დასაბუთების შესაძლებლობა ექსპერიმენტული კვლევის ადრეულ სტადიაზე, რეალურ საგზაო პირობებში გამოცდებისათვის შემდგომი ექსპერიმენტების მიზანშეწონილობის დადგენისა და მათი ეფექტურად დაგეგმვის მიზნით.

ცხრილი 1

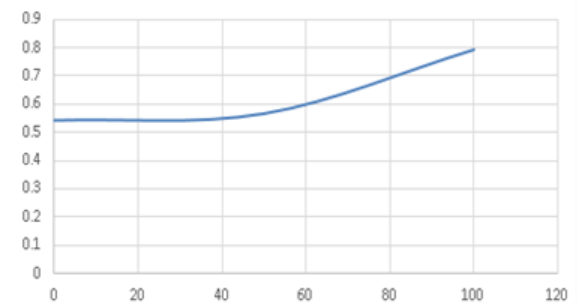
ვერტიკალური გადაადგილება (cm)	დაურესორებელი მასა (g)
1,1324	0
1,6426	50
1,8472	100

ცხრილი 2

ვერტიკალური გადაადგილება (cm)	დაურესორებელი მასა (g)
0,5398	0
0,564	50
0,7932	100



ნახ. 8. საშუალო მნიშვნელობების ვიზუალიზაცია ქანქარას გარეშე



ნახ. 9. საშუალო მნიშვნელობების ვიზუალიზაცია ქანქარათი

ლიტერატურა

1. ზივზივამე ომარ, კაჭახიძე ისიდორე, ზივზივამე ბადრი, პაპიძეზაზა. ავტომობილის საკიდარში რხევითი მექანიკური ენერგიის ელექტრო ენერგიად გარდაქმნა. საქართველოს მექანიკოსთა კავშირის XI ყოველწლიური საერთაშორისო კონფერენცია. 27.08.2020.-29.08.2020. ბათუმი. გვ. 3-4.
2. ზივზივამე ო., კაჭახიძე ი., ზივზივამე ბ. ავტომობილის საკიდარში რხევების მიერ წარმოქმნილი ენერგიის ელექტროენერგიად გარდაქმნა და გამოყენება. I საერთაშორისო კონფერენცია „ენერგეტიკის თანამედროვე პრობლემები და მათი გადაწყვეტის გზები“, თბილისი, საქართველო, 2019 წლის 7-11 ოქტომბერი, გვ. 166-168.
3. Бойцов А. А., Бойков В. И., Быстров С. В., В. В. Григорьев, Карев П.В. Исполнительные Устройства И Системы Для Микроперемещений. Учебное пособие, Министерство образования и науки российской федерации университет ИТМО. Санкт-Петербург. 2017.

4. Bal V.B., Gecha V.Ya., Goncharov V.N., Yezhov E.V., Chirkin V.G., Shirinskiy S.V., Lezhnev (2015). The linear reciprocating electrical machines: application fields. Issues of electromechanics. Vol L.Yu. 149, pp. 7-8.

References (transliterated)

1. Zivzivadze Omar, Kachakhidze Isidore, Zivzivadze Badri, Papidze Zaza. Converting oscillating mechanical energy into electrical energy in the car suspension. XI Annual International Conference of the Georgian Mechanics Union. 27.08.2020.-29.08.2020. Batumi pp. 3-4.
2. Zivzivadze O., Kachakhidze I., Zivzivadze B. Concertation the energy generated by oscillations in

the car suspension in electricity and using of it. I International Conference "Modern Energy Problems and Ways to Solve Them", Tbilisi, Georgia, October 7-11, 2019, p. 166-168.

3. Bobtsov A. A., Boykov V. I., Bystrov S. V., Grigoriev V. V., Karev P. V. Executive Devices And Systems For Micro-Displacement. Textbook, Ministry Of Education And Science Of The Russian Federation Itmo University. St. Petersburg 2017.
4. Bal V.B., Gecha V.Ya., Goncharov V.N., Yezhov E.V., Chirkin V.G., Shirinskiy S.V., Lezhnev (2015). The linear reciprocating electrical machines: application fields. Issues of electromechanics. Vol L.Yu. 149, pp. 7-8.

კვლევა განხორციელდა შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდის მხარდაჭერით [გრანტის ნომერი CARYS-19-2345].

Особенности выбора, сравнительный анализ и расчет осветительных систем торговых центров

Гурам Цхомелидзе, к.т.н., ассоциированный профессор

Грузинский Технический Университет, Тбилиси, Грузия, e-mail: guram.65@mail.ru

Реваз Гургенадзе, докторант, старший преподаватель

Грузинский Технический Университет, Тбилиси, Грузия, e-mail: revazgurgenadze@gmail.com

Давид Турдзеладзе, к.т.н., ассоциированный профессор

Грузинский Технический Университет, Тбилиси, Грузия, e-mail: turdzeladze59@gmail.com

Нинели Гогинашвили, академический доктор (PhD), ассоциированный профессор

Грузинский Технический Университет, Тбилиси, Грузия, e-mail: n.goginasghvili@gtu.ge

Аннотация. В статье изучены вопросы особенностей освещения торговых центров, выбора типов светильников и расчета освещенности при помощи программного обеспечения DIALux. В зависимости от типа торговой площади рассмотрены вопросы влияния колориметрической температуры и коэффициента цветопередачи на визуальное восприятие товаров разной номенклатуры. Показана роль коэффициента пульсации, прямая связь зрительного восприятия с формой пульсации светового потока и возможность ограничения пульсаций светового потока. Рассмотрены вопросы расчета освещенности в компьютерной программе DIALux и по техническому заданию проведен расчет освещенности заданной торговой площади.

Ключевые слова: Электрической освещение, расчет освещенности, DIALux, торговые центры

Features of choice, comparative analysis and calculation shopping malls lighting systems

Guram Tskhomelidze, Candidate of Technical Science, associate professor

Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, e-mail: guram.65@mail.ru

Revaz Gurgenadze, Doctoral student

Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, e-mail: revazgurgenadze@gmail.com

David Turdzeladze, Candidate of Technical Science, associate professor

Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, e-mail: turdzeladze59@gmail.com

Nineli Goginashvili, PhD, associate professor

Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, e-mail: n.goginasghvili@gtu.ge

Annotation. The article examines the issues of lighting features of shopping malls, the choice of lamps, and the calculation of illumination using the DIALux software. Depending on the type of retail space, the issues of the influence of colourimetric temperature and colour rendering index on the visual perception of goods of different nomenclature are considered. The role of the pulsation coefficient, the direct connection of visual perception with the form of light flux pulsation, and the possibility of limiting light flux pulsations are shown. The issues of calculating the illumination in the DIALux computer program are considered and the calculation of the illumination of a given retail area is carried out according to the technical task.

Keywords: Electrical lighting, calculation of illumination, DIALux, shopping malls

Научно-технический прогресс развития светотехнического оборудования постепенно проникает во все сферы деятельности человека в том числе и в сферу торговли. Задачей представленной статьи является исследования выбора, сравнения и расчета освещения торговых центров с учетом современных разработок осветительного оборудования, нормативных требований к освещению различных типов торговых площадей и рассмотрения специфики влияния вида и характера освещенности на реализацию товаров различной номенклатуры.

Освещение торговых центров одновременно решает несколько важных вопросов: обеспечение необходимого уровня комфортной освещенности для посетителей и сотрудников торговых центров, создание визуальных эффектов «привлекательности» внешнего вида реализуемого товара, управление вниманием покупателей, акцентирование внимания на конкретных областях торговых площадей и групп товаров, создание микроклимата обеспечение достаточного уровня ультрафиолетового излучения.

Одним из основных способов решения поставленных вопросов обеспечение

оптимального уровня высококачественной освещенности. Освещенность, это отношение светового потока к площади, минимальный уровень которого регулируется действующими в Грузии строительными правилами и нормами СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение» [1]. Одежда, обувь и белье требует минимального уровня освещенности 300 люкс, продуктовые торговые площади 400лк, а в магазинах игрушек и канцтоваров допускается 200лк. На самом деле не один современный магазин не работает на таком низком уровне освещенности. В более современной редакции документа СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 [2] устанавливает более высокие требования и в супермаркетах минимально допустимая норма 500лк.

Однако есть разница между минимально допустимым и экономически оптимальным уровнем освещенности. В чем заключается критерий оптимальности?

С одной стороны повышение уровня освещенности это дополнительные расходы на электроэнергию, а с другой увеличение уровня продаж и соответственно доходов. Национальная обсерватория оптической астрономии (*National Optical Astronomy Observatory (NOAO)*) noao.edu [3] рекомендует сравнительно высокие уровни при планировании искусственного освещения помещений. Например, в залах торговых центров этот уровень не должен быть меньше 750лк. Высокий уровень освещенности в торговых залах вызывает эйфорию, улучшает настроение. Однако обеспечение высоких уровней освещенности невозможно без дополнительных расходов на электроэнергию и в торговых центрах с месячным потреблением электроэнергии более 1 МВтч рост энергопотребления на 20-30% связан со значительными материальными затратами и важной задачей является определение оптимального значения освещенности с учетом представленных требований к энергоэффективности.

На восприятие покупателем качественного изображения товара сильно влияют две характеристики осветительного оборудования: индекс цветопередачи и цветовая температура. Индекс цветопередачи выражается числовым коэффициентом Ra. Он характеризует правдоподобность цветопередачи при искусственном освещении по сравнению с естественным. Максимальный Ra равен 100 единицам. Такая цветопередача обеспечивается при природном дневном свете. Оптимальный уровень цветопередачи для торгового оборудования — 80–90 единиц. Ra ниже 80 сильно искажает световосприятие и мешает

покупателям объективно оценивать цвет товара. Цветопередача выше 90 единиц тоже не нужна, так как она снижает эффективность осветительного оборудования и значительно увеличивает энергопотребление.

Цветовая или колориметрическая температура измеряется в кельвинах (K). Цветовая температура источника искусственного света влияет на восприятие цвета окружающих предметов. По признаку цветовой температуры источники света объединяются в три группы: Теплые — ниже 4000 кельвинов, Нейтральные — от 4000 до 5000 кельвинов, Холодные — выше 5000 кельвинов.

Светильники для торговых центров необходимо выбирать с учетом особенностей реализуемых товаров. «Теплые» лампы с температурой ниже 4000 кельвинов создают уютную атмосферу. Такое освещение используется в магазинах или отделах товаров для дома, например, мебели. «Холодные» светильники с температурой выше 5000 кельвинов вызывают эффект возбуждения стимулируют работоспособность, активизируют человека. Это идеальное решение для магазинов спорттоваров и спортивной одежды, промышленного оборудования, ювелирных изделий. «Нейтральные» светильники — универсальное решение для общего освещения в супермаркетах и многопрофильных магазинах. Лампы с колориметрической температурой от 4000 до 5000 кельвинов обеспечивают объективное световосприятие практически для любых групп товаров.

Для примера рассмотрим торговый зал магазина одного из торговых центров г. Тбилиси. Размеры магазина длина 10 метров и ширина 6м высота 3м (рис 1).

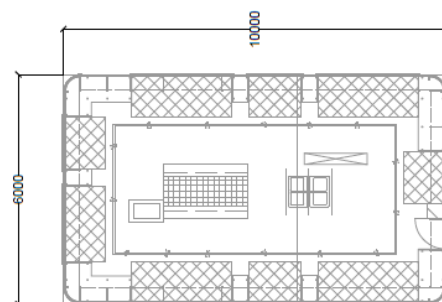


Рис. 1. Размеры магазина

Техническим заданием к расчету освещения принимаются данные из программы Dialux. В техническом задании обязательно должен быть указан один из важных показателей осветительного оборудования уровень пульсации освещенности. Допустимый уровень пульсации искусственного освещения

регулируется нормативными актами: СНиП 23-05-95 и СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. В них указано, что уровень пульсации искусственного освещения на рабочем месте не должен превышать 20%. По современным исследованиям, работоспособность и настроение человека ухудшаются, если коэффициент пульсации осветительных приборов превышает 5%. Более детально вопросы влияния пульсаций освещенности приведены в работе [4] в которой так же рассмотрены вопросы выбора по качеству драйвера светильника. В техническом задании приведена также цветовая температура, которая определяется заказчиком в зависимости от вида реализуемого товара в нашем случае 3000к и описанный выше индекс цветопередачи Ra 80.

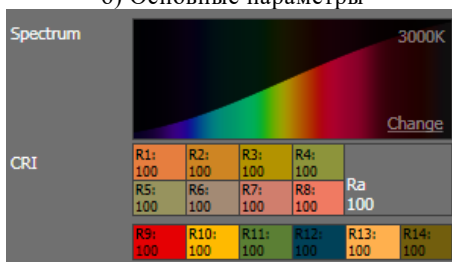
Следовательно, в рассмотренном случае, по требуемым параметрам пульсаций цветопередачи и цветовой температуры, оптимальным выбором будет светодиодный светильник SPECTRUM 011 с параметрами (рис.2 а, б, в).



а) Внешний вид

Р	28.2 W
Флампа	1566 lm
Ф _{Светильник}	1565 lm
η	99.95 %
Светоотдача	55.5 lm/W
ССТ	3000 К
CRI	90

б) Основные параметры



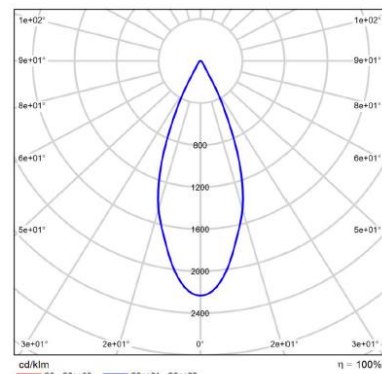
в) Спектр и индекс светопередачи

Рис. 2. Светильник SPECTRUM 011

Для конкретного типа светильника приведены графики полярных координат и конусная диаграмма (рис.3. а, б).

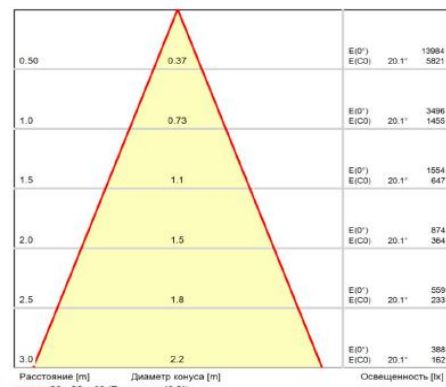
В программе DialLux проведен расчет освещенности при заданных параметрах цветовой температуры и индекса цветопередачи Ra расчеты производились на высоте от пола 0.8 м те торговых стеллажах.

В зависимости от типа и назначения освещаемого помещения программа диалюкс предлагает соответствующее стандартное значение освещенности и параметров освещенности. Интеллектуальная база программного обеспечения основана на европейских стандартах по освещенности (EN 12464-1:2011 Light and lighting — Lighting of work place; EN 12464-1:2014) и нормативных документов по энергоэффективной - DIN V 18599. С использованием указанных документов возможна оценка не только освещенности и ее параметров, а так же продолжительность работы выбранных светильников в течении года, периоды тех обслуживания и мониторинга, интервалы замены светильников и тд.



Полярные LDC

а)



Конусная диаграмма

б)

Рис.3. Графики полярных координат (а) и конусная диаграмма (б)

В рассмотренном нами примере магазина предлагаем перечень важных параметров освещенности и параметров светильников, которые необходимы для расчетов освещенности в программе DIALux:

Освещенность: Визуальное задание – 600 лк, Зона окружения – 400 лк, Зона заднего плана – 66.7 лк, Равномерность (E_{min}/E_{max}) – 0.40

Ограничение ослепления: Внутренняя зона (UGR) – 22

Срок службы: День – 2999 Часов в год ~ 8.22 Часов в день, Ночь – 601 Часов в год ~ 1.65 Часов в день, Коэффициент отсутствия – 0.00, Коэффициент уменьшения рабочего времени в здании для освещения – 1.0

Техобслуживание и прочее: Индекс цветопередачи (Ra) – 80 Высота рабочей плоскости – 0.80 м, Коэффициент уменьшения (сектор зрительного задания) – 0.93, Интервал проверок – 1 в год, Условия окружающей среды – Нормальные, Периодичность техобслуживания для светильников – 2 в год

Периодичность замены для ламп - 1 в год



Рис. 4. Результаты светотехнических расчетов в программе DIALux

На рис.4 видны результаты расчетов и визуальная картина распределения освещенности показания люксметра (рис.5.) 657

люкс на торговой поверхности которые подтверждают решение поставленной задачи.



Рис.5. Люксметр

Выводы и рекомендации

1. Рассмотрены вопросы параметров качества освещения торговых центров
2. С учетом специфики товаров определены оптимальные уровни освещенности, пульсаций и calorimetricheskoy температуры
3. На примере конкретного магазина торгового центра произведен выбор типа светильника и с помощью программного обеспечения DialLux проведен расчет освещенности и распределение на торговых поверхностях.
4. Вышеизложенные материалы помогут владельцам магазинов торговых центров выбирать тип освещения и его параметры в зависимости от номенклатуры реализуемых товаров/

Литература

1. СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение»
2. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий
3. noao.edu
4. EN 12464-1:2011, EN 12464-1:2014 Light and lighting - Lighting of work places
5. DIN V 18599 Energy efficiency of buildings - Calculation of the net, final and primary energy demand for heating, cooling, ventilation, domestic hot water and lighting
6. Цхомелидзе Г.О წინა კონფერენციის სტატია.

ენერჯის გარდაქმნა უკუქცევით-წინსვლითი ცალნახევარპერიოდიანი ელექტრომაგნიტური ვიბრაციული მანქანის გენერატორულ რეჟიმში

გელა ჯავახიშვილი, ტექნ. მეცნ. დოქტორი, პროფესორი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი, საქართველო, email: gela_java@yahoo.com

ალექსანდრე დიდებულიძე, ტექნ. მეცნ. დოქტორი, პროფესორი

საქ. მეცნიერებათა ეროვნული აკადემია, თბილისი, საქართველო, email: adidebulidze@yahoo.com

ანოტაცია: განხილულია გენერატორულ რეჟიმში ენერჯის გარდაქმნა უკუქცევით-წინსვლითი მოძრაობის ერთტაქტიან ელექტრომაგნიტურ ვიბრაციულ მანქანაში, რომელიც იკვებება ცალნახევარპერიოდიანი გამართული ძაბვით. კვლევის შედეგად, რომელიც ჩატარდა ავტორების მონაწილეობით შემუშავებული და საქართველოში დაპატენტებული II-სებრი მაგნიტური გამტარის მქონე ელექტრომაგნიტური ვიბრაციული მანქანის მაგალითზე, დადგენილი და შესწავლილი იქნა ერთმანეთისაგან განსხვავებული მუშაობის 7 შესაძლო ენერგეტიკული რეჟიმი.

საკვანძო სიტყვები: გენერატორული რეჟიმი, ელექტრომაგნიტური, ენერჯის გარდაქმნა, ვიბრაციული მანქანა, უკუქცევით-წინსვლითი.

Energy conversion in the generator mode of a reciprocating half-wave electromagnetic vibration machine

Gela Javakhishvili, Doctor of Science, Professor

Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, email: gela_java@yahoo.com

Alexandre Didebulidze, Doctor of Science, Professor

Georgian National Academy of Sciences, email: adidebulidze@yahoo.com

Annotation. The generator modes of operation of a single-cycle reciprocating electromagnetic vibration machine powered by a half-wave direct voltage are considered. As a result of studies carried out on the example of an electromagnetic vibrator with a II-shaped magnetic core developed with the participation of the authors and patented in Georgia, 7 possible energy operating modes that differ from each other were identified and studied.

Keywords: Electromagnetic, Vibration Machine, Reciprocating, Energy, Generator modes.

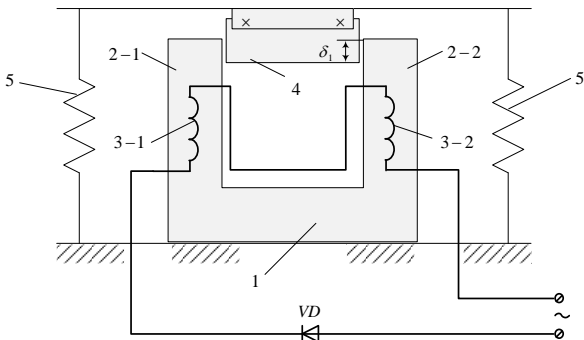
შესავალი. წრფივი ელექტრული მანქანები წარმატებით გამოიყენება, როგორც ელექტრული ენერჯის მექანიკურში გარდასაქმნელად, ისე პირიქით. მიუხედავად ამისა, უკუქცევით-წინსვლითი მოძრაობის ელექტრომაგნიტურ ვიბრომანქანებში, რომლებიც იკვებებიან ცალნახევარპერიოდიანი გამართული ძაბვით, გენერატორულ რეჟიმში მექანიკური ენერჯის მაგნიტურ ენერჯიაში გარდაქმნის პრობლემების გადაწყვეტა საჭიროებს საკითხების საფუძვლიან შესწავლას. ენერჯის გარდაქმნის ყველა შესაძლო შემთხვევაზე სწორი წარმოდგენა საშუალებას მოგვცემს ვიმსჯელოთ უკუქცევით-წინსვლითი მოძრაობის ელექტრომაგნიტურ ვიბრაციულ მანქანაში მიმდინარე მოვლენების და პროცესების სასარგებლო და მავნე ზემოქმედებაზე, რაც შემდგომში გათვალისწინებული იქნება ვიბრაციული

მანქანის და რატემა უნდა მათი გამოყენებისას სხვადასხვა ტექნოლოგიურ პროცესებში ენერგეტიკული და საექსპლუატაციო მაჩვენებლების გასაუმჯობესებლად [1,2,3].

სამუშაოს მიზანი. სამუშაოს მიზანია უკუქცევით-წინსვლითი მოძრაობის ერთტაქტიან ელექტრომაგნიტურ ვიბრაციულ მანქანაში, რომელიც იკვებება ცალნახევარპერიოდიანი გამართული ძაბვით, მექანიკური ენერჯის მაგნიტურში და შემდგომ ელექტრულში გარდაქმნის ენერგეტიკული რეჟიმების კვლევა.

უკუქცევით-წინსვლითი მოძრაობის ერთტაქტიან ელექტრომაგნიტურ ვიბრაციულ მანქანაში, რომელიც იკვებება ცალნახევარ-პერიოდიანი გამართული ძაბვით, გენერატორულ რეჟიმში ენერჯის გარდაქმნის ენერგეტიკული რეჟიმების კვლევა. კვლევის

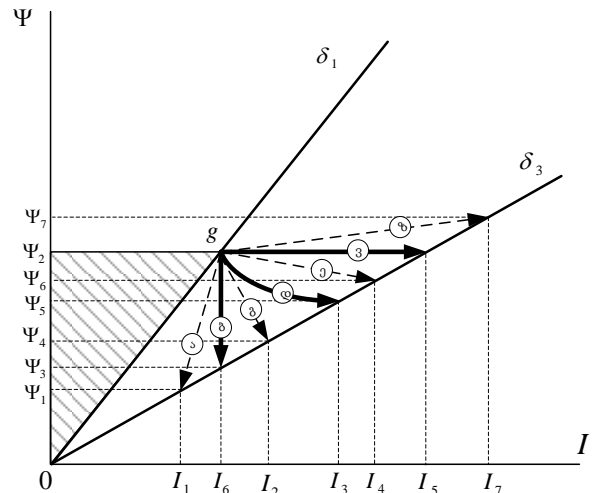
ობიექტს წარმოადგენს უკუქცევით-წინსვლითი მოძრაობის ელექტრომაგნიტური ვიბრაციული მანქანა [4] (ნახ.1), რომელიც იკვებება ცალნახევარპერიოდიანი გამართული ძაბვით. იგი შეიცავს ფურცლოვანი ფოლადისგან აკრეფილ „II“-სებრი ფორმის სტატორს (1) ორი გრძივი ღეროთი (2-1 და 2-2), მასზე მოთავსებულ ცვლადი დენის გრაგნილის კოჭებს (3-1, 3-2), მათთან მიმდევრობით მიერთებულ ნახევრადგამტარიან ელემენტს (VD) და ღუზას (4), რომელიც ხისტადაა დაკავშირებული დრეკად სისტემასთან (5). ჩვენს მიერ განხილული იყო აღნიშნული მანქანის მუშაობის ძრავლი რეჟიმი [5], ე.ი. რეჟიმი, როდესაც მაგნიტური ენერგია გარდაიქმნება მექანიკურში. ენერგიის გარდაქმნის პროცესი ვიბრაციულ მანქანაში მიმდინარეობს საწინააღმდეგოდ, როდესაც ღუზაზე მოდებული გარე მექანიკური ძალა იქნება ვიბრაციული მანქანის ელექტრომაგნიტური მიზიდვის ძალის სიდიდეზე დიდი და ღუზა გადაადგილდება მიზიდვის ძალის საწინააღმდეგოდ მიმართულებით, მაშინ მანქანა გადადის მუშაობის გენერატორულ რეჟიმში.



ნახ. 1. ელექტრომაგნიტური ვიბრაციული მანქანა II-სებრი მაგნიტური გამტარით, რომელიც იკვებება ცალნახევარპერიოდიანი გამართული ძაბვით

გენერატორულ რეჟიმში მუშაობისას ელექტრომაგნიტური ვიბრაციულ მანქანაში მიმდინარე ენერგეტიკული რეჟიმების განსახილველად ნახ. 2-ზე წარმოდგენილია ამ რეჟიმების ამსახველი დიაგრამები $\Psi - i$ სიბრტყეზე, სადაც $o\psi_2$ დაშტრიხული ფართობი შეესაბამება ვიბრაციული მანქანის საჭაერო ღრეფოებში დაგროვილ იმ საწყის მაგნიტურ ენერგიას, რომელიც საჭიროა ღუზის აძვრისათვის მიზიდვის ელექტრომაგნიტური ძალის მიმართულებით, შესაბამისად, g ღუზის

მოძრაობის დაწყების წერტილს Ψ_2 - ღუზის აძვრისას ნაკადთაგადაბმულობას, I_6 - აძვრის დენს. ამ დროს განსხვავებით ძრავლი რეჟიმისაგან ღუზა გარე ძალების მეშვეობით გადაადგილდება მიზიდვის ელექტრომაგნიტური ძალის საწინააღმდეგოდ მიმართულებით, ადგილი აქვს საჭაერო ღრეფოს ზრდას და ვიბრაციული მანქანა გადადის დამუხრუჭების გენერატორული რეჟიმში.



ნახ. 2. ელექტრომაგნიტური ვიბრაციული მანქანის გენერატორული რეჟიმის ენერგეტიკული რეჟიმების დიაგრამა $\Psi - i$ სიბრტყეზე

ელექტრომაგნიტური ვიბრაციული მანქანა, რომელიც მუშაობს მექანიკური დარტყმების გარეშე, δ_1 საჭაერო ღრეფოს შესაბამისი ენერგეტიკული მდგომარეობის შემაგნიტების წრფიდან გადადის გადიდებული δ_3 ღრეფოს ენერგეტიკული მდგომარეობის შესაბამის წრფეზე. ნახ. 2-დან ჩანს, რომ შეიძლება გამოვყოთ მექანიკური ენერგიის მაგნიტურში გარდაქმნის სამი ხარისხობრივად განსხვავებული შემთხვევა:

I. მექანიკური ენერგიის მაგნიტურში გარდაქმნასთან, ერთდროულად მიმდინარეობს მაგნიტური ენერგიის ელექტრულში გარდაქმნა. ეს პროცესი მიმდინარეობს:

- 1) მაგნიტური ენერგიის შემცირებით, ნახ. 2, ა, ბ და გ;
- 2) მაგნიტური ენერგიის სიდიდის მუდმივობისას, ნახ.2, დ;
- 3) მაგნიტური ენერგიის ზრდით, ნახ. 2, ე.

II. მექანიკური ენერგიის მაგნიტურში გარდაქმნა. მაგნიტური ენერგიის ელექტრულში

და ელექტრული ენერჯის მაგნიტურში გარდაქმნის გარეშე, ნახ. 2, ვ.

III. მექანიკური ენერჯის მაგნიტურში გარდაქმნასთან, ერთდროულად მიმდინარეობს ელექტრული ენერჯის მაგნიტურში გარდაქმნა, ნახ. 2, ზ.

ელექტრომაგნიტურ ვიბრაციულ მანქანაში გენერატორული რეჟიმის ენერგეტიკული მაჩვენებლების განხილვის შემდგომ მსვლელობაში გამარტივების მიზნით მაგნიტურ, ასევე ელექტრულ წრედში მივიღოთ, რომ ადგილი არა აქვს დანაკარგებს მაგნიტურ, ელექტრულ და მექანიკურ წრედებში. ენერჯის ბალანსის განტოლება შეიძლება წარმოვადგინოთ შემდეგნაირად [5,6]:

$$dW_m = dW_f + dW_e \quad (1)$$

სადაც dW_m - მექანიკური მუშაობის სახით შესრულებული ენერჯის ცვლილება; dW_f - მაგნიტური ველის ცვლილების ენერჯია; dW_e - ელექტრული ენერჯის წყაროსთვის მიწოდებული ელექტრული ენერჯია;

განვიხილოთ თითოეული ენერგეტიკული რეჟიმი ცალ-ცალკე:

ა) ენერგეტიკული რეჟიმი, როდესაც $I_1 < I_6$, $\Psi_1 < \Psi_2$, $dW_f < 0$, $|dW_e| > |dW_f|$ (ნახ. 2, ა). ამ შემთხვევაში მექანიკური ენერჯის მაგნიტურში გარდაქმნასთან ერთდროულად მიმდინარეობს მაგნიტური ენერჯის ელექტრულში გარდაქმნა. მაგნიტური ველის ენერჯის ელექტრულ ენერჯიაში გარდაქმნა მიმდინარეობს უფრო სწრაფად, ვიდრე ამ ენერჯის შევსება ხდება მექანიკური ენერჯის ხარჯზე. ადგილი აქვს მაგნიტური ენერჯის შემცირებას.

ბ) ენერგეტიკული რეჟიმი, როდესაც $I = I_6 = const$, $\Psi_3 < \Psi_2$, $dW_f < 0$, $|dW_f| = |dW_e|$. ამ შემთხვევაში მექანიკური ენერჯის მაგნიტურში გარდაქმნასთან ერთდროულად მიმდინარეობს მაგნიტური ენერჯის ელექტრულში გარდაქმნა. ადგილი აქვს მაგნიტური ენერჯის შემცირებას (ნახ. 2, ბ). ამ დროს მაგნიტური ენერჯის ცვლილების და ელექტრული ენერჯის ცვლილების სიდიდეები ერთმანეთის ტოლია. ე.ი. იხარჯება ორჯერ მეტი ენერჯია იმასთან შედარებით, რაც სისტემის მიერ გარდაიქმნება ელექტრულ ენერჯიად $dW_m = dW_f + dW_e = 2dW_e$.

გ) ენერგეტიკული რეჟიმი, როდესაც $I_2 > I_6$, $\Psi_4 < \Psi_2$ და $dW_f < 0$, $|dW_f| < |dW_m|$ (ნახ. 2, გ).

ამ შემთხვევაში მექანიკური ენერჯის მაგნიტურში გარდაქმნასთან ერთდროულად მიმდინარეობს მაგნიტური ენერჯის ელექტრულში გარდაქმნა. მაგნიტური ველის ენერჯის ელექტრულ ენერჯიაში გარდაქმნა მიმდინარეობს უფრო სწრაფად, ვიდრე ამ ენერჯის შევსება ხდება მექანიკური ენერჯის ხარჯზე. ადგილი აქვს მაგნიტური ენერჯის შემცირებას.

დ) ენერგეტიკული რეჟიმი, როდესაც $I_3 > I_6$, მაგნიტური ენერჯია მუდმივია $W_f = const$, შესაბამისად $dW_f = 0$ (ნახ. 2, დ). ამ შემთხვევაში მექანიკური ენერჯის მაგნიტურში გარდაქმნასთან, ერთდროულად მიმდინარეობს მაგნიტური ენერჯის ელექტრულში გარდაქმნა. სისტემა დროს ნებისმიერ მომენტში ელექტრულ ენერჯიაში გარდაქმნის იმდენ ენერჯიას, რამდენსაც ღებულობს მექანიკური ენერჯის წყაროდან. $dW_e > 0$.

ე) ენერგეტიკული რეჟიმი, როდესაც $I_4 > I_6$, $\Psi_3 < \Psi_2$, $dW_f < 0$, $|dW_f| < |dW_m|$ (ნახ. 2, ე). ამ შემთხვევაში მექანიკური ენერჯის მაგნიტურში გარდაქმნასთან, ერთდროულად მიმდინარეობს მაგნიტური ენერჯის ელექტრულში გარდაქმნა. ადგილი აქვს მაგნიტური ენერჯის ზრდას.

ვ) ენერგეტიკული რეჟიმი, როდესაც $I_5 > I_6$, $\Psi = \Psi_2 = const$ (ნახ. 2, ვ), $dW_e = 0$, $dW_f > 0$, $|dW_f| = |dW_m|$. ამ შემთხვევაში მიმდინარეობს მექანიკური ენერჯის მაგნიტურში გარდაქმნა. მაგნიტური ენერჯის ელექტრულში და ელექტრული ენერჯის მაგნიტურში გარდაქმნის გარეშე. ეს პროცესი შეიძლება აღიმგრას მხოლოდ მუდმივი ნაკადგადაბმულობის დროს და დენის გაზრდით ვიბრატორში. გარედან მოწოდებული ელექტრული ენერჯია ამ დროს იხარჯება მხოლოდ სითბოს დანაკარგების დაფარვაზე გრავნილში. ადგილი აქვს მაგნიტური ენერჯის ზრდას.

ზ) ენერგეტიკული რეჟიმი, როდესაც $I_7 > I_6$, $\Psi_7 < \Psi_2$, $dW_f > 0$, $|dW_f| > |dW_m|$ (ნახ.2,ზ). ამ დროს მექანიკური ენერჯის მაგნიტურში გარდაქმნასთან, ერთდროულად მიმდინარეობს ელექტრული ენერჯის მაგნიტურში გარდაქმნა. ადგილი აქვს მაგნიტური ენერჯის ზრდას.

უნდა აღინიშნოს, რომ ელექტრომაგნიტური ვიბრაციული მანქანის ღუზის მოძრაობისას

მიზიდვის ძალის საწინააღმდეგო მიმართულებით, მაგნიტურ ენერგიად გარდაიქმნება მექანიკური ენერგიის ის ნაწილი, რომელიც ხმარდება მიზიდვის ძალის დაძლევის.

დასკვნები

1. დადგენილი იქნა უკუქცევით-წინსვლითი მოძრაობის ერთტაქტიანი ელექტრომაგნიტური ვიბრაციული მანქანის, რომელიც იკვებება ცალნახევარპერიოდთან გამართული ძაბვით, დამუხრუჭების გენერატორულ რეჟიმში მუშაობის შესაძლო შვიდი ენერგეტიკული რეჟიმი.

2. ენერგიის გარდაქმნის ყველა შესაძლო შემთხვევაზე სწორი წარმოდგენა საშუალებას იძლევა გენერატორულ რეჟიმში ელექტრო-მაგნიტურ ვიბრაციულ მანქანაში მიმდინარე მოვლენების და პროცესების სასარგებლო და მავნე ზემოქმედებები გათვალისწინებული იქნეს ამ მანქანის, როგორც გენერატორის ენერგეტიკული და საექსპლუატაციო მაჩვენებლების გასაუმჯობესებლად.

ლიტერატურა

1. Li W.J., Wen Z., Wong P.K., G.M.H. Chan, P.H.W. Leong, A micromachined vibration-induced power generator for low power sensors of robotic systems, in: World Automation Congress: 8th International Symposium on Robotics with Applications, June 16–21, 2000, Hawaii, USA.
2. Henk Polinder, Barrie C. Mecrow, Alan G. Jack, Phillip G. Dickinson, Markus A. Mueller, Conventional and Tfpn Linear Generators for DirectDrive Wave Energy Conversion. // IEEE TRANSACTIONS ON ENERGY CONVERSION, VOL. 20, NO. 2, JUNE 2005. 2.
3. Jonathan K.H. Shek, D. Ewen Macpherson, and Markus A. Mueller. Control of Linear Electrical Generators for Direct Drive Wave Energy Conversion // International Conference on Electrical Machines, 2006, September.
4. ქსოვრელი რ., ჯავახიშვილი გ., მიდელაშვილი ე., ქსოვრელი ნ. ელექტრომაგნიტური ვიბროამგზნები. საქართველოს პატენტი # P3108, საქპატენტის სამრეწველო საკუთრების ოფიციალური ბიულეტენი #20, 27.10.2002.
5. ჯავახიშვილი გ., დიდებულოძე ა, უკუქცევით-წინსვლით ერთტაქტიან ელექტრომაგნიტურ ვიბრაციულ მანქანაში ენერგიის გარდაქმნის ეფექტიანობის შეფასების კრიტერიუმები, II საერთაშორისო

სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენცია „ენერგეტიკის თანამედროვე პრობლემები და მათი გადაწყვეტის გზები“, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, 07-10 დეკემბერი, 2020, თბილისი, „ენერჯია“ #4(96)/2020, II, გვ.40-45.

6. A.Didebulidze, G.Javakhishvili. Energy Conversion in the Electromagnetic Reciprocating Motor. Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences, Vol. 13, # 2. Tbilisi, 2019. pp 49-57.

References (transliterated)

1. Li, W.J. Wen Z., Wong P.K., G.M.H. Chan, P.H.W. Leong, A micromachined vibration-induced power generator for low power sensors of robotic systems, in: World Automation Congress: 8th International Symposium on Robotics with Applications, June 16–21, 2000, Hawaii, USA.
2. Henk Polinder, Barrie C. Mecrow, Alan G. Jack, Phillip G. Dickinson, Markus A. Mueller, Conventional and Tfpn Linear Generators for DirectDrive Wave Energy Conversion. // IEEE TRANSACTIONS ON ENERGY CONVERSION, VOL. 20, NO. 2, JUNE 2005. 2.
3. Jonathan K.H. Shek, D. Ewen Macpherson, and Markus A. Mueller. Control of Linear Electrical Generators for Direct Drive Wave Energy Conversion // International Conference on Electrical Machines, 2006, September.
4. Ksovreli R., Javakhishvili G., Midelashvili E., Ksovreli N. elektromagnituri vibroamgznebi. saqarTvelos patenti # P3108 saqpatentis samrewvelo sakuTrebis oficialuri biuleteni #20, 27.10.2002.
5. Javakhishvili G., Didebulidze A. UkuqceviT-winsvliT erTtaqtian elektromagnitur vibraciul manqanaSi energiis gardaqmnis efeqtianobis Sefasebis kriteriumebi, II saerTaSoriso samecnierteqnikuri konferencia „energetikis Tanamedrove problemebi da maTi gadawyvetis gzebi“, saqarTvelos teqniki universiteti, 07-10 dekemberi, 2020, Tbilisi, „energia“ #4(96)/2020, II, gv.40-45 (in Georgian).
6. Didebulidze A., Javakhishvili G. Energy Conversion in the Electromagnetic Reciprocating Motor. Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences, Vol. 13, # 2. Tbilisi, 2019. - pp 4

დინამიური რეჟიმების ფორმირება ასინქრონული ძრავების ოპტიმიზირებული დაგეგმარების ქვესისტემაში

გია კიკოლაშვილი, ტექნ. მეცნ. კანდიდატი, პროფესორი
 საქ. ტექნიკ. უნივერსიტეტი, ქ. თბილისი, საქართველო, e-mail: g.kikolashvili@gtu.ge
გიორგი ლომინაძე ტექნ. მეცნ. კანდიდატი,
 შ.პ.ს. „მთავარი“, ქ. თბილისი, საქართველო, e-mail: georgelominadze@hotmail.com

ანოტაცია. წარმოდგენილია ასინქრონული ძრავების დინამიკის ოპტიმიზაციური ამოცანის ამოხსნის ალგორითმი, რომელიც ანხორციელებს მრავალკრიტერიული ოპტიმიზაციის მეთოდს და ასინქრონული ძრავის მათემატიკური მოდელს - ენერგიის განზოგადებულ ელექტრომექანიკურ გარდამქნელს. ნაჩვენებია მოცემული დინამიური რეჟიმის ფორმირების შესაძლებლობა.
საკვანძო სიტყვები: ასინქრონული ძრავი, მათემატიკური მოდელი, მრავალკრიტერიული ოპტიმიზაცია, დინამიური რეჟიმი.

Formation of dynamic modes in the subsystem of the optimization design of asynchronous motors

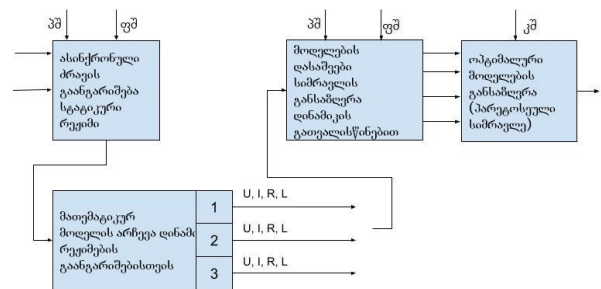
Gia Kikolashvili. Candidate of technical sciences, Professor.
 Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, e-mail: g.kikolashvili@gtu.ge
George Lominadze. Candidate of technical sciences
 L.T.D. „Mtavari“, Tbilisi, Georgia, e-mail: georgelominadze@hotmail.com

Annotation. We present an algorithm for solving optimization problems of the dynamics of asynchronous motors, which implements the method of multicriteria optimization and a mathematical model of an asynchronous motor - a generalized electromechanical energy converter. We also show the possibility of forming a given dynamic mode.
Keywords: asynchronous motor, mathematical model, multicriteria optimization, dynamic mode.

შესავალი. საპროექტო სამუშაოების ავტომატიზაცია ასინქრონული მანქანების (ამ) შექმნისას საშუალებას იძლევა პროექტირების სტადიაში ამოვხსნათ გარდამავალი პროცესების ფორმირების ამოცანა, რაც მოითხოვება სპეციალიზირებული შესრულების მანქანების პროექტირებისთვის და აღჭურვილობის რაციონალური გამოყენებისთვის, კერძოდ ენერგეტიკული მაჩვენებლების გაუმჯობესებისთვის, სამუშაო ვადის გაზრდისთვის და მანქანის საიმედოობისთვის. მათემატიკური მოდელირება ასევე გვაძლევს საშუალებას შევარჩიოთ ეფექტური ზემოქმედება ოპტიმალური დინამიური რეჟიმების ფორმირებისას.

სამუშაოს მიზანი. ასინქრონული მანქანების პროექტირების ამოცანა დინამიკის გათვალისწინებით საკმაოდ რთულია, რაც განაპირობებს მათ დეკომპოზიციას. დეკომპოზიციის იერარქიული სქემა ასახავს პროცესის ეტაპობრივ დეკომპოზიციას და პროექტირების ობიექტის დონისებურ

დეკომპოზიციას. სქემის ელემენტებად გამოყენებულია პროექტირების კერძო ამოცანები, როგორც წესი, ასინქრონული მანქანის პარამეტრების ოპტიმიზაციის მრავალკრიტერიული ამოცანები.



ნახ. 1.

აღნიშნული მიდგომა რეალიზებულია პირველ რიგში ასინქრონული ძრავის დინამიკის გათვალისწინებით ოპტიმიზირებული დაგეგმარების შექმნისას. ნახ. 1-ზე წარმოდგენილია ქვესისტემის გამსხვილებული სტრუქტურული სქემა. პშ, ფშ, კშ - შესაბამისად

პარამეტრული, ფუნქციონალური, კრიტერიული შეზღუდვებია.

ასინქრონული ძრავების ოპტიმიზირებული დაგეგმარების ქვესისტემა. ქვესისტემა შეიცავს გაანგარიშების ბლოკს, ასინქრონული ძრავის საპროექტო გაანგარიშების შემსრულებელს დინამიური რეჟიმების გარეშე (სტატიკის ბლოკი) და დინამიური რეჟიმების გაანგარიშების ბლოკი (დინამიკის ბლოკი), რომლის შესასვლელ პარამეტრებად წარმოდგება სტატიკური რეჟიმის გაანგარიშებიდან. ქვესისტემა ასინქრონული ძრავის სტატიკური რეჟიმის ოპტიმიზაციური გაანგარიშების საშუალებას იძლევა დინამიური რეჟიმის შემდგომი კონტროლით, დინამიური რეჟიმის ანგარიშს და ერთობლივ ოპტიმიზაციას.

დინამიური რეჟიმების საანგარიშოდ გამოიყენება ასინქრონული ძრავის მათემატიკური მოდელი სამფაზა დამუხრუჭებულ კოორდინატებში, შემდგარი ერთი კონტურისგან სტატორზე და ორი კონტურისგან როტორზე, მდებარე ერთ ღერძზე. მოდელი ითვალისწინებს გარდამავალი პროცესების გაანგარიშებას გაჟღენთვის გათვალისწინებით მთავარი მაგნიტური გზასა და და ფანტვის ნაკადის გზებზე, როტორის გრიგალური დენების, როტორის ღეროებში დენის გამოდევნის ეფექტის და დინამიური ენერგეტიკული მაჩვენებლების (მყისა სიმძლავრეებისა და სიმძლავრის კოეფიციენტის შეფარდებები).

ასინქრონული ძრავის პროექტირების პროცესი აქვს იტერატიული ხასიათი. პრაქტიკულად შეუძლებელია პროექტირების ყველა ეტაპზე სწორი გადაწყვეტილების დაუყოვნებლივ მიღება და ამიტომ საჭირო ხდება პროექტირების ეტაპზე მათი გადახედვა. ქვესისტემაში არსებობს კონსტრუქტორისა და კომპიუტერის დიალოგის საშუალება. კონსტრუქტორის გამოცდილება ითვლება საკმარის გარანტიად მისაღებ გადაწყვეტილების გამოსამუშავებლად იტერაციების საბოლოო რაოდენობამდე. მრავალკრიტერიული ამოცანის ამოხსნისას ხდება დასაბუთება და იგება შინაარსიანი ამოხსნების დასაშვები სიმრავლე, საიდანაც გამოიყოფა პარეტოსეული ქვესიმრავლე; უკანასკნელზე განისაზღვრება ამოხსნის ვარიანტი, საუკეთესო ყველა

წინააღმდეგობრივი ხარისხის კრიტერიუმების პოზიციიდან. ქვესისტემაში გამოიყენება მრავალკრიტერიული ოპტიმიზაციის LP_T მეთოდი, დაფუძნებული პარამეტრების სივრცის კვლევაზე, რომელიც იძლევა საშუალებას გავითვალისწინოთ იმდენი კრიტერიუმი, რამდენიც აუცილებელია ასინქრონული ძრავის ფუნქციონირებისთვის. მაგრამ სობოლის თანმიმდევრობა (იგივე LP_T მეთოდი), თანაბრად განაწილებული ერთეულოვან r განზომილებიან კუბში, მართალია LP_T ეფექტურია, საკმაოდ რთულია. ამ თანმიმდევრობის წერტილები აუცილებელია გამოვითვალოთ ყოველ ჯერზე, ამიტომ გამოიყენება წერტილების გაანგარიშების ალგორითმი Q_i მიმმართველი წერტილების დახმარებით $V_s=Q_{2s-1}$. წერტილები V_1, \dots, V_{20} გამოანგარიშებულია წინასწარ და ინახება კომპიუტერის მეხსიერებაში ცხრილის სახით, რაც გვამძლევს საშუალებას ადვილად გავიანგარიშოთ მილიონობით წერტილი.

დინამიკის ბლოკის შესასვლელზე მიეწოდება 10 ვარირებადი პარამეტრი: სტატორისა და როტორის გრაგნილების წინაღობები, მანქანის მბრუნავი ნაწილების ინერციის მომენტი. საპროექტო ანგარიშის სტადიაზე დინამიური რეჟიმის გათვალისწინებისას პარამეტრების ვარირების ზონა დინამიკის ბლოკის შესასვლელზე შეესაბამება ამ სიდიდეების ცვლილებას სტატიკის ბლოკის გამოსასვლელზე და პასუხობს ვარირებადი სიდიდეების ზონას სტატიკის ბლოკის შესასვლელზე.

დინამიკის ბლოკი ანხორციელებს ოპტიმიზაციას შემდეგი კრიტერიუმების მიხედვით: სტატორის, პირველი და მეორე როტორული კონტურების ფაზური დენების მაქსიმალური მყისა მნიშვნელობები;

ელექტრომაგნიტური მომენტის მყისა მნიშვნელობის მაქსიმუმი; ფაზური სტატორული დენის აქტიური კარგვებით ექვივალენტური დენი დინამიურ რეჟიმში; სრული, ელექტრული და სასარგებლო სიმძლავრეების მაქსიმალური მყისა მნიშვნელობები; აქტიური სიმძლავრეების შეფარდების მყისა მნიშვნელობების მაქსიმუმი; სიმძლავრის კოეფიციენტის მყისა მნიშვნელობის მაქსიმუმი; საშუალო მკვებავი ძაბვის ერთი

პერიოდის განმავლობაში სრული, აქტიური, სასარგებლო სიმძლავრის მნიშვნელობები; აქტიური სიმძლავრეების შეფარდებები; სიმძლავრის კოეფიციენტი. გარდამავალი პროცესის ხანგრძლივობა განისაზღვრება როტორის ბრუნვის სიხშირის სინქრონულიდან გადახრის განსაზღვრით.

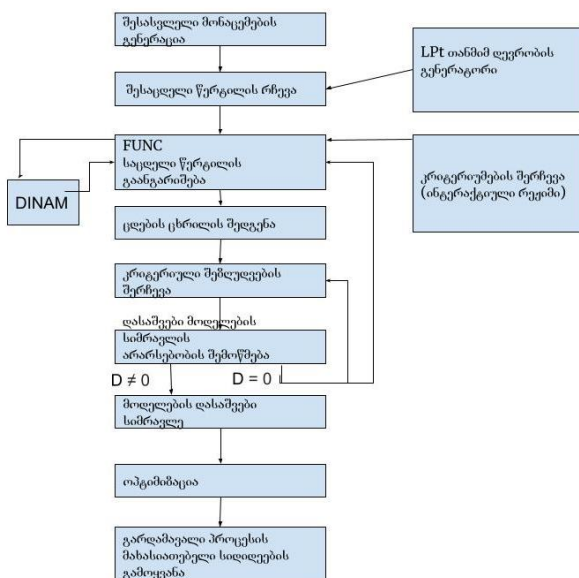
დასკვნა. ასინქრონული ძრავის ოპტიმიზაციურ საპროექტო გაანგარიშებაში დინამიური რეჟიმების ფორმირების ალგორითმი მოცემულია ნახ.2-ზე. საცდელი წერტილის არჩევა ხდება სობოლის (LPT) თანმიმდევრობით, ხოლო ანგარიში FUNC ქვეპროგრამაში, რომლისთვისაც საწყის მონაცემებად გამოიყენება შესასვლელი კრიტერიუმების მასივი, კრიტერიული შეზღუდვების მნიშვნელობები. მომხმარებლის მოხერხებულობისთვის FUNC ქვეპროგრამაში გათვალისწინებულია ცვლადებისთვის კრიტერიუმების სიდიდეების მინიჭების ოპერატორები. კრიტერიუმების ანგარიში მიმდინარეობს დინამიკის ბლოკში DINAM პროგრამის საშუალებით. FUNC ქვეპროგრამის მეშვეობით ხორციელდება DINAM პროგრამის მართვა, რაც უზრუნველყოფს მის უნივერსალობას.

ლიტერატურა

1. Копылов И.П. 2002. Математическое моделирование электрических машин. 3-е изд. М.: МЭИ.
2. Соболев Илья Меерович, Статников Роман Бенционович. 2006. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями. Москва: Дрофа.
3. Амбарцумова Т.Т. 2002. Макромоделирование асинхронных машин с учетом динамики. Москва: Изд-во МЭИ.

References (translated)

1. Kopylov I.P. 2002. Mathematical modeling of electrical machines. 3rd ed. Moscow: MEI Publishing House.
2. Sobol Ilya Meerovich, Statnikov Roman Bentsionovich. 2006. Choice of Optimal Parameters in Problems with Many Criteria. Moscow: Drofa Publishing House .
3. Ambartsumova T.T. 2002. Macromodeling of asynchronous machines taking into account dynamics. Moscow: MEI Publishing House.



ნახ. 2.

მძლავრი ასინქრონული ძრავის გადახურების კვლევა

კონსტანტინე წერეთელი - ტექნიკის აკადემიური დოქტორი, პროფესორი
საქ. ტექნური უნივერსიტეტი, თბილისი, საქართველო, e-mail: k.tsereteli@gtu.ge
ჯიმშერ სირაძე აკადემიური დოქტორი, ასოც. პროფესორი.
საქ. ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი, საქართველო, e-mail: j.siradze@gtu.ge

ანოტაცია. გამოკვლეულ იქნა მძლავრი ტუმბოს ძრავის გადახურების მიზეზი. ექსპლუატაციის პირობებში ძრავი ხურდებოდა დასაშვებ ტემპერატურაზე მეტად ნომინალურ სიმძლავრეზე ნაკლებ სიმძლავრით მუშაობის დროს. დაკვირვებამ ცხადყო, რომ გრაგნილის გამტარების წინააღმდეგობა მეტი იყო მასთან შედარებით, რაც უნდა ყოფილიყო ნორმალურ პირობებში. გამტარის მასალის ანალიზმა აჩვენა, რომ გამტარის მასალა შეიცავდა კაჟს (სილიციუმს), რაც ზრდიდა მის წინააღმდეგობას.
საკვანძო სიტყვები: ასინქრონული ძრავი, ძრავის გახურების რეჟიმი, გადახურება, გრაგნილის სადენები, სადენების მასალა, მასალის ანალიზი, სილიციუმი.

Investigation of overheating of a powerful induction motor

Konstantin Tsereteli – PhD, Professor,
Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, e-mail: k.tsereteli@gtu.ge
Jimsher Siradze - PhD, Associate Professor,
Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, e-mail: j.siradze@gtu.ge

Annotation The reason for overheating of the engine of a powerful pump has been investigated. Under operating conditions, the engine heated up above the allowable temperature while operating below the rated power. Observation has shown that the resistance of the winding conductors is greater than what it should have under nominal conditions. Analysis of the conductor materials showed that the conductive material contained flint (silicon), which increased its resistance.

Key words: Asynchronous motor, motor heating mode, overheating, winding wires, wire material, material analysis.

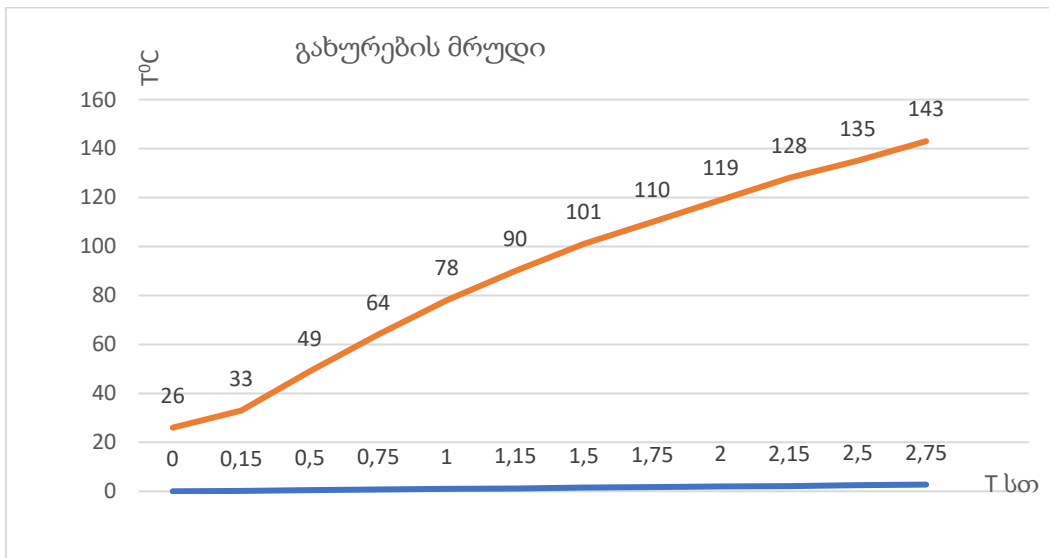
შესავალი. სასირეთის ზემო ხანდაკში განლაგებული არის სატუმბო სადგური, რომელიც სარწყავი წყლით ამარაგებს გარშემო სოფლებს. ეს სადგური ეკუთვნის შპს „საქართველოს მელიორაცია“-ს. მათი ინფორმაციით ადგილი აქვს ტუმბოს ძრავების გადახურებას. ამბზე დროს ძრავების გადახურების გამო იძულებული არიან გამორთონ ხოლმე. ამას ადასტურებს შპს „მშენებელი-80“-ის და შპს „საქართველოს მელიორაციის“ თანამშრომელთა მიერ ჩატარებული ტესტირება.

სამუშაოს მიზანი. სამუშაოს მიზანს წარმოადგენს ექსპერიმენტების შედეგების ანალიზზე ძრავების გადახურების მიზეზის დადგენა. სატუმბო სადგურში განთავსებული არის ორი ტუმბო განკუთვნილი სარწყავის სისტემისათვის. ტუმბოების ჩინური წარმოების ძრავების მონაცემებია:

ტიპი Y2L-500-4;
სიმძლავრე 1120 კვტ;
დაცვის ხარისხი IP 55;
სიხშირე 50 ჰც;

ბრუნვათა რიცხვი 1480 ბრ/წთ;
ნომინალური ძაბვა 6000 ვ;
ნომინალური დენი 130,5 ა;
შეერთების სქემა Y;
სიმძლავრის კოეფიციენტი 0,86;
იზოლაციის კლასი F;
უქმი სვლის დენი 31,1 ა;
გამტარის კვეთი $2X5=9,637$ მმ²;
ჩადებულია პარალელურად ორი გამტარი ჯამური კვეთით 19,27 მმ²;
დენის სიმკვრივე 6,77 ა/მმ²;
წინააღმდეგობა მუდმივი დენის მიმართ 20°C ტემპერატურაზე 0,4 ომი;
ვენტილაციის მქონე მანქანებში დენის დასაშვები სიმკვრივე არის 4-6,5 ა/მმ².
საექსპლუატაციო პერსონალის ინფორმაციით ძრავის მუშაობის დროს ადგილი ჰქონდა გადახურებას. საჭიროდ ჩავთვალეთ გახურების მრუდი გადაღება.
ძრავი დატვირთული იყო 97,6 ა დენით, რაც შეადგენდა ნომინალური დენის 75%-ს. გარემოს ტემპერატურა 260C.

ექსპერიმენტის მონაცემების მიხედვით აგებული არის მრუდი:



დიდი სიმძლავრის დახურულ ასინქრონულ ძრავებში გახურების დროის მუდმივა 2-3 საათი (ამ დროში დამყარდება ტემპერატურა).

როგორც მრუდიდან შეიძლება დავასკვნათ ძრავის გრაგნილის ტემპერატურა კიდევ არ არის დამყარებული (მრუდი არ იხრება ქვევით) და განაგრძობს ზრდას. ძრავის იზოლაციის კლასი არის F, ე.ი. მაქსიმალური დასაშვები ტემპერატურა ამ კლასის იზოლაციისათვის არის 1550C. ამ ტემპერატურას გრაგნილი აღწევს ნომინალური დენის დროს. მაგრამ ძრავი დატვირთული იყო 75%-ით. ეს იმას ნიშნავს, რომ გრაგნილში გამოყოფილი სითბო არის დიდი და გრაგნილი ვერ ასწრებს გაგრილებას. ეს იმას ნიშნავს, რომ გრაგნილის წინააღმდეგობა დიდია.

საერთაშორისო სტანდარტ IEC 60317-0—4: Specification for particular types of winding wares. Part 0-4-ის [3] მიხედვით გრაგნილის ელექტრული წინააღმდეგობის მაქსიმალური მნიშვნელობა არ უნდა აღემატებოდეს მნიშვნელობას, გაანგარიშებულს გამტარის მინიმალური კვეთისათვის მინიმალური სისქით და სიგანით, მაქსიმალური მოღუნვის რადიუსით და ხვედრითი წინააღმდეგობით 1/58 ომიჯმმ²/მ.

როგორც სტანდარტი მიგვითითებს ელექტრული წინააღმდეგობის მაქსიმალური მნიშვნელობა უნდა იყოს გაანგარიშებული გამომდინარე ხვედრითი წინააღმდეგობიდან 1/58 ომიჯმმ²/მ. ეს წინააღმდეგობა ტოლია 0,0173 ომიჯმმ²/მ. რაც წარმოადგენს სუფთა სპილენძის

წინააღმდეგობას 20°C ტემპერატურის დროს. აქედან გამომდინარეობს, რომ გრაგნილის მასალა უნდა იყოს სპილენძი.

შესადარებლად ავიღეთ შესაბამისი რუსული ძრავის მონაცემები:

ვერტიკალური ასინქრონული ძრავი ტუმბოებისათვის BAH 118/51, სიმძლავრე 1000 კვტ, ძაბვა 6000 ვ. ფაზის წინააღმდეგობა მუდმივი დენის მიმართ 0,3404 ომ, გამტარი ПСД 1,6 X 6,7 მმ, დენგამტარი ძარღვი - სპილენძი, იზოლაცია ორი მინის ძაფით, იზოლაციის კლასი FF. ბრუნვათა რიცხვი 750 ბრ/წთ. რადგანც რუსული ძრავის ბრუნვათა რიცხვი ორჯერ მეტია ჩინური ძრავის ბრუნვათა რიცხვზე ეს იმას ნიშნავს, რომ რუსული ძრავის ხვიათა რიცხვი ორჯერ მეტია ჩინური ძრავის ხვიათა რიცხვზე.

რუსული ძრავის მონაცემებით გამოვითვალეთ გრაგნილის სიგრძე ($R=\rho l/s$). ჩინური ძრავის გრაგნილის სიგრძე ორჯერ ნაკლებია და გამოვითვალეთ მისი ხვედრითი წინააღმდეგობა და მივიღეთ 0,037 ომიჯმმ², რაც ორჯერ მეტია სპილენძის ხვედრით წინააღმდეგობაზე. ამიტომ საჭირო გახდა ჩინური ძრავის გრაგნილის მასალის ანალიზი.

მასალის კვლევა ჩაატარა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის გეოლოგიისა და მინერალურ ნივთიერებათა კვლევის, დიაგნოსტიკისა და გადამუშავების რესპუბლიკური ცენტრის საგამოცდო ლაბორატორიამ, რომელმაც დაადგინა

გრაგნილის მასალის შემადგელობა. მასალის შემადგენლობა მოცემულია ცხრილში.

ცხრილი

ელემენტი	შემცველობა %
Fe	0,000
Si	0,207
Ni	0,003
Mn	0,000
Pb	0,000
Sn	0,063
As	0,000
Cu	99,599
Zn	0,116

როგორც ცხრილიდან სჩანს, გრაგნილის მასალა სპილენძის გარდა შეიცავს სხვა ელემენტებსაც. ამ ელემენტებიდან ყველაზე მეტი პროცენტული შემადგენლობა (0.207) აქვს კაჟს. კაჟის ხვედრითი წინააღმდეგობა 27°C ტემპურატურაზე $2,3 \times 10^3$ ომი.მ, ან $2,3 \times 10^9$ ომი.მმ²/მ. სპილენძის წინააღმდეგობასთან შედარებით (0,0175 ომი.მმ²/მ) კაჟის წინააღმდეგობა მეტია $13,14 \times 10^9$ -ჯერ. ე.ი. მილიარდჯერ. კაჟი ფაქტიურად იზოლატორია. სხვა ელემენტების წინააღმდეგობებია:

ნიკელის ხვედრითი წინააღმდეგობა 0,087 ომი.მმ²/მ;

ცინკის ხვედრითი წინააღმდეგობა 0,059 ომი.მმ²/მ;

Sn კალის ხვედრითი წინააღმდეგობა $9,9 \times 10^{-8}$ ომი.მ, ანუ 0,12 ომი.მმ²/მ.

ყველაზე დიდი წინააღმდეგობა აქვს კაჟს. ის ახდენს გავლენას გრაგნილის მასალის წინააღმდეგობაზე და ზრდის მას.

ამრიგად ამ ძრავის მუშაობა ნომინალური დატვირთვით ხანგრძლივად დაუშვებელია.

დასკვნა

ნაჩვენებია, რომ გამოკვლეული ძრავის გრაგნილის მასალა არ არის სუფთა სპილენძი, შეიცავს სხვადასხვა მინარევებს, მათ შორის ყველაზე მეტი წილი მოდის კაჟზე, რომლის წინააღმდეგობაც თითქმის მილიარდჯერ მეტია სპილენძის წინააღმდეგობაზე. ამის გამო გტ=რაგნილის წინააღმდეგობა დიდია. ეს იწვევს გრაგნილის გადახურებას ნომინალური დენზე ნაკლები დენით მუშაობის დროსაც. ამიტომ ამძრავის მუშაობა ნომინალური დენით დასაშვების მხოლოდ ხანმოკლე დროით.

ლიტერატურა

1. წერეთელი კ., ზამკოვი ა., ზერეკიძე ა. „ელექტრული მანქანები“. II ნაწილი, გამომც. „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, თბილისი, 2005. 103 გვ.
2. წერეთელი კ., ზამკოვი ა., ნათენაძე თ. „ელექტრული მანქანები“, მესამე ნაწილი, ასინქრონული მანქანები. გამომც. „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, თბილისი, 2005. 210 გვ;
3. IEC 60317-0—4: Specification for particular types of winding wares. Part 0-4- General requirements. IEC Webstore.

References (transliterated)

1. Tseretsli K., Zamkov A., Zerekidze A. Eleqtruli manqanebi, meore nawili, , gamomcemloba "Teqniki universiteti", Tbilisi, 2005. 103p.
2. Tseretsli K., Zamkov Natenadze T, Eleqtruli manqanebi, mesame nawili, gamomcemloba "Teqniki universiteti", Tbilisi, 2005. 210 p.
3. IEC 60317-0—4: Specification for particular types of winding wares. Part 0-4- General requirements. IEC Webstore.

მუდმივი დენის მაგისტრალური ელმავლის ძალური სქემის მათემატიკური მოდელი, გარდამავალი პროცესების შესწავლისათვის

თენგიზ ნათენაძე - ტექნ. მეცნ. კანდიდატი, მოწვეული პროფესორი

საქ. ტექნიკ. უნივერსიტეტი, ქ. თბილისი, საქართველო, e-mail: t.natenadze@gtu.ge

არჩილ ზერეკიძე - ტექნიკის მეცნიერებათა კანდიდატი, ასისტენტ პროფესორი

საქ. ტექნიკ. უნივერსიტეტი, ქ. თბილისი, საქართველო, e-mail: zerekidzearchili02@gtu.ge

ნატალია კერესელიძე - აკადემ. დოქტორი, ასოცირებული პროფესორი

საქ. ტექნიკ. უნივერსიტეტი, თბილისი, საქართველო, e-mail: n.kereselidze@gtu.ge

ანოტაცია. სტატიაში წარმოდგენილია ელმავლის ძალური სქემის მათემატიკური მოდელი, რომელიც შეიქმნა MATLAB პაკეტის პროგრამის გამოყენებით. იგი ეფუძნება დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემას და აღწერს გარდამავალი პროცესების დროს წევის ელექტროძრავში წარმოქმნილ ფიზიკურ პროცესებს.

საკვანძო სიტყვები: წევის ელექტროძრავა, საკონტაქტო ქსელი, მაგნიტური სისტემა, მათემატიკური მოდელი, MATLAB

Mathematical model of the power circuit of a direct current electric locomotive for the study of transient processes

Tengiz Natenadze - Candidate of technical sciences, Visiting Professor

Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, e-mail: t.natenadze@gtu.ge

Archil Zerekidze - Candidate of technical sciences, Assistant Professor

Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, e-mail: zerekidzearchili02@gtu.ge

Natalia Kereselidze - Academy. Doctor, Associate Professor

Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, e-mail: n.kereselidze@gtu.ge

Annotation. The article presents the mathematical model of the power circuit of an electric locomotive. The model was created using the application program of the MATLAB package. It is based on a system of differential equations describing the physical processes arising in the traction electric drive during transient processes.

Keywords: Traction electric motor, contact network, magnetic system, mathematical model, MATLAB

შესავალი. ელმავლის წევის ძრავების გარდამავალ რეჟიმებში მუშაობისა და მათ მიმდინარეობაზე ძალური წრედის პარამეტრების გავლენის შეფასების მიზნით, შეგვიძლია მოვახდინოთ აღნიშნული პროცესების მათემატიკური მოდელირება.

წევის ძრავების მუშაობის თავისებურებას მკვებავი ძაბვის ცვალებადობა წარმოადგენს, გარდა ამისა, მუშაობისას ადგილი აქვს კვების მცირე დროით შეწყვეტას საკონტაქტო ქსელიდან დენმიმღების მოწყვეტისას. ასევე საყურადღებოა წევის ძრავების ერთი შეერთებიდან მეორეზე გადაჯგუფების მომენტები [1]. ამასთან დენმიმღების მოწყვეტა ხდება მოძრაობის მაღალი სიჩქარის პირობებში, როდესაც წევის ძრავები მუშაობენ შესუსტებული მაგნიტური ნაკადით, რაც განსაკუთრებულ საშიშროებას წარმოადგენს. საკონტაქტო ქსელიდან

დენმიმღების 2 წამითაც მოწყვეტის შემთხვევაში, ხდება წ.ე.ძ.-ის მაგნიტური სისტემის სრული განმაგნიტება.

ძალური სქემის მათემატიკური მოდელი.

საკონტაქტო ქსელში ძაბვის ცვალებადობა აიხსნება დატვირთვის ცვალებადობით წევის ქსელზე მოცემულ ფიდერულ ზონაში და შეიძლება მიაღწიოს რამოდენიმე ასეულ ვოლტს. საშიშროებას წარმოადგენს მოკლე შერთვით გამოწვეულ ძაბვის მოხსნა ენერგომომარაგების სისტემაში ან სხვა ელექტროძრავ შემადგენლობაზე, რომელიც იმყოფება მოცემულ ფიდერულ ზონაში. ასეთ შემთხვევაში, წევის ძრავები შეიძლება გადავიდნენ გენერატორულ რეჟიმში. ღუზის დენმა, ქსელის მცირე წინაღობის გამო, შეიძლება მნიშვნელოვნად გადააჭარბოს დასაშვებ მაქსიმალურ ზღვრულ მნიშვნელობას

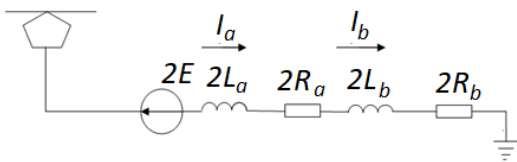
და გამოიწვიოს „წრიული ცეცხლი“ წვევის ძრავის კოლექტორზე.

წვევის ელექტროძრავში წარმოქმნილი ფიზიკური პროცესების მოდელირებისათვის: დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემის ციფრული მოდელირება, რომლებიც აღწერენ აღნიშნულ პროცესებს, შესაძლებელია გამოყენებითი პროგრამების დახმარებით, კერძოდ MATLAB-ის პაკეტის გამოყენებით.

MATLAB- გამოყენებითი პაკეტი გაფართოებული შესაძლებლობით - Toolboxes (სპეციალიზირებულ პროგრამათა ბიბლიოთეკებით) და პაკეტი SimuLink თავისი გაფართოებით Blocksets-ით წარმოადგენს ელექტრონიკის, ძალოვანი სისტემებისა და ელექტრომექანიკური მოწყობილობების შესწავლისა და კვლევის საფუძველს.

SimuLink-ის მუშაობის ტექნოლოგია მნიშვნელოვნწილად იმეორებს ანალოგიურ გამოთვლით მანქანებზე მოდელირების ტექნიკას.

MATLAB-ის პაკეტი წარმოადგენს განვითარებულ ინტეგრალურ პროგრამულ გარემოს, რომელიც შეიცავს პროგრამირების საკუთარ ენას. იგი იძლევა ვექტორებსა და მატრიცებზე სხვადასხვა ოპერაციების სწრაფად შესრულების შესაძლებლობას, მაგალითად, ისეთი მოქმედებებისა, როგორიცაა მატრიცების გამრავლება და ინვერსია, განმსაზღვრელების გამოთვლა, საკუთარი რიცხვებისა და ვექტორების პოვნა.



ნახ. 1. ელმავლის ძალოვანი ქსელის საანგარიშო სქემა ძრავების პარალელური შეერთების დროს:

$2E$ – 2 წვევის ძრავის ემძ; I_a – ღუზის დენი, I_b – აგზნების დენი $I_a = I_b$; $2L_a$ – ორი წვევის ძრავას ღუზის ინდუქციური წინაღობა; $2L_b$ – ორი წვევის ძრავას აგზნების გრაგნილის ინდუქციური წინაღობა; $2R_a$ – ორი წვევის ძრავას ღუზის აქტიური წინაღობა; $2R_b$ – ორი წვევის ძრავას აგზნების გრაგნილის აქტიური წინაღობა

გარდა ამისა, MATLAB მოიცავს ჩვეულებრივი ფუნქციების (ალგებრული, ტროგონომეტრიული, ლოგიკური), ალგებრული და დიფერენციალური განტოლებების ამოხსნის, ასევე გარაფიკების ასაგებ და ბევრ სხვა ოპერაციას.

ძალური წრედის მათემატიკური მოდელის საფუძველს წარმოადგენს დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემა, რომელიც შედგენილია გამოთვლითი სქემის მიხედვით (ნახ. 1.).

სრული ალგზნების დროს ღუზის დენი ტოლია ალგზნების დენისა, ამიტომ დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემებს, რომლებიც აღწერენ ელექტრო-მაგნიტურ პროცესებს, ექნებათ შემდეგი სახე:

$$U_{KC} = i_a(2(R_a + R_b) + R_{II}) + (2(L_a + L_b) + L_{KC})di_a/dt + 2C_V V(\Phi_1 + \Phi_2) + 2pWs \Phi/dt$$

$$d\Phi_1/dt = (0,66f(i_a) - \Phi_1)/T_1$$

$$d\Phi_2/dt = (0,34f(i_b) - \Phi_2)/T_2$$

$$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2$$

სადაც U_{KC} – საკონტაქტო ქსელის ძაბვა; R_M – გამშვები რეოსტატების წინაღობა; L_{KC} – საკონტაქტო ქსელის წინაღობა და ინდუქტიურობა; $R_a = 0,0673$ ომი, $L_a = 0,0035$ ГH – ალგზნების გრაგნილის წინაღობა და ინდუქტიურობა; $C_r = 284$ – მანქანის კონსტრუქციული მუდმივა; $p = 3$ – წყვილ პულსთა რიცხვი; $WS = 19$ – მთავარი პოლუსის კოჭის ხვიათა რიცხვი; Φ – მაგნიტური ნაკადი; $T_1 = 0,34$ – დროის მუდმივა; $T_2 = 0,03$ – დროის მუდმივა; $\Phi_2 = 0,34f(i_b) - TD2K$ – წვევის ძრავის დამაგნიტების მუდმივა ცხრილის მიხედვით.

ინერციულ დაჯგუფებათა დროის მუდმივები საშუალებას გვაძლევს გავითვალისწინოთ გრიგალური დენების გავლენა მანქანის მაგნიტური ნაკადის ცვლილებაზე [2, 3, 4].

ცხრილი

I_B, A	100	200	300	400	500	600	700	800
$\Phi, \text{ვბ}$	0,0 044	0,0 7	0,0 86	0,0 96	0,1 03	0,1 075	0,1 125	0,1 17

სისტემის ამოსახსნელად საჭიროა წრედის ყველა პარამეტრის დადგენა, ასევე საჭიროა დროსთან მიმართებაში პარამეტრების ცვალებადობის ფუნქციების და საწყისი პირობების დადგენაც.

მოყვანილ განტოლებათა სისტემების ამოხსნა შესაძლებელია MATLAB-ის პაკეტის საშუალებით რუნგე-კუტის მეთოდის გამოყენებით [5,6].

დასკვნები

აღწერილი მათემატიკური მოდელის გამოყენების შედეგად, შეიძლება მივიღოთ შემდეგი შედეგები:

1. კვების აღდგენის სურათი (ძაბვის მრუდი) მისი სრული შეწყვეტის შემდეგ წვევის ძრავებში დენის სხვადასხვა მნიშვნელობებისთვის, სხვადასხვა ბრუნვის სიხშირის დროს.

2. დენის „ნახტომის“ დამოკიდებულება კვების სრული შეწყვეტის ხანგრძლივობაზე მისი აღდგენის შემდეგ.

3. წვევის ძრავების ჯგუფის განმაგნიტების პროცესი.

4. საკონტაქტო ქსელში ძაბვის მკვეთრი მომატების შედეგები.

5. წვევის ძრავების გადაჯგუფების გარდამავალი პროცესის (1-2,5 წმ) შედეგები დროის სხვადასხვა მონაკვეთისთვის.

ლიტერატურა

1. Вологин В.А. „Взаимодействие токоприемников и контактной сети“ Москва : Интекст, 2006. - 256 с
2. Аветисян И.Я., Георгадзе Д.П., Графов В.А., Плакс А.В., Якушев А.Я. „Исследование тяговых и тормозных режимов работы электровоза со статическим возбудителем“ Отчет о НИИР . Лиизтб, 1976. 180 с.
3. Болашвили Д.Н., Георгадзе Д.П., Графов В.А., Плакс А.В., Ключникова Л.А., „Исследование на АВМ переходных процессов в силовых цепях электровозов ВЛ10 и ВД11, оборудованных статическим преобразователем в рекуперативном и тяговых режимах“. Отчет о НИИР. Лиизтб 1976. 76 с.
4. Жиц М.З. „Переходные процессы в машинах постоянного тока“. М. Энергия, 1974, 112 с.
5. Агафонов С.А. и др. „Дифференциальные уравнения“ М.МГТУ, 2000, 347 с.

6. Численные методы. Использование МАТЛАВ. Пер. с англ./Джон Г. Мэтьюз, Картис Д. Финк М.: издательский дом „Вильямс“, 2001, 720 с.
7. MaLab. Language of Technical Computing. Version 6. The Math Works. 2002.
8. Simulink.Model-Based and System-Based Design. Version 5. The MathWorks. 2003.

References (transliterated)

1. Vologin V.A. "Interaction of pantographs and contact network" Moscow: Intext, 2006. - 256 p.
2. Avetisyan I.Ya., Georgadze D.P., Grafov V.A., Plaks A.V., Yakushev A.Ya. "Research of traction and braking modes of operation of an electric locomotive with a static exciter" Report on NIIR. Liizhtb, 1976. 180s.
3. Bolashvili D.N., Georgadze D.P., Grafov V.A., Plaks A.V., Klyushnikova L.A. regenerative and traction modes ". R&D report. Liizhtb 1976.76 s.
4. Zhits M.Z. "Transient processes in DC machines". M. Energy, 1974, 112s.
5. Agafonov S.A. et al. "Differential equations" M.MSTU, 2000, 347 p.
6. Numerical methods. Using MATLAB. Per. from English / John G. Matthews, Cartis D. Fink M. : Williams Publishing House, 2001, 720p.
7. MaLab. Language of Technical Computing. Version 6. The Math Works. 2002.
8. Simulink.Model-Based and System-Based Design. Version 5. The MathWorks. 2003.

ელექტრული და მექანიკური ენერგიების ურთიერთგარდაქმნადობის ფენომენი

ბორის დაღუნდარიძე, ტექ. მეცნ. კანდიდატი, ასოცირებული პროფესორი

საქ. ტექნიკ. უნივერსიტეტი, თბილისი, საქართველო, e-mail: b.dagundaridze@gtu.ge

ანოტაცია. ელექტრომექანიკის სისტემატიზაციის განხილვის საფუძველზე დგინდება, რომ ის საჭიროებს დახვეწას; ელექტრულ და მექანიკურ ენერგიების ურთიერთგარდაქმნადობა არის ელექტრომექანიკის ერთერთ ძირითადი კანონი. ელექტრომაგნიტური ინდუქციის კანონი ამ კანონის კერძო შემთხვევაა. ფიზიკის სახელმძღვანელოებში შეტანილი იქნას ახალი თავი სახელწოდებით ენერგიის სახეობები, მათი ურთიერთგარდაქმნა და დაშლა.

საკვანძო სიტყვები: ენერგიების ურთიერთგარდაქმნადობა, ელექტრომაგნიტური ინდუქცია, ელექტრომექანიკის პრინციპები, გენერატორული რეჟიმი, მრავალი რეჟიმი.

The Phenomenon of Mutual Convertibility of Electrical and Mechanical Energies

Boris dagundaridze, Candidate of technical sciences, Associate Professor,

Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, e-mail: b.dagundaridze@gtu.ge

Annotation. Based on the analysis of the knowledge of "electromechanics", it is concluded that it needs to be improved; Mutual convertibility of electrical and mechanical energies is one of the laws of electromechanics; The phenomenon of electromagnetic induction is a special case of this law. Introduce a special chapter in physics textbooks entitled: Species, mutual convertibility and decay of energies.

Keywords: convertibility of energies, electromagnetic induction, the principles of electromechanics, Generator mode, Motor mode.

შესავალი. როგორც ცნობილია ელექტრომექანიკის საგანი ეფუძნება ფარადეის, დენიანი გამტარისა და მაგნიტური ველის ურთიერთქმედების (ე.წ. ამპერის) და სრული დენის ფუძემდებლურ კანონებს: პირველი მათგანი ესადაგება მექანიკური ენერგიის ელექტრულში, ხოლო მეორე პირიქით- ელექტრული ენერგიის მექანიკურში გარდაქმნის მოვლენას. თავის დროზე, ცხადია, არც ამპერს და არც ფარადეის არ შეეძლოთ ცოდნოდან, რომ მათ მიერ აღმოჩენილი მოვლენები და დადგენილი მათემატიკური კანონზომიერებანი აღწერდნენ ერთიან - ელექტრულ და მექანიკურ ენერგიების ურთიერთგარდაქმნადობის ფიზიკურ მოვლენას.

დავიწყოთ იქედან, რომ ყოველი ენერგიის ელექტრომექანიკური გარდაქმნელი - ელექტრომანქანა შექცევადია, ანუ შეუძლია იმუშაოს გენერატორად და მრავადაც (ანუ ყოველ ელექტრულ მანქანას სხვა რეჟიმებთან ერთად აუცილებლად აქვს გენერატორული და მრავალი რეჟიმი). თუმცა, როგორც წესი უკეთესი მაჩვენებლების მისაღებად მათ გაითვლიან ერთი კონკრეტული (ძირითადი) რეჟიმისათვის. მეორე რეჟიმში უბრალოდ მას აქვს ცოტა უარესი ტექნიკური მაჩვენებლები.

აღნიშნული ურთიერთშექცევადობის პრინციპი ამ კანონების აღმოჩენიდან გაცილებით გვიან იქნა შემჩნეული და რეალურად ის მიგვანიშნებს თვით ამ კანონების არა მარტო ერთიანობაზე, არამედ იდენტურობაზეც: ფარადეის კანონით გამტარის მაგნიტურ ველში მოძრაობისას ინდუქცირებული ემძ-ის $e = B v l$; ფორმულაში, (სადაც B - ინდუქცია; v - სიჩქარე; l - გამტარის სიგრძე). ორივე მხარის i -ზე გამრავლება მოგვცემს $e i = B v l i$. ასეთი გარდაქმნა მათემატიკური სიმკაცრით დასაშვებია i -ს მნიშვნელობათა ფართო დიაპაზონში, სადაც $I \neq 0$ ან $i \neq \infty$. ამპერის კანონის ($f = i B l$) ფორმულიდან $B=f/i l$, რომლის შეტანითაც ფარადეის გარდაქმნილ ტოლობაში მივიღებთ: $P = i e = v l i f/i l = f v = N$, ანუ $P = N$: ფარადეის კანონის საფუძველზე ენერგიის ელექტრომექანიკური გარდაქმნით მიღებული ელექტროსიმძლავრე $e i$ ტოლია მისი უკუგარდაქმნით (ამპერის კანონის საფუძველზე) მიღებულ მექანიკური სიმძლავრისა. ანალოგიური გარდაქმნებით ასევე შეიძლება მიღება, რომ $N = P$, ორთავე ეს მათემატიკური გარდაქმნა ადასტურებს ფარადეისა და მაქსველის კანონების ერთიანობას და იდენტურობას, თუმცა დღემდე ორივე ეს კანონი განიხილება ცალ-ცალკე, რაც ძირითადად

განპირობებულია მათი კონკრეტიზაციით, ანუ პირდაპირი მისადაგებით ელექტროენერჯის მექანიკურში (ამპერის კანონი) და მექანიკური ენერჯის ელექტრულში (ფარადეის კანონი) გარდაქმნისადმი იმიტომ, რომ, როგორც წესი, ერთ მანქანაში გეგმარდება ან ძრავა ან - გენერატორი და არა ორივე ერთად. ამ კანონებში სრულიად პირობითია მექანიკურ სიდიდედ არაერთიდაიგივე დასახელების ვექტორების **ძალის** და **სიჩქარის** გამოყენება. ერთის მხრივ აჯობებდა, რომ მოვლენის ელექტრული და მექანიკურ მხარე გამოისახებოდეს, ჯერ ერთი მინიმალური რაოდენობის, მეორეც ერთნაირი დასახელების სიდიდეებით. ამჯერად ეს სიდიდეები ერთავე კანონში სხვადასხვაა: ამპერისეულში-ელექტრულ პარამეტრად გამოიყენება დენი, მექანიკურ პარამეტრად მექანიკური ძალა, ფარადეისეულში - ელექტრულ პარამეტრად- ემმ, მექანიკურ პარამეტრად სიჩქარე (და არა ძალა). ალბათ ამანაც მნიშვნელოვანწილად განაპირობა ერთავე კანონის დამოუკიდებლობის შენარჩუნება. თუ ვაღიარებთ ურთიერთგარდაქმნადობისა (და შექცევადობის) კანონს მაშინ, ცხადია ერთერთი კანონიდან გამომდინარეობს მეორე კანონი. ერთიანი კანონის შემთხვევაში, რაკი ჩვენ ამ პროცესს საბოლოოდ ვიყენებთ სრულიად გარკვეული ფიზიკური სიდიდის - სიმძლავრის (ან ენერჯის) ერთი სახეობის მეორეში გარდასაქმნელად, საკმარისია თითო პარამეტრი სიმძლავრის (ან ენერჯის) ცალკეული სახისათვის, მაგ. ელექტრულისათვის ელექტრო-სიმძლავრე (ან ენერჯია), ხოლო მექანიკურისათვის მექანიკური სიმძლავრე (ან ენერჯია) და ამპერ -ფარადეის ერთიანი კანონი შეიძლება ჩამოყალიბდეს შემდეგნაირად: **მაგნიტურ ველში ჩაკეტილი კონტურის მოძრაობისას ადგილი აქვს კონტურზე მიწოდებული ენერჯის (სიმძლავრის) სახეობის გარდაქმნას: მექანიკურისას - ელექტრულში, ხოლო ელექტრულისას- მექანიკურში:**

$$P = N,$$

სადაც P - კონტურზე მიწოდებული ელექტრული ენერჯის სიმძლავრეა; N - მიწოდებული P სიმძლავრის მექანიკურში გარდაქმნილი ნაწილი.

ამ ტოლობაში ტოლობის ნიშანი მიუთითებს, რომ ამ სიდიდეებს შორის არსებობს აბსოლუტური ტოლობა. რაც შეეხება მცირეოდენ დასაკარგს, ანუ მარგი ქმედების კოეფიციენტის

ერთზე ნაკლებობას (გაიხსენეთ მძლავრ გარდამქმნელებში მქც 0,99-ს აჭარბებს). ეს გამოწვეულია არა გარდაქმნის დანაკარგით, არამედ ენერჯის ყოველი გარდაქმნის თანმდევი $\sum P$ ენერჯის გადაცემის დანაკარგებით. ეს უკანასკნელი ენერჯის გარდაქმნაში არ მონაწილეობს, უბრალოდ ის არსებობს გარდაქმნის ტექნოლოგიის დაუხვეწაობის გამო და არის არა გარდაქმნის, არამედ ენერჯის გადაადგილების მიზეზი; მაგ. დენი ცირკულირებს ელ წრედში, რომელიც ერთ წერტილში კი არაა შეყურსული, არამედ განფენილია გეომეტრიულად, $P = N - \sum P$, ან $N = P - \sum P$. აქვე საგულისხმოა ერთი მომენტიც: ფარადეისა და ამპერის კანონები არსებული სახითმათემატიკური სიმკაცრით განიხილავენ არა ენერჯიებს ან სიმძლავრეებს, არამედ ფიზიკურ სიდიდეებს e-ემმ-ს და f-მექანიკურ ძალას. ენერჯიამდე და სიმძლავრემდე მათ მისაყვანად უნდა მოხდეს შემდეგი: ფარადეის კანონის შემთხვევაში აღძრულმა ემმ-მ უნდა შეასრულოს მუშაობა (ელექტრული წრედის შეკვრით - დენის აღძვრა ანუ მოხდეს დენის ცირკულაცია გეომეტრიულად განფენილ უბნებში - ენერჯის გადაადგილება), ხოლო ამპერის კანონის შემთხვევაში f-ძალამ უნდა შეასრულოს მუშაობა -გამოიწვიოს მოძრაობა, ანუ მოახდინოს მასის გადაადგილება, რაიმე მანძილზე, რაიმე v სიჩქარით). მხოლოდ ამის შედეგად ჩვენ მივიღებთ სიმძლავრეებს ei და f v.

აღნიშნული ფორმა ექნებოდა ფარადეისა და ამპერის გაერთიანებულ კანონს, რომ ეს კანონები მოიცავდეს ელექტრომექანიკური გარდამსახების ყველა ცნობილ სახეებს. რეალურად ეს კანონები მხოლოდ ინდუქციურ ელექტრულ მანქანებს მოიცავენ, ამიტომ საბოლოო ფორმა ზოგადი კანონისა უნდა განსხვავდებოდეს ამ კანონებისაგან. ზოგადი კანონის შემოღება საქმეს საკმაოდ ამარტივებს - ზოგად ელექტრომექანიკაში სამის ნაცვლად რჩება ორი (გაცილებით მარტივი) კანონი. ხოლო სამი ძირითადი პრინციპიდან ერთი, ხოლო ორი პრინციპი: 1) ყოველ გარდაქმნას თან სდევს აუცილებელი დანაკარგები; 2) ენერჯის გარდაქმნა ურთიერთშექცევადია უქმდება და მათ ადგილს იკავებს ფარადეის და ამპერის კერძო შემთხვევები. რაც შეეხება გარდაქმნამდე მიყვანილი ენერჯისა და გარდაქმნისთანავე არსებული ენერჯიებს, ისინი აბსოლუტურად

ტოლია, ანუ მათემატიკური სიმკაცრით $P=N$. ფიზიკურად ეს გასაგები უნდა იყოს, რადგან არ არსებობს რაიმე „ხვრელი“ საიდანაც მოხდებოდ რაიმე ენერჯის გადინება, რაც დაარღვევდა ამ ენერჯიების ტოლობას. საგულისხმოე ერთიც: აქამდე ჩვენ პრინციპის რანგში აგვყავდა და გვიკვირდა ის, რომ აუცილებლად გვაქვს დანაკარგი, ხოლო ის, რომ მქვ დიდ მანქანებში $>0,99$ ამას თითქოს ვერც ვამჩნევდით და ჩვეულებრივად მიგვაჩნდა. ამგვარ დაშვებებს ჩვენ ვიყენებთ ხშირად. მაგ. ტრანსფორმატორის ძირითად თანაფარდობებში, სადაც ვიხილავთ იდეალური ტრანსფორმატორის შემთხვევას, ანუ განიხილება პირველად და მეორედ სრულ სიმძლავრეთა ტოლობა და მხედველობაში არ მიიღება კარგვები. სწორედ ამ დაშვების ფონზეა მიღებული ტრანსფორმატორის ცნობილი ძირითადი თანაფარდობანი გარდაქმნის ამგვარი ანალოგიით და ლოგიკით განსახილველი გარდაქმნადობის ზოგადი კანონი შემდეგნაირად შეიძლება ჩამოვყალიბოთ: **ელექტრო- და მექანიკური ენერჯია შეუზღუდავად, უნარჩენოდ და აბსოლუტურად გარდაიქმნადა ერთმანეთში.** ეს კონსტატაცია (სტატუსი) უნდა შევიდეს ფიზიკის ძალზე მნიშვნელოვანი კანონების ნუსხაში რადგან ის უფრო ზოგადი და მნიშვნელოვანია, ვიდრე ცალ-ცალკე ფარადეისა და ამპერის კანონები. აქვე ისიც უნდა აღინიშნოს, რომ არც ფარადეის და არც ამპერის კანონები არ გამოიყენებიან პირდაპირი დანიშნულებით, ანუ მხოლოდ ემძ-ის (როცა დენი ნულია) ან მექანიკური ძალის (როცა გადაადგილება ნულია) საანგარიშოდ, რადგან განყენებულად არც ემძ და არც ელექტრომაგნიტური ძალა არავის არ სჭირდება. ორთავე ამ კანონს მიუსადაგებენ სრულიად კონკრეტულ შემთხვევას, როცა დენი და გადაადგილება ნულისაგან განსხვავებული სიდიდეებია. კანონებში კი მაინცა და მაინც ეს (ე.წ. „ნულოვანი“) შემთხვევებია განხილული. ზემოთაღნიშნულის მიუხედავად აღნიშნული ურთიერთგარდაქმნადობის კანონი ამპერისა და ფარადეის კანონებზე (კერძო შემთხვევებზე) გაცილებით გვიან იყო შემჩნეული. მექანიკური ძალისა და ელექტრული ემძ-ის საანგარიშო ფორმულები უკვე იმთავითვე გამოიყენებოდა გენერატორის უქმი სვლის ემძ-სა და ძრავას ნულოვანი სიჩქარის შესაბამისი ელექტრომაგნიტური ძალის საანგარიშოდ. ფარადეის და ამპერის კანონების მთავარი

ღირსება, რა თქმა უნდა, არ უნდა იყოს ის, რაც მისმა ავტორებმა ვერ დაინახეს (მხედველობაში გვაქვს ენერჯიათა ურთიერთგარდაქმნადობა და ამ უკანასკნელის შექცევადობა, თუმცა ხანგრძლივმა პრაქტიკამ სწორედ მათი ეს თვისება დაადასტურეს). საამისოდ ჩვენ უნდა გვეკონდეს სრულიად გარკვეული კანონი. რაც შეეხება ფარადეის გაცილებით მოკრძალებულ მექანიკური ენერჯიის ელექტრულში გადაქცევის იდეას, ის სწორედ რომ ამ გარდაქმნადობის შესაძლებლობით გახდა ძალზე უდიდესი მოვლენა ტექნიკის ისტორიაში ისე, რომ არავის უკითხავს ეს ზოგადი კანონია თუ კერძო შემთხვევა. თუ ჩვენ გვექნება საამისოდ გარკვეული კანონი, მაშინ ფარადეის და ამპერის კანონები უკვე კონკრეტულად გამოგადგებიან თავიანთი ჭეშმარიტი დანიშნულებით. აგვარად ამპერისა და ფარადეის კანონების პრაქტიკული რეალიზაციის შემთხვევათა დიდმა რაოდენობამ დააფიქსირა გაცილებით უფრო მეტი- უფრო მნიშვნელოვანი და განზოგადოებული მოვლენა, რომ ელექტროენერჯია და მექანიკური ენერჯია საკმაოდ მარტივად ურთიერთგარდაქმნადია და არამარტო ურთიერთგარდაქმნადი, არამედ ურთიერთშექცევადიც და არა მხოლოდ ინდუქციურ მანქანებში, არამედ ნებისმიერი სახეობის მანქანებში. განა ფარადეის კანონში მთავარი ის იყო, თუ რამდენ ვოლტ ემძ-ს მივიღებთ კონკრეტული v მ/წ სიჩქარით ჩარჩოს გადაადგილებისას? რა თქმა უნდა არა: ყველაზე მთავარი მაშინ სულ სხვა რამ იყო- რომ მაგნიტურ ველში ჩარჩოს მექანიკური მოძრაობა საშუალებას გვაძლევს გარდავქმნათ მექანიკური ენერჯია ელექტრულში, რაც მაშინ ოცნებაშიც კი არ შეგვეძლო და რამაც მოახდინა ნამდვილი გადატრიალება ტექნიკის ისტორიაში. სამწუხაროდ ეს ერთიანი (განუყოფელი) ორი მოვლენა მის კანონში თავად ფარადეიმ საყოველთაოდ არ განაზოგადა (არ დააფიქსირა) და ეს უკვე სხვებმა, ოღონდ გაცილებით გვიან შენიშნეს და დააფიქსირეს. (ანუ „ტყეს ვხედავდით, ხეებს - ვერა“). მაშინდელი სამზერიდან ამის დანახვა ძნელი იქნებოდა ალბათ იმიტომაც, რომ ორთავე კანონი i -ს და v -ის ცვლილებათა მთელი (უსასრულო) სიმრავლიდან, მაინცადამაინც, მხოლოდ ნულოვან მნიშვნელობების მქონედ მიჩნეული პარამეტრების ($v = 0$ და $i = 0$) შემთხვევას განიხილავს. თავდაპირველად ფარადეი თავის კანონში სწორედაც დენის არანულოვანი

მნიშვნელობის შემთხვევას იხილავდა (განიხილავდა ელექტრულ წრედს), რომელიც სამწუხაროდ შემდგომში გადაიფიქრა. ამდენად ფარადეი უნებურად „გადაახტა“ ამ უმნიშვნელოვანეს ზოგად მოვლენას და მივიდა სრულიად კონკრეტულ (ე.წ. „საგენერატორო“) კანონამდე. გავიხსენოთ, რომ მაშინ ბევრი ელექტროენერჯის მიღება შეუძლებელი იყო. საბედნიეროდ, მოხდა ისე, რომ ამ კანონების მისადაგება დენისა და სიჩქარის მთელ მათემატიკურ სიმრავლისათვისაც აღმოჩნდა სამართლიანი, რეალურად მეცნიერული ცოდნის სისტემატიზაციაში ამ „გადახტომას“ პრაქტიკული უხერხულობა არ გამოუწვევია. სხვათა შორის არც მაქსველს არ უცდია ამ კანონების განზოგადება დენისა და ძალის პარამეტრების ნულისაგან განსხვავებული მნიშვნელობებისათვის. საფიქრებელია, რომ მასაც ეს მხედველობიდან გამორჩა. და ეს „შეუსაბამობა“ ცოდნის სისტემატიზაციაში დარჩა დღემდე, ანუ სათანადო სასკოლო სახელმძღვანელოებში კრინტიც კი არაა დამრულ ე.წ. „გამოტოვებულ კანონზე“ რომ **ელექტრული და მექანიკური ენერჯიები შეუზღუდავად, უნარჩენოდ და აბსოლუტურად გარდაიქმნებიან ერთმანეთში.** აქ ფენომენალურად გვაქვს საქმე განსაკუთრებულ იდეალურ სიმეტრიულ ოთხპოლუსასთან, რომელსაც აქვს ორი შესავალი და ორი გამოსავალი. ანუ შესავალი და გამოსავალი უნივერსალურია: **ნებისმიერი მხრიდან მიწოდებული ერთი სახის ენერჯია გარდაიქმნება მეორე სახეობაში და გვიბრუნდება საპირისპირო მხრიდან.** ამ ფენომენს, როგორც წესი, მოიხსენიებენ „შექცევადობის პრინციპის“ სახელით. ამრიგად უდიდესი კანონი საუკუნეზე მეტი ხანია არსებობს აპრიორში, მას კი პრინციპად მოიხსენიებენ. უბრალოდ ყველა მიეჩვია, რომ ეს ასეა და ასე უნდა იყოს! განა ბევრი გვაქვს ჩვენ ენერჯიების ერთმანეთში გარდაქმნის ამგვარი მარტივი და უსრულყოფილესი მოვლენა? - შესაძლოა ეს ერთადერთიც იყოს. ეს კანონი არის თითქმის ერთ-ერთი ან ერთადერთი უბედნიერესი, ღვთისაგან ბოძებული შემთხვევა ბუნებაში. ფარადეის კანონისაგან პრინციპული განსხვავებით ელექტრომექანიკურ ურთიერთ-გარდაქმნას მხოლოდ და მხოლოდ მაშინ აქვს ადგილი, როცა სიჩქარეც, ელექტრომაგნიტური ძალაც და დენის ძალაც სამივენი ერთდროულად განსხვავდებიან ნულისაგან. ამ სიდიდეთაგან

ერთერთიც რომ უდრიდეს ნულს გარდაქმნას ადგილი არ ექნება. სადღეისოდ საშუალო სკოლის ფიზიკის წიგნებში აღნიშნული კანონი არა თუ კანონის სტატუსით, არამედ „შექცევადობის პრინციპითაც“ კი არაა ნახსენები. უნდა აღინიშნოს ისიც, რომ არც ფარადეის და არც ამპერის კანონი ვერ მოიცავს ელექტრომანქანების ერთ-ერთ მნიშვნელოვან სახეობას- რეაქტიულ მანქანებს. ზოგადი კანონი კი ყველა ელექტრული მანქანისთვისაა მისაღები. ამიტომ ყველა ზემოთმოყვანილ მოსაზრებათა საფუძველზე ამ ერთიან კანონს უნდა მიენიჭოს ფიზიკის მნიშვნელოვანი, ხოლო ელექტრომექანიკის, ელექტროდინამიკის, ელექტრომაგნიტიზმის უმნიშვნელოვანესი კანონის სტატუსი. ის უნდა შევიდეს სკოლის ფიზიკის და ყველა ზოგად ფიზიკის სახელმძღვანელოში, საკუთარი, დამოუკიდებელი სტატუსით, ფარადეის და ამპერის კანონები კი კვლავინდებურად, როგორც ამ კანონის 2 კერძო შემთხვევა ან 2 შედეგი კონკრეტულად ინდუქციური მანქანების მიმართ.

ფიზიკურად ყოველ ელექტრომექანიკურ გარდაქმნელოში ერთდროულად და ნებისმიერ რეჟიმში არსებობს ძრავაც და გენერატორიც, უბრალოდ ძრავულ რეჟიმში გარდაქმნელს მიეწოდება ელექტრული სიმძლავრე, თვით ძრავაში ამ დროს არსებობს გენერატორიც, რადგან სახეზეა ემძ, რომელიც ეწინააღმდეგება მოდებულ ძაბვას და ამ გზით დაჰყავს დენი ისეთ სიდიდემდე, რამდენიც საჭიროა არსებული დამყარებული ძრავული დატვირთვის დასაძლევად. გენერატორულ რეჟიმში მანქანას მიეწოდება მექანიკური სიმძლავრე. თვით გენერატორში კი ამავდროულად ძრავიც არსებობს, რომელიც წარმოქმნის ელექტრომაგნიტურ მომენტს, იმდენს, რამდენიც საჭიროა მოთხოვნილი ელექტრული სიმძლავრის სარეალიზაციოდ და გასაწონას-წორებლად. მეცნიერული ცოდნის სისტემატიზაცია ყოველთვის უნდა იყოს აქტუალური, ამიტომ, როგორც ავლნიშნე, მიუხედავად დიდი დაგვიანებისა, უნდა მოხდეს ამ კანონისთვის საკუთარი ისტორიული ადგილის მიჩენა, ხოლო ამპერისა და ფარადეის კანონების ამ კანონის შედეგებად, ან კერძო შემთხვევებად შერაცხვა, იქვე იმ დამსახურების ხაზგასმით აღნიშვნით, რომ სწორედ და ძირითადად ფარადეის კანონმა მიგვანიშნა, რომ

აქ საქმე გვაქვს გაცილებით უფრო დიდ და ზოგად ფიზიკურ მოვლენასთან. ვფიქრობ მიზანშეწონილია ურთიერთგარდაქმნის კანონს მივუჩინოთ ცალკე ადგილი ენერჯის გარდაქმნის და შენახვის კანონის მომდევნოდ, სპეციალურ ცალკე თავში დასახელებით: "ენერჯის სახეები, მათი ურთიერთ-გარდაქმნადობა და შემადგენელ ნაწილებად დაშლა", სადაც აღიწერება ენერჯის შენახვისა და გარდაქმნის კანონიც და საზოგადოთ ენერჯიების გარდაქმნის თუ დაშლის ყველა პრაქტიკული მნიშვნელოვნების შემთხვევა. აქვე ხაზი უნდა გაესვას და ცნობის სახით აღინიშნოს ამპერისა და მეტადრე ფარადეის დიდი ღვაწლი ამ უდიდესი კანონის შეცნობაში, ისიც, რომ ეს კანონები მოიცავს მხოლოდ ინდუქციური სახეობის ელექტრომექანიკურ გარდამქმნელებს, ხოლო ურთიერთგარდაქმნადობის კანონი ყველა ცნობილი ელექტრომექანიკური გარდაქმნის პროცესს, რომ ის არის ჯერჯერობით უნიკალური კანონი, როცა ხორციელდება ენერჯის ორი სახეობის ურთიერთგარდაქმნა აბსოლუტურად, შეუზღუდავად, უნარჩუნოდ. ამავე თავში ასევე უნდა გაშუქდეს ცალკე ელექტრული ენერჯის სხვადასხვა ქვესახეობებად გარდაქმნის მოვლენაც (ტრანსფორმატორის მოქმედების საფუძველი). ენერჯის ელექტრომექანიკური გარდაქმნის ერთიანი კანონის შემოღებით იცვლება ელექტრომექანიკის დღემდე არსებული ზოგი ფუძემდებლური პრინციპი: კერძოდ ცვლილება შეეხება ელექტრული მანქანის შექცევადობის პრინციპს; სახელდობრ ეს პრინციპი ჩვეულ (ფუძემდებლურ პრინციპების) რანგში აღარ განიხილება, რადგან მან გადაინაცვლა კანონის რანგში, ის განზოგადდა და ეწოდა ელექტრულ და მექანიკურ ენერჯიების ურთიერთ-გარდაქმნადობის კანონი, ხოლო პრინციპი-„ენერჯის ყოველ გარდაქმნას თან ახლავს აუცილებელი დანაკარგები“ კარგავს პრინციპის რანგს. ეს პრინციპი მომდინარეობს ისტორიული მენტალიტეტიდან, როცა ჩვეულებრივად მიიჩნეოდა, როცა გარდაქმნილი ენერჯია ნახევარიც კი არ იყო გარდასაქმნელისა. ელექტრომექანიკურ გარდაქმნისას კი, როცა გარდაქმნილი ენერჯია გარდასაქმნელის 99 %-ზე მეტია, უბრალოდ უხერხულიც კია ამ გარდაქმნის შემსწავლელ საგანში არსებობდეს ეს პრინციპი. სხვა საგნებში ეს პრინციპი დარჩება უპრობლემოდ. კიდევ ერთხელ შეგახსენებთ

დღევანდელ კაზუსს: ფუძემდებლურ პრინციპებში მოგვყავს ეს პრინციპი (ანუ ყურადღებას ვამახვილებთ 1 %-ზე), ხოლო, ის რომ ელექტრომექანიკურ გარდაქმნა პრაქტიკულად უდანაკარგოდ ხორციელდება ამაზე ვდუმვართ (ანუ ხმას არ ვიღებთ 99 %-ზე)! ვფიქრობ ბოლო ფრაზა ყველაზე ზუსტად ასახავს არსებულ სტატუსს!

დასკვნები

1. ელექტრომაგნიტური ინდუქციის კანონი ვერ განაზოგადებს ამ კანონის მთავარ აზრს ყველა სახეობის ელ. მანქანაზე, რადგან მოიცავს მხოლოდ ინდუქციური ელექტრული მანქანების სახეობას.

2. აბსოლუტური და ყოვლისმომცველია წამოყენებული ფორმულირება ელექტრულ და მექანიკურ ენერჯიების ურთიერთგარდაქმნის ფენომენის შესახებ და მან უნდა ჩაანაცვლოს ფარადეის ელექტრომაგნიტური ინდუქციის კანონი ელექტრომექანიკის ფუძემდებლურ სამ კანონში.

3. აღნიშნული ფარადეის და ელექტრო-მაგნიტური ურთიერთქმედების კანონებმა უნდა შეადგინონ ელექტრომექანიკის 3 პრინციპი უძრავი მაგნიტური ველების ურთიერთქმედების პრინციპთან ერთად.

4. შექცევადობის და ენერჯის გარდაქმნის დანაკარგების აუცილებლობის 2 პრინციპი ამოღებული უნდა იქნას ელექტრომექანიკის პრინციპებიდან.

5. ფიზიკის სახელმძღვანელოებში უნდა დაემატოს ახალი თავი ენერჯიების ურთიერთგარდაქმნა და დაშლა. ამ თავის დასაწყისში უნდა იყოს განხილული წამოყენებული გარდაქმნის ფენომენი. აქვე იყოს განხილული ფარადეის და ელექტრომაგნიტურ ურთიერთმოქმედების კანონები, როგორც ელექტრომექანიკის პრინციპები (მესამე პრინციპის გამოტოვებით).

ლიტერატურა

1. დალუნდარიძე ბ., ელექტრული მანქანების მოკლე კურსი, ელ. ვერსია CD – 4135, სტუ-ს ბიბლიოთეკა. 2018
2. Electromechanics and MEMS, by Nenad G., Tomas B. Jones, Cambridge University Press, February, 2013.
3. Electromechanics: Principles, Concepts and Devices, 2 nd Edition, by James Harter.
4. ELECTRICITY and MAGNETISM, Edward M. Purcell, Mcgraw-hill book company.
5. Вольдек А.И., Попов В.В. Введение в электрических машинах. Машины постоянного тока и трансформаторы, Санкт-Петербург.2008.

References (transliterated)

1. Dagundaridze B. Short Course of Electrical Machines, CD – 4135, Library of GTU, 2018 (in Georgian).
2. Electromechanics and MEMS, by Nenad G., Tomas B. Jones, Cambridge University Press, February, 2013.
3. Electromechanics: Principles, Concepts and Devices, 2 nd Edition, by James Harter.
4. ELECTRICITY and MAGNETISM, Edward M. Purcell, Mcgraw-hill book company
5. Voldek A. I., Popov V. V. Introductions of Electrical Machines. DC Machines and Transformers, Piter. 2008. (in Russian).

6–10 კვ ძაბვის ღია ქსელში რეჟიმის პარამეტრების ანალიზი და რეგულირება

ლაშა მაჭავარიანი – დოქტორანტი

აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, ქ. ქუთაისი, საქართველო

e-mail: lasha.matchavariani@atsu.edu.ge

ანოტაცია. ნაშრომში წარმოდგენილია ქ. ქუთაისის 6–10 კვ ძაბვის გამანაწილებელი ღია, მაგისტრალურ-განშტოებული, ელექტრული ქსელის ზღვრული რეჟიმების (მაქსიმალური და მინიმალური დატვირთვის) გამოკვლევის შედეგები. ქსელის თითოეულ ელემენტში განსაზღვრული აქტიურ და რეაქტიულ სიმძლავრეთა დანაკარგების საფუძველზე დადგენილია ქსელის ნაკადგანაწილება. სიმძლავრეთა განაწილების შედეგად გამოითვალა ქსელის ცალკეულ უბანზე ძაბვის ვარდნა და შეფასდა ქსელის თითოეულ კვანძში მიწოდებული ძაბვის ხარისხი (განისაზღვრა ძაბვის ფაქტიური და ძაბვის გადახრის მნიშვნელობა). ასევე დადგინდა ელექტრულ ქსელში სრული სიმძლავრის ჯამური დანაკარგი და მარგი ქმედების კოეფიციენტის გამოთვლით შეფასდა მისი მუშაობის ეკონომიურობა. ანგარიშებით დასაბუთდა, რომ ქსელის მაგისტრალის ბოლო (უშორეს) კვანძებში, ძაბვის ფაქტიური მნიშვნელობა მაქსიმალური დატვირთვის რეჟიმში არადაამკაცოვებელია და საჭიროა დამატებითი ღონისძიებების გატარება, რათა შესრულდეს შემდეგი პირობა: $\Delta U_{\text{უდ}} \leq \Delta U_{\text{დას}}$. აღნიშნული პირობა შესრულებულია ქსელის რამოდენიმე უბანზე სადენტა განიკვეთის ფართობის გაზრდით.

საკვანძო სიტყვები: გამანაწილებელი ქსელი, ნაკადგანაწილება, ძაბვის ხარისხი, მ.ქ.კ., სადენტა განიკვეთი.

Analysis and adjustment of mode parameters in 6-10 kV open network voltage

Lasha Matchavariani – Doctoral Student

Akaki Tsereteli State University, Kutaisi, Georgia, e-mail: lasha.matchavariani@atsu.edu.ge

Annotation. The paper presents the results of the study of open, electrical network limit modes (maximum and minimum load) of 6-10 kV voltage distribution network of the city of Kutaisi. Based on the active and reactive power losses defined in each element of the network, the network flow distribution is determined. As a result of the power distribution, the voltage drop across a single section of the network was calculated and the quality of voltage supplied to each node of the network was estimated (the value of the actual voltage and the voltage deviation were determined). The total loss of apparent power in the network was also determined and the economics of its operation were estimated by calculating the coefficient of performance. The reports substantiate that at the last (farthest) nodes of the mains, the actual value of the voltage at the maximum load mode is unsatisfactory and additional measures are required to meet the following conditions: $\Delta U_{\text{max}} \leq \Delta U_{\text{perm}}$. This condition is met by increasing the cross-sectional area of the wires at several points in the network.

Keywords: distribution network, flow distribution, voltage quality, COP, cross section of wires.

შესავალი. ელექტრულ ქსელებს წაეყენება მთელი რიგი ტექნიკურ-ეკონომიკური ხასიათის მოთხოვნები. კერძოდ, ელექტრომომარაგების საიმედოობა, მიწოდებული ელექტრული ენერჯის მაღალი ხარისხი, მუშაობის ეკონომიკურობა. აქედან გამომდინარე, ელექტრული ქსელების ექსპლუატაციისას საჭიროა ჩატარდეს შესაბამისი ტექნიკურ-ეკონომიკური გაანგარიშებები სიმძლავრის და ენერჯის დანაკარგების დადგენის მიზნით და ასევე ძაბვის ვარდნისა და დანაკარგების

შეფასების თვალსაზრისით. მიღებული შედეგების ანალიზის საფუძველზე დაისმება იმ დამატებითი ღონისძიებების გატარების საკითხი, რაც უზრუნველყოფს ელექტრული ქსელისადმი წაყენებული მოთხოვნების შესრულებას. ელექტრული ქსელის ელექტრული მდგომარეობა რეჟიმის პარამეტრებით ხასიათდება. თავის მხრივ, რეჟიმის პარამეტრებს აყალიბებს ქსელის ელემენტთა ელექტრული პარამეტრები და ელექტრული დატვირთვა, რომლებიც დროში ცვლადი სიდიდეებია.

მამასადამე, გამართლებულია, რომ ელექტრული ქსელის რეჟიმის პარამეტრთა ანალიზი განხორციელდეს სასაზღვრო რეჟიმების განხილვის გზით, რათა ყველა პარამეტრი მოექცეს უდიდეს და უმცირეს მნიშვნელობათა ფარგლებში [1].

სამუშაოს მიზანი. სამუშაოს მიზანს წარმოადგენს ქ.ქუთაისის გამანაწილებელი ქსელის, 35/6 კვ ძაბვის მადაბლებელი ქვესადგურის, ღია მაგისტრალურ-განშტოებული ელექტრული ქსელის მაქსიმალური და მინიმალური დატვირთვის, რეჟიმების ანგარიში და მათი ანალიზი. ასევე ქსელის მუშაობის ეკონომიკური მაჩვენებლის დადგენა და მასში მიმდინარე ელექტრომაგნიტური პროცესების საფუძველზე მუშაობის ეფექტურობის ამაღლების ღონისძიების გატარება.

35/6 კვ ძაბვის მადაბლებელი ქვესადგურის, ღია მაგისტრალურ-განშტოებული ელექტრული ქსელის რეჟიმის პარამეტრების ანალიზი და რეგულირება.

ელექტრული ქსელი წარმოადგენს ობიექტს, რომელიც მიეკუთვნება რთულ ელექტრულ წრედთა კატეგორიას, რომლის რეჟიმის ანგარიში თეორიულად უნდა განხორციელდეს ელექტრული წრედების ძირითადი კანონებით. გამომდინარე იქედან, რომ ელექტრულ სისტემაში გაერთიანებულია ელემენტთა დიდი ჯგუფი და ანგარიშებისას საწყისი მონაცემები წარმოდგენილია გარკვეული თავისებურებით, პრაქტიკაში გამოყენება პოვა გაანგარიშების თანდათანობითი მიახლოების(იტერაციულმა) მეთოდმა [2].

როგორც ცნობილია ელექტრული ქსელების მიმართ პირველ მიახლოებად(იტერაციად) მიზანშეწონილია განვიხილოთ გადაწყვეტა, რომელსაც საფუძვლად უდევს დაშვება, რომ ქსელის ყველა კვანძში ძაბვა ნომინალური სიდიდის ტოლია. მსგავსი დაშვებით განისაზღვრება რეჟიმის საძიებო პარამეტრები(ნაკადგანაწილება, კვანძური ძაბვები, სიმძლავრის დანაკარგები), რომლებიც წარმოადგენს შემდეგი მიახლოების(იტერაციის) საწყის მონაცემებს. მეორე იტერაცია დააზუსტებს პირველი იტერაციისას მიღებულ შედეგებს. იტერაციული პროცესის დასასრული განისაზღვრება პირობით [3]

$$\delta U^{(k+1)} = |U_i^{(k+1)} - U_i^{(k)}| \leq \varepsilon.$$

პრაქტიკაში დამკვიდრებულია, რომ გამანაწილებელი ელექტრული ქსელების ანგარიშები ემყარება მეორე მიახლოების(იტერაციის) შედეგებს [4].

ელექტრული ქსელის რეჟიმი გაანგარიშდება მისი ჩანაცვლების სქემის მიმართ, რომელიც მიიღება ცალკეულ ელემენტთა ჩანაცვლების სქემის გარკვეული თანმიმდევრობით შეერთების შედეგად. $U_{ნომ} \leq 35$ კვ ძაბვის ქსელების ჩანაცვლების სქემებზე ხაზები წარმოდგენილია აქტიური და ინდუქციური წინაღობებით, ხოლო ტრანსფორმატორები Γ -მაგვარი სქემით.

$U_{ნომ} \leq 220$ კვ ძაბვის ქსელების საანგარიშო სქემების გამარტივების მიზნით შემოაქვთ საანგარიშო დატვირთვის ცნება, რომელიც 6/0,38 კვ ძაბვის სამომხმარებლო ტრანსფორმატორების შემთხვევაში გამოითვლება ფორმულით: [2]

$$U_{საანგ.კვ} = U_{დატ} + \Delta U_{ტ}. \quad (1)$$

გამანაწილებელი ქსელების სადენტათვის დამახასიათებელია თანაფარდობა $X \leq R$, ამიტომ საკმარისი სიზუსტით(ცდომილება ნაკლებია 0,5%-ზე) შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ ძაბვის ვარდნა ქსელის უბანზე მისი განივი შემდგენის სიმცირის გამო($\alpha \leq 3^\circ$) გრძივი შემდგენის ტოლია და ძაბვის დანაკარგი გამოითვლება ფორმულით, სადაც სიმძლავრე და ძაბვა აღებულია ხაზის ერთი და იმავე წერტილისათვის: [4]

$$\Delta U = \Delta U' = \frac{PR + QX}{U}. \quad (2)$$

გამანაწილებელი ქსელების, ძაბვით 0,38–10 კვ, თავისებურებას წარმოადგენს ისიც, რომ ისინი არ არიან აღჭურვილნი ძაბვის სარეგულირებელი საშუალების მქონე მოწყობილობით, მაგალითად ПИИ-ის მქონე ტრანსფორმატორებით. ამიტომ ქსელის კვანძებში მიწოდებული ძაბვის ხარისხს მნიშვნელოვნად განსაზღვრავს სადენტა განივკვეთის ფართობი [5].

სწორედ ამიტომ, გამანაწილებელ ქსელში დატვირთვების და ქსელის კონფიგურაციის შეცვლისას აუცილებელია გადამოწმდეს ძაბვის გადახრა ქვესადგურის სალტედან უშორეს ელექტრომიმდებთა შემყვანებზე, რათა დადგინდეს სრულდება თუ არა შემდეგი პირობა [6]:

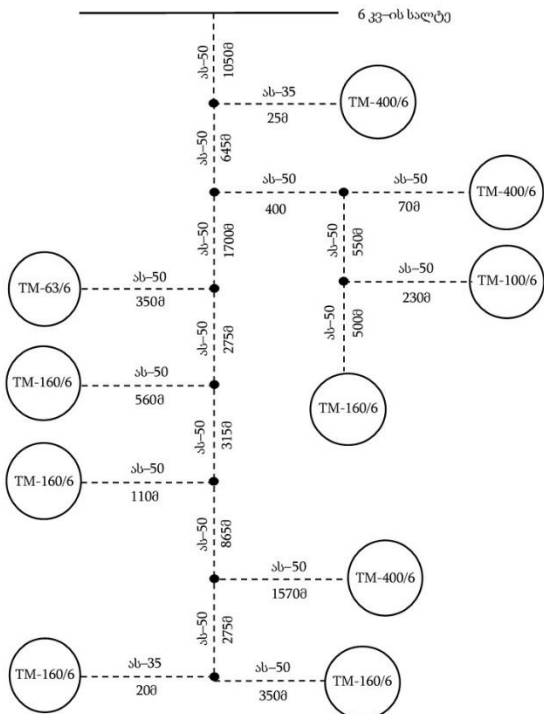
$$\Delta U_{უდ} \leq \Delta U_{დას}. \quad (3)$$

აღნიშნულის გარდა გასათვალისწინებელია განხილული ელექტრული ქსელის დანიშნულება, რომელიც განსაზღვრავს სადენტა განივკვეთის შერჩევის დამატებით პირობას.

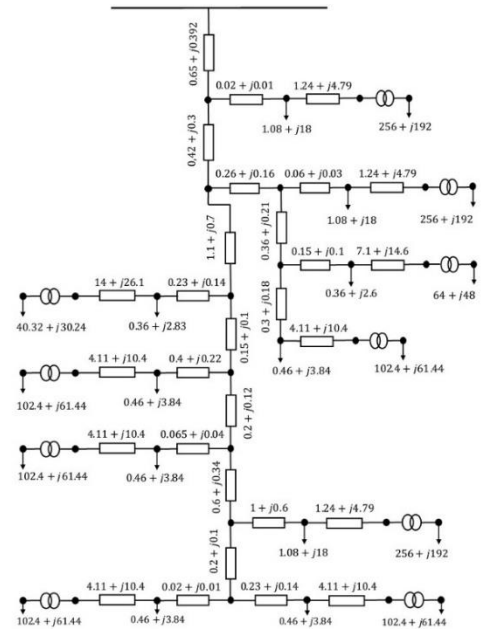
ჩვენს შემთხვევაში ესაა ფერადი ლითონის(დენგამტარი მეტალის) მინიმალური ხარჯი [6]:

$$V \rightarrow \min \quad (4)$$

ნახ. 1-ზე და ნახ. 2-ზე წარმოდგენილია 6 კვ ძაბვის ქსელის ცალხაზოვანი და ჩანაცვლების სქემა საიდანაც ჩანს, რომ ის ხასიათდება მნიშვნელოვანი დაცილებით განლაგებული მცირე დატვირთვებით და მიეკუთვნება იმ ქსელთა კატეგორიას, სადაც აუცილებელია მე- (3) და მე-(4) პირობების ერთობლივი შესრულება.

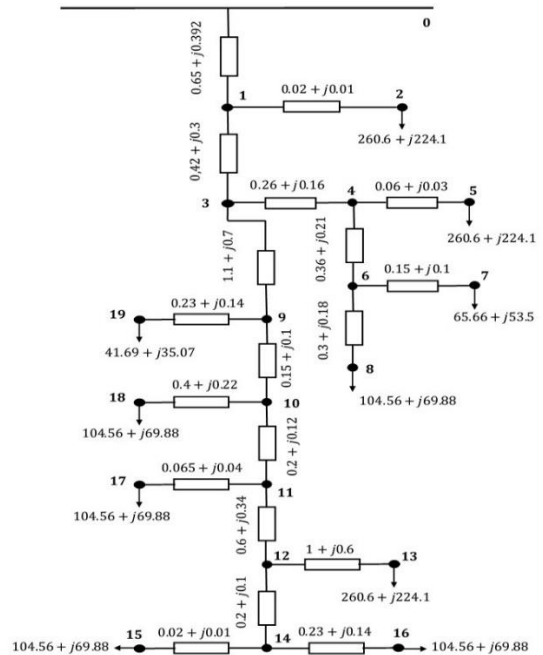


ნახ. 1. ქსელის ცალხაზოვანი სქემა

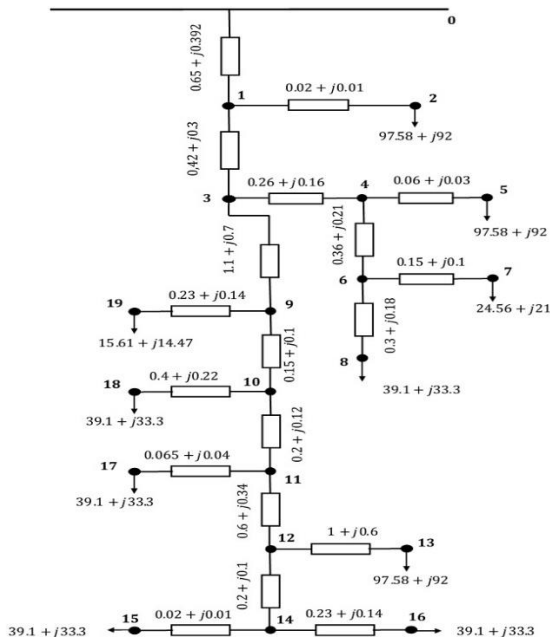


ნახ. 2. ქსელის ჩანაცვლების სქემა

მოცემული ქსელის რეჟიმების ანგარიში განხორციელებულია მისი საანგარიშო სქემებით, რომელიც წარმოადგენს ჩანაცვლების სქემის გამარტივებულ სახეს და გამოსახულია ნახ.3-სა და ნახ. 4-ზე, ხოლო რეჟიმების ანგარიშის შედეგები მოცემულია ცხრილებში (ცხრ.1 – მაქსიმალური დატვირთვის რეჟიმი; ცხრ.2 – მინიმალური დატვირთვის რეჟიმი). ანგარიშებით მიღებული შედეგები აჩვენებს, რომ



ნახ. 3. ქსელის საანგარიშო სქემა მაქსიმალური დატვირთვის რეჟიმში



ნახ. 4. ქსელის საანგარიშო სქემა მინიმალური დატვირთვის რეჟიმში

მაქსიმალური დატვირთვის რეჟიმში ქსელის რიგ კვანძში ძაბვის ფაქტიური მნიშვნელობა შემცირებულია დასაშვებზე მეტად და ქსელი მუშაობს ეკონომიკურობის დაბალი მაჩვენებლებით (ცხრ. 3).

ცხრილი 1

ნაკადგანაწილება				ძაბვის განაწილება		
ქსელის უბ.	ჯ ^ა	ΔΣ	ჯ ^ბ	ΔU	U _{კვ}	კვანძის W ⁰
14 16	104,56+j69,88	0,14+j0,1	104,7+j69,98	0,02	5,16	16
14 15	104,56+j69,88	0,1+j0,05	105,56+j69,93	0,001	5,18	15
12 14	210,26+j139,81	0,5+j0,24	210,76+j140,05	0,02	5,18	14
12 13	260,6+j224,1	4,54+j2,73	265,14+j226,83	0,1	5,1	13
11 12	472,9+j366,88	7,95+j4,5	480,85+j371,38	0,1	5,2	12
11 17	104,56+j69,88	0,04+j0,023	104,6+j69,9	0,002	≈ 5,3	17
10 11	585,45+j441,28	3,83+j2,3	589,28+j443,58	0,032	5,3	11
10 18	104,56+j69,88	0,22+j0,12	104,78+j70,1	0,01	5,33	18
9 10	694,06+j513,68	3,92+j2,61	697,98+j516,24	0,03	5,34	10
9 19	41,69+j35,07	0,024+j0,014	41,7+j35,08	0,003	≈ 5,37	19
3 9	739,7+j551,3	32,4+j20,6	772,1+j571,9	0,23	5,37	9
6 8	104,56+j69,88	0,154+j0,1	104,7+j69,98	0,01	5,53	8
6 7	65,66+j53,5	0,04+j0,023	65,7+j53,523	0,003	5,54	7
4 6	170,414+j123,5	0,52+j0,3	170,93+j123,8	0,016	5,55	6
4 5	260,6+j224,1	0,23+j0,114	260,83+j224,214	0,004	5,57	5
3 4	431,76+j348,014	2,6+j1,6	434,36+j349,614	0,03	5,58	4
1 3	1206,46+j921,514	31+j22	1237,46+j943,514	0,14	5,61	3
1 2	260,6+j224,1	0,072+j0,04	260,7+j224,14	0,0013	≈ 5,75	2
0 1	1498,16+j1167,65	71+j43	1569,16+j1210,65	0,25	5,75	1

ცხრილი 2

ნაკადგანაწილება				ძაბვის განაწილება		
ქსელის უბ.	ჯ ^ა	ΔΣ	ჯ ^ბ	ΔU	U _{კვ}	კვანძის W ⁰
14 16	39,1+j33,3	0,02+j0,01	39,12+j33,31	0,0024	5,69	16
14 15	39,1+j33,3	0,0015+j0,001	39,1+j33,3	0,002	5,7	15
12 14	78,22+j66,61	0,06+j0,03	78,28+j66,64	0,004	5,7	14
12 13	97,58+j92	0,5+j0,3	98,08+j92,3	0,03	5,68	13
11 12	176,36+j158,94	1+j0,53	177,36+j159,47	0,03	5,71	12
11 17	39,1+j33,3	0,005+j0,003	39,105+j33,303	0,001	5,74	17
10 11	216,465+j192,773	0,5+j0,3	216,965+j193,073	0,01	5,74	11
10 18	39,1+j33,3	0,03+j0,016	39,13+j33,316	0,004	5,746	18
9 10	256,1+j226,4	0,5+j0,32	256,6+j226,72	0,01	5,75	10
9 19	15,61+j14,47	0,003+j0,002	15,613+j14,472	0,001	5,76	19
3 9	272,213+j241,2	4,04+j2,6	276,253+j243,8	0,08	5,77	9
6 8	39,1+j33,3	0,02+j0,01	39,12+j33,31	0,003	5,829	8
6 7	24,56+j21	0,004+j0,003	24,6+j21,003	0,001	5,831	7
4 6	63,7+j54,31	0,07+j0,04	63,77+j54,35	0,006	5,832	6
4 5	97,58+j92	0,03+j0,015	97,61+j92,015	0,0015	5,836	5
3 4	161,4+j146,4	0,34+j0,2	161,74+j146,6	0,01	5,838	4
1 3	438+j390,4	4+j3	442+j393,4	0,052	5,848	3
1 2	97,58+j92	0,01+j0,005	97,59+j92,005	0,0005	5,9	2
0 1	539,6+j485,4	9,5+j6	549,1+j491,4	0,1	5,9	1

ცხრილი 3

ΔΣ _{ჯ^ა}	ΔΣ _{ჯ^ბ}	ΔΣ _{ჯ^ს}	მ.ქ.კ. %
159,3+j100,5	28,3+j141	187,6+j241,5	88

მინიმალური დატვირთვისას რეჟიმის ყველა პარამეტრი აკმაყოფილებს ნორმატივებით დადგენილს და ამიტომ არ ექვემდებარება კორექტირებას.

შესაბამისი ანგარიშებით გადამოწმდა სადენტა განივკვეთის ფართობი ქსელის მაგისტრალურ მონაკვეთზე და აღმოჩნდა, რომ რიგ უბანზე ის საჭიროებს გაზრდას(ნახ.3 უბნები: 0-1[ას50→ას95]; 1-3[ას50→ას95]; 3-9[ას50→ას95]; 9-10[ას50→ას70]). ცხრ. 4 წარმოადგენს მაქსიმალური დატვირთვის რეჟიმის პარამეტრებს სადენტა განივკვეთის კორექტირების პირობებში, ხოლო ცხრ. 5 კი - ეკონომიკურ მაჩვენებლებს.

უკანასკნელმა ანგარიშმა ცხადყო ქსელის რიგ უბანზე სადენტა განივკვეთის კორექტირების ეფექტურობა ქსელის ტექნიკურ-ეკონომიკური პარამეტრების ამაღლებით.

ცხრილი 4

ქსელის უბ.	ნაკადგანაწილება			ძაბების განაწილება		
	ჯ ^ა	Δჯ	ჯ ^ბ	ΔU	U _{კვ}	კვანძის უბ.
14 16	104,56+j69,88	0,12+j0,075	104,68+j69,95	0,01	5,46	16
14 15	104,56+j69,88	0,1+j0,04	104,66+j69,92	0,001	5,47	15
12 14	209,34+j139,87	0,4+j0,2	209,74+j140,1	0,01	5,47	14
12 13	260,6+j224,1	4+j2,46	264,6+j226,56	0,08	5,4	13
11 12	474,34+j366,66	7,2+j4	481,54+j270,66	0,1	5,48	12
11 17	104,56+j69,88	0,03+j0,02	104,59+j69,9	0,002	5,58	17
10 11	586,13+j440,56	3,46+j2	589,59+j442,56	0,03	5,58	11
10 18	104,56+j69,88	0,2+j0,1	104,76+j69,98	0,01	5,6	18
9 10	694,35+j512,54	3+j2,37	697,35+j514,91	0,03	5,61	10
9 19	41,69+j35,07	0,02+j0,01	41,71+j35,08	0,003	5,637	19
3 9	739,06+j550	15+j17	754,06+j567	0,13	5,64	9
6 8	104,56+j69,88	0,14+j0,08	104,7+j69,96	0,01	5,7	8
6 7	65,66+j53,5	0,03+j0,02	65,69+j53,52	0,003	5,71	7
4 6	170,39+j123,48	0,5+j0,3	170,89+j123,78	0,016	5,72	6
4 5	260,6+j224,1	0,2+j0,1	260,8+j224,2	0,004	5,736	5
3 4	431,69+j347,98	2+j1	433,69+j348,98	0,03	5,74	4
1 3	1187,75+j915,98	13+j16	1200,75+j931,98	0,08	5,77	3
1 2	260,6+j224,1	0,06+j0,03	260,66+j224,03	0,001	5,85	2
0 1	1461,41+j1156,01	33,5+j38	1494,91+j1194,01	0,15	5,85	1

ცხრილი 5

ΔS _ბ ^ჯ	ΔS _ტ ^ჯ	ΔS _{კვ} ^ჯ	მ.კ.კ. %
82,96+j83,8	28,4+j145,4	111,36+j229,2	93

დასკვნები

1. გამოკვლეული 6 კვ ძაბვის ქსელი მინიმალური დატვირთვის რეჟიმში პასუხობს ქსელისადმი წაყენებულ რიგ მოთხოვნებს კერძოდ: მუშაობს ეკონომიურად, ქსელის კვანძებში ძაბვის გადახრა არ ცდება დასაშვებ მნიშვნელობას.

2. აღნიშნული ქსელი, მაქსიმალური დატვირთვის რეჟიმში ვერ პასუხობს ქსელისადმი წაყენებულ რიგ მოთხოვნებს კერძოდ: მუშაობს არაეკონომიურად, ქსელის რიგ კვანძში ძაბვის გადახრა ცდება დასაშვებ მნიშვნელობას.

3. შესაბამისი ანგარიშებით გადამოწმდა და შედეგად დადგინდა, რომ ქსელის მაგისტრალის რამოდენიმე უბანზე სადენთა განივკვეთის ფართობი გასაზრდელია.

4. ქსელის მითითებულ უბნებზე სადენთა განივკვეთის ფართობის შესაბამისი კორექტირება უზრუნველყოფს ქსელის ტექნიკურ-ეკონომიკური პარამეტრების მიზანშეწონილ ნიშნულებამდე ამაღლებას.

ლიტერატურა

1. Мельников Н. А. Электрические сети и системы, М.: Энергия. 1975. 464 с.
2. Веников В.А., Глазунов А.А., Жуков Л.С., Солдаткина Л.А. Электрические Системы. т.2. Электрические сети. Под ред. В. А. Веникова. М., Высшая школа, 1971, 440 с.
3. Ананичева С.С., Шелюг С.Н. Электро-энергетические системы и сети/ Учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та. 2019. 296 с.
4. Герасименко А. А., Федин В. Т. Передача и распределение электрической энергии/ Учебное пособие. 4-е изд., стер. М.: КНОРУС, 2014. 648 с.
5. Глазунов А. А., Глазунов А. А. Электрические сети и системы, М-Л., ГЭИ, 1960. 368 с.
6. Ананичева С. С., Котова Е. Н. Проектирование электрических сетей/ Учеб. Пособие. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та. 2017. 164 с.

References (transliterated)

1. Mel"nikov N. A. Elektricheskiye seti i sistemy [Electric networks and systems] M. Energiya 1975, 464 p.
2. Venikov V. A., Glazunov A. A., Zhukov L. S., Soldatkina L. A. Elektricheskiye Sistemy, t.2. Elektricheskiye seti Pod red. V. A. Venikova. [Electrical systems, vol.2. Electrical networks. ED. V. A. Venikov] M., Vysshchaya shkola, 1971, 440 p.
3. Ananicheva S.S., Shelyug S.N. Elektroenergeticheskiye sistemy i seti: uchebnoye posobiye[Electric Power Systems and networks: textbook]. Yekaterinburg: Izd-vo Ural. un-ta. 2019. 296 p.
4. Gerasimenko A.A., Fedin V.T. Peredacha i raspredeleniye elektricheskoy energii: uchebnoye posobiye [Transmission and distribution of electrical energy: textbook]. 4-ye izd., ster. M.: KNORUS, 2014. 648 p.
5. Glazunov A.A., Glazunov A.A. Elektricheskiye seti i sistemy[Electrical networks and systems], M-L., GEI, 1960. 368 p.
- 6 Ananicheva. S. S., Kotova Ye. N. Proyektirovaniye elektricheskikh setey: ucheb. posobiye[Design of electrical networks: textbook].Yekaterinburg: Izd-vo Ural. un-ta 2017. 164 p.

საქართველოს ენერგოსისტემის გენერატორების ძაბვის ავტომატური რეგულატორების მუშაობის ეფექტიანობა

მალხაზ დვალიძე, აკადემიური დოქტორი

საქ. ტექნიკური უნივერსიტეტი, ქ. თბილისი, საქართველო, e-mail: dvalidzemalkhaz02@gtu.ge

მიხეილ სართანია, მაგისტრი

საქ. ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი, საქართველო, e-mail: mikheil.sartania@gse.com.ge

ანოტაცია. საქართველოს ელექტროენერგეტიკული სისტემის მუშაობის რეჟიმზე დაკვირვებით და ჩატარებული ექსპერიმენტული გამოკვლევებით მიღებული შედეგების საფუძველზე დასაბუთებულია, ენერგობლოკის/აგრეგატის, აგზნების/ძაბვის რეგულატორის ძაბვის ავტომატური რეგულირების რეჟიმში მუშაობის ეფექტიანობა, ასევე შემუშავებულია მითითებები ელექტროსადგურებისთვის აგზნების სისტემაში განსახორციელებელი ცვლილებების შესახებ.

საკვანძო სიტყვები: ძაბვის ავტომატური რეგულატორი, ენერგობლოკის/აგრეგატის აგზნების სისტემა, ძაბვის რხევა, აქტიურ-ტევადური დატვირთვა.

Efficient operation of generators' automatic voltage regulators of Georgian Energy System

Malkhaz Dvalidze, PhD

Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, e-mail: dvalidzemalkhaz02@gtu.ge

Mikheil Sartania, Master

Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, e-mail: mikheil.sartania@gse.com.ge

Annotation. Based on the results of observations conducted on the operation modes of the Georgian Energy System and in accordance with the experimental studies, the efficiency of the power unit / unit, excitation / voltage regulator in automatic voltage regulation mode is substantiated, as well as guidelines for implementation of changes in the excitation system of power plants have been developed.

Keywords: Automatic voltage regulator, power unit / unit excitation system, voltage oscillation, active-capacitive load.

შესავალი

საქართველოს ელექტროენერგეტიკული სისტემა წარმოადგენს მცირე სიმძლავრის სისტემას, შესაბამისად გარკვეულმა შემფოთებებმა (გენერაციის, მოხმარების, დიდი სიმძლავრით დატვირთული სასისტემო ან სისტემათაშორისი ხაზის გამორთვა) შესაძლებელია გამოიწვიოს სიხშირის და ძაბვის მნიშვნელოვანი გადახრა რაც შესაძლებელია გახდეს გენერატორების ან/და მოხმარებლების გამორთვის მიზეზი. ამასთანავე სხვადასხვა სახის შემფოთებების შედეგად ადგილი აქვს ძაბვის გადახრას ნომინალური სიდიდიდან.

მიზანი

კვლევის მიზანს წარმოადგენს, საქართველოს ენერგოსისტემის გენერატორების ძაბვის ავტომატური რეგულატორების მუშაობის ეფექტიანობის განსაზღვრა, ასევე ნაშრომში შედარებულია ჰიდრო აგრეგატების აგზნების

რეგულატორების მუშაობა ძაბვის ავტომატური რეგულირების რეჟიმში (U-ს რეგულირება) და რეაქტიული სიმძლავრის რეგულირების რეჟიმში (Q-ს რეგულირება).

ჩატარებული კვლევები

ელექტროსისტემის დამყარებულ რეჟიმში მომხმარებელთა დატვირთვა ნელა და მდორედ იცვლება და შედეგად, ასევე, ნელა და მდორედ იცვლება ძაბვის სიდიდე ქსელის საკვანძო წერტილებში. ძაბვის გადახრას გამოსახვენ პროცენტობით ნომინალურის მიმართ:

$$V_i\% = \frac{U_i - U_{\text{ფ}}}{U_{\text{ფ}}} \times 100$$

სადაც U_i - ძაბვა ქსელის i კვანძში, ხოლო $U_{\text{ფ}}$ - ამავე კვანძის ნომინალური ძაბვა.

საქართველოს ენერგეტიკისა და წყალმომარაგების მარეგულირებელი ეროვნული კომისიის დადგენილება №10-ით დამტკიცებული ქსელის წესების მიხედვით

(მუხლი. 15) დისპეტჩერიზაციის ლიცენზიატმა უნდა უზრუნველყოს, რომ ნორმალურ პირობებში ძაბვის სიდიდეები შეესაბამებოდეს შემდეგს:

ა) ნორმალურ პირობებში ძაბვის დასაშვები გადახრა სხვადასხვა ნომინალური ძაბვისათვის მოცემულია ცხრილში:

ნომინალური ძაბვა (კვ)	110	220	330	400	500
ძაბვის დასაშვები ზღვრები	- 5%/+1 0%	- 5%/+7 %	± 5%		

ბ) ავარიული სიტუაციის შემდგომ ძაბვის დასაშვები გადახრა სხვადასხვა ნომინალური ძაბვისათვის მოცემულია ცხრილში:

ნომინალური ძაბვა (კვ)	110	220	330	400	500
ძაბვის დასაშვები ზღვრები	- 10%/+1 5%	± 10%			

ამ მუხლის მოთხოვნების სათანადო დონეზე შესასრულებლად გადაცემის ლიცენზიატის ქვესადგურებში 110 კვ და უფრო მაღალი ნომინალური ძაბვის მქონე ტრანსფორმატორები და ავტოტრანსფორმატორები აღჭურვილი უნდა იყოს ძაბვის რეგულირების ტექნიკური მოწყობილობებით. ამასთან, დისპეტჩერიზაციის ლიცენზიატის მიერ ჩატარებული კვლევების საფუძველზე უნდა იქნეს გამოვლენილი 110 კვ და უფრო მაღალი ნომინალური ძაბვის ტრანსფორმატორები და ავტოტრანსფორმატორები, რომლებიც საჭიროებენ ძაბვის ავტომატურ რეჟიმში რეგულირების მოწყობილობებით აღჭურვას.

პრაქტიკაში ყოველთვის არ ხერხდება ელექტრომიმდებთა მომჭერებზე უზრუნველყოთ ძაბვის სათანადო მნიშვნელობა და ზოგჯერ მცირე ჯგუფის მომხმარებლებს უწევთ ტექნიკურად დასაშვებზე მეტად გადახრილი ძაბვის პირობებში მუშაობა. უნდა აღინიშნოს, რომ დასაშვებ ფარგლებს გარეთ ძაბვის გადახრისას ელექტრომიმდებები აგრძელებენ მუშაობას, მაგრამ ამ დროს წარმოიქმნება მათი მუშაობის არანორმალური პირობები და ადგილი

აქვს მუშაობის ეფექტურობის შემცირებას. ამრიგად, ძაბვის გადახრის ტექნიკურად დასაშვები მნიშვნელობები განისაზღვრება მომხმარებელთა მუშაობის ეკონომიკურობით ძაბვის ხშირი გადახრა ქსელის წესების მიხედვით განხილულია როგორც ძაბვის რხევა (მუხლი. 18), რაზედაც მოსარგებლემ უნდა უზრუნველყოს:

ა) ძაბვის რხევა მისი ელექტრო-მოწყობილობა-დანადგარის მიერთების ნებისმიერ წერტილში, დატვირთვის ცვლილების დროს არ აღემატებოდეს ძაბვის ნომინალური სიდიდის ერთ პროცენტს (1%);

ბ) მიერთების წერტილში ძაბვის ციმციმი არ უნდა აღემატებოდეს $P_{st}=0.8$ და $Plt=0.6$ ზღვრებს, 95%-ის სანდობის ინტერვალით, გაზომვების ერთი კვირის განმავლობაში.

გ) დისპეტჩერიზაციის ლიცენზიატის გადაწყვეტილებით ძაბვის ნებისმიერი ცვალებადობა შეიძლება ნებადართული იყოს არაუმეტეს სამ პროცენტამდე (3%), იმ პირობით, თუ ეს საფრთხეს არ უქმნის გადამცემ ქსელს ან გადამცემ ქსელზე მიერთებულ სხვა მოსარგებლებს.

ძაბვის რხევა უფრო ხშირად გამოწვეულია ელექტრული ძრავების გაშვებით, შემდული აპარატის მუშაობით, წვეის ცვლადი დატვირთვით და ა.შ. ძაბვის რხევა ყველაზე უფრო მეტ გავლენას ახდენს განათების ქსელის ელექტრომიმდებებზე, სადაც ადგილი აქვს ნათურების სინათლის ნაკადის მკვეთრ ცვლილებას, რაც უარყოფითად მოქმედებს ადამიანთა მხედველობით აღქმაზე.

ელექტროქსელში ძაბვის ცვლილება არასასურველ მოვლენებს იწვევს. კერძოდ, ძაბვის შემცირებისას მცირდება ვარვარების ნათურების სინათლის ნაკადი და შესაბამისად მათი მ.ქ.კ., გაზრდისას კი მცირდება მათი სამსახურის ვადა. ასევე, ძაბვის შემცირებისას უარესდება ასინქრონული ძრავების მუშაობის პირობები, მცირდება მ.ქ.კ. და გრაგნილში გამავალი დატვირთვის დენის გაზრდის გამო ადგილი აქვს იზოლაციის დამველების პროცესის დაჩქარებას. ძაბვის გაზრდისას მნიშვნელოვნად

იზრდება ასინქრონული ძრავების დამაგნიტების დენი, რაც ხშირად იწვევს სტატორის გრაგნილის გადატვირთვას. იმავდროულად შეიძლება მნიშვნელოვნად გაიზარდოს ძრავის მიერ მოხმარებული რეაქტიული სიმძლავრე. ძაბვის შემცირებით ელექტროსაცხობ დანადგარებში იზრდება ტექნოლოგიური პროცესის ხანგრძლივობა და შესაბამისად მცირდება მწარმოებლობა.

ტრანსფორმატორებისთვის უფრო სახიფათოა ძაბვის ამაღლება. ამ დროს მნიშვნელოვნად იზრდება დამაგნიტების დენი, რაც ტრანსფორმატორის დამაგნიტების არაწრფივ უბანზე მუშაობით აიხსნება. შედეგად მახინჯდება დამაგნიტების დენის მრუდი და წარმოიქმნება მაღალი რიგის ჰარმონიკები, რაც გამოიწვევს გრაგნილის დამატებით გახურებას და აქტიური სიმძლავრის დანაკარგების ზრდას.

გამომდინარე აქედან ელექტრო-ენერგეტიკული სისტემის ნორმალურად ფუნქციონირებისთვის მნიშვნელოვან ამოცანას წარმოადგენს შენარჩუნებული იქნას ძაბვის დონე შესაბამისი ძაბვის საფეხურების მიხედვით თავის ნომინალურ ზღვრებში, რადგან ელექტროენერგეტიკული სისტემის ექსპლუატაციის პირობებში ადგილი აქვს ძაბვის გადახრას ნომინალური სიდიდიდან, საჭიროა მისი რეგულირება. ძაბვის რეგულირების ერთ-ერთ მნიშვნელოვან სახეს წარმოადგენს, ძაბვის რეგულირება ენერგობლოკის/აგრეგატის აგზნების/ ძაბვის რეგულატორების საშუალებით (ძაბვის ავტომატური რეგულატორი), რომელიც საქართველოს ენერგეტიკისა და წყალ-მომარაგების მარეგულირებელი ეროვნული კომისიის დადგენილება №10-ით დამტკიცებული ქსელის წესების თანახმად მოეთხოვება გენერატორებს. კერძოდ:

თითოეული ენერგობლოკის/აგრეგატის აგზნების სისტემა უნდა მუშაობდეს ძაბვის ავტომატური რეგულატორის მუდმივი კონტროლის ქვეშ. ელექტროენერგიის მწარმოებელს უფლება არ აქვს, გამოიყვანოს მუშაობიდან ძაბვის ავტომატური რეგულატორი ან შეზღუდოს მისი მოქმედება, გარდა პერსონალის უსაფრთხოების მიზნით და/ან

ენერგობლოკის/აგრეგატის დაზიანების თავიდან ასაცილებლად, აგრეთვე როდესაც შეზღუდვა განხორციელებულია დისპეტჩერიზაციის ლიცენზიატისაგან მიღებული ინსტრუქციის შესაბამისად, რომლის დროსაც ელექტროენერგიის მწარმოებელმა დაუყოვნებლივ უნდა შეატყობინოს დისპეტჩერიზაციის ლიცენზიატს.

ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე დაკვირვება მოხდა ენგურჰესის #1 ჰიდროაგრეგატზე, რათა დეტალურად შეგვესწავლა აღნიშნული გენერატორის ძაბვის ავტომატური რეგულატორის მუშაობის ეფექტიანობა საქართველოს ელექტრო-ენერგეტიკულ სისტემაზე.

ენგურჰესის ჰ.ა. #1-ის აგზნების რეგულატორის მუშაობის ანალიზი

ენგურჰესის ჰ.ა. #1-ის აგზნების რეგულატორს აქვს მუშაობის 3 რეჟიმი:

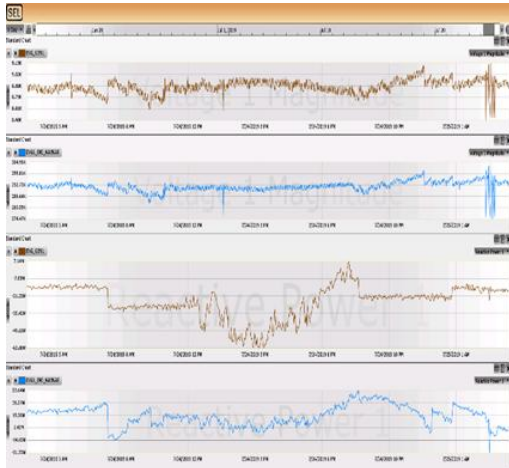
1. U-ს რეგულირება.
2. IF დენის რეგულირება.
3. Q-ს რეგულირება.

ენგურჰესის პირველი გენერატორის აგზნების რეგულატორი შეყვანილი იყო რეაქტიული სიმძლავრის (Q) რეგულირებაზე, ჰქონდა მიცემული გარკვეული სიდიდე და ინარჩუნებდა ამ რეაქტიული სიმძლავრის მნიშვნელობას, რომელიც მორიგე პერსონალის ჩარევის გარეშე იყო თითქმის მუდმივი სიდიდე.

Q-ს რეგულირების რეჟიმი შეიცვალა და გენერატორის აგზნების რეგულატორი გადავიდა ძაბვის (U) რეგულირებაზე, დანაყენი მიეთითა 15,3 კვ-ი ძაბვა, რომელიც ენგურის 500 კვ-ის სალტეზე შეესაბამება 506 კვ-ს, შესაბამისად გენერატორი ავტომატურად ინარჩუნებდა აღნიშნული ძაბვების სიდიდეს.

როგორც ნახ.1-დან ჩანს, 11:50 წთ-დან 20:28 წთ-მდე (დროის ამ პერიოდში შეყვანილი იყო ძაბვის ავტომატური რეგულირება), გენერატორი ეფექტურად ცდილობს საგენერატორო სალტეზე ძაბვის შენარჩუნებას, რომელიც იცვლება (იზრდება/კლებულობს) ე.გ.ხ. „იმერეთი“-დან რეაქტიული სიმძლავრის (შემოსვლა/გასვლის) გამო, ხოლო გენერატორი აგზნების დენს ცვლის

სტატორის ძაბვის ცვლილების მიხედვით და შესაბამისად რეაქტიული სიმძლავრე იცვლება, რაც იწვევს სტატორის ძაბვის დანაყენში მითითებული სიდიდის შენარჩუნებას.



ნახ. 1.

18:26 წთ-დან 20:28 წთ-მდე დაიწყო იმერეთის ხაზიდან რეაქტიული სიმძლავრის ჭარბად შემოსვლა ენგურის 500 კვ-ის სალტეზე 7 მგვარ-დან 53 მგვარ-მდე (სურათზე ჩანს, რომ ენგურის სალტეზე ძაბვა იზრდება), იმისათვის რომ გენერატორს სალტეზე შეენარჩუნებინა დანაყენის შესაბამისი ძაბვა დაიწყო საკუთარი რეაქტიული სიმძლავრის შემცირება 30 მგვარ-დან -11 მგვარ-მდე და გადავიდა რეაქტიული სიმძლავრის მოხმარებაზე (აქტიურ-ტევადური დატვირთვა).

ნახ. 2- ზე მოყვანილია ენგურჰესის ყველა გენერატორის რეაქტიული სიმძლავრის ცვლილება ზემოთ აღნიშნული დროის განმავლობაში.



ნახ. 2.

სადაც ჩანს, რომ ჰ.ა. #1-ის რეაქტიული სიმძლავრე იცვლება რეგულატორის მიერ აგზნების დენის ავტომატურად ცვლილების გამო (სალტის ძაბვის ცვლილების მიხედვით), ხოლო დანარჩენი გენერატორების (ჰ.ა. #2,3,4,5-ის) რეაქტიული სიმძლავრე თითქმის მუდმივი სიდიდისაა (მორიგე პერსონალის ჩარევის გარეშე არ იცვლება), შესაბამისად აღნიშნული გენერატორები ვერ მონაწილეობენ სისტემის ძაბვის რეგულირებაში რადგან აგზნების რეგულატორები არ მუშაობენ ძაბვის ავტომატური რეგულირების რეჟიმში.

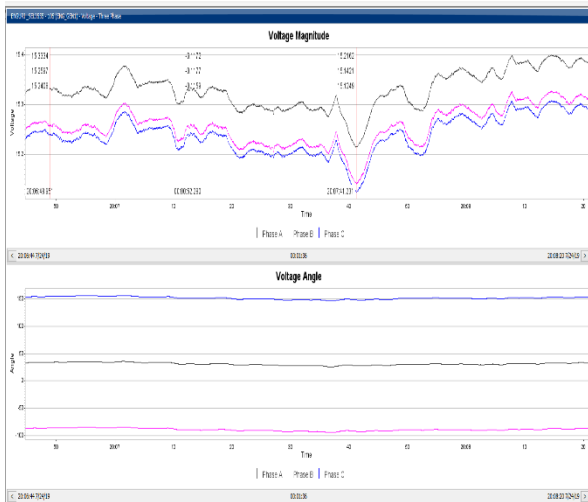
როგორც ცნობილია ნორმალურად სინქრონული გენერატორი ქსელში ჩართულია აქტიურ ინდუქტიურ ტვირთზე, აქედან გამომდინარე გენერატორი ქსელში გასცემს როგორც აქტიურ ისე რეაქტიულ სიმძლავრეს და როგორც წესი მუშაობს მეტი აგზნების (გადააგზნებულ) რეჟიმში ქსელთან მდგრადი მუშაობის უზრუნველსაყოფად. თუმცა ქსელის აქტიურ ტევადური ტვირთის შემთხვევაში გენერატორი იმუშავებს ნაკლები აგზნების რეჟიმში, რაც გენერატორის მდგრადი მუშაობისთვის სასურველი არ არის.

სინქრონული გენერატორის რეალურ პირობებში მუშაობისას, ე.ი. როდესაც იგი ქსელთან არის მიერთებული, მისი დატვირთვა არასდროს არ არის მკაცრად მუდმივი, სხვადასხვა აგრეგატის ჩართვის და გამორთვის, მათი დატვირთვის ცვალებადობის და კიდევ სხვადასხვა მიზეზების გამოც.

ენგურჰესს საქართველოს ელექტრო-ენერგეტიკულ სისტემასთან ძირითადი კავშირი აქვს 500 კვ ეგზ „იმერეთი“-ს საშუალებით. ცნობილია, რომ მაღალი ძაბვის გრძელი გადამცემი ხაზები დიდი რეაქტიული ენერჯის წყაროა (მისი დიდი ტევადობიდან გამომდინარე), ტევადობის მაკომპენსირებელს კი ინდუქციურობა წარმოადგენს, როდესაც ენგურჰესის ჰ.ა. #1-ზე შეყვანილი იყო აგზნების რეგულატორი ძაბვის ავტომატურ რეჟიმში ხაზის ტევადობის ცვლილებისას გაზრდილი ძაბვის საკომპენსაციოდ სინქრონულმა მანქანამ აღზნების შემცირება და რეაქტიული ენერჯის

კომპენსატორად (ინდუქციურობად) მუშაობა დაიწყო.

სინქრონიზებული ვექტორული გაზომვებიდან ვხედავთ, რომ ჰ.ა. #1 წარმატებით ართმევს თავს ძაბვის რეგულირებას (ნახ. 3).



ნახ. 3.

ყოველივე ზემოთ თქმულიდან შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ ენგურჰესის ხუთივე გენერატორზე აგზნების რეგულატორის ძაბვის ავტომატური რეგულირების შეყვანით გაიზრდება სადგურის საერთო რეაქტიული ენერჯის კომპენსირების უნარი და არ დაირღვევა გენერატორების სტატიკური მდგრადობა.

დასკვნა

მიგვაჩნია მიზანშეწონილად ენგურჰესზე ხუთივე გენერატორზე შეყვანილი იქნას აგზნების რეგულატორი ძაბვის ავტომატური რეგულირების რეჟიმში. ამავ დროს თითოეულ გენერატორს განესაზღვროს რეაქტიული სიმძლავრის მინიმალური დანაყენი 10 მგვარი (შეიზღუდოს რეაქტიული სიმძლავრის შემზღუდველის დანაყენის სიდიდით).

ლიტერატურა

1. მახარაძე გ. ელექტროენერგეტიკული (ელექტრული) სისტემები, თბილისი. 2011.
2. სინქრონიზებული ვექტორული გაზომვების პროგრამები (კომპანია Schweitzer Engineering Laboratories-ის პროგრამა synchroWAVE Central და კომპანია GE-ის პროგრამა phasorpoint), საქართველოს სახელმწიფო ელექტროსისტემა.
3. საქართველოს ენერგეტიკისა და წყალმომარაგების მარეგულირებელი ეროვნული კომისიის დადგენილება №10, 2014 წლის 17 აპრილი ქ. თბილისი.
4. Важнов А.И. Электрические машины.

ხიდური ამწის აწევის მექანიზმის მოკლედ შერთულ როტორიანი ასინქრონული ელექტროამძრავი სიხშირული მართვით

დავით ჭიჭინაძე - დოქტორანტი,

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, ასისტენტი, ქ. თბილისი, საქართველო;

ელ. ფოსტა: d.chichinadze@gtu.ge

ანოტაცია. ნაშრომში განხილულია ხიდურა ამწის აწევის მექანიზმის ელექტროამძრავის კინემატიკური სქემის თავისებურებანი. შედგენილია ელექტროამძრავის მოძრავ-მექანიკური ნაწილის საანგარიშო მოდელი. ასევე, განხილულია ამწე მექანიზმების ელ.მექანიკური სისტემების მოდელირება ტექნოლოგიური ეტაპების გათვალისწინებით. მოცემული არის ელ.ამძრავის აწევის მექანიზმის საანგარიშო და სტრუქტურული სქემები. მიღებული ტაქოგრამის ანგარიშისას გამოყენებული არის მოძრავ მექანიკური ნაწილის საანგარიშო მოდელი. გარდამავალი პროცესის დორს მიღებული შედეგები ასახული არის გრაფიკებზე.

საკვანძო სიტყვები: ხიდური ამწე, ელექტროამძრავი, საანგარიშო მოდელი, ელ.მექანიკური სისტემა, მათემატიკური მოდელი.

Short-circuit rotary asynchronous electric actuator of the bridge crane with frequency management

Davit Chichinadze - PhD student,

Georgian Technical University, Tbilisi Georgia; e-mail: d.chichinadze@gtu.ge

Annotation. The paper discusses the peculiarities of the kinematic scheme of the electric actuator of the bridge crane. A computational model of the moving-mechanical part of the electric actuator is compiled. Also, is discussed Modeling of the Electronic-mechanical system of the crane mechanisms with consideration of the technological stages. The calculation and structural diagrams of the electronic actuator lifting mechanism are given. The calculated model of the moving mechanical part is used in the report of the obtained tachogram. The results obtained during the transition process are shown in the charts.

Keywords: bridge crane, electric actuator, design model, electromechanical system, mathematically model

შესავალი. სამრეწველო საწარმოების აბსოლუტურ უმრავლესობაში, განსხვავებული მასის მქონე ტვირთების სამ კოორდინატში გადაადგილებისათვის ფართოდ გამოიყენება სხვადასხვა კონსტრუქციის ამწე სატრანსპორტო მანქანები [1], რომელთა შორის ერთერთ ფართო კლასს წარმოადგენენ სხვადასხვა სიმძლავრის ხიდურა ამწეები (ხა) [3]. რიგ შემთხვევაში, თანამედროვე სამრეწველო საწარმოებში, ხიდურა ამწეები ძირითადი ტექნოლოგიური პროცესის განუყოფელ ნაწილს წარმოადგენს. აქედან გამომდინარე, ხა-ების ელექტროამძრავების ენერგეტიკული მაჩვენებლები და ენერგოეფექტურობა მნიშვნელოვნად განაპირობებს საწარმოს ეკონომიკურ მდგომარეობას. თავის მხრივ, ხა-ის ელექტროამძრავის ძირითადი ენერგეტიკული მაჩვენებლები მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული მისი ავტომატიური მართვის სისტემების ეფექტურ მუშაობასა და მართვის

მაჩვენებლებზე. შესაბამისად, ხიდურა ამწის აწევის მექანიზმის ელექტროამძრავის ძალოვან ნაწილში მიმდინარე ელექტროდინამიკური პროცესების გამოკვლევა და მართვის სისტემის ოპტიმიზაცია, ენერგეტიკული მაჩვენებლების გაზრდისა და ენერგოეფექტურობის ამაღლების პირობებში თვალსაზრისით, მოძრავ-მექანიკური ნაწილის თავისებურების გათვალისწინებით, ერთერთ აქტუალურ პრობლემას წარმოადგენს.

სამუშაოს მიზანს წარმოადგენს: ხიდურა ამწის აწევის მექანიზმის ელ.ამძრავისათვის, მისი მოძრავ-მექანიკური ნაწილის თავისებურების გათვალისწინებით დამუშავებულ იქნას ელ.ამძრავის ავტომატიური მართვის სისტემა, ასინქრონულ ძრავას მოკლედ შერთული როტორით გააჩნია დაბალი დროის მუდმივა, ასევე კონსტრუქციულად არის მარტივი და ღირებულებაც არის დაბალი, შესაბამისად ხიდურა ამწის ელ.ამძრავისთვის დისერტაციაში სწორედ მოკლედ შერთული როტორიანი

ასინქრონული ძრავას სიხშირულ მართვაზე შევაჩერეთ არჩევანი.

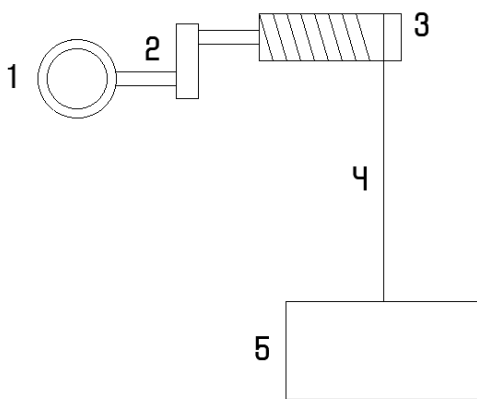
ელექტროამძრავის მოძრავ მექანიკურ - ნაწილში მიმდინარე პროცესების გამოკვლევა.

აწევის მექანიზმში მიმდინარე პროცესების გამოკვლევისათვის განვიხილოთ კინემატიკური სქემა (ნახ. 1).

ბაგირის სიხისტის კოეფიციენტი აწევის პროცესში ბაგირის სიგრძის ფუნქციაში იცვლება, შესაბამისად ელ.ამძრავის მოძრავმექანიკური მოდელი მინიმუმ ორ მასიანს წარმოადგენს. ამწე მექანიზმების მოქმედების პრინციპის საფუძველი არის ჰუკის კანონი, რომელიც მდგომარეობს შემდეგში: დრეკად სხეულზე წარმოქმნილი დეფორმაცია პროპორციულია ამ სხეულზე მოდებული ძალისა ანუ რაც მეტია დაჭიმულობის სიდიდე მით მეტია მასზე მოდებული ძალის სიდიდე.

$$F = -kx \quad (1)$$

სადაც k - სიხისტის კოეფიციენტი, ნ/მ; ხოლო x - ბაგირის დაჭიმულობა, მ.



ნახ. 1. ელექტროამძრავის აწევის მექანიზმის კინემატიკური სქემა

ამგვარ მექანიზმებში მიმდინარე ელექტრო-მექანიკური პროცესების ოპტიმალურად წარმართვისათვის საჭიროა რომ შეიზღუდოს ძრავის გაშვების პროცესში აჩქარების მნიშვნელობა, ასევე უნდა შეიზღუდოს ელექტროამძრავის მიერ განვითარებული ბიძგი. აღნიშნული პრობლემების მოგვარება შესაძლებელია ელ.ამძრავის მართვის სისტემების გამოყენებით: მუდმივი დელის ელექტროამძრავი, დამოუკიდებელ აღზნებიანი ელ.ამძრავი, ელექტროამძრავი ფაზურ

როტორიანი ასინქრონული ძრავით, ელექტრო-ამძრავი მოკლედ შერთული როტორით და ტირისტორული მართვით.

ნაშრომის მიზანს წარმოადგენს ხიდურა ამწის აწევის მექანიზმის ელექტრო-ამძრავისათვის, მისი მოძრავმექანიკური ნაწილის თავისებურების გათვალისწინებით დამუშავებულ იქნას ელექტროამძრავის ავტომატიური მართვის სისტემა, ასინქრონულ ძრავას მოკლედ შერთული როტორით გააჩნია დაბალი დროის მუდმივა, ასევე კონსტრუქციულად არის მარტივი და ღირებულებაც არის დაბალი, შესაბამისად ხიდურა ამწის ელექტროამძრავისთვის დისერტაციაში სწორედ მოკლედ შერთული როტორიანი ასინქრონული ძრავას სიხშირულ მართვაზე შევაჩერეთ არჩევანი.

ხიდურა ამწის აწევის მექანიზმის კინემატიკური სქემის საფუძველზე შედგენილია მოძრავ მექანიკური ნაწილის საანგარიშო მოდელი, რომელსაც აქვს შემდეგი სახე:



ნახ. 2. აწევის მექანიზმის მოძრავ მექანიკური ნაწილის საანგარიშო სქემა

იგი წარმოადგენს ორი ინერციის მომენტის მქონე მოდელს, შესაბამისად ძრავას ლილვთან მიყვანილი პირველი ინერციის მომენტი არის J_1 , რომელიც ტოლია: როტორის, ქუროს, რედუქტორის, დოლსა და რედუქტორს შორის არსებული ქუროს, დოლის და მიმმართველი შკვის ინერციის მომენტების ჯამს, რომლებსაც დაემატებათ აქტიური და პასიური ბაგირის ინერციის მომენტების ნახევარი.

$$J_1 = J_{მ.ბ} + J_{ქურ.} + J_რ + J_{ქურ2.} + J_{დოლ.} + J_{შკ} + \frac{(\delta_1 + \delta_2)}{2} \quad (2)$$

J_2 არის ასევე ძრავის ლილვზე მოყვანილი ინერციის მომენტი, რომელიც ტოლია: ბაგირის აქტიური და პასიური ინერციის მომენტების ნახევრის ჯამს ტვირთის და კაკვის ინერციის მომენტების ჯამზე.

$$J_2 = \frac{(\delta_3 + \delta_4)}{2} + J_{კაკვ.} + J_{ტვრ.} \quad (3)$$

პირველი და მეორე ინერციის მომენტებს შორის არსებული სიხისტის კოეფიციენტი გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$C_{12} = C_0 \frac{\rho^2}{l_{12}}, \quad (4)$$

სადაც C_{12} - არის სიხისტის კოეფიციენტი ინერციის მომენტებს შორის; C_0 - ბაგირის ხვედრითი სიხისტის კოეფიციენტი მიყვანილი ძრავასთან, ნ/მ.

ρ - არის კინემატიკური სქემიდან გამომდინარე მიყვანის კოეფიციენტი, მ/რად; l_{12} - ბაგირის სიგრძე, მ.

იმისათვის, რომ არ განვითარდეს დინამიკური დატვირთვები, აუცილებელია შეიზღუდოს აჩქარება და ბიძგი, თავის მხრივ ტახოგრამაზე აჩქარებას უნდა ტრაპეციის, ხოლო ბიძგს მართკუთხა ფორმის მრუდი.

ვინაიდან სიხისტის კოეფიციენტი არის ცვლადი ($J_3 \approx 10 J_3$) ვითვალისწინებთ ორ ვარიანტს:

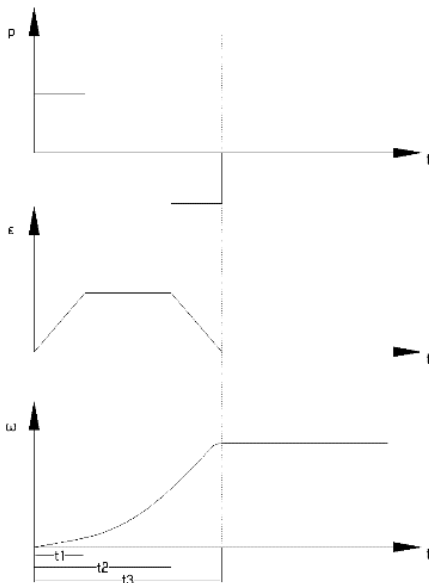
1. გაშვების მომენტს, როდესაც სიხისტის კოეფიციენტი არის მაქსიმალური

$$c'_{12} = c_0 \frac{\rho}{l_3 + l_{max}}$$

2. შენელების მომენტს, როდესაც სიხისტის კოეფიციენტი არის მინიმალური

$$c''_{12} = c_0 \frac{\rho}{l_3 + l_{min}}$$

l_{max} - არის აქტიური ბაგირის მაქსიმალური სიგრძე; l_{min} - არის აქტიური ბაგირის მინიმალური სიგრძე,



ნახ. 3. მოძრავ მექანიკური მოდელის ანგარიშისას მიღებული ტახოგრამა

შესაბამისად სადისერტაციო ნაშრომში არ გვაქვს გაშუალედური სიხისტის კოეფიციენტი, არამედ უშუალოდ ვიტვალისწინებთ დაძვრის და შენელების მომენტში სიხისტის კოეფიციენტებს და სადისერტაციო ნაშრომის სიახლევ ამაში მდგომარეობს.

დასკვნა. ნაშრომის პრაქტიკული ღირებულება მდგომარეობს იმაში, რომ მიღებული ტახოგრამის რეალიზაციის შემდგომ მოძრავ მექანიკურ ნაწილში მივადწიეთ დინამიკური რხევების შეზღუდვას, რაც რატემაუნდა აუმჯობესებს ენერგეტიკულ მაჩვენებლებს, ანუ სისტემა გახდა ენერგო ეფექტური, გაიზარდა მექანიზმის საიმედოობა ვინაიდან გამოირიცხა მოძრავ მექანიკური ნაწილის დაზიანება დრეკადი დარტყმების შედეგად.

ლიტერატურა

1. Гайдамака В.Ф. Грузоподъемные машины: Учебник/В. Ф. Гайдамака.К.: Вища шк. Головное изд- во. 1989. 328 с.: ил.
2. Лобов Н.А. Динамика грузоподъемных кранов / Н. А. Лобов. М.: Машиностроение, 1987. 160 с. : ил.
3. Герасимьяк Р.П. Анализ и синтез крановых электромеханических систем / Р. П. Герасимьяк, А. А. Лещев. Одесса: СМИЛ, 2008. 192 с.

References (transliterated)

1. Gaydamak V.F. Hoisting machines: Textbook / V.F. Gaidamak. K. : Vischa shk. Head publishing house, 1989. 328 p. : ill.
2. Lobov N.A. Dynamics of hoisting cranes / N. A. Lobov. M.: Mechanical Engineering, 1987. 160 p.: ill.
3. Gerasimiyak R.P. Analysis and synthesis of crane electromechanical systems / R.P. Gerasimiyak, A.A. Leshchev. Odessa: SMIL, 2008. 192 p.

ელექტრომომარაგების სისტემაში მიმდინარე ელექტროდინამიკური პროცესების ექსპერიმენტული გამოკვლევის მოდელი

დიმიტრი ხარებავა, დოქტორანტი,

საქ. ტექნიკ. უნივერსიტეტი, ქ. თბილისი, საქართველო, e-mail: d.kharebava@gtu.ge

ანოტაცია. ჩატარებულია არსებული „ელექტრომომარაგების ქსელების ფიზიკური მოდელების“ გამოკვლევები და დასაბუთებულია, რომ აღნიშნული მოდელები არ იძლევა ელექტრომომარაგების ქსელში მიმდინარე ელექტრომაგნიტური პროცესების სრულყოფილი იმიტირების საშუალებას, რადგან მათში არაა გათვალისწინებული ქსელების ცალკეულ ფაზებში მიმდინარე ელექტრომაგნიტური პროცესების დამოუკიდებლად გამოკვლევა. შესაბამისად, ამ მოდელების საშუალებით: შეუძლებელია მომხმარებლების მიერ ელექტრომომარაგების ქსელში წარმოქმნილი, აქტიური და რეაქტიული დატვირთვების, სტატიკური და დინამიკური ასიმეტრიული რეჟიმების იმიტირება. ცალკეულ ფაზებში რეაქტიული სიმძლავრის კოეფიციენტის დამოუკიდებლად განსაზღვრა; ასევე შეუძლებელია არასიმეტრიული დინამიკური დატვირთვების მქონე, აგრესიული ელექტროტექნოლოგიური დანადგარების მუშაობის რეჟიმების შედეგად ცალკეულ ფაზებში განვითარებული ელექტრომაგნიტური პროცესების დამოუკიდებლად იმიტირება და ამ პროცესების შედეგად ქსელის ცალკეულ ფაზებში წარმოქმნილი მაღალი რიგის ჰარმონიკების სპექტრის განსაზღვრა და პარამეტრების დადგენა.

საკვანძო სიტყვები: ელექტრორკალური ღუმელი, ელექტრომაგნიტური დაბრკოლებები, მართვის სისტემა.

Model for experimental research of electrodynamic processes in the power supply network

Dimitri Kharebava, doctoral student

Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, e-mail: d.kharebava@gtu.ge

Annotation. Examination of the existing "physical models of power supply networks" has been conducted and it is argued that these models do not allow a complete imitation of current electromagnetic processes in the power supply network, as they do not provide independent study of current electromagnetic processes in individual phases of networks. Accordingly, through these models: it is impossible for users to mimic the active and reactive loads generated in the power supply network, the static and dynamic asymmetric modes. Independent determination of reactive power factor in separate phases; It is also impossible to independently imitate the electromagnetic processes developed in separate phases as a result of the operating modes of asymmetric dynamic loads with asymmetric dynamic loads, and to determine the range and parameters of the high-order harmonics generated in the individual phases of the network.

Keywords: electric arc furnace, electromagnetic interference, control system.

შესავალი. ბოლო პერიოდში მსოფლიოში შექმნილმა ენერგეტიკულმა კრიზისმა წინა პლანზე წამოსწია ელექტრული ენერჯის უდნაკარგო გადაცემის აუცილებლობა. თანამედროვე ტექნოლოგიური დანადგარები განსაკუთრებით მგრძობიარე არიან მიწოდებული ელექტრული ენერჯის ხარისხისადმი, შესაბამისად ელექტრული მომარაგების ქსელისადმი წაყენებული მოთხოვნები განსაკუთრებით გამკაცრდა და პარამეტრების მონიტორინგს სულ უფროდაუფრო მეტი ყურადღება ეთმობა. ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე ელ. მომარაგების სიტემებისადმი წაყენებულ ერთერთ უმთავრეს ამოცანას წარმოადგენს ქსელის ელემენტებში მიმდინარე ელექტრო

მაგნიტური პროცესების შესწავლა. აუცილებელია პროექტირებისა და ექსპლუატაციის დროს ელექტროტექნოლოგიური დანადგარების მუშაობის რეჟიმების შესწავლა, მათი გავლენის შეფასება როგორც ელექტრული ენერჯის ხარისხის პარამეტრებზე ასევე ქსელში არსებულ სხვა მომხმარებლებზე. გადამწყვეტ მნიშვნელობას იძენს ქსელში მომხმარებლების საიმედო, უსაფრთხო და სასურველი, მაღალი სტანდარტების მქონდე ელექტრული ენერჯით მომარაგება.

სამუშაოს მიზანი. დამუშავდეს „ელექტრომომარაგების ქსელის დატვირთვების ფიზიკური მოდელი“ [1], რომელიც

უზრუნველყოფს დამოუკიდებლად გამოვიკვლიოთ ელექტრომომარაგების ქსელის ცალკეულ ფაზებში განვითარებული ელექტრომაგნიტური პროცესები და დავადგინოთ ქსელში გავრცელებული ელექტრომაგნიტური დაბრკოლებების წარმოქმნის მიზეზები და პარამეტრები [2,3].

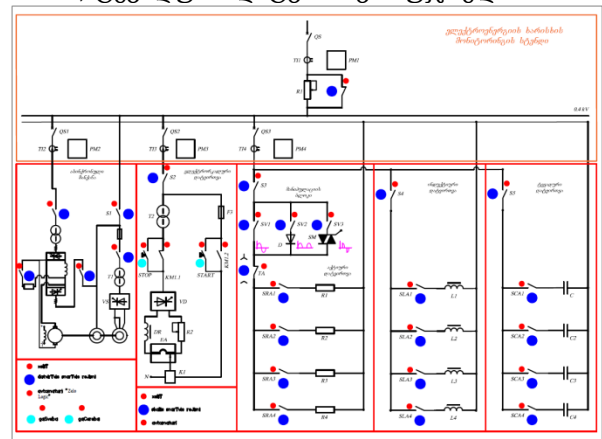
ელექტრომომარაგების სისტემაში მიმდინარე ელექტროდინამიკური პროცესების ექსპერიმენტული გამოკვლევის მოდელი დატვირთვების ხასიათის კვლევას უამრავი ნაშრომი მიემდვნა [4]. დატვირთვების მოდელირება უკავშირდება გარკვეულ სირთულეებს, რომლებიც განპირობებული არიან მრავალი განსხვავებული ელექტრომიმღებების არსებობით, რადგან, როგორც წესი თითოეული მოწყობილობისთვის ცალკეული მახასიათებლების მონიტორინგი არ ხორციელდება და შესაბამისად მათი დატვირთვების ხასიათზე მწირი ინფორმაცია გვაქვს.

საშუალო და დაბალი ძაბვის ქსელებში დიდია ისეთი კომპლექსების-საწარმოების რაოდენობა, რომელთა არსენალში შედის მთელი რიგი ერთმანეთისაგან განსხვავებული სამუშაო რეჟიმების მქონე მოწყობილობები [5]. ამ მოწყობილობების არაერთგვაროვანი დატვირთვების ხასიათი და სამუშაო რეჟიმები წამოქმნიან გარდამავალ პროცესებს და შესაძინე ცვლილებებს იწვევენ მკვებავ ქსელში. თავიდანვე მიზნად დავისახეთ შეგვესწავლა ელ.მომარაგების ქსელში მიმდინარე ელექტრომაგნიტური პროცესები. ამ პროცესების მოდელირებისთვის შეიქმნა ელექტრო მომხმარებლების დატვირთვების ფიზიკური მოდელი. ეს მოდელი უზრუნველყოფს ელექტრომომარაგების სისტემაში მიმდინარე ელექტროდინამიკური პროცესების იმიტაციას: ელექტროტექნოლოგიური დანადგარებისა და კომპლექსების მიერ ელექტრომომარაგების ქსელიდან მოთხოვნილი აქტიური და რეაქტიული დატვირთვების ტექნოლოგიური პროცესის მიხედვით შეცვლას, დატვირთვის ასიმეტრიული რეჟიმების წარმოქმნას და დატვირთვის დენის ფორმის დამახინჯებას, მკვეთრად ცვალებადი (ბიძგური) დატვირთვების შექმნას. მოდელი აგრეთვე საშუალებას იძლევა განისაზღვროს საკომპენსაციო რეაქტიული სიმძლავრის

მაქსიმალური მნიშვნელობა და რეგულირების გრაფიკი, რაც დამეთანხმებით ერთერთ უმთავრეს საკითხს წარმოადგენს თანამედროვე ენერგოეფექტურობისადმი წაყენებული მოთხოვნების კუთხით. ასევე განისაზღვროს დატვირთვის ასიმეტრიული რეჟიმების პარამეტრები, დატვირთვის დენის ფორმის დამახინჯების შედეგად ქსელში წარმოქმნილი ძაბვის მაღალი სიხშირის ჰარმონიკებისა და ძაბვის ციმციმის („ფლიკერის“) მოვლენის პარამეტრები.

სტენდის აღწერილობა
 სდენდი შედგება მართვის სისტემისა და უჯრედისაგან:

- 1) ასინქრონული ძრავას უჯრედი;
- 2) აქტიური დატვირთვის უჯრედი;
- 3) ინდუქციური დატვირთვის უჯრედი;
- 4) ელექტრორკალური დატვირთვის უჯრედი.
- 5) ტევადური დატვირთვის უჯრედი;



ნახ. 1. ექსპერიმენტული გამოკვლევის მოდელის სქემა

დასკვნები

ჩატარებულია არსებული „ელექტრო-მომარაგების ქსელების ფიზიკური მოდელების“ გამოკვლევები და დასაბუთებულია, რომ აღნიშნული მოდელები არ იძლევა ელექტრომომარაგების ქსელში მიმდინარე ელექტრომაგნიტური პროცესების სრულყოფილი იმიტირების საშუალებას, რადგან მათში არაა გათვალისწინებული ქსელების ცალკეულ ფაზებში მიმდინარე ელექტრომაგნიტური პროცესების დამოუკიდებლად გამოკვლევა.

დამუშავებულია „ელექტრომომარაგების ქსელის დატვირთვების ფიზიკური მოდელი“, რომელიც, განსხვავებით მის

წინამორბედებისგან, საშუალებას გვაძლევს დამოუკიდებლად გამოვიკვლიოთ ელექტრომომარაგების ქსელის ცალკეულ ფაზებში ელექტრომომარაგების ქსელისა და მომხმარებლების ელექტროტექნოლოგიური დანადგარების მუშაობის ნორმალური და ავარიული რეჟიმების შედეგად განვითარებული ელექტრომაგნიტური პროცესები, დავადგინოთ ქსელში წარმოქმნილი ელექტრომაგნიტური დაბრკოლებების ხასიათი და პარამეტრები.

შემოთავაზებული „ელექტრომომარაგების ქსელის დატვირთვების ფიზიკურ მოდელზე“ ჩატარებული გამოკვლევებით მიღებული მეცნიერული შედეგების პრაქტიკული რეალიზაცია საშუალებას მოგვცემს გავზარდოთ, როგორც ქსელის, ასევე ელექტრომომხმარებლების ენერგეტიკული მაჩვენებლები და ავამაღლოთ ენერგოეფექტურობა.

ლიტერატურა

1. Чунашвили Б.М., Кобаля М.И., Петросян А.М., Харева Д.Н. Физическая модель динамических нагрузок систем электроснабжения Вестник Нац.техн.ун-та "ХПИ"/Сб.науч.тр.Тем. Вып.: «Проблемы Автоматизированного электропривода» «Силовая Электроника и Энергоэффективность» ISSN 2079-8024 – г. Харьков (Украина): НТУ "ХПИ".2017. № 27 (1249). – с. 156-159
2. Вагин Г.Я. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике/Г.Я.Вагин, А.А. Севостьянов. Н. Новгород: Изд-во НГТУ, 2014.
3. Управление качеством электроэнергии / И.И. Карташев, В.Н. Тульский, Р.Г. Шаманов и др.;

под ред. Ю.В. Шарова. М.: Издательский дом МЭИ, 2006. 320 с.: ил.

4. Руководство по устройству электроустановок. Технические решения Schneider Electric. Москва: ЗАО «Шнейдер Электрик» 2009, с. 469.
5. Шеховцев В.П. Электрическое и электромеханическое оборудование. Москва : Форум: Инфра. М. 407 с

References (transliterated)

1. Tchunashvili B.M., Kobalia M.I., Petrosyan A.M., Kharebava D.N. Fizicheskaya model dinamicheskikh nagruzok sistem elektrosnabzheniya Vestnik Nats.tehn.un-ta "HPI": sb.nauch.tr.Tem. vyip.: «Problemyi Avtomatizmrovanного электропривода» «Silovaya Elektronika i Energoeffektivnost» ISSN 2079-8024– g. Harkov (Ukraina): NTU "HPI".2017. # 27 (1249). s. 156-159
2. Vagin G.YA. EHelektromagnitnaya sovместimost' v ehlektroehnergetike/ G.YA. Vagin, A.A. Sevost'yanov. N. Novgorod: Izd-vo NGTU, 2014.
3. Upravlenie kachestvom ehlektroehnergii / I.I. Kartashev, V.N. Tul'skiy, R.G. SHamanov i dr.; pod red. YU.V. SHarova. M.: Izdatel'skiy dom MEИ, 2006. 320 s.: il.
4. Rukovodstvo po ustroystvu ehlektroustanovok. Tekhnicheskie resheniya Schneider Electric. Moskva: ЗАО «SHneyder EHlektrik» 2009, s. 469.
5. SHEkhovcev V.P. EHlektricheskoe i ehlektromekhanicheskoe oborudovanie. Moskva : Forum: Infra. M. 407 s.

სს „თელასის“ გამანაწილებელი ქსელისათვის ელექტროენერჯის დანაკარგების სტრუქტურა და მათი ანგარიშის მეთოდების ანალიზი

ირაკლი შაველაშვილი, აკადემიური დოქტორი,

სს „თელასი“ ინჟინერი, თბილისი, საქართველო, e-mail: irakli.shavelashvili@telasi.ge

გივი შაველაშვილი, ტექნ. მეცნ. კანდიდატი, პროფესორი,

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი, საქართველო, e-mail: givi.shavelashvili@gtu.ge

დავით ტურძელაძე ტექნ. მეცნ. კანდიდატი, ასოცირებული პროფესორი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი, საქართველო, e-mail: turdzeladze59@gmail.com

ნინელი გოგინაშვილი, აკადემიური დოქტორი, ასოცირებული პროფესორი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი, საქართველო, e-mail: n.goginasghvili@gtu.ge

ანოტაცია. განხილულია შემუშავებული თელასის ელექტროენერჯის შემოდინების, სასარგებლო გაცემის და მარბების საფუძვრების მიხედვით ელექტროენერჯის დანაკარგების სტრუქტურის შესაბამისი, დანაკარგების ანგარიშის მეთოდების ანალიზი. შერჩეულია ელექტროენერჯის დანაკარგების ანგარიშის მეთოდი და მეთოდიკა, შერჩეულია სათანადო რტპ-3 პროგრამული კომპლექსი. წარმოდგენილია რტპ-3 პროგრამით შესრულებული ანგარიშების ჩამონათვალი და წარმოდგენილია შესაბამისი დასკვნები.

საკვანძო სიტყვები: ტექნიკური დანაკარგები, სტრუქტურა, მეთოდიკა, პროგრამა.

Structure of electricity losses for JSC "Telasi" distribution network and analysis of their calculation methods

Irakli Shavelashvili, PhD,

Engineer, JSC, „Telasi“, Tbilisi, Georgia, e-mail: irakli.shavelashvili@telasi.ge

Givi Shavelashvili, Candidate of Technical Sciences, Professor

Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, e-mail: givi.shavelashvili@gtu.ge

David Turdzeladze, Candidate of Technical Sciences, Assoc. Professor

Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, e-mail: turdzeladze59@gmail.com

Nineli Goginashvili, PhD, associate professor

Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, e-mail: n.goginasghvili@gtu.ge

Annotation. The paper discusses the analysis of the methods of calculation the losses corresponding to the structure of electricity losses according to the developed Telasi electricity inflow, utilization and voltage levels. The method and methodology of electricity loss calculation is selected, the appropriate RTP-3 software complex is selected. A list of reports performed under the RTP-3 program is presented and the relevant conclusions are presented.

Keywords: Technical losses, structure, methodology, program.

შესავალი: ელექტროენერჯია არის ენერჯის ერთადერთი სახეობა, რომლის გადაადგილებისა და გადაცემისათვის წარმოების ადგილიდან მოხმარების ადგილამდე არ გამოიყენება სხვა რესურსები. ამისათვის იხარჯება გადაცემული ელექტროენერჯის ნაწილი, ამიტომ გარდაუვალია მისი დანაკარგების არ არსებობა. ამოცანა მდგომარეობს მისი დონის, სიდიდის ეკონომიკური დასაბუთების განსაზღვრაში და ელექტრულ ქსელებში ელექტრო ენერჯის დანაკარგების შემცირებაში ეკონომიკურად დასაბუთებულ დონემდე. საქართველოს კანონი ელექტროენერჯეტიკის შესახებ [1] (თავი 7 გვ.27-

29) ავალდებულებს მარეგულირებელ ორგანოებს კანონის საფუძველზე და სახელმწიფო პოლიტიკის ძირითადი მიმართულებების საფუძველზე ტარიფის დადგენას. ენერჯო-მომმარაგებელმა ორგანიზაციებმა უნდა დაასაბუთონ ელექტროენერჯის დანაკარგების დონე, რომელსაც ისინი თვლიან მიზანშეწონილად რათა ჩართული იყოს შესყიდვის ტარიფში. ენერჯეტიკული კომისიები ახდენენ წარდგენილი დასაბუთებების ანალიზს, ახდენენ (საჭიროების შემთხვევაში) მის კორექტირებას და ჩართვას შესყიდვის ტარიფში. ამიტომ დიდი მნიშვნელობა ენიჭება

ელექტროენერჯის დანაკარგების სრულ-ფასოვნად და სწორად დათვლას [2].

სამუშაოს მიზანი: ელექტროენერჯის დანაკარგების ანალიზის ანგარიშის მეთოდის შემუშავება და მისი შემცირებისათვის ეკონომიკურად დასაბუთებული ღონისძიებების შემუშავება წარმოადგენს ერთ-ერთ მნიშვნელოვან და აუცილებელ საკითხს. აღნიშნული მიმართულებით დღეისათვის [6] საბოლოო გადაწყვეტილებები ჯერ მიღწეული არ არის. სს „თელასის“ დანაკარგების ანგარიშისა და ანალიზის ძირითად ამოცანას წარმოადგენს დანაკარგების უზნების გამოვლენა, მისი შემცირება და საანგარიშო სტრუქტურის განსაზღვრა.

ამდენად სამუშაოს ძირითად მიზანს შეადგენს ელექტროენერჯის ტექნიკური დანაკარგების ანალიზი, კვლევა, დანაკარგების ანგარიშის მეთოდის და პროგრამული კომპლექსის შერჩევა და რეალიზება სს „თელასის“ ქსელისათვის.

სს „თელასის“ გამანაწილებელი ქსელისათვის ელექტროენერჯის დანაკარგების სტრუქტურა და მათი ანგარიშის მეთოდების ანალიზი

ჩვენ მოერ შემუშავებული იქნა სს „თელასის“-ს ქსელისათვის ელექტროენერჯის შემოდინების, სასარგებლო გაცემის და დანაკარგების [3] სტრუქტურა, (ნახ. 1). საიდანაც ნათლად ჩანს სრული ტექნოლოგიური პროცესი.

ტექნიკური დანაკარგების ანგარიშის ერთ-ერთ აუცილებელ ამოცანად ითვლება ელექტროენერჯის ზუსტი კონტროლი და აღრიცხვა შესყიდვისა და განაწილების დროს.

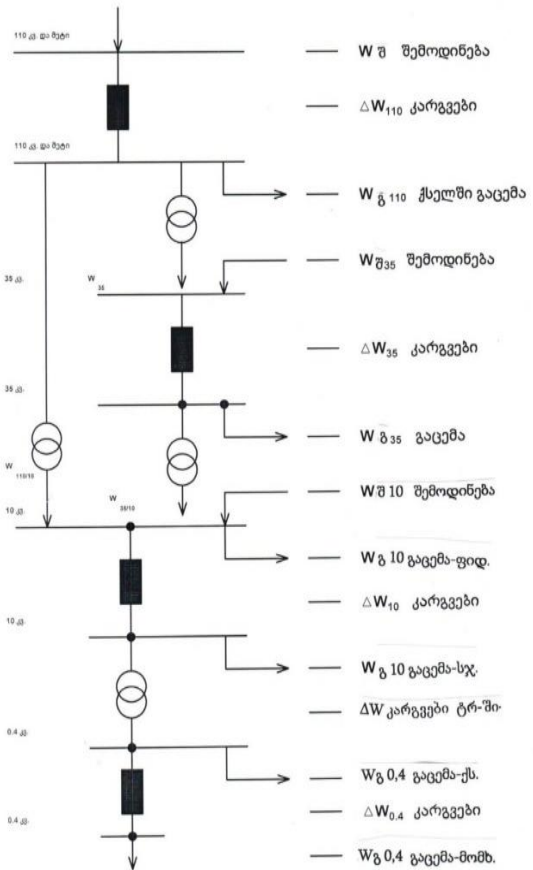
ელექტროენერჯის აღრიცხვის ანალიზი შედგება შემდეგი ეტაპებისგან: აუცილებელი ინფორმაციის მომზადება; ინფორმაციის დამუშავების თანმიმდევრული დამუშავება; ქსელის ელემენტებში ელექტროენერჯის გაზომვა; ელექტროენერჯის დანაკარგების ანალიზისთვის ელექტროენერჯის ბალანსების განსაზღვრა.

კარგების სტრუქტურა წარმოდგენილია ნახ. 1-ზე.

დანაკარგების ანალიზის საბოლოო მიზანია გამოვლენილი იქნას ქსელის კონკრეტული ელემენტები, სადაც მნიშვნელოვნად მომატებულია ტექნიკური კარგები, რათა მოხდეს მათი შემცირება და ასევე იმ კონკრეტული ადგილების გამოვლენა, სადაც არ

არის ელ.ენერჯის აღრიცხვა, რათა მოხდეს კომერციული კარგების აღმოფხვრა და შემცირება.

ყოველივე ზემოთ აღნიშნულის რეალიზებისათვის სრული ანალიზის შემდეგ, ჩვენს მიერ შერჩეული იქნა რტპ-3 პროგრამული კომპლექსი.



ნახ. 1. თელასის ელექტროენერჯის შემოდინების, სასარგებლო გაცემის და ძაბვების საფეხურების მიხედვით დანაკარგების სტრუქტურა

პროგრამული კომპლექსში რტპ-3 [7]

შედის:

- 1 - ენერგოსისტემის ელემენტების პარამეტრები;
- 2 - მრიცხველების ჩვენებები, ელექტროენერჯის გაცემა;
- 3 - ელექტროგადამცემი ხაზების სქემები;
- 4 - ენერგოსისტემის ხაზების სქემები და ელემენტების პარამეტრები;
- 5 - ელექტროენერჯის მრიცხველების მაჩვენებლები;

6 - ნორმატიული დანაკარგების სტრუქტურული მდგენელების ანგარიშის შედეგები;

7 - ელექტროენერჯის ბალანსების ფორმირება. ელექტროენერჯის და სიმძლავრის ანგარიშის შედეგები;

8 - სქემების და ანგარიშების გამოსახვის შედეგები.

კავშირი რტკ-3 პროგრამასა და ეაკას (ACKY3) შორის:

1. მგმ სისტემები ელექტროდანადგარების მიხედვით და მათი პასპორტიზაცია
2. ენერჯო გამსაღებელი
3. გეოსაინფორმაციო სისტემები
4. ინფორმაციის გამოსახვის სისტემები
5. ეაკმს (ACKY3)
6. ელ.ენერჯის დანაკარგის ნორმატივი
7. ენერჯოგასაღების სისტემები

გაანალიზებული იქნა დანაკარგების [4,5] ანგარიშის მეთოდები:

- პირობითად მუდმივი მეთოდი:

კარგები ძალოვან ტრანსფორმატორებში, მაკომპენსირებელ მოწყობილობებში სტატიკურ ტირისტორულ კომპენსატორებში, სინქრონულ კომპენსატორებში, კარგები დამამუშავებელი რეაქტორებში, გამანაწილებელი მოწყობილობების შემკრებ სალტებზე და შემაერთებელ გამტარებში.

- დღე-ღამური რეჟიმების დამახასიათებელი მეთოდი

- საშუალო დატვირთვის მეთოდი

- ყველაზე დიდი დანაკარგების დროის მეთოდი

- ექვივალენტური წინაღობის მეთოდი

- ელექტროენერჯის და სიმძლავრის დანაკარგების ანგარიშის სქემოტექნიკური მეთოდი სს „თელასისათვის“ ელექტროენერჯის ტექნიკური დანაკარგების ანგარიშისათვის ძირითადად შერჩეული და გამოყენებული იქნა:

- 0,4, 35, 6(10) ძაბვის ქსელისათვის:

საშუალო დატვირთვის მეთოდი;

• 110 კვ ძაბვის ქსელისათვის: საშუალო დატვირთვის მეთოდი ან ოპერატიული ანგარიშების მეთოდი;

საშუალო დატვირთვის მეთოდით ანგარიში ხდება გამოსახულების მიხედვით:

$$\Delta W_{H,j} = k_{\pi} k_{\kappa} \Delta P_{cp} T_j k_{\Phi}^2 \quad \text{კვტ.სთ} \quad (1)$$

სადაც ΔP_{cp} – კვანძებში დატვირთვის საანგარიშო ინტერვალისათვის ქსელში საშუალო სიმძლავრის კარგები, კვტ;

k_{Φ}^2 – ქსელის ჯამური დატვირთვის საანგარიშო ინტერვალისათვის, ძირითადი ელემენტის, გრაფიკის ფორმის კოეფიციენტის კვადრეტი;

k_{κ} – ქსელის განსხვავებული შტოების აქტიური და რეაქტიული დატვირთვის კოეფიციენტი, რომელიც მხედველობაში ღებულობს გრაფიკების კონფიგურაციის განსხვავებას, აიღება ძირითადი ელემენტის 0,99-ის ტოლი;

T_j – j-რი საანგარიშო ინტერვალის ხანგრძლივობა სთ.

ქსელის ჯამური დატვირთვის გრაფიკის ფორმის კოეფიციენტი საანგარიშო ინტერვალისათვის განისაზღვრება ფორმულით:

$$k_{\Phi}^2 = \sum_{i=1}^m P_i^2 \Delta t_i / (P_{cp}^2 T) \quad (2)$$

, მ.ე.

სადაც P_j – i-ურ საფეხურზე დატვირთვის მნიშვნელობა ხანგრძლივობით Δt_i , კვტ;

m – საანგარიშო ინტერვალში გრაფიკის საფეხურების რიცხვი;

P_{cp} – საანგარიშო ინტერვალში ქსელის საშუალო დატვირთვა, კვტ.

6-20 კვ ქსელისათვის და 35 კვ რადიალური ხაზებისათვის მნიშვნელობების ნაცვლად P_i და P_{cp} ფორმულაში (2) შეიძლება გამოყენებული იქნას მთავარი უბნის დენის მნიშვნელობა I_i და I_{cp} . ამ შემთხვევაში კოეფიციენტი k_{κ} ფორმულაში (1) აიღება ტოლი 1,02. დატვირთვის გრაფიკის

არ არსებობის შემთხვევაში მნიშვნელობა k_{Φ}^2 განისაზღვრება ფორმულით:

$$k_{\Phi}^2 = \frac{1 + 2k_3}{3k_3} \quad (3)$$

, მ.ე.

ქსელის ჯამური დატვირთვის შევსების კოეფიციენტი k_3 განისაზღვრება ფორმულით:

$$k_3 = \frac{W_o}{P_{max} T} = \frac{T_{max}}{T} = \frac{P_{cp}}{P_{max}} \quad (4)$$

, მ.ე.

სადაც W_i - ქსელში ელექტროენერჯის გაცემა დროში T , კვტ.სთ;

T_{max} - ქსელის უდიდესი დატვირთვების გამოყენების საათების რიცხვი.

i -რი კვანძის საშუალო დატვირთვა განისაზღვრება ფორმულით:

$$P_{cp\ i} = \frac{W_i}{T} \quad (5)$$

სადაც W_i - i -რ კვანძში T დროს განმავლობაში, მოხმარებული ენერჯიაა, (გენერირებული) კვტ.სთ.

ქსელის ჯამური დატვირთვის გრაფიკის შევსების კოეფიციენტის ანგარიშისათვის ინფორმაციის არ არსებობის შემთხვევაში ფორმულის აიღება, მიხედვით (4), $k_3 = 0,5$ -ის ტოლი.

ელექტროენერჯის დანაკარგები ფიდერედების მიხედვით განისაზღვრება [6] მთავარი აღრიცხვის უბანზე გატარებული ელექტროენერჯის მოცულობის მიხედვით:

$$\Delta W = (W_{2a} * K_{2ფა} + W_{2რ} * K_{2ფრ}) * R_{\Sigma} / U^2 T,$$

სადაც W_a - არის აქტიური ელექტროენერჯია;

W_r - რეაქტიული ელექტროენერჯია;

R_{Σ} - ქსელის გახსნილი უბნის ექვივალენტური წინაღობა, რომელიც შედგება ეგხ-სა და ტრანსფორმატორებისაგან.

სს „თელასის“ ქსელისათვის ელექტროენერჯის დანაკარგების ანგარიში და ანალიზი მოხდა PTH-3 პროგრამული კომპლექსის მიხედვით. პრაქტიკულად გაანგარიშებული და გაანალიზებული იქნა:

- ელექტროენერჯის ნორმირებული დანაკარგების ანგარიში;
- დასაშვები ფაქტიური უბალანსობა;
- აღურიცხავი ელექტროენერჯის რაოდენობა 0,4-110 კვ ძაბვის ქსელში;

მეტად მნიშვნელოვანი და საგრძნობია ელექტროენერჯის უქმი სვლის დანაკარგები ტრანსფორმატორებში. ტრანსფორმატორების საკმაოდ მნიშვნელოვანი ნაწილი არის დაუტვირთავი. ბოლო წლებში, ელექტროენერჯის აღრიცხვის სისტემების მოწესრიგებამ ძლიერი ზემოქმედება მოახდინა ქსელის დატვირთვების დონეზე და სატრანსფორმატორო ქვესადგურების უმრავლესობაში, ზამთრის პერიოდში დატვირთვა შეადგენს 45-55%-ით, ხოლო ზაფხულის პერიოდში 25-35% -ით.

სს „თელასში“ ხორციელდება მნიშვნელოვანი იმპესტიციების ჩადება და ხდება ქსელის და გამანაწილებელი მოწყობილობების რეაბილიტაცია, შესაბამისად შეინიშნება ელექტროენერჯის ტექნიკური დანაკარგების შემცირების ტენდენცია. დღეისათვის (ამჟამად) იმის მტკიცება, რომ არსებული ელექტროენერჯის ტექნიკური დანაკარგების სიდიდე არის ოპტიმალური არ შეიძლება. სს „თელასში“ მიმდინარეობს ტექნიკური დანაკარგების ანგარიშის სამუშაოები და პროცედურები. ამ პროგრამული კომპლექსის საფუძველზე გაანგარიშებული ელექტროენერჯის ტექნიკური დანაკარგების დონე საშუალებას მოგვცემს მოვახდინოთ მისი შედარება ფაქტიურთან და დავასაბათოდ ან უარვყოთ მისი სისწორე.

PTH-3 პროგრამული კომპლექსის მიხედვით ძირითადად შესრულდა:

1. დამყარებული რეჟიმის ანგარიში განშტოებებში სიმძლავრის, ნაკადების, დენების, კვანძებში ძაბვების დონეების, ხაზების და ტრანსფორმატორების ჩატვირთვის კოეფიციენტების 6(10), 35, 110 კვ გახსნილ ელექტრულ ქსელში არსებული ქსელის სქემების გამოყენებით;

2. 6(10), 35, 110 კვ გახსნილ ელექტრულ ქსელში ქსელის სქემების გამოყენებით, სიმძლავრის და ელექტროენერჯის დანაკარგების ანგარიში;

3. 0,38 კვ ელექტრულ ქსელებში ქსელის სქემების გამოყენებით ელექტროენერჯის და სიმძლავრის დანაკარგების ანგარიში (უბნების არასიმეტრიული დატვირთვის და უბნების არა სრულფასოვანი შესრულების დროს);

4. 0,38 კვ ელექტრულ ქსელებში, სქემების არ შეყვანით, ელექტროენერჯის და სიმძლავრის დანაკარგების ანგარიში განზოგადოებული პარამეტრებით ან ძაბვის ვარდნით;

5. ფაქტიური დასაშვები უბალანსობის და აღურიცხავი ელექტროენერჯის ანგარიში, გახსნილი ელექტრული ქსელისათვის, მიერთებული აბონენტების მიერ ფაქტიური მოხმარების (ქსელის კვანძებში) და ელექტროენერჯის დანაკარგების დასაშვები მეტროლოგიური მდგენელების გათვალისწინებით;

ანგარიშისათვის ამოსავალ (საწყის) მონაცემებად აღებული იქნა:

სისტემური პარამეტრები - ქსელის საანგარიშო სქემა:

- ხაზებისათვის: უბნების სიგრძეები, კაბელების და გამტარების ტიპები, კვეთები, პარალელური ხაზების რაოდენობა, საბალანსო საკუთრება;

- ტრანსფორმატორებისათვის: დადგმული სიმძლავრე, გამომყვანების მდგომარეობა, დატვირთვები, საბალანსო კუთვნილება.

ელექტროენერჯის ფაქტიური დანაკარგების მაჩვენებლები პრაქტიკულად ახლოსაა სეწმევის მიერ დადგენილ ნორმატიულ მნიშვნელობებთან მაგრამ მაინც აუცილებელია განხორციელდეს ელექტროენერჯის აღრიცხვის საშუალებების ქსელის ტექნიკური აღჭურვილობის გაუმჯობესება ძაბვების ყველა დონეზე.

დასკვნები

1. ელექტროენერჯის ფაქტიური და ტექნიკური დანაკარგების დონის ანალიზისათვის რეკომენდირებულია ელექტროენერჯის ტექნიკური დანაკარგების ანგარიში რტპ-3 პროგრამის გამოყენებით ჩატარდეს საანგარიშო პერიოდისათვის-თვე.

2. რადგან დაბალია ელექტროენერჯის დანაკარგები დმ-ის ქსელებში და იმის გამო, რომ ამ ქსელს გააჩნია თავისებურებები, სასურველია შემდგომში ელექტროენერჯის დანაკარგების ანგარიშისათვის გამოყენებული იყოს დანაკარგების ანგარიშის სქემური მეთოდი-საშუალო დატვირთვების მეთოდი:

- დასაწყისში შერჩეული იქნას ქსელის ცალკეული-დამოუკიდებელი უბანი და ჩატარდეს ტექნიკური დანაკარგების ანგარიში დაბალი ძაბვის ქსელებში;

- შერჩეული ლოკალური უბნისათვის, ჩატარდეს ძაბვის დანაკარგების გაზომვა და შეჯერდეს (შედარდეს) იგი საანგარიშო მონაცემების მნიშვნელობებთან;

- რეკომენდირებულია შემდგომში, ელექტროენერჯის აღრიცხვის ავტომატიზაციის საშუალებების გათვალისწინებით, ქსელში სჯ. 6(10)/0,4 კვ-ზე და ეკას-ს ბაზის მონაცემების რტპ-3-ის მონაცემებთან შეჯერებით, შესრულდეს ელექტროენერჯის ტექნიკური დანაკარგების ანგარიში, სრული, დაბალი ძაბვის

ქსელისათვის-საშუალო დატვირთვების მეთოდით.

3. იმ უბნებზე სადაც დამონტაჟებულია ძველი გამოშვების (დაძველებული) ელექტრო-ტექნიკური დანადგარები (ძირითადად ტრანსფორმატორები, რეაქტორები და სხვა) უნდა მოხდეს შესაბამისი გაზომვები (მ.შ და უქმი სვლის დანაკარგების) და მიღებული შედეგების მიხედვით მოხდეს საბაზისო მონაცემების შესწორება.

4. ელექტროენერჯის ტექნიკური დანაკარგები არის მუდმივად ცვალებადი სიდიდე და მისი ზუსტი განსაზღვრისათვის საჭიროა (მოითხოვება) მოხდეს მუდმივი კონტროლი გარკვეული ხანგრძლივობის დროის განმავლობაში.

ლიტერატურა

1. საქართველოს კანონი ელექტროენერგეტიკის შესახებ. 02.10.2008 საკონსტიტუციო სასამართლოს 12.19.2008. #1/2/411 გადაწყვეტილებით.
2. საქართველოს ენერგეტიკისა და წყალმომარაგების მარეგულირებელი კომისიის დადგენილებები. დადგენილება #24. 18.10. 2008.
3. ირაკლი შაველაშვილი, გივი შაველაშვილი. „სს თელასის ელექტროენერჯის დანაკარგების სტრუქტურის შედგენა“. თბილისი. ჟურნალი „ინტელექტუალი“ #32, 8 გვ. 2016.
4. Воротницкий В.Э., Железко Ю.С., Казанцев. «Потери электроэнергии в электрических сетях энергосистем». М.: Энергоатомиздат. 1983.
5. Овчинников А. «Потери электроэнергии в распределительных сетях 0,38-6(19)кВ» Новости электротехники. №1. 2003.
6. Железко Ю.С. Выбор мероприятий по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях. М.;Энергоатомиздат. 1989.
7. Воротницкий В.Э., Заслонов С.В., Калинкина М.А. «Программа расчета технических потерь мощности и электроэнергии в распределительных сетях 6-18кВ». Электрические станции. №8. 1999.

ელექტროენერგეტიკური სისტემები და კომპლექსები. ძალური ელექტრონიკა
Electric power systems and complexes. Power electronics

ულტრასწრაფი აღდგენის დიოდების გამოყენება თანამედროვე ძალურ გარდამქნელებში

ირმა ქათამაძე, ენერგეტიკისა და ელექტრული ინჟინერიის დოქტორი.
აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, ქ. ქუთაისი, საქართველო,
E-mail: irma.katamadze34@gmail.com

ანოტაცია. განხილულია ახალი ულტრასწრაფი აღდგენის დიოდები და მათი გამოყენება თანამედროვე ძალურ გარდამქნელებში. ასევე განხილულია სწრაფი აღდგენის რეჟიმის მუშაობის არსი. ულტრასწრაფი აღდგენის დიოდები ხასიათდება საუკეთესო პარამეტრებით, რაც მიიღწევა სხვადასხვა ტექნოლოგიური პროცესების გამოყენებით. ეს მნიშვნელოვნად აუმჯობესებს სწრაფი აღდგენის დიოდების ხარისხს და მათ გამოყენებას მაღალტექნოლოგიურ წარმოებაში.

საკვანძო სიტყვები: სწრაფი აღდგენის დიოდები, უკუწანაცვლების აღდგენის დრო, ტრანზისტორი, გარდამქნელი.

The use of fast-recovery diodes in modern power converters

Irma Katamadze, Doctor of Energy and Electrical Engineering.
Akaki Tsereteli State University, Kutaisi, Georgia, e-mail: irma.katamadze34@gmail.com

Abstract. The article discusses the new super-fast recovery diodes and their application in modern power converters. The essence of working in fast recovery mode is also discussed. The super-fast recovery diodes are characterized by the best parameters that are achieved using various technological processes. This significantly improves the quality of fast recovery diodes and their use in high-tech manufacturing.

Keywords: fast recovery diodes, reverse recovery time, Transistor, converter.

შესავალი: ბოლო ათწლეულში ფართო გამოყენება ჰპოვა თანამედროვე ძალურმა ტრანზისტორულმა გასაღებმა - IGBT (ბიპოლარული ტრანზისტორი იზოლირებული ჩამკეტით), რომელიც წარმოადგენს ლდნ და ბიპოლარული ტრანზისტორების სტრუქტურათა კომბინაციას.

IGBT-ს ახასიათებს აღნიშნული ტრანზისტორების საუკეთესო თვისებები:

- დიდი შესასვლელი წინაღობა, მართვისთვის მცირე მოთხოვნილი სიმძლავრე;
- ღია მდგომარეობაში ნარჩენი ძაბვის მცირე მნიშვნელობა;
- მუშა დენის და ძაბვის დიდი დიაპაზონი;
- მუშა სიხშირის დიდი დიაპაზონი;
- დიდი დენებისა და ძაბვების დროს მცირე დანაკარგები;
- მისი მართვა ხდება ძაბვით;
- გადართვების დროს სწრაფქმედებით მნიშვნელოვნად აღემატება ბიპოლარულ ტრანზისტორს, მაგრამ ჩამორჩება ველით მართულ ტრანზისტორს (მისი ჩართვის და გამართვის ხანგრძლივობა უმეტესად შეადგენს $0.5 \div 1.0$ მკწმ-ს),

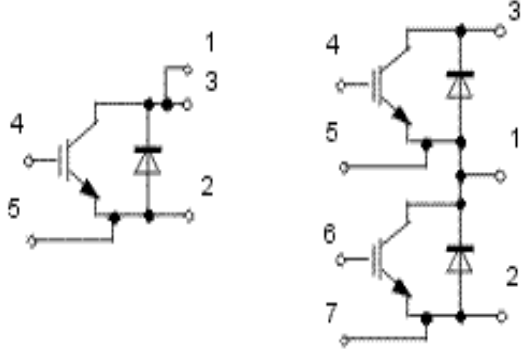
სხვა ნახევარგამტარულ გასაღებებთან შედარებით ერთი და იგივე გამოსასვლელი სიმძლავრის დროს ხასიათდება მცირე გაბარიტებით და მასით, გაზრდილი საიმედოობით, მცირე კონსტრუქციული ელემენტებით და სხვა.

თანამედროვე მძლავრ დენის გარდამქნელებში ეს ტრანზისტორები, სწრაფქმედების გაზრდის მიზნით, საჭიროებენ სწრაფი და ულტრასწრაფი აღდგენის დიოდების გამოყენებას.

სამუშაოს მიზანი: სამუშაოს მიზანს წარმოადგენს თანამედროვე ინვერტორებში ახალი ულტრასწრაფი აღდგენის დიოდების მნიშვნელობის განხილვა და IGBT ტრანზისტორებში მათი გამოყენების ანალიზი.

მაღალი ხარისხის თანამედროვე ძაბვის ავტონომიურ ინვერტორები, რომლებიც აგებულია მძლავრ IGBT ტრანზისტორებზე, მოითხოვს დამატებით დიოდების გამოყენებას, სწრაფი აღდგენის დიოდებს, რომლებიც ირთვება ტრანზისტორის შემხვედრ-პარალელურად (ნახ.2.) და მასში დენი გაედინება მაშინაც, როდესაც ტრანზისტორი ჩაკეტილია.

მნიშვნელოვანია, რომ სწრაფი აღდგენის დიოდები მუშაობდეს უსაფრთხოდ, გამართულად და ადაპტირებული იყოს მძლავრ IGBT ტრანზისტორებთან სამუშაოდ.



ნახ. 1. IGBT მოდულები

ინვერტორის ეფექტურობის გაზრდის ერთ-ერთი გზა არის IGBT ტრანზისტორში ენერჯის დანაკარგების შემცირება. რაც მიიღწევა საპირისპირო აღდგენის დენის სწრაფი ცვლილებით. ტრადიციული სწრაფი აღდგენის დიოდებში საპირისპირო აღდგენის დენის ცვლილების სიჩქარე დაახლოებით უტოლდება 500ა/მკწმ. თანამედროვე ინვერტორების ეფექტურობის ამაღლებისა და ტრანზისტორის კომუტაციის სიჩქარის გაზრდისთვის საჭიროა უფრო მაღალი კოეფიციენტი და შესაბამისად, ძალური გასაღებები მნიშვნელოვნად განაპირობებენ ძალური მოწყობილობების მაღალ სტანდარტებს. ამისათვის კი სწრაფი აღდგენის დიოდები უნდა აკმაყოფილებდეს შემდეგ მნიშვნელოვან პარამეტრებს:

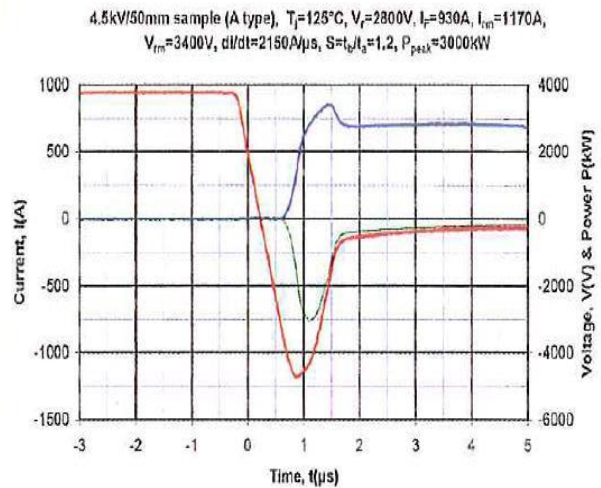
- უკუდენის ცვლილების საპირისპირო აღდგენის გაზრდილი სიჩქარე (dI / dt);
 - მცირე სიდიდის უკუდენი ($I_{უკუ}$), რაც საშუალებას იძლევა შემცირდეს IGBT ენერჯის დანაკარგები ჩართვისთანავე;
 - გაუმჯობესებული საპირისპირო აღდგენის სირბილე.
 - ავარიული მდგომარეობის შემთხვევაში მეტი საიმედოობა;
 - მაღალი მუშა ტემპერატურა და სხვა.
- ამგვარი მახასიათებლების მქონე დიოდების შექმნა შესაძლებელი გახდა არაერთი ექსპერიმენტის საფუძველზე. ტექნოლოგიური პროცესების ჩარევით შეიქმნა სხვადასხვა ტიპის ხელსაწყოები, რომლებსაც აქვთ ნომინალური ძაბვა - 4,5 კვ. თითოეულში გამოყენებულია მუხტის გადამტანების სიცოცხლისუნარიანობის

კონტროლის სხვადასხვა მეთოდი. შეიძლება გამოვიყენოთ ორი ტიპი დიოდების:

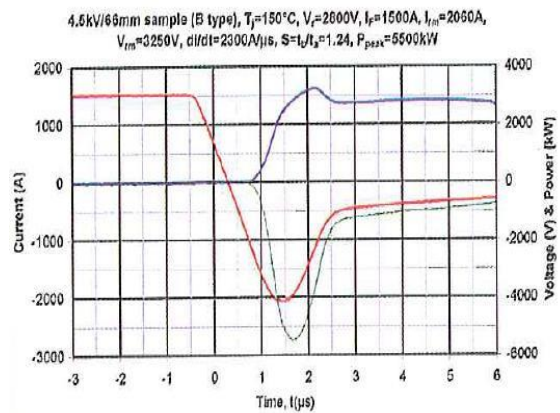
A ტიპის დიოდში - ოქროს დიფუზია ჰელიუმის ატომებთან;

B ტიპის დიოდში - პლატინის დიფუზია ჰელიუმის ატომებთან;

ორივე ტიპის დიოდების დინამიკური და სტატიკური მახასიათებლების შეფასებით დგინდება, რომ კარგი მახასიათებლები აქვს A ტიპის დიოდს, მაგრამ იმ შემთხვევებშია მისი გამოყენება მისაღები, როდესაც მუშა ტემპერატურა არ წარმოადგენს მნიშვნელოვან პარამეტრს (ნახ. 2). B-ტიპის დიოდს აქვს სტატიკური და დინამიკური თვისებების საუკეთესო კომბინაცია და შეუძლია უფრო მაღალ ტემპერატურაზე მუშაობა (ნახ.3). ამიტომ, მათ ფართოდ გამოიყენებენ წარმოებაში.

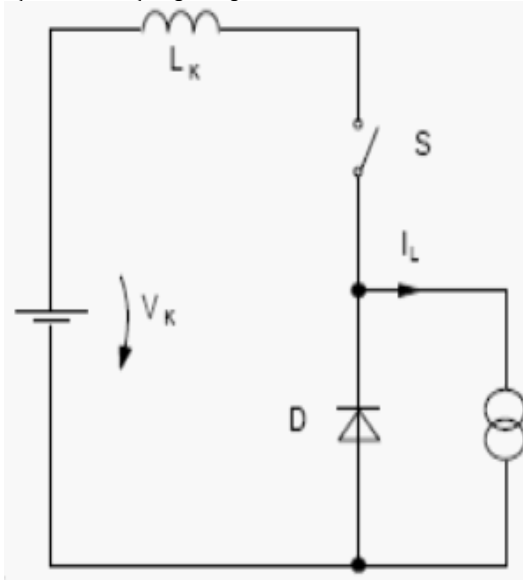


ნახ. 2. ნახ. 4.5 კვ/50 მმ A ტიპის დიოდის საპირისპირო აღდგენის ოსცილოგრამები



ნახ. 3. ნახ. 4.5 კვ/66 მმ B ტიპის დიოდის საპირისპირო აღდგენის ოსცილოგრამები

ნახ. 4,ა-ზე წარმოდგენილი ელექტრული სქემის მიხედვით მარტივად აიხსნება საპირისპირო აღდგენის რეჟიმის არსი. ნახ.4,ბ-ზე კი ნაჩვენებია საპირისპირო აღდგენის რეჟიმის დროითი დიაგრამები.



ნახ. 4,ა. სქემის კომპონენტებია: S-იდეალური გასაღები; I_L -დენის წყარო; L_K -ინდუქციურობა; V_K -ძაბვის წყარო

როდესაც დიოდი ჩაიკეტება, მასში ნარჩენი მუხტი იწვევს დიოდური დენის ზრდას საპირისპირო მიმართულებით. ამ დენის მრუდი ახასიათებს დიოდის საპირისპირო აღდგენის რეჟიმს. ხოლო, როდესაც გასაღები ჩაიკეტება, დიოდში გაივლის დენი.

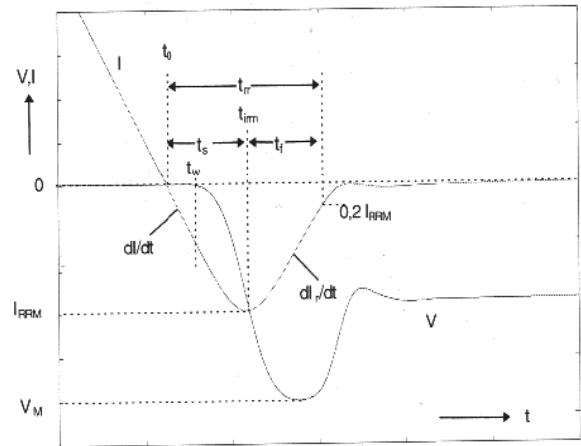
გადართვის სიჩქარე dI/dt განისაზღვრება ძაბვისა და ინდუქციის მიხედვით:

$$\frac{dI}{dt} = \frac{V_k}{L_k}$$

T_0 მომენტში (ნახ. 4,ბ.) დენის მნიშვნელობა უტოლდება ნულს. ამ დროს დიოდის p-n გადასასვლელი თავისუფლდება მუხტის გადამტანებისგან და t_{lim} დროს დიოდში გაივლის გაჟონვის დენი. საპირისპირო აღდგენის დრო t_{rr} მოიცავს t_f და t_s დროის ინტერვალებს (ნახ. 4,ბ) t_0 წერტილიდან იმ წერტილამდე, როდესაც დენი მიაღწევს უკუდენის 20%-ს. აქედან შეიძლება მივიღოთ არაზუსტი ფორმულირება „სირბილის“ კოეფიციენტის: $S = t_f / t_s$

იმპულსური უკუდენი I_{RPM} არის დიოდის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი პარამეტრი, რომელიც გავლენას ახდენს მთლიან დანაკარგებზე და საჭიროა მისი შემცირება.

საპირისპირო აღდგენის რეჟიმზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს გადაძაბვებიც და შეიძლება ის განხილული იქნას როგორც საპირისპირო აღდგენის რეჟიმის ერთ-ერთი მახასიათებელი, მაღალი ძაბვა ანელებს საპირისპირო აღდგენას.



ნახ. 4,ბ. დროითი დიაგრამები

დასკვნა. ზემოთ მოყვანილი ტექნოლოგიური გადაწყვეტილებების საფუძველზე შემუშავებულია მაღალი სიმძლავრის რბილი სწრაფი და ულტრასწრაფი აღდგენის დიოდების ხაზი, რომელიც ადაპტირებულია IGBT ტრანზისტორებთან მუშაობისთვის. ისინი აკმაყოფილებენ ყველა საჭირო მოთხოვნას აღნიშნული ტრანზისტორების საიმედო მუშაობისთვის სხვადასხვა გარდამქმნელ მოწყობილობებში.

ლიტერატურა

1. ი. ქათამაძე. ძალური ტრანზისტორები - IGBT მათი აგებულება და მუშაობის თავისებურებები. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია, „მდგრადი ენერგეტიკა: გამოწვევები და განვითარების პერსპექტივები“ 18 ივნისი, 2015, ქუთაისი. გვ. 57-61.
2. ირმა ქათამაძე. „ელექტრონიკის საფუძვლები, ამოცანები და სავარჯიშოები“. (დამხმარე სახელმძღვანელო) ქუთაისი-2014, 110 გვ.
3. <http://www.gaw.ru/html/cgi/txt/publ/igbt/transistor.htm>
4. <https://www.shindengen.com/products/semi/column/basic/diodes/frd.html>

5. <https://techweb.rohm.com/knowledge/si/s-si/02-s-si/4659>.
6. http://www.power-e.ru/2004_01_50.php
7. http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/doc/transistor/igbt_semi/2_3_1_3.htm.

References (transliterated)

1. Irma Katamadze „IGBT Mode Transistors, the Construction and Operating Peculiarities“ International Scientific Conference, "Sustainable Energy: Challenges and Development Perspectives" June 18, 2015, Kutaisi. P. 57-61.
2. Irma Katamadze. "Fundamentals of Electronics, Tasks and Exercises". (Auxiliary manual) Kutaisi-2014, 110 p.
3. <http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/publ/igbt/transistor.htm>

4. <https://www.shindengen.com/products/semi/column/basic/diodes/frd.html>
5. <https://techweb.rohm.com/knowledge/si/s-si/02-s-si/4659>.
6. http://www.power-e.ru/2004_01_50.php
7. http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/doc/transistor/igbt_semi/2_3_1_3.htm

სწრაფი აღდგენის დიოდები და მათი მუშაობის თავისებურებები

ირმა ქათამაძე, ენერგეტიკისა და ელექტრული ინჟინერიის დოქტორი.
აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, ქ. ქუთაისი, საქართველო,
E-mail: irma.katamadze34@gmail.com

ანოტაცია. განხილულია სწრაფი აღდგენის დიოდების პარამეტრები და მახასიათებლები, დასაბუთებულია მათი გამოიყენების უპირატესობა მაღალ და ზემალე სიხშირეებზე მუშაობისას. ზოგადი დანიშნულების დიოდებთან შედარების საფუძველზე განხილულია მათი მნიშვნელობა და მუშაობის თავისებურებები. trr- აღდგენის დრო სწრაფი აღდგენის დიოდებში მნიშვნელოვნად მცირეა სტანდარტულ დიოდებთან შედარებით. რაც მიიღწევა სხვადასხვა ტექნოლოგიური მეთოდების გამოყენებით. კერძოდ, გამოიყენება სილიციუმის შენადნობში ოქროს ან პლატინის დიფუზიის მეთოდი. ეს საშუალებას იძლევა შემცირდეს საპირისპირო აღდგენის დრო, რაც უპირატესობას ანიჭებს ამ სახის დიოდებს ფართო გამოყენება ჰპოვოს მაღალსიხშირულ რეჟიმში მუშაობისას.

საკვანძო სიტყვები: სწრაფი აღდგენის დიოდები, უკუწანაცვლების აღდგენის დრო, გამმართველი, სიხშირე.

Fast recovery diodes and their operating peculiarities

Irma Katamadze, Doctor of Energy and Electrical Engineering.
Akaki Tsereteli State University, Kutaisi, Georgia, E-mail: Irma.katamadze34@gmail.com

Annotation. The paper discusses the parameters and characteristics of fast recovery diodes and justifies the advantages of their use when working at high and high frequencies are substantiated. Based on a comparison with general-purpose diodes, there are discussed their importance and operating peculiarities. The trr-recovery time in fast recovery diodes is significantly shorter compared to standard diodes, which is achieved due to the use of various technological methods. In particular, the gold or platinum diffusion method is used in silicon alloy. This makes it possible to reduce the reverse recovery time, which gives these types of diodes the advantage to be widely used when operating in high frequency mode.

Keywords: fast recovery diodes, reverse recovery time, rectifier.

შესავალი: თანამედროვე ელექტრონიკაში დიდი განვითარება ჰპოვა ძალურმა ელექტრონულმა მოწყობილობებმა, რომელთა სიმძლავრემ შეიძლება მიაღწიოს რამდენიმე მეგავატს. ასეთი მოწყობილობების ძირითად ელემენტურ ბაზას წარმოადგენს სხვადასხვა ნახევარგამტარული ხელსაწყოები. მათ შორის შეიძლება გამოვყოთ სწრაფი აღდგენის დიოდები (FRD - Fast recovery power diodes). ისინი წარმოადგენენ ნახევარგამტარულ ხელსაწყოს, რომელთაც გააჩნიათ სწრაფი აღდგენის დრო და მუშაობენ მაღალ სიხშირეებზე. სტანდარტული, გამმართველი დიოდებისგან განსხვავებით, რომლებსაც იყენებენ დაბალ სიხშირეებზე გამმართველ მოწყობილობებში ცვლადი ძაბვის გასამართად, მაღალსიხშირული სიგნალების გამართვისთვის უპირატესობა ენიჭება სწრაფი აღდგენის დიოდებს. ვინაიდან, მათ აქვთ ულტრამაღალი გადართვის სიჩქარე.

სამუშაოს მიზანი: სამუშაოს მიზანს წარმოადგენს თანამედროვე ტექნოლოგიური მეთოდების გამოყენებით სწრაფი აღდგენის

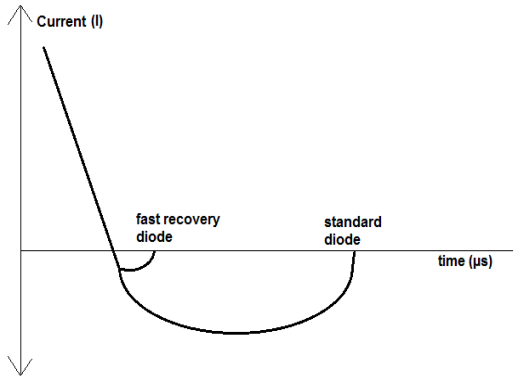
დიოდებში მიმდინარე პროცესების ანალიზი და მათი მუშაობის თავისებურებების განხილვა.

ელექტრულ მახასიათებლებზე დაკვირვებით სტანდარტული გამმართველი დიოდებისა და სწრაფი აღდგენის დიოდების შედარებითი ანალიზი.

სწრაფი აღდგენის დიოდებში მიმდინარე ელექტრული პროცესების განხილვა. სწრაფი აღდგენის დიოდები აგებულია იმავე წესით, როგორც სტანდარტული გამმართველი დიოდები. მაგრამ გამოიყენებენ მაღალ სიხშირეებზე მუშაობისას. რამდენიმე კვც – დან 100 კვც – ის ფარგლებში. ამიტომ, დიოდური მახასიათებლის საპირისპირო აღდგენის დრო - trr წარმოადგენს ერთ-ერთ მნიშვნელოვან პარამეტრს სწრაფი აღდგენის დიოდებში და ის საკმაოდ მცირე სიდიდისაა. trr მნიშვნელობის შესაფასებლად, თუ შევადარებთ სტანდარტულ გამმართველ და FRD დიოდებს, დავასკვნით, რომ გამმართველი დიოდების trr-აღდგენის დრო შეიძლება შეიცვალოს რამდენიმე მიკროწამიდან რამდენიმე ათეულ მიკროწამამდე. ხოლო, FRD –

ისტვის რამდენიმე ათეული ნანოწამიდან რამდენიმე ასეულ ნანოწამამდე შუალედში.

ნახ. 1-ზე წარმოდგენილ გრაფიკზე ნაჩვენებია სტანდარტული დიოდის და სწრაფი აღდგენის დიოდის t_{rr} აღდგენის დრო. გრაფიკზე აშკარად ჩანს, რომ სწრაფი აღდგენის დიოდის t_{rr} მნიშვნელოვნად მცირეა, ვიდრე სტანდარტულ, საერთო დანიშნულების დიოდში.



ნახ. 1. FRD და სტანდარტული დიოდების აღდგენის დრო - t_{rr}

დაბალ სიხშირეების დროს დიოდის აღდგენის დრო განსაკუთრებით მნიშვნელოვანი არ არის, ვინაიდან დროის პერიოდი უკუპროპორციულია სიხშირის $T = 1 / f$. ხოლო, მაღალ სიხშირეებზე აღდგენის დრო შეიძლება გახდეს ძალიან გადაწყვეტი. ამიტომ, მაღალი სიხშირის სქემებში უკეთესი და საიმედო მუშაობისთვის გამოიყენება სპეციალური დანიშნულების სწრაფი აღდგენის დიოდები.

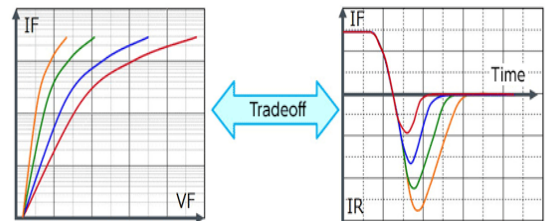
ჩვეულებრივ დიოდებში აღდგენის დრო შეადგენს რამდენიმე მიკროწამს. ხოლო, სწრაფი აღდგენის დიოდებს მხოლოდ ნანოწამი სჭირდება, რომ აღიდგინოს ღია მდგომარეობა. ეს ძალზე მნიშვნელოვანია ძალიან მაღალი სიხშირის მუშა რეჟიმებში.

სწრაფი აღდგენის დიოდები გამოიყენება კვების წყაროების, ინვერტორების, DC / DC გადამყვანების გადართვისას და ა.შ.

კონსტრუქციული განსხვავება SRD სახის დიოდსა და საერთო დანიშნულების გამმართველ დიოდს შორის არის, რეკომბინაციის ცენტრების არსებობა. სწრაფი აღდგენის დიოდების მისაღებად ნახევარგამტარულ მასალას ემატება ძვირფასი ლითონები: ოქრო (Au) ან პლატინა. ეს იწვევს რეკომბინაციის ცენტრების რიცხვითი მნიშვნელობის გაზრდას, რის გამოც მუხტის

გადამტანების სივრცის ხანგრძლივობა მცირდება და ისინი სწრაფად იწყებენ კომბინირებას. შედეგად მცირდება საპირისპირო აღდგენის დრო. მაგალითად, სილიციუმის ნახევარგამტარში ოქროს ან პლატინის დამატება მნიშვნელოვნად ზრდის დიოდის გადართვის სიჩქარეს და შესაბამისად იძლევა მათი მაღალი სიხშირეებზე მუშაობის შესაძლებლობას. ასეთი ტექნოლოგიით მიღებულ ხელსაწყოებს აქვთ სწრაფი აღდგენის დრო, ამიტომ უწოდებენ მათ სწრაფი აღდგენის დიოდებს.

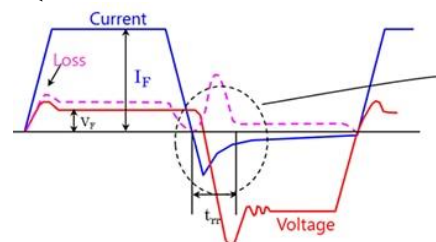
ნახ. 2-ზე წარმოდგენილია სწრაფი აღდგენის დიოდის ელექტრული მახასიათებლები სხვადასხვა სიხშირის მახვებისთვის, რომლებსაც აქვთ შესაბამისად სხვადასხვა საპირისპირო აღდგენის დრო.



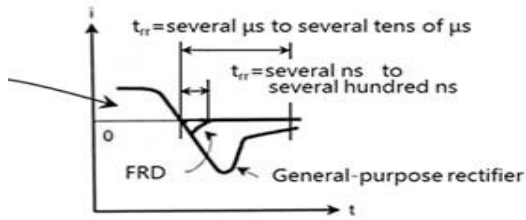
ნახ. 2,ა. დიოდის ელექტრული მახასიათებლები

გარკვეულ შეზღუდვას იძლევა ის, რომ არ შეიძლება რეკომბინაციის ცენტრების გაზრდა „უსასრულოდ“, გარკვეული ზღვარის მიღმა. მართალია, შესაძლებელია დავამატოთ ოქროს ატომები, რომ შევქმნათ უფრო მეტი რეკომბინაციის ცენტრი და ის ნამდვილად გაზრდის გადართვის დროს აღდგენის დროის შემცირებით, მაგრამ ამასთან ერთად გაიზრდება უკუპროცესიც.

ნახ. 3-ზე წარმოდგენილია საერთო დანიშნულების გამმართველი დიოდისა და სწრაფი აღდგენის დიოდის ელექტრული მახასიათებლები, მათი დაკვირვებით კარგად ჩანს, როგორ განსხვავდება მათი საპირისპირო აღდგენის დრო - t_{rr} .

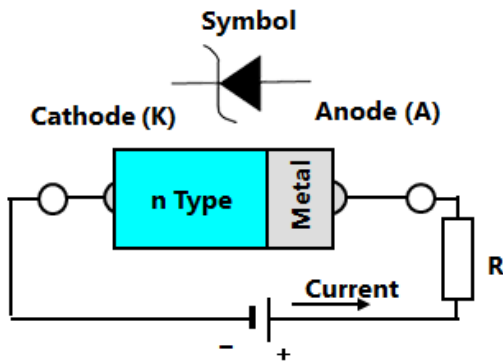


ნახ. 3,ა. საერთო დანიშნულების გამმართველი დიოდებისა და FRD-ის მახასიათებლები

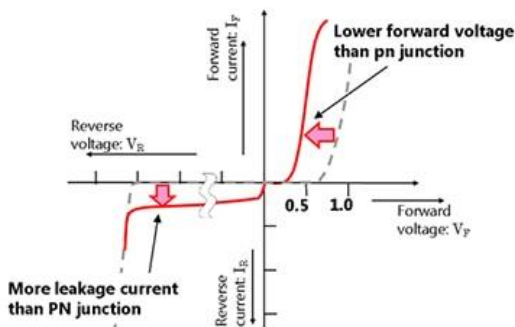


ნახ. 3,ბ. Trr- ის შედარება სტანდარტულ დიოდსა და სწრაფი აღდგენის დიოდებს შორის

კონსტრუქციის მიხედვით სწრაფი აღდგენის დიოდი შეიძლება დაიყოს ორ ტიპად ერთი იქმნება დიფუზიური P-N გადასასვლელით და მეორე ტიპი არის ლითონ-ნახევარგამტარის კონტაქტით (შოტკის ბარიერული დიოდები). შოტკის დიოდებს (ნახ.4,ა და ნახ.4,ბ) იყენებენ ზემოაღნიშნული სიხშირის დიოდებად.



ნახ. 4,ა. შოტკის ბარიერული დიოდის სიმბოლო და სტრუქტურა



ნახ. 4,ბ. შოტკის ბარიერული დიოდის ელექტრული მახასიათებლები

შოტკის დიოდის ძირითადი უპირატესობა p-n გადასასვლელიან დიოდებთან შედარებით ის არის, რომ პირდაპირი ძაბვის შემთხვევაში აღდი-

ლი არ აქვს არაძირითადი გადამტანების დაგროვებას და გაწოვას. ამის გამო შოტკის დიოდის ინერციულობა განპირობებულია მხოლოდ გადასასვლელის ტევადობით და გადასასვლელის ზომების შემცირების გზით შეიძლება შევამციროთ. მისი მუშაობის სიხშირის დიაპაზონია (3-15) გჰც, ხოლო აღდგენის დრო არის ძალიან მცირე. გარდა ამისა შოტკის დიოდის ვოლტ-ამპერულ მახასიათებელზე დენის დიაპაზონი არის უფრო ფართო, ვიდრე p-n გადასასვლელიანი დიოდის შემთხვევაში. ამის გამო შოტკის დიოდი გამოიყენება იმპულსურ რეჟიმში მუშაობის დროს.

დასკვნა. დადგენილია, რომ სწრაფი აღდგენის დიოდები, სხვა საერთო გამოყენების დიოდებისგან განსხვავებით ხასიათდება მაღალ სიხშირეებზე მუშაობის უნარით, რაც განპირობებულია trr საპირისპირო აღდგენის დროის მცირე სიდიდით. ეს თავის მხრივ შესაძლებელი გახდა თანამედროვე ტექნოლოგიური პროცესების გამოყენებით. ანალიზის საფუძველზე გამოიკვეთა სწრაფი აღდგენის დიოდების მთელი რიგი უპირატესობები სტანდარტულ ანუ საერთო გამოყენების დიოდებთან შედარებით:

1. გადართვის დიდი სიჩქარე;
2. მცირე საპირისპირო აღდგენის დრო;
3. გაუმჯობესებული ეფექტურობა;
4. გაზრდილი საიმედოობა.

ლიტერატურა

1. <https://www.shindengen.com/products/semi/column/basic/diodes/frd.html>
2. <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/fast-ultrafast-soft-standard-schottky-selecting-the-right-rectifier/>
3. ირმა ქათამაძე. „ელექტრონიკის საფუძვლები, ამოცანები და სავარჯიშოები“. (დამხმარე სახელმძღვანელო) ქუთაისი-2014, 110 გვ.
4. <https://techweb.rohm.com/knowledge/si/si/02-s-si/4659>

References (transliterated)

1. <https://www.shindengen.com/products/semi/column/basic/diodes/frd.html>
2. <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/fast-ultrafast-soft-standard-schottky-selecting-the-right-rectifier/>
3. Irma Katamadze. "Fundamentals of Electronics, Tasks and Exercises". (Auxiliary manual) Kutaisi-2014. 110 p.

ზემაღალი ძაბვის ელექტროგადამცემი ხაზების ცალმხრივად ჩართვის რეჟიმი

დავით ჯაფარიძე, დოქტორანტი

აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, ქ.ქუთაისი, საქართველო,

e-mail: davit.japaridze@atsu.edu.ge

ანოტაცია. განხილულია ზემაღალი ძაბვის ელექტროგადამცემი ხაზების ცალმხრივად ჩართვის რეჟიმი და წარმოდგენილია შესაბამისი მათემატიკური გამოსახულებები, რომლებიც აღწერენ ამ განსაკუთრებული რეჟიმის დროს მიმდინარე ელექტრულ პროცესებს. აღნიშნული საკითხი გამოკვლეულია საქართველოს ელექტროსისტემის 500 კვ ზემაღალი ძაბვის სისტემათაშორის ელექტროგადამცემ ხაზ „კავკასიონის“ მაგალითზე. მიღებულია ძაბვისა და რეაქტიული სიმძლავრის განაწილება ხაზის გასწვრივ ეგხ-ს ოპერირების ორი შემთხვევისათვის. პირველი, როდესაც ელექტროგადამცემ ხაზზე არ ხორციელდება რეაქტიული სიმძლავრის კომპენსაცია, ხოლო მეორე შემთხვევაში ხაზზე განთავსებულია რეაქტიული სიმძლავრის მაკომპენსირებელი დანადგარი მამუნტებელი რეაქტორის სახით.

საკვანძო სიტყვები: ზემაღალი ძაბვა, მაკომპენსირებელი დადანდგარი, მამუნტებელი რეაქტორი, რეაქტიული სიმძლავრე, სისტემაწარმომქნელი ქსელი.

One-way connection mode of extra-high voltage transmission lines

Davit Japaridze, doctoral student,

Akaki Tsereteli State University, Kutaisi, Georgia, e-mail: davit.japaridze@atsu.edu.ge

Annotation. One-way power connection mode of extra-high voltage transmission lines is discussed and corresponding mathematical equations are presented that describe an electrical processes going on during this particular regim . This issue is investigated on the example of 500 kV extra-high voltage transmission line "Caucasus".The voltage and reactive power distributions along the line are obtained for two cases of operation. The first is when no reactive power compensation is provided on the transmission line, and the second is when a reactive power compensation device is placed on the line in the form of a shunt reactor.

Key words: backbone network , compensating device, extra-high voltage, reactive power, shunt reactor.

შესავალი. ზემაღალი ძაბვის ხაზების ცალმხრივად ჩართვის რეჟიმის ქვეშ იგულისხმება რეჟიმი, როდესაც ხაზი ჩართულია მხოლოდ ერთი მხრიდან, ეს რეჟიმი შესაძლოა წარმოიქმნას მყისიერად ან იყოს წინასწარ დაგეგმილი. ამ რეჟიმის მყისიერი წარმოქმნა შესაძლებელია ხაზის რელეური დაცვისა და ავტომატიკის არასწორი, არასელექციური მოქმედებით აგრეთვე ტექნიკური პერსონალის შეცდომით ოპერატიული გადართვების შესრულებისას. ბუნებრივია, რომ ამ შემთხვევისათვის წინასწარი ღონისძიებების მიღება ვერ მოხერხდება. როდესაც საჭიროა ზემაღალი ძაბვის ხაზის ჩაყენება გეგმიურ სარემონტო მდგომარეობაში ან გვაქვს ხაზის სინქრონიზაციის რეჟიმი, ამ დროს წარმოქმნილი ცალმხრივად ჩართვის რეჟიმი წინასწარ დაგეგმილად შეგვიძლია მივიჩნიოთ და ამ განსაკუთრებული რეჟიმისათვის წინასწარი მომზადება შესაძლებელია [1].

ზემაღალი ძაბვის ხაზებში ცალმხრივი ჩართვის რეჟიმი ხასიათდება ძაბვის

მნიშვნელობის მკვეთრი ზრდით ხაზის გასწვრივ, ის თავის მაქსიმალურ/ექსტრემალურ მნიშვნელობას აღწევს ხაზის ბოლოს, სადაც ხაზი გამორთულია ცალმხრივად. მეორეხრივ, მკვეთრად იზრდება რეაქტიული სიმძლავრის დინება ხაზის გამორთულ ბოლოდან სათავისაკენ. იმ შემთხვევებში, როდესაც ხაზის სიგრძე რამდენიმე ასეულ ან ათასეულ კილომეტრს აღწევს, მაშინ აღნიშნული რეჟიმის პარამეტრთა მნიშვნელობებმა შესაძლოა მიაღწიოს დაუშვებელ სიდიდეებს. ცალმხრივი ჩართვის რეჟიმმა, მიუხედავად მისი ხანმოკლე ხანგრძლივობისა, შესაძლებელია დიდი პრობლემები შექმნას ელექტროსისტემაში. მაგალითად როგორცაა: სინქრონული გენერატორების, კომპენსატორების ან ძრავების თვითაგზნება, ხაზებზე ელექტრული გვრგვინის წარმოქმნა, ხაზთა და ელექტროდანადგართა ელექტრული იზოლაციის გარღვევა და სხვ, ამიტომ აღნიშნული რეჟიმი მეტად საყურადღებო და პრობლემატურია ზემაღალი ძაბვის ქსელებში [2]. აღსანიშნავია ის, რომ ზემაღალი ძაბვის

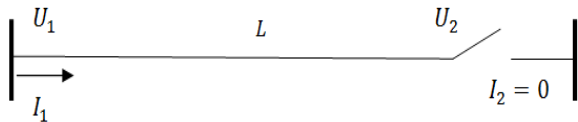
ხაზების ცალმხრივად ჩართვისა და უქმი სვლის რეჟიმებში მიმდინარე ელექტრული და ფიზიკური პროცესები იდენტურია. სტატიაში ცალმხრივად ჩართვის რეჟიმი განიხილება დამოუკიდებლად, რადგან უქმი სვლის რეჟიმი განეკუთვნება ნორმალური დამყარებული რეჟიმების, ხოლო ცალმხრივად ჩართვის რეჟიმი კი განსაკუთრებულ რეჟიმთა ჯგუფს.

ძირითადი ნაწილი. განვიხილოთ L სიგრძის ზემაღალი ძაბვის ელექტროგადაცემის ხაზის ცალმხრივი კვების რეჟიმი, ხაზი ჩართულია უსასრულოდ მძლავრი ენერგოსისტემის სალტეზე, სადაც ძაბვის მუშა მნიშვნელობა უცვლელია ($U_1 = const$) იხ.ნახ.1. როდესაც ხაზი სიმძლავრის მიმღებ კვანძში ამორთულია, მაშინ $I_2 = 0$, შორეული ხაზის განტოლებების გამოყენებით ძაბვის მნიშვნელობა სიმძლავრის მიმღებ კვანძში რეალური და იდეალური ხაზის შემთხვევებში იქნება [1]:

$$\begin{cases} U_2 = \frac{U_1}{ch\gamma_0 L} \\ U_2 = \frac{U_1}{\cos\lambda} \end{cases} \quad (1)$$

სადაც $\lambda = \beta_0 \cdot L$ – ხაზის ტალღური სიგრძე, კმ; γ_0 – ტალღის გავრცელების კოეფიციენტი; β_0 – ზემაღალი ძაბვის ეგხ-ს ფაზის ცვლილების კოეფიციენტი, რად/კმ.

(1) განტოლებათა სისტემიდან ჩვენ განვიხილავთ იდეალური ხაზის შემთხვევას, როგორც ფორმულიდან ჩანს, როდესაც $L \in (0 \div 3000)$ კმ წილადის მნიშვნელი ყოველთვის 1-ზე ნაკლებია და ამიტომ ძაბვის მნიშვნელობა ხაზის ბოლოს იქნება უფრო მეტი ვიდრე ხაზის თავშია.



ნახ. 1. ზემაღალი ძაბვის ხაზი ცალმხრივად ჩართვის რეჟიმში რეაქტიული სიმძლავრის კომპენსაციის გარეშე

შორეული ხაზის განტოლების მიხედვით ძაბვის მნიშვნელობა ხაზის ბოლოდან x მანძილზე, როდესაც $I_2 = 0$ გახლავთ [1]:

$$U_x = U_2 \cos\lambda_x \quad (2)$$

თუ კი (2) – ში გავითვალისწინებთ (1) – ს მაშინ მივიღებთ:

$$U_x = U_1 \frac{\cos\lambda_x}{\cos\lambda} \quad (3)$$

(3) განტოლების საშუალებით შესაძლებელია განვსაზღვროთ ცალმხრივად ჩართვის რეჟიმში ძაბვის მუშა მნიშვნელობა ხაზის ნებისმიერ წერტილში და ის საშუალებას გვაძლევს ავაგოთ ძაბვის განაწილების გრაფიკი ხაზის მთელ სიგრძეზე.

იდეალური ხაზის განტოლებიდან თუ დავუშვებთ, რომ $I_2 = 0$, მაშინ დენის მნიშვნელობა ხაზის ბოლოდან x მანძილზე იქნება [1]:

$$I_x = j \frac{U_2}{Z_c} \cdot \sin\lambda_x \quad (4)$$

სადაც Z_c – ხაზის ტალღური წინაღობა, ომი.

შესაბამისად სრული სიმძლავრის მნიშვნელობა ხაზის შუალედურ x წერტილში იქნება:

$$S_x = U_x \cdot \widehat{I}_x = -j \frac{U_2^2}{Z_c} \cdot \frac{\sin 2\lambda_x}{2} \quad (5)$$

თუ კი გავითვალისწინებთ (1)-ს მაშინ (5) შეიძლება ჩავწეროთ შედეგნაირად:

$$S_x = Q_x = -j \frac{U_1^2}{Z_c} \cdot \frac{\sin 2\lambda_x}{2 \cos^2 \lambda} \quad (6)$$

(6) განტოლების საშუალებით შესაძლებელია ზემაღალი ძაბვის ხაზზე ცალმხრივად ჩართვის რეჟიმისას ავაგოთ რეაქტიული სიმძლავრის განაწილება ხაზის მთელ სიგრძეზე. დენისა და რეაქტიული სიმძლავრის მნიშვნელობა ხაზის თავში, როცა $\lambda_x = \lambda$ (6) – ისა და (4) – ის მიხედვით განისაზღვრება:

$$\begin{cases} I_1 = j \frac{U_2}{Z_c} \cdot \sin\lambda = j \frac{U_1}{Z_c} \cdot \operatorname{tg}\lambda \\ S_1 = Q_1 = -j \frac{U_1^2}{Z_c} \cdot \operatorname{tg}\lambda \end{cases} \quad (7)$$

ზემოთ აღნიშნული გამოსახულებები სამართლიანია ზემაღალი ძაბვის ხაზებისათვის, რომლებიც არ შეიცავენ რეაქტიული სიმძლავრის მაკომპენსირებელ დანადგარებსა და სხვა შუალედურ ელემენტებს. მაგრამ შესაძლებელია ხაზის თავისა და ბოლო კვანძს შორის ელექტრულ კავშირზე არსებობდეს შუალედური ელემენტები (მამუნტებელი რეაქტორი, კონდენსატორთა ბატარეა, ქვესადგური და სხვ.) იხ.ნახ.2, მაშინ (1) განტოლება იდეალური ხაზისათვის ჩაიწერება შემდეგნაირად [1]:

$$U_2 = \frac{U_1}{A_0} \quad (8)$$

სადაც A_g – კომპენსირებული ელექტრული ქსელის ექვივალენტური ოთხპოლუსას მუდმივა, რომლის სიდიდე დამოკიდებულია ხაზის თავისა და ბოლო კვანძს შორის ელექტრულ კავშირზე არსებული შუალედურ ელემენტთა ელექტრულ პარამეტრებზე.



ნახ. 2. ზემაღალი ძაბვის ხაზი ცალმხრივად ჩართვის რეჟიმში რეაქტიული სიმძლავრის კომპენსაციისას

კომპენსირებული ხაზის შემთხვევაში ძაბვისა და რეაქტიული სიმძლავრის განაწილების საპოვნელად (2) და (5) გამოსახულებებში უნდა გავითვალისწინოთ (8) გამოსახულება და მივიღებთ:

$$U_x = U_1 \frac{\cos \lambda x}{A_g} \quad (9)$$

$$\dot{S}_x = \dot{Q}_x = -j \frac{U_1^2}{Z_c} \cdot \frac{\sin 2\lambda x}{2A_g} \quad (10)$$

საქართველოს სისტემაწარმომქნელი ქსელის ზემაღალი ძაბვის ხაზების ცალმხრივად ჩართვის რეჟიმი – აღნიშნული პროცესი განვიხილოთ საქართველოს სისტემაწარმომქნელი ქსელის სისტემათაშორისი 500 კვ ეგზ - „კავკასიონის“ მაგალითზე. მოცემული ზემაღალი ძაბვის ხაზი ერთმანეთთან აკავშირებს საქართველოსა და რუსეთის ელექტროსისტემებს, ამ ხაზის სიგრძე დღესდღეობით 500 კვ ქვესადგურ „ჯვარში“ შეჭრის შემდეგ გახლავთ 389 კმ, ხოლო პერსპექტივაში 500 კვ ნენსკრას კვანძის ექსპლუატაციაში (2024 წელი) შესვლის შემდეგ მისი სიგრძე შემცირდება 342 კმ-მდე. უნდა აღინიშნოს, რომ ხაზის ტრასა გამოირჩევა რთული რელიეფითა და მკაცრი გარემო პირობებით, ის გადადის კავკასიონის მთავარ ქედზე. აღნიშნული ხაზი შესრულებულია AC – 3x300/67 ტიპის საჰაერო სადენით, ხაზის ელექტრული პარამეტრებია: $\left[r_0 = 0,034 \frac{\text{ომი}}{\text{კმ}}; x_0 = 0,31 \frac{\text{ომი}}{\text{კმ}}; b_0 = 3,97 \cdot 10^{-6} \frac{\text{სიმ}}{\text{კმ}}; Z_c = \sqrt{\frac{x_0}{b_0}} = 279,44 \text{ ომი}; \right]$ [3].

ტექნიკური ექსპლუატაციის წესების თანახმად ცალმხრივად ჩართვის რეჟიმისას

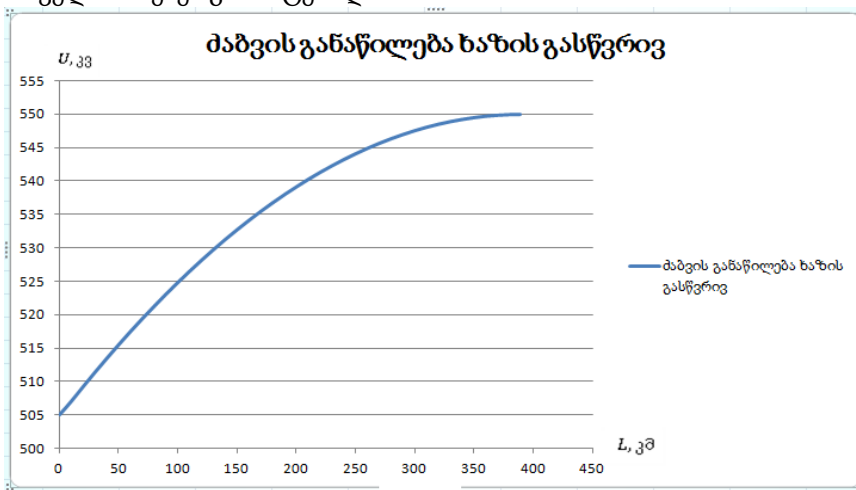
ელექტრული ქსელის ელექტროტექნიკურ დანადგარებში (დენის ტრანსფორმატორი, ამომრთველი, რეაქტორი და სხვ.) ძაბვის ხანმოკლე დროით ამაღლება დასაშვებია არაუმეტეს ნომინალური ძაბვის 10 %-ისა, თუმცა გადაძაბვის დასაშვები დრო 20 წთ-ზე ნაკლებია [4].

500 კვ ეგზ „კავკასიონის“ ცალმხრივად ჩართვის რეჟიმი რეაქტიული სიმძლავრის კომპენსაციის გარეშე – განვიხილოთ ამ 500 კვ ეგზ-ს მუშაობა ცალმხრივად ჩართვის რეჟიმში, ამ დროს „1“ კვანძად განვიხილოთ ცენტრალნაია(რუსეთი) ხოლო „2“ კვანძად ჯვარი (საქართველო) იხ.ნახ.1. მოგვხსენებთ, რუსეთის ელექტროსისტემა საქართველოს ელექტროსისტემაზე რამდენიმეჯერ უფრო მძლავრია ამიტომ დასაშვებია მივიღოთ, რომ ($U_1 = 505 \text{ კვ} = \text{const}$). (3) გამოსახულების მიხედვით განისაზღვრა ძაბვის განაწილება ეგზ „კავკასიონის“ გასწვრივ, როდესაც ხაზზე მაკომპენსირებული დანადგარები განთავსებული არ არის იხ.ნახ.3,ა. არაკომპენსირებული 500 კვ ეგზ „კავკასიონის“ ცალმხრივად ჩართვის რეჟიმისას ძაბვის განაწილებას საგანგაშო ხასიათი აქვს, კერძოდ ფაქტობრივად ხაზის მთელ სიგრძეზე ძაბვის გადახრის მნიშვნელობა აღემატება ნორმალური დამყარებული რეჟიმისათვის დასაშვებ სიდიდეს ($\Delta U_{\text{დას}} = +5\% \cdot U_{\text{ფ}} = 25 \text{ კვ}$), თუმცა რადგან განხილული შემთხვევა განსაკუთრებული რეჟიმების ჯგუფს მიეკუთვნება ამ შეზღუდვაზე არ შევჩერდებით. მოცემული განსაკუთრებული რეჟიმისათვის ძაბვის დასაშვები გადახრა, როგორც ზემოთ ავღნიშნეთ, გახლავთ $\Delta U_{\text{დას}} = +10\% \cdot U_{\text{ფ}} = 50 \text{ კვ}$. როგორც ვხედავთ, ძაბვა თავის ექსტრემალურ, მაქსიმალურ მნიშვნელობას აღწევს ხაზის გამორთულ ბოლოს 500 კვ „ჯვარის“ საკვანძო ქვესადგურში – $U_2 = 550 \text{ კვ}$ (იხ.ნახ.3,ა). ძაბვის მუშა მნიშვნელობა „ჯვარის“ კვანძში აღწევს დასაშვებ ჭერულ მნიშვნელობას, აღნიშნული სიდიდე სახიფათო ქვესადგურის ელექტროტექნიკურ დანადგართა და სახაზო არმატურისათვის, შესაბამისად აუცილებელია, რომ მივიღოთ საჭირო ორგანიზაციული და ტექნიკური ღონისძიებები. 500 კვ „ჯვარის“ კვანძში მაშუნტებელი რეაქტორის დადგმა ძაბვის განაწილების მზარდ ტენდენციას ხაზის გასწვრივ მკვეთრად შეამცირებს.

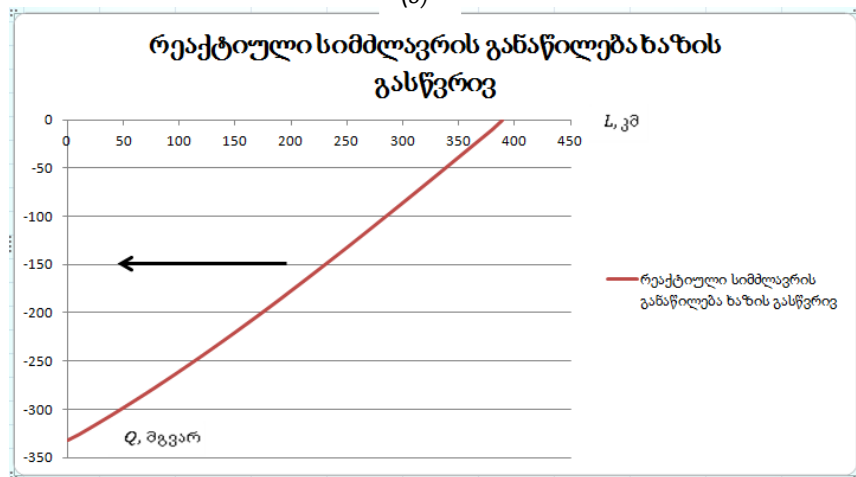
(6) გამოსახულების მიხედვით ვიპოვეთ რეაქტიული სიმძლავრის განაწილება ხაზის

გასწვრივ იხ.ნახ.3,ბ. მოგეხსენებათ, რეაქტიულ სიმძლავრეს ზემოაღნიშნული ძაბვის ხაზებში გააჩნია „გამჭოლი ეფექტი“, რომელიც გულისხმობს მას, რომ რეაქტიული სიმძლავრის ნაკადი მიმართულია მაღალი ძაბვის ნიშნულიდან დაბალი ნიშნისაკენ. ჩვენს შემთხვევაში ეგზ-ს ბოლო წერტილიდან („ჯვარის“ კვანძი, ექსტრემუმის წერტილი) ხაზის სათავისაკენ („ცენტრალნაიას“ კვანძი, რუსეთი). შესაბამისად ამ დროს საქართველოს ენერგოსისტემიდან

გადაედინება დიდი სიმძლავრის ტევადური რეაქტიული სიმძლავრე რუსეთის ელექტროსისტემაში, კერძოდ „ცენტრალნაიას“ კვანძში ამ დროს შედის $Q_1 \approx -332$ მგვარ რეაქტიული სიმძლავრე (იხ.ნახ.3,ბ). შევნიშნოთ, რომ კვანძში რეაქტიული სიმძლავრე აიღება „-“ ნიშნით, როდესაც ის მიმართულია ხაზიდან კვანძისაკენ, ხოლო „+“ ნიშნით როდესაც ის მიმართულია კვანძიდან ხაზისაკენ [2].



(ა)



(ბ)

ნახ. 3. არაკომპენსირებულ 500 კვ ეგზ „კავკასიონზე“ ცალმხრივად ჩართვის რეჟიმისას (ა) ძაბვის და (ბ) რეაქტიული სიმძლავრის განაწილება ხაზის გასწვრივ

500 კვ ეგზ „კავკასიონის“ ცალმხრივად ჩართვის რეჟიმი რეაქტიული სიმძლავრის კომპენსაციისას – ამ დროსაც „1“ კვანძად განვიხილოთ ცენტრალნაია (რუსეთი) ხოლო „2“ კვანძად ჯვარი (საქართველო) იხ.ნახ.2. აქაც, როგორც წინა შემთხვევაში ავღნიშნეთ ($U_1 = 505$ კვ = const). ვთქვათ, ჯვარის კვანძში

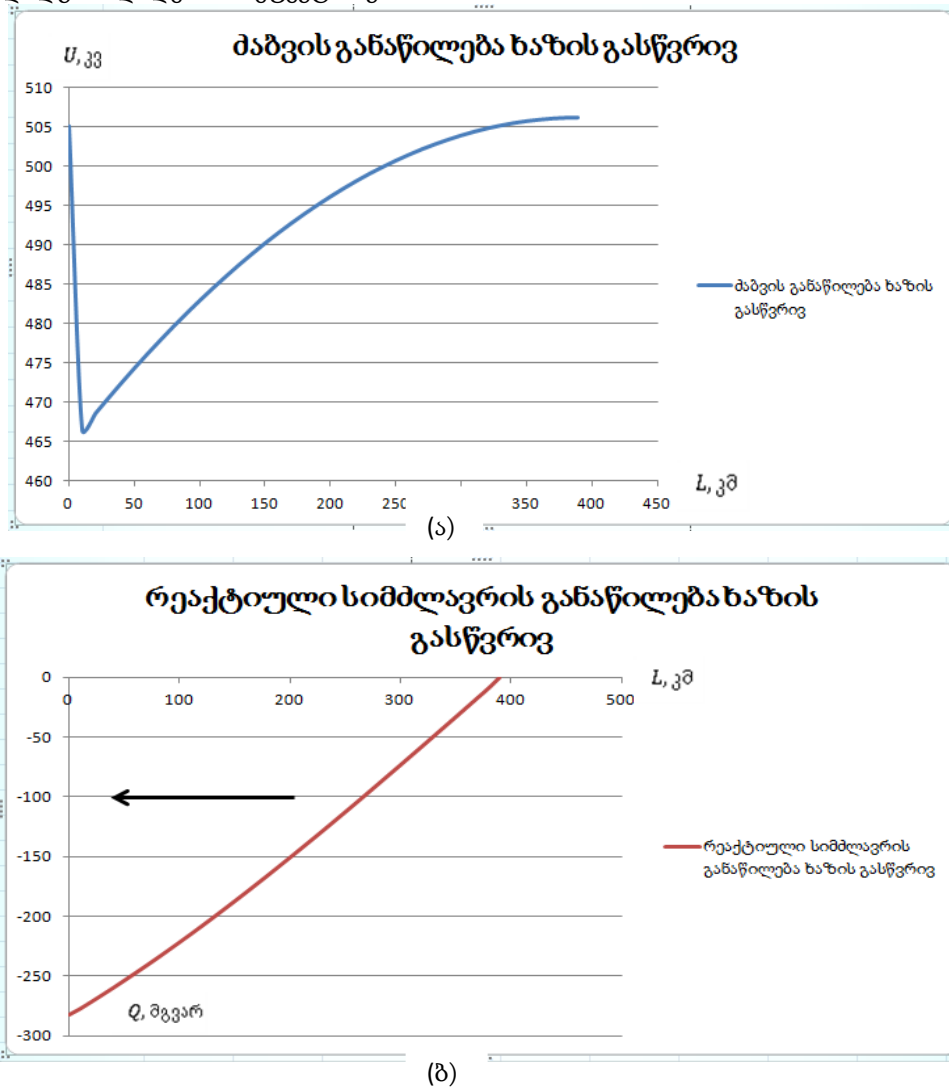
განთავსებულია POДЦ-60000/500Y1 ტიპის მამუნტებელი რეაქტორი, ვნახოთ როგორ შეცვლის ეს უკანასკნელი ძაბვისა და რეაქტიული სიმძლავრის განაწილებას ხაზის გასწვრივ.

როდესაც 500 კვ „ჯვარის“ ქვესადგურში დგას POДЦ-60000/500Y1 ტიპის მამუნტებელი რეაქტორი მაშინ ძაბვის განაწილებას ხაზის

გასწვრივ ვპოულობთ (9) გამოსახულებით. ამ შემთხვევის შინაარსი მდგომარეობს შემდეგში, როდესაც ზემოაღნიშნული ძაბვის ხაზზე წარმოიქმნა ცალმხრივად ჩართვის რეჟიმი, მაშინ ავტომატიზაციის ბლოკის მეშვეობით უმაღლეს ჩართვება მამუნიტებელი რეაქტორი, მიღებული შედეგები იხილეთ ნახ.4-ზე. როგორც ვხედავთ არაკომპენსირებული ხაზის შემთხვევისაგან განსხვავებით (იხ.ნახ.3,ა) ძაბვის განაწილებას ამ შემთხვევაში დასაშვები სახე გააჩნია (იხ.ნახ.4,ა). ძაბვის ექსტრემალური მნიშვნელობა აქაც, როგორც მოსალოდნელი იყო, გამორთული ხაზის ბოლოს 500 კვ ძაბვის კვანძ „ჯვარშია“ და ტოლია $U_2 \approx 506,07$ კვ. ასე, რომ „ჯვარის“ კვანძში რეაქტიული სიმძლავრის მაკომპენსირებელი დანადგარის დადგამა დადებითი ეფექტი იქონია

საკონტროლო კვანძებში ძაბვითა დასაშვებ ზღვრებში უზრუნველსაყოფად.

კომპენსირებული ხაზის შემთხვევაში კვანძებში ძაბვითა სიდიდეების შემცირებასთან ერთად მცირდება „ჯვარის“ კვანძიდან „ცენტრალნაიას“ კვანძისაკენ გადადინებული რეაქტიული სიმძლავრის ნაკადი. ამ დროს რუსეთის ენერგოსისტემის კვანძში საქართველოს ენერგოსისტემიდან შედის $Q_1 \approx -282,25$ მგვარ რეაქტიული სიმძლავრე (იხ.ნახ.4,ბ). ასე, რომ აღნიშნულ გასნაკუთრებულ რეჟიმში „ჯვარის“ კვანძში მამუნიტებელი რეაქტორის დადგამა პოზიტიური ეფექტი იქონია რეაქტიული სიმძლავრის ნაკადგადადინებათა რეგულირების კუთხითაც.



ნახ. 4. კომპენსირებულ 500 კვ ეგზ „კავკასიოთუ“ ცალმხრივად ჩართვის რეჟიმისას (ა) ძაბვის და (ბ) რეაქტიული სიმძლავრის განაწილება ხაზის გასწვრივ

დასკვნა

1. არაკომპენსირებული 500 კვ ძაბვის ეგხ „კავკასიონის“ ცალმხრივად ჩართვის რეჟიმისას ძაბვის განაწილებას ხაზის გასწვრივ საგანგაშო ხასიათი აქვს. ძაბვის მნიშვნელობა „ჯვარის“ კვანძში ტექნიკური ნორმებით გათვალისწინებულ ზღვრულ სიდიდეს აღწევს, ამიტომ საჭიროა დამატებითი ღონისძიებების მიღება.

2. არაკომპენსირებული 500 კვ ძაბვის ეგხ „კავკასიონის“ ცალმხრივად ჩართვის რეჟიმისას საქართველოს ენერგოსისტემიდან რუსეთის ენერგოსისტემაში გადაედინება დიდი ოდენობის რეაქტიული სიმძლავრე, რამაც შეიძლება გამოიწვიოს საქართველოს ენერგოსისტემაში რეაქტიული სიმძლავრის დეფიციტი, შესაბამისად მიზანშეწონილია ამ სიმძლავრის ნაკადის რეგულირება (შემცირება).

3. კომპენსირებული 500 კვ ძაბვის ეგხ „კავკასიონის“ ცალმხრივად ჩართვის რეჟიმისას, „ჯვარის“ კვანძში РОДЦ-60000/500Y1 ტიპის მაშუნტებელი რეაქტორის დადგამა ერთიმხრივ მოხსნა ძაბვის პრობლემა საკუთრივ ამ კვანძში და მეორემხრივ დასაშვებ ფარგლებში მოაქცია ძაბვის განაწილება ხაზის გასწვრივ.

4. კომპენსირებული 500 კვ ძაბვის ეგხ „კავკასიონის“ ცალმხრივად ჩართვის რეჟიმისას, „ჯვარის“ კვანძში РОДЦ-60000/500Y1 ტიპის მაშუნტებელი რეაქტორის დადგამა შეამცირა საქართველოს ელექტროსისტემიდან რუსეთის ელექტროსისტემაში გადადინებული

რეაქტიული სიმძლავრის მნიშვნელობა, ამიტომ მაშუნტებელი რეაქტორების ინტეგრაცია ქსელში ამ კუთხითაც შედეგიანია.

ლიტერატურა

1. Рыжов Ю.П., Дальние электропередачи сверхвысокого напряжения. М.:Издательский дом МЭИ. 2007.
2. მახარაძე გ. ელექტროენერგეტიკული (ელექტრული) სისტემები. თბილისი: უნივერსალი. 2015.
3. საქართველოს გადამცემი ქსელის განვითარების ათწლიანი გეგმა 2019-2029. გადამცემი სისტემის ოპერატორი „საქართველოს სახელმწიფო ელექტროსისტემა“. თბილისი. 2019.
4. Карапетян И.Г., Файбисович Д.Л., Шапиро И.М., Справочник по проектированию электрических сетей. М.:Издательство „НЦ ЭНАС“. 2009.

References (transliterated)

1. Ryzhov Yu.P., Extra-high voltage long-distance power transmission. M - MPEI Publishing House, 2007.
2. Makharadze G. Electroenergetical (electrical) systems. Publishing house „Universal“, Tbilisi, 2015.
3. Georgia transmission network development ten-year plan 2019-2029. Transmission system operator "Georgian State Electrosystem", Tbilisi, 2019.
4. Karapetyan I.G., Faibisovich D.L., Shapiro I.M., Assistant in the design of electrical networks. M - Publishing House "NTs ENAS", 2009.

ინფორმაციული და ციფრული ტექნოლოგიები ენერჯეტიკაში
Information and digital technologies in Energy Engineering

მონაცემთა გენერაცია, სტრუქტურა და მოძიება

პეტრე გელხვიძე, აკადემიური დოქტორი, ასოცირებული პროფესორი
აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი ქ.ქუთაისი, საქართველო
e-mail petre.gelkhviidze@atsu.edu.ge

ზაზა მარდალეიშვილი, აკადემიური დოქტორი, ასისტენტ-პროფესორი
აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, ქ.ქუთაისი, საქართველო
e-mail; zaza.mardaleishvili@atsu.edu.ge

ანოტაცია: მულტისერვისულ ქსელებში განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება სატელეკომუნიკაციო ქსელში მოთხოვნების შემოსვლის ნაკადების შესწავლას, რომლის შედეგების საფუძველზე შესაძლებელია ქსელთან დაკავშირებული პრობლემების განხილვა და გადაწყვეტა. მაგრამ, პულსირებული, ანუ სტრუქტურული ნაკადების აღწერისა და რაოდენობრივი შეფასებისას კორელაციის ფუნქცია იძენს განსაკუთრებულ მნიშვნელობას, ვინაიდან, როგორც დროითი დაყოვნების ფუნქცია წარმოადგენს პოლინომიალურ და არაექსპონენციალურ ფუნქციას. რეალური ქსელი ყოველთვის შეიცავს შეზღუდული რაოდენობის რესურსებს, რაც იმას ნიშნავს, რომ შეზღუდული რაოდენობის რესურსის მოპოვების პროცესში აუცილებლად წარმოიქმნება არაწრფივი მოვლენები და ამის შედეგად თავს იჩენს ტრაფიკის წყაროებს შორის დამოკიდებულობა. გადატვირთულობის შემთხვევაში წარმოიქმნება ასეთივე არაწრფივობები მართვის მექანიზმებშიც, როგორებიცაა TCP (გადაცემის მართვის პროტოკოლი), Ethernet და სხვა. ნაშრომში მიღებული შედეგები ეძღვნება კავშირგაბმულობის მულტისერვისული ქსელების პროექტირებისა და ექსპლუატაციის პრობლემებს.

საკვანძო სიტყვები: მონაცემთა ბაზა, გენერაცია, პაკეტური კომუტაცია.

Data Generation, Structure and Retrieval

Petre Gelkhviidze, PHD, Associate Professor

Akaki Tsereteli State University, Kutaisi, Georgia, e-mail; petre.gelkhviidze@atsu.edu.ge

Zaza Mardaleishvili, PHD, Assistant Professor.

Akaki Tsereteli State University, Kutaisi, Georgia, e-mail; zaza.mardaleishvili@atsu.edu.ge

Annotation. In multiservice networks, particular importance is needed for the studying of the flow of requests entering the telecommunication network, according to its results it is possible to discuss and solve network-related problems. But, when describing pulsed or structural flows and quantitative evaluation the correlation function acquires special importance, whereas as a function of time delay it is a polynomial and non-exponential function, the real network always contains a limited number of resources, which means that in the process of obtaining a limited amount of resources non-linear events will inevitably arise and as a result the relationship between traffic sources will manifest itself. Overloading causes similar irregularities in control mechanisms such as TCP (Transmission Management Protocol), Ethernet and etc. The results obtained in the paper are devoted to the problems of design and operation of multi-service communication networks.

Keywords: Data Generation, Package switching

შესავალი. საერთაშორისო ექსპერტების თვალსაზრისით XXI საუკუნე იქნება გლობალური ინფორმაციული საზოგადოების საუკუნე. მის საფუძველს წარმოადგენს გლობალური ინფორმაციული

ინფრასტრუქტურა (Global Informational Infrastructure-GII), რომელიც მოიცავს კავშირგაბმულობის მძლავრ სატრანსპორტო ქსელებს, ინფორმაციის დამუშავებისა და განაწილების სისტემებს, მომსახურების

მრავალფეროვან საინფორმაციო სახეობებთან მიერთების საშუალებებს.

ყველა განვითარებულ ქვეყნებში მიმდინარეობს გლობალური ინფორმაციული ინფრასტრუქტურის შექმნისა და განვითარების სამუშაოები, რომლებიც ითვალისწინებს განვითარებადი ქვეყნების მოქცევას მსოფლიოს ერთიან საინფორმაციო სივრცეში. ამ საქმიანობაში ჩართულია მრავალი საერთაშორისო ორგანიზაცია და მათ შორის ყველაზე ავტორიტეტული ინფოტელეკომუნიკაციის სფეროში - ელექტროკავშირგაბმულობის საერთაშორისო საბჭო ITU (International Telecommunication Union), ამასთან ერთად, ტელეკომუნიკაციის დარგში სამეცნიერო-თეორიული და გამოყენებითი კვლევების ძირითად მიმართულებას წარმოადგენს თანამედროვე ქსელებისა და სისტემების ფუნქციონირების ხარისხობრივი მაჩვენებლების რაოდენობრივი შეფასების ახალი მეთოდების დამუშავება.

ტელეკომუნიკაციის ტექნოლოგიების სწრაფმა განვითარებამ და მომსახურების ახალ საფეხურებზე მოთხოვნების ზრდამ გამოიწვია მომსახურების ახალი სახეობების შექმნისა და მათი უსწრაფესად დანერგვის აუცილებლობა.

ღევანდელ ეტაპზე პერსპექტიულია კავშირგაბმულობის ქსელები პაკეტების კომუტაციით, რომელიც უკვე ფართოდ არის გამოყენებული ინფორმაციის ნებისმიერი სახეობის გადაცემისათვის. ქსელების არქიტექტურა განუხრელად რთულდება, განსხვავდებიან შემოთავაზებული მომსახურების სახეობებითა და დანიშნულებით. აღნიშნულის საფუძველზე ჩამოყალიბდა ახალი (შემდეგი) თაობის ქსელების (Next Generation Networks - NGN) კონცეპცია.

შემდეგი თაობის ქსელს შეუძლია გააერთიანოს ტელეკომუნიკაციის ინდუსტრიის ყველა სფერო - ტრადიციული სატელეფონო ქსელები და ინტერნეტ მომსახურება, კორპორატიული ქსელები და საერთო სარგებლობის ქსელები, სატრანსპორტო ქსელები და მიერთების ქსელები, სადენიანი და უსადენო ქსელები, სრულიად განსხვავებული ტექნოლოგიური ბაზისა და მომსახურების სახეობების ქსელები: შემდეგი თაობის ქსელების მთავარი თავისებურებაა - ღია მოდულური არქიტექტურა, რაც იძლევა ახალი მოდულების დამუშავებისა და დანერგვის საშუალებას და ამის

საფუძველზე მარტივდება ახალი ტექნოლოგიების, მომსახურებათა სახეობებისა და ფუნქციების დანერგვა და ურთიერთქმედება არსებულ ქსელებთან.

ყოველივე ამის საფუძველზე უნდა ვივარაუდოთ, რომ უახლოეს წლებში ტელეტრაფიკის თეორიისა და რიგთა თეორიის სპეციალისტების სამეცნიერო აქტივობა გაიზრდება. ვიმედოვნებთ, რომ ტელეკომუნიკაციის დარგის ახალი მიმართულებები საქართველოშიც მიაღწევს სრულყოფილებას და გახდება კომპიუტერული და სატელეკომუნიკაციო ქსელებისა და მისი კომპონენტების ანალიზის, მოდელირებისა და ოპტიმიზაციის ახალი ტექნოლოგიის საფუძველი.

სამუშაოს მიზანი. პულსირებულად ცვლადი სტუქტურების აღწერისა და რაოდენობრივი შეფასების მიზნით, აუცილებელია ქსელში შესაბამისი სატრაფიკო ტრასებზე ჩატარებული გაზომვების შედეგებით სარგებლობა. ტრაფიკის მოდელირებასთან დაკავშირებული კვლევების მიზანს წარმოადგენს თვითმსგავსების (self-similarity), ანუ ფრაქტალურობის იდენტიფიცირება, რაოდენობრივი მახასიათებლების შეფასება, შესაძლო ხანგრძლივი დამოკიდებულების შესწავლა, ქსელის ტრაფიკში ფრაქტალურობის მიზეზების არსებობის განმარტება და რიგების არსებობის გათვალისწინებით, ქსელის წარმადობის კვლევა.

მაშინ, როდესაც ანალიზური კვლევა შეუძლებელია, ხელოვნური ტრასების სინთეზის ალგორითმები განსაკუთრებულ მნიშვნელობას იძენენ, ვინაიდან მათი გამოყენებით შესაძლებელია ფრაქტალური დატვირთვის მიმართ მოდელირება. ხელოვნური ტრაფიკის სინთეზი გარკვეულად უფრო ხელსაყრელია ვიდრე რეალური გაზომვების შედეგად შედგენილი მოდელი, ვინაიდან:

- რეალური ტრასები ძალზე მოუხერხებელია გაზომვებისა და შედეგების დასაფიქსირებად;

- აღსაქმელად, შედარებით თვალსაჩინო პარამეტრები საშუალებას იძლევა რეალური მონაცემების საფუძველზე განვაზოგადოთ მოდელირების შედეგები ნებისმიერი ვითარებისთვის, რომელთა განსაზღვრა რთული ამოცანაა (ჰერსტის მაჩვენებელი, საშუალო მნიშვნელობები, დისპერსიის დამოკიდებულება აგრეგირების პარამეტრისაგან და სხვა) [1].

რეალური მონაცემები ავლენენ ურთულესი სტრუქტურული დამოკიდებულების ხასიათს, ვიდრე, შესწავლილი პროცესისათვის სპეციალურად ფორმირებული ვითარებები, რომლებსაც გააჩნიათ ხანგრძლივი დამოკიდებულებების მინაარსი.

პაკეტური კომუტაციის შემთხვევაში, ბიტების უწყვეტი ნაკადი გადაცემის ცვლადი სიჩქარით, ქმნიან პაკეტების ნაკადს, ამასთანავე პაკეტებს შორის დროის ინტერვალების განაწილების სიმკვრივე, ცალსახად განსაზღვრავს პაკეტების ნაკადის სტატისტიკურ თვისებას და წარმოადგენს წაგრძელების შემცველ განაწილებას. ბიტების ნაკადი გადაცემის $r(t)$ სიჩქარით, მიეწოდება მეხსიერების ელემენტს და პაკეტებს შორის დროის ინტერვალის τ ხანგრძლივობა განისაზღვრება ბუფერში ინფორმაციის დაგროვების საჭირო დროის ხანგრძლივობით. უნდა ჩავთვალოთ, რომ ბუფერის ტევადობა საკმარისია L_0 (ბიტებში) სიგრძის პაკეტის შესაქმნელად.

თუ ვიცით, გადაცემის საშუალო სიჩქარე, $r_{საშ}$, მაშინ

$$r_{საშ} \cdot \tau = L_0 \quad (1)$$

ხოლო r და τ შემთხვევით სიდიდეებს შორის დამოკიდებულების განსაზღვრის მიზნით ჩავთვალოთ, რომ $r_{საშ} = r$ დაშვების სამართლიანობა თუ პაკეტის L_0 სიგრძე არ არის დიდი, და მიღებულია, რომ $r_{საშ}$ დროის ინტერვალის განაწილების ფუნქცია განისაზღვრება შემდეგი დამოკიდებულებით:

$$g(\tau) = \frac{L_0}{\tau^2} f\left(\frac{L_0}{\tau}\right) \quad (2)$$

სადაც $f(r) = f\left(\frac{L_0}{\tau}\right)$ არის ბიტების ნაკადის საწყისი სიჩქარის განაწილების კანონი.

ბიტების ნაკადის $f(r)$ განაწილების კანონისაგან დამოუკიდებლად, მოდელის ასეთი გამარტივება იწვევს „მძიმე“ წაგძელებების წარმოქმნას პაკეტების ნაკადის განაწილებაში.

ამრიგად, პაკეტური ქსელების ტრაფიკში ფრაქტალურობის წარმოქმნას საფუძვლად უდევს ის მიზეზობრივი ფაქტორი, რომ ხდება ბიტების ნაკადის გარდაქმნა პაკეტების ნაკადად.

ანალიზის საფუძველზე შეიძლება დავასკვნათ, რომ (2) თანაფარდობა, $r_{საშ} = r$ დაშვების გათვალისწინებით სამართლიანია, თუ ქსელში რესურსების რაოდენობა შეუზღუდავია და

ტრაფიკის წყაროები ურთიერთ-დამოუკიდებელია. რეალურად, ეს დაშვება ნიშნავს, რომ ბუფერის მეხსიერებაში პაკეტების გადასვლის შემდეგ კავშირის არხები თავისუფლდებიან, ხოლო წარმოქმნილი დაყოვნება პაკეტების ხანგრძლივობის ტოლია. ეს

ფაქტორი განსაზღვრავს პაკეტებს შორის დროის ხანგრძლივობების განაწილების ხასიათს. როდესაც კავშირის არხი დაკავებულია, ფორმირებული პაკეტები რჩებიან მეხსიერებაში არხის განთავისუფლებამდე, რის შემდეგაც ხდება რამოდენიმე პაკეტის ერთბაშად გადაცემა. ამის გამო იზრდება პაკეტების ჯგუფ-ჯგუფად შემოსვლის ხასიათი და იზრდება წაგრძელებების სიმძიმე. აგრეთვე, რამოდენიმე პაკეტის ერთდროულად გადაცემის შემდეგ, წარმოიქმნება შუალედი, სანამ გადამგზავნ კვანძში არ იქნება მიღებული შესაბამისი დადასტურება. ამის გამო შემთხვევითი ცვლადი τ ავლენს დამატებით ცვალებადობას და შესაბამისად, აგრეთვე იზრდება წაგრძელების სიმძიმე. ასეთი ხასიათის განაწილებებიდან ამონაკრებებს აქვთ τ -ს მცირე მნიშვნელობების შემთხვევაშიც ალბათობების სასრული მნიშვნელობები, განაწილებები ასევე შეიცავს τ -ს დიდ მნიშვნელობებსაც, განსაზღვრული ალბათობებით. ამ შემთხვევაში პაკეტებად გარდასახვის ხასიათი იცვლება და აღარ არის სამართლიანი (1) გამოსახულებით პაკეტის სიგრძის განსაზღვრა.

ზემოთაღნიშნულის საფუძველზე, მნიშვნელოვანია ვიპოვოთ $g(\tau)$ განაწილების სიმკვრივე, როდესაც $r = \varphi(\tau)$ გარდაქმნას აქვს ნებისმიერი სახე და საჭიროა მიღებული შედეგების გამოყენების შესაძლებლობების კვლევა ქსელის სტრუქტურებში ფრაქტალური ტრაფიკის მოდელირებისათვის.

პაკეტების ნაკადის სტატისტიკური თვისებების განსაზღვრავს შემდეგი ფაქტორები [1]:

- ინფორმაციის წყაროდან გენერირებული ბიტების ნაკადის ტრაფიკის შემთხვევითი ხასიათი;
- ბიტების ნაკადის, პაკეტების ნაკადად გარდაქმნის თავისებურებები;
- სატელეკომუნიკაციო ქსელის ხარისხობრივი მაჩვენებლების გაუმჯობესების მიზნით ნაკადის აგრეგაციის პროცესში მისი მიზნობრივი გარდასახვა.

რადგანაც ბიტების ნაკადის გარდასახვის გამო, პაკეტების შემოსვლა არათანაბარია, დროის ინტერვალები პაკეტების შემოსვლებს შორის იქნება შემთხვევითი სიდიდე.

პაკეტების ნაკადის სტატისტიკურ მახასიათებლებზე და სტრუქტურაზე ზეგავლენას ახდენს შემდეგი ფაქტორები [1]:

1. დროის დაყოფის პრინციპით მომქმედი ოპერაციული სისტემის თავისებურება იმაში მდგომარეობს, რომ სისტემის ყოველი პროცესი ვითარდება ვირტუალურ დროში, რაც ძირითადად განისაზღვრება მიღწევადი რესურსებით. ამიტომ მომსახურების სახეობათა დონიდან არხის დონემდე, ქმნის არათანაბარ დროის ინტერვალებს პაკეტების ფორმირების ფაზებს შორის, მაშინაც კი, როდესაც მონაცემთა ნაკადი თანაბარია.

2. მონაცემთა აგრეგირების ხასიათი განისაზღვრება მომსახურების სახეობათა გამოყენების დინამიკით, რომელიც მოითხოვს ქსელების ურთიერთქმედების საშუალებების გამოყენებას. მომსახურების სახეობათა გამოყენება ქმნის მონაცემთა გენერაციის ინტენსიობას, რომელიც განისაზღვრება ბუფერის შესაძლებლობით მეხსიერების მოცულობით და არხების გამტარუნარიანობით

3. სატრანსპორტო დონის პროტოკოლის მოქმედება უნდა უზრუნველყოფდეს პაკეტების სწორად გადატანასა და გადაცემის სიჩქარის რეგულირებას მონაცემთა წყაროსა და მიმღებს შორის უკუკავშირის შეკრული კონტურის გამოყენების საფუძველზე.

4. საარხო დონის პროტოკოლების მოქმედების თავისებურებაა პაკეტებს შორის დროის ინტერვალების ზრდა არხების გადატვირთულობის შესაბამისად, კოლიზიების გახშირების გამო.

5. სერვისების პარამეტრების ხარისხის უზრუნველსაყოფად მახასიათებლების და საჭირო შეზღუდვების შემოტანა გათვალისწინებულია საშუალოდ კვანძებში.

რადგანაც თანამედროვე სატელეკომუნიკაციო ქსელი არის სისტემა საშუალოდ დაგროვებით, აქ სრულად ვლინდება „ დიდ სიმრავლეთა შემარბილებელი ეფექტი, რომლის დახვეწილ განსახიერებას

წარმოადგენს პაკეტური კომუტაცია“ (ლეონარდ კლეინროკი - [2]).

განვიხილოთ ბიტების ნაკადის პაკეტებად გარდასახვის პროცესი. ინფორმაციის გადაცემის სიჩქარე, რომელიც მიღწევადია მომხმარებლისათვის K - მომსახურების სახეობის მისაღებად, იმის გათვალისწინებით, რომ მასზე მიერთება მომხმარებლისთვის მიღწევადია, არის სტოქასტური სიდიდე და შესაბამისად, წარმოადგენს დროის ფუნქციას ალბათური აღწერით. შესაბამის ალბათურ მახასიათებლებს შეიძლება წარმოადგენდეს შემთხვევითი სიდიდის უპირობო და ერთობლივი სიმკვრივეები, რომლებიც ასახავენ დროის ფიქსირებული მომენტების ნაკადს და რომლებიც წარმოადგენენ დროის ფიქსირებული მომენტებისათვის წერტილოვან ფუნქციებს, მაგალითად - ბიტების გადაცემის სიჩქარეს. მათი ერთობლიობა ქმნის ანსამბლს, რომელშიც, ნებისმიერი კომპონენტი არის $r^K(t)$ შემთხვევითი პროცესისათვის გამოვლენილი შერჩევითი ფუნქცია, რომელიმე კონკრეტული სენსისათვის. მისი რეალიზების მნიშვნელობები დროის გარკვეულ t_i მომენტებში განსაზღვრავენ $R_i^{(K)}$ შემთხვევით სიდიდეს. პაკეტური კომუტაციის დროს ბიტების ნაკადი გარდაიქმნება პაკეტების დისკრეტულ მიმდევრობად, ზოგად შემთხვევაში ცვლადი ხანგრძლიობებით.

რაოდენობრივი ანალიზის ჩატარების მიზნით, შემოვიფარგლოთ ფიქსირებული L სიგრძის პაკეტის განხილვით. ამ შემთხვევაში ტრაფიკის სტრუქტურა სრულად შეიძლება აღიწეროს პაკეტებს შორის ინტერვალების ხანგრძლიობების განაწილებით. ინტერვალის ხანგრძლიობა განისაზღვრება ბუფერში ინფორმაციის დაგროვების დროის ხანგრძლიობით, რომელიც საკმარისი უნდა იყოს, საჭირო L_0 სიგრძის პაკეტის შესაქმნელად:

$$\int_{t_i}^{t_i+\tau} r(t)dt = L_0 \quad (3)$$

ეს გამოსახულება წარმოადგენს τ ინტერვალზე, გადაცემის სიჩქარის საშუალო მნიშვნელობის, ნამრავლს, ინტერვალის τ ხანგრძლიობაზე:

$$r_{საშ} \cdot \tau = L_0 \quad (4)$$

სადაც

$$r_{საშ} = \frac{1}{\tau} \int_{t_i}^{t_i+\tau} r(t) dt$$

თუ პაკეტების სიგრძეები შედარებით მოკლეა, მაშინ $r_{საშ}$, მცირე ცდომილებით, შეიძლება ჩანაცვლდეს τ ინტერვალზე სიჩქარის მიმდინარე r მნიშვნელობით.

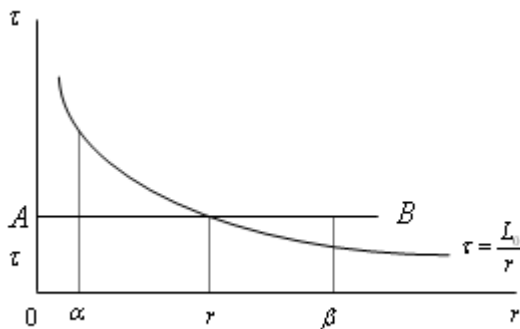
ეს დაშვება გვაძლევს საშუალებას განვსაზღვროთ τ და r შემთხვევით სიდიდეებს შორის ფუნქციონარული დამოკიდებულება:

$$\tau = \frac{L_0}{r} \quad (5)$$

რაც გვაძლევს საშუალებას ვიპოვოთ $g(\tau)$ უწყვეტი შემთხვევითი τ სიდიდის განაწილების კანონი, როგორც ერთი შეთხვევითი r არგუმენტის ფუნქცია, მაშინ, როდესაც ცნობილია მისი განაწილების $f(r)$ კანონი.

განვიხილოთ გრაფიკზე $[\alpha, \beta]$ ნებისმიერი მონაკვეთი, რომელზეც განაწინებულია β სიდიდის შესაძლო მნიშვნელობები, ანუ:

$$P(\alpha < R < \beta) = 1$$



β -ს შესაძლო მნიშვნელობების გრაფიკი

ამ ამოცანის ამოხსნის წესი დამოკიდებულია $\tau = \frac{L_0}{r}$ ფუნქციის მოქმედებაზე $[\alpha, \beta]$ მონაკვეთზე - რომელიც უწყვეტი და დიფერენცირებადი მოცემულ მონაკვეთზე.

რადგანაც (5) დამოკიდებულება მონოტონურად მიიღევა მოცემულ დადებით უბანზე:

$$G(r) = P(T < \tau) = P(r < R < \beta) = \int_r^\beta f(r) dr$$

მართლაც, რომ სრულდებოდეს პირობა $T < \tau$, შემთხვევითი წერტილი (R, T) უნდა მდებარეობდეს მრუდის იმ უბანზე, რომელიც AB სწორის ქვემოთ არის გავრცელებული.

ამისათვის აუცილებელი და საკმარისი პირობაა, რომ შემთხვევითი R სიდიდე აღმოჩნდეს r - დან β - მდე უბანზე.

მაშინ, თუ ზემოთ მოყვანილ გამოსახულებაში ინტეგრალის ქვედა ზღვარს გამოვსახავთ (5) პირობით, გვექნება:

$$r = \frac{L_0}{\tau}$$

და შესაბამისად:

$$G(\tau) = \int_{\frac{L_0}{\tau}}^\beta f(r) dr \quad (6)$$

მიღებული თანაფარდობის დიფერენცირება τ ცვლადით, რომელიც შედის ინტეგრირების ქვედა ზღვარში, გვაძლევს:

$$g(\tau) = -f\left(\frac{L_0}{\tau}\right) \cdot \frac{L_0}{\tau^2} \quad (7)$$

r და τ შემთხვევითი სიდიდეების ურთიერთდამოკიდებულება არის ინვარიანტული, ფუნქციისა და არგუმენტის ადგილმონაცვლეობის მიმართ და შესაბამისად მიზანშეწონილია ამ დამოკიდებულების წარმოდგენა განზოგადებული ცვლადების საფუძველზე:

$$y = \frac{k}{x}$$

რაც გვაძლევს საშუალებას, რომ (7) განაწილების კანონი განვიხილოთ, როგორც უკუგარდასახვა:

$$f(x) = -g\left(\frac{k}{x}\right) \cdot \frac{k}{x^2} \quad (8)$$

ტელეკომუნიკაციის ტექნოლოგიების სწრაფმა განვითარებამ და მომსახურების ახალ საფეხურებზე მოთხოვნების ზრდამ გამოიწვია მომსახურების ახალი სახეობების შექმნისა და მათი უსწრაფესად დანერგვის აუცილებლობა.

დღევანდელ ეტაპზე პერსპექტიულია კავშირგაბმულობის ქსელები პაკეტების კომუტაციით, რომელიც უკვე ფართოდ არის გამოყენებული ინფორმაციის ნებისმიერი სახეობის გადაცემისათვის. ქსელების არქიტექტურა განუხრელად რთულდება, განსხვავდებიან შემოთავაზებული მომსახურების სახეობებითა და დანიშნულებით. აღნიშნულის საფუძველზე ჩამოყალიბდა ახალი

(შემდეგი) თაობის ქსელების (Next Generation Networks - NGN) კონცეპცია.

დასკვნა

მიღებული შედეგების საფუძველზე დადგენილია, რომ ქსელის ტრაფიკში ხანგრძლივი დამოკიდებულების წარმოქმნის ძირითადი ფაქტორებია:

- მომხმარებლის ქცევა;
- მონაცემთა გენერაცია, სტრუქტურა და მოძიება;

- ტრაფიკის გაერთიანება;
- ქსელის მართვის საშუალებები;
- უკუკავშირზე დაფუძნებული მართვის მექანიზმები;

- ქსელის განვითარება.

ლიტერატურა

1. Турко С.А., Фомин Л.А., Будко П.А., Гахова Н.Н., Ватага А.И. Об оптимальном использовании сглаживающего влияния буферов на параметры трафика Ш-ЦСИС// Электросвязь, №10, 2002, стр.26-29.
2. Клейнрок Л. Принципы и уроки пакетной связи // ТИИЭР. 1978. т.66ю - №11. – стр.30-42.

References (transliterated)

1. Turko S.A., Fomin L.A., Budko P.A., Gakhova N.N., Vataga A.I. On the optimal use of the smoothing effect of buffers on the parameters of the B-ISDN traffic. // Electrosvyaz, No. 10, 2002, pp. 26-29.
2. Kleinrock L. Principles and lessons of packet communication // TIIEP. 1978.v. - №11.-pp. 30-42.

კიბერუსაფრთხოება ენერგეტიკის სექტორში

გიორგი იაშვილი

საქართველოს ინფორმაციული უსაფრთხოების ასოციაცია, თბილისი, საქართველო,

e-mail: g.iashvili@gisa.ge

ანოტაცია: მოხსენებაში განხილულია ტრადიციული საინფორმაციო ტექნოლოგიების (IT) და ენერგოსექტორისათვის დამახასიათებელი საოპერაციო ტექნოლოგიების (OT) ინფრასტრუქტურების მოწყვლადობის საკითხები. გარდა ამისა, განხილულია ენერგეტიკულ სექტორში მომხდარი ცნობილი კიბერინციდენტები, ხაზგასმულია ენერგოსექტორისათვის კიბერუსაფრთხოების უზრუნველყოფის მნიშვნელობა და გაანალიზებულია ამ მიმართულებით მსოფლიოში არსებული საუკეთესო პრაქტიკა.

საკვანძო სიტყვები: კიბერუსაფრთხოება, ენერგოსექტორი, მოწყვლადობა, ICS, კრიტიკული ინფრასტრუქტურა.

Cybersecurity in Energy

Giorgi Iashvili

Georgian Information Security Association, Tbilisi, Georgia, e-mail: g.iashvili@gisa.ge

Annotation: The report addresses the vulnerability issues of traditional information technology (IT) and energy sector-specific operating technology (OT) infrastructures. In addition, the well-known cyber incidents in the energy sector are reviewed, the importance of ensuring cybersecurity for the energy sector is highlighted and the existing best practices is analyzed.

Keywords: Cybersecurity, Energy, Vulnerability, ICS, Critical Infrastructure.

შესავალი

ენერგეტიკა ქვეყნის ეკონომიკის ერთ-ერთი მთავარი მამოძრავებელი დარგია. ამასთან, ჩვენი ქვეყნისთვის ის განსაკუთრებით კრიტიკული მნიშვნელობის მატარებელია, ვინაიდან ქვეყნის გეოპოლიტიკური ვითარებიდან გამომდინარე, ენერგეტიკული უსაფრთხოება საქართველოს ეროვნული უსაფრთხოების განუყოფელი ნაწილია.

ამავდროულად, დღეს მსოფლიოში მიმდინარე პროცესები ისე, როგორც არასდროს, არის დამოკიდებული ციფრულ ტექნოლოგიებზე და ეს დამოკიდებულება დღითიდღე უფრო და უფრო იზრდება. თითქმის წარმოუდგენელია სფერო, რომელშიც ბიზნეს პროცესების დასან ინფრასტრუქტურის მართვისათვის არ გამოიყენება ციფრული ტექნოლოგიები, აღარაფერს ვამბობთ სფეროებზე, რომლებიც უშუალოდ ციფრული სერვისების მიწოდებაზეა ორიენტირებული. შესაბამისად, დიდი მნიშვნელობა ენიჭება როგორც ციფრული ტექნოლოგიების უწყვეტი და შეუფერხებელი ფუნქციონირების საკითხს, ასევე, იმას, რომ ციფრული სერვისები იყოს სათანადოდ დაცული და სენსიტიურ ინფორმაციაზე წვდომა არ ჰქონდეს სხვა, არავტორიზებულ პირებს. ყოველივე აქედან გამომდინარე, ბევრ დარგში

კიბერუსაფრთხოების რისკების გათვალისწინება განსაკუთრებით კრიტიკული გახდა და ენერგეტიკული სექტორიც სწორედ ერთ-ერთ ამ დარგთაგანს წარმოადგენს.

ჩვენს შემთხვევაში კი, როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, ამ ყველაფერს ემატება ისიც, რომ კიბერუსაფრთხოება ასევე მჭიდრო კავშირშია ჩვენი ქვეყნის ენერგეტიკული უსაფრთხოების მნიშვნელოვან გამოწვევებთან, კერძოდ, არსებულ გეოპოლიტიკურ ფაქტორებსა და ენერგეტიკული ინფრასტრუქტურის გაუმართაობასთან. ენერგეტიკა ტრადიციულად მნიშვნელოვანი ბერკეტია ჩვენი ჩრდილოელი მეზობლის ხელში. ბოლო წლებში, სწორედ ასეთივე საშიშ ბერკეტად ჩამოყალიბდა რუსეთისთვის კიბერსივრცეში მიზანმიმართულად განხორციელებული შეტევები, რისი მაგალითებიც ახლო წარსულში მრავლად ფიქსირდება, მათ შორის საქართველოს მისამართითაც. არავისთვის წარმოადგენს სიახლეს ის, რომ რუსეთი კიბერაგრესიას (ისევე, როგორც აგრესიის სხვა ფორმებს) იყენებს ჩვენი ქვეყნის შიდა თუ საგარეო პოლიტიკაზე ზეგავლენის მოსახდენად.

ძირითადი ნაწილი

ქვეყნის ენერგეტიკული უსაფრთხოება გულისხმობს უწყვეტ ენერგომომარაგებას,

მიწოდების უსაფრთხოებას და აგრეთვე, ენერგეტიკული რესურსების დეფიციტის თავიდან არიდებას. იმისათვის, რომ ენერგია უწყვეტად და შეუფერხებლად მიეწოდებოდეს მოსახლეობას, აუცილებელია, უზრუნველყოფილი იქნას შესაბამისი ენერგეტიკული ინფრასტრუქტურის უსაფრთხოება.

ბოლო პერიოდში, ენერგობიექტების ფიზიკურ უსაფრთხოებაზე მეტად, საჭიროა, ყურადღება მიექცეს ობიექტების კიბერსივრცის სათანადოდ დაცვის საკითხებს, ვინაიდან ობიექტების მწყობრიდან გამოსვლის შემთხვევების დიდი ნაწილი სწორედ კიბერინციდენტებზე მოდის.

გამომდინარე იქიდან, რომ დღეს არსებულ რეალობაში ენერგობიექტებთან ფიზიკური მიახლოება და ამ გზით მის სამართავ საშუალებებზე წვდომის მოპოვება (განსაკუთრებით, კვალის დატოვების გარეშე) ძალიან გართულებულია, სწორედ კიბერშეტევები რჩება პრაქტიკულად ერთადერთ იარაღად ენერგობიექტებზე არაკეთილსინდისიერი ზემოქმედების მოხდენის მსურველთა არსენალში.

უსაფრთხოების რისკების მართვისას, როგორც წესი, ორგანიზაციები იკვლევენ და ადგენენ, კიბერუსაფრთხოების რომელი მახასიათებლის დარღვევაა მათთვის განსაკუთრებით კრიტიკული და რომელი შედარებით ნაკლებად მნიშვნელოვანი. ზოგიერთი ორგანიზაციისთვის ყველაზე მნიშვნელოვანი არის მომხმარებელთა შესახებ ინფორმაციის კონფიდენციალურად შენახვა, ხოლო ზოგიერთისთვის - მომხმარებელთათვის რომელიმე სერვისის უწყვეტი და შეუფერხებელი მიწოდება.

ენერგეტიკული ობიექტებისთვის ძნელია მსგავსი პრიორიტეტების ცალსახად დადგენა, ვინაიდან, როგორც წესი, თითქმის თანაბარი მნიშვნელობა ენიჭება ობიექტის გამართულ, შეუფერხებლად მუშაობას, მის სამართავ საშუალებებზე მხოლოდ ავტორიზებული პირების დაშვებას და მისი საინფორმაციო და სპეციალური (SCADA, ICS) სისტემების კონფიგურაციების მთლიანობის შენარჩუნებას. შესაბამისად, შეგვიძლია ვთქვათ, რომ ენერგეტიკული ობიექტებისათვის კრიტიკულად მნიშვნელოვანია კიბერუსაფრთხოების სამივე კომპონენტის გათვალისწინება.

ენერგოსექტორშიც, ისევე, როგორც ინდუსტრიის სხვა დარგებში, საინფორმაციო ტექნოლოგიები (IT) ტრადიციულად მკაცრადაა გამიჯნული საოპერაციო ტექნოლოგიებისგან (OT). მთავარი განმასხვავებელი ამ ორ ტექნოლოგიურ მიმართულებას შორის არის ის, რომ პირველი გულისხმობს ორგანიზაციის ადმინისტრაციული პროცესების მხარდაჭერას (შიდა ქსელი, სერვერები, ელ-ფოსტა, მონაცემთა ბაზები და სხვა), ხოლო მეორე - უშუალოდ სამრეწველო ბიზნეს პროცესისა და ამ ბიზნეს პროცესში ჩართული მანქანა-დანადგარების მართვას.

აღნიშნული ტექნოლოგიების ერთმანეთისგან გამიჯვნა განაპირობა ერთის მხრივ იმან, რომ საოპერაციო ტექნოლოგიების ფუნქციონირებისთვის სულაც არ იყო საჭირო მისი სხვა ქსელებთან (ობიექტის შიდა ქსელი - LAN, ინტერნეტ კავშირი) შეერთება, მეორეს მხრივ კი კიბერუსაფრთხოების უფრო მაღალი დონის მიღწევისათვის, სწორედ რომ მსგავსი სეგრეგირება იყო საჭირო. თუმცა, აღსანიშნავია, რომ ბოლო წლებში მიდგომები ნელ-ნელა იცვლება და საოპერაციო ტექნოლოგიებიც ხშირად აღარ არის სრულად სეგრეგირებული. ეს ყველაფერი გამოწვეულია მართვის პროცესის გამარტივებითა და მოქნილობის იმ ხარისხით, რის საშუალებასაც სწორედ ურთიერთდაკავშირებული ქსელები იძლევა.

საგულისხმოა, რომ ის SCADA და ICS სისტემები, რომლებიც დღესდღეობით ფუნქციონირებს სხვადასხვა ენერგობიექტებზე, კიბერუსაფრთხოების კუთხით მოწყვლადია და სისუსტეებს შეიცავს. ეს გასაგებიცაა, რადგან როდესაც აღნიშნული სისტემების აგება ხდებოდა (დაახლოებით 15-20 წლის წინ), კიბერუსაფრთხოების რისკების უმეტესობა არ იდგა დღის წესრიგში და ზოგადად, კიბერუსაფრთხოებაც არ წარმოადგენდა სისტემის ერთ-ერთ მთავარ და მნიშვნელოვან მახასიათებელს. თუ გავითვალისწინებთ ზემოხსენებულ ტენდენციას, რომ საოპერაციო ტექნოლოგიები სულ უფრო და უფრო ხშირად იკვეთება ობიექტის საინფორმაციო ტექნოლოგიების ინფრასტრუქტურასთან და აგრეთვე იმასაც, თუ რამდენად მოწყვლადია დღეს არსებული SCADA და ICS სისტემები, შეგვიძლია დანამდვილებით ვთქვათ, რომ კიბერუსაფრთხოება დღევანდელი

ენერგეტიკული სექტორისთვის ერთ-ერთი ყველაზე კრიტიკული მიმართულებაა.

ენერგოსექტორში კიბერუსაფრთხოების მნიშვნელობას ხაზს უსვამს ბოლო წლებში გამოვლენილი შემთხვევები, როდესაც კიბერშეტევები განხორციელდა ენერგობიექტებზე და შედეგად საგრძნობი ზიანი მიაღწია როგორც თვითონ ბიექტების ინფრასტრუქტურას, ასევე ზოგადად სახელმწიფოსაც. ქვემოთ მოყვანილია ჩვენს რეგიონში დაფიქსირებული მსგავსი შეტევების რამდენიმე მაგალითი:

2008 წლის აგვისტოში მოხდა აფეთქება ბაქო-თბილისი-ჯეიჰანის ნავთობსადენის ერთ მონაკვეთზე, რომელიც თურქეთის ტერიტორიაზე, კერძოდ, აღმოსავლეთ ანატოლიის რეგიონში მდებარეობს. მომხდარზე პასუხისმგებლობა ქურთისტანის მუშათა პარტიამ (PKK) აიღო, რომელიც თურქეთის მთავრობის მიერ ტერორისტულ ორგანიზაციადაა მიჩნეული და რომლისგანაც მსგავსი დესტრუქციული ქმედებები არაა უცხო. თუმცა, როგორც მოგვიანებით ექსპერტებმა განაცხადეს, აღნიშნულ აფეთქებას წინ უძღვოდა ნავთობსადენის სამეთვალყურეო სისტემაში უნებართვო შეღწევის ფაქტი, რაც იძლევა იმის ვარაუდის საშუალებას, რომ ადგილი ჰქონდა უფრო მასშტაბურ და მიზანმიმართულ კიბერშეტევას და არა უბრალოდ ენერგობიექტზე ფიზიკური ხასიათის შეტევას.

სავარაუდოა, რომ ჰაკერებმა სამეთვალყურეო კამერების პროგრამულ უზრუნველყოფაში აღმოჩენილი ხარვეზის საშუალებით შეაღწიეს ნავთობსადენის სამეთვალყურეო სისტემაში, იქიდან კი რამდენიმე საკომპრესორო სადგურის (valve station) შიდა ქსელში. შემდეგ მაქსიმალურად გაზარდეს ნავთობის ნაკადის წნევა, რამაც გამოიწვია აღნიშნული მონაკვეთის აფეთქება. დაზიანების სრულად აღმოფხვრა და ნავთობსადენის ჩვეულ სამუშაო რეჟიმში დაბრუნება დაახლოებით 3 კვირაში მოხერხდა. როგორც სხვადასხვა ექსპერტი ვარაუდობს, აღნიშნული კიბერშეტევის უკან რუსული სპეცსამსახურები იდნენ და ეს ერთგვარი შემამზადებელი ხასიათის ღონისძიება იყო, რასაც რამდენიმე დღეში მოჰყვა ფართომასშტაბიანი აგრესია საქართველოს წინააღმდეგ.

2010 წელს ცნობილი გახდა, რომ ირანის ერთ-ერთი მთავარი ბირთვული კომპლექსი მწყობრიდან გამოვიდა სერიოზული ტექნიკური ხარვეზების გამო. როგორც შემდეგ გაირკვა, სინამდვილეში ეს ხარვეზები გამოწვეული იყო მავნე პროგრამული კოდის - Stuxnet-ის მიერ, რომელიც სპეციალურად SCADA სისტემებზე კონტროლის მოსაპოვებლად შეიქმნა და რომელიც, სავარაუდოდ, აღნიშნულ სისტემაში მეხსიერების USB მატარებლის საშუალებით მოხვდა.

2015 წლის დეკემბერში უკრაინის 3 ენერგოკომპანიაზე განხორციელებული კიბერშეტევის შედეგად გათიშული იქნა 30-მდე ქვესადგური და დაახლოებით 230 000 მომხმარებელს შეუწყდა ელექტროენერჯის მიწოდება 6 საათით. როგორც შემდგომში გაირკვა, კიბერშეტევისას გამოყენებული იქნა ენერგოკომპანიების კონკრეტული თანამშრომლების ელ. ფოსტაზე მიზანმიმართულად გაგზავნილი MS Word-ის ფორმატით შენიღბული მავნე პროგრამული კოდი "BlackEnergy", რომელმაც კომპანიების ინფრასტრუქტურა გამოიყვანა მწყობრიდან.

2020 წლის აპრილში Cisco Talos-ის კიბერუსაფრთხოების კვლევითმა ჯგუფმა გამოაქვეყნა კვლევა, რომლის მიხედვითაც Visual Basic-სა და Python-ზე დაფუძნებულმა მავნე პროგრამულმა კოდმა "PoetRAT", რომელიც შენიღბული იყო როგორც COVID-19-თან დაკავშირებული თანდართული ფაილი, შეაღწია აზერბაიჯანის როგორც საჯარო, ასევე კერძო სექტორის მიერ კუთვნილ ინფრასტრუქტურებში და მისი ერთ-ერთი მთავარი სამიზნე ქარის ელექტროსადგურებზე არსებული ტურბინები იყო.

საქართველო - აშშ-ისა და ევროკავშირის ქვეყნებისაგან განსხვავებით, ჩვენი ქვეყნის ინფორმაციული უსაფრთხოების შესახებ კანონმდებლობა არ ითვალისწინებს ენერგოსექტორში კიბერუსაფრთხოების მნიშვნელობას და ენერგეტიკული სფეროს აქტორები (არც კერძო და არც საჯარო) არ გვხვდება კრიტიკული ინფორმაციული სისტემის მქონე სუბიექტების ნუსხაში. ეს კი იმას ნიშნავს, რომ მათზე არ ვრცელდება ინფორმაციული და კიბერუსაფრთხოების ის მოთხოვნები, რასაც სახელმწიფო აწესებს. შესაბამისად, არ ხდება ენერგოსექტორში მოქმედი ორგანიზაციების (როგორც საჯარო, ასევე კერძო)

კიბერუსაფრთხოების რისკების შეფასება, ანალიზი და მონიტორინგი სახელმწიფოებრივ დონეზე.

გარდა ამისა, არც „საქართველოს კიბერუსაფრთხოების 2017-2018 წლების ეროვნულ სტრატეგიაში“ რაიმე ნათქვამი ენერგეტიკის სფეროში კიბერუსაფრთხოების მნიშვნელობაზე.

დასკვნა

ენერგეტიკული უსაფრთხოება საქართველოს ეროვნული უსაფრთხოების ერთ-ერთი უმთავრესი ქვაკუთხედაა. ქვეყნის ენერგეტიკული უსაფრთხოების უზრუნველსაყოფად კი აუცილებელია, ენერგეტიკული ინფრასტრუქტურის კიბერუსაფრთხოების საკითხებს მიექცეს სათანადო ყურადღება, კერძოდ:

- აუცილებელია, განახლდეს ქვეყნის კანონმდებლობა ინფორმაციული უსაფრთხოების მიმართულებით და ენერგეტიკული სექტორის წარმომადგენელი უწყებები დაიდენტიფიცირდნენ როგორც კრიტიკული ინფორმაციული სისტემის სუბიექტები და შესაბამისად, მათზე გავრცელდეს ყველა ის მოთხოვნა, რომელსაც სახელმწიფო დააწესებს.

- გარდა ამისა, ძალიან მნიშვნელოვანია, რომ ენერგეტიკული სექტორის კიბერუსაფრთხოება გახდეს ქვეყნის ეროვნული სტრატეგიის ნაწილი და სახელმწიფომ უფრო მეტი მნიშვნელობა (და შესაბამისად, ყურადღებაც) მიაქციოს ამ მიმართულებას.

- კრიტიკულად მნიშვნელოვანია, რომ ენერგობიექტებს ჰქონდეთ კიბერინციდენტების გამომჟღავნების, მათზე

სათანადოდ რეაგირებისა და შემდგომი ანალიზის შესაძლებლობა. იგულისხმება, როგორც ინციდენტების მართვისათვის აუცილებელი ინფრასტრუქტურა, ასევე შესაბამისი პროცედურული ჩარჩოც.

- ასევე, აუცილებელია ენერგობიექტების IT და OT ინფრასტრუქტურების პერიოდული შემოწმება სისუსტეებსა და შეღწევადობაზე, აგრეთვე, ბიექტებზე მომუშავე პერსონალის მუდმივი გადამზადება კიბერუსაფრთხოების კუთხით.

წინამდებარე მოხსენება წარმოადგენს კვლევის ნაწილს, რომელიც მომზადდა 2020 წელს, „განათლების საერთაშორისო ცენტრის“ მიერ მხარდაჭერილი მცირე საგრანტო პროექტის ფარგლებში, ა(ა)იპ „განათლების საერთაშორისო ცენტრის კურსდამთავრებულთა ასოციაციის“ და შპს „გროს ენერჯი ჯგუფის“ თანადაფინანსებით.

ლიტერატურა

1. Council of European Energy Regulator., 2018. Cybersecurity Report on Europe's Electricity and Gas Sectors, Ref: C18-CS-44-04.
2. European Commission., 2017. „Joint Communication To The European Parliament And The Council Resilience, Deterrence and Defence: Building strong cybersecurity for the EU”, JOIN/2017/0450 final, Brussels.
3. IFRIM C., Kollau M., Dionisio M., 2020. Cybersecurity & Digital Privacy in the Energy Sector, European Commission DG CNECT, DG ENER.(ონლაინ), ვებ-გვერდი: https://ec.europa.eu/inea/sites/inea/files/3.03_cybersecurity_m.dionisio.pdf, წვდომა: [7 მარტი 2020]

გისოსისებრი კოდების თავისუფალი ევკლიდური მანძილის საზღვრები

თეიმურაზ მთვრალაშვილი, ტექნ. მეცნ. კანდიდატი, ასოცირებული პროფესორი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, ქ. თბილისი, საქართველო, e-mail: tmtvralashvili@mail.ru

ანოტაცია. ნაშრომში წარმოდგენილია უწყვეტი ფაზის მქონე სიხშირულად მოდულირებული სიგნალების ბაზაზე დაფუძნებული გისოსისებრი კოდების თავისუფალი ევკლიდური მანძილის ასიმპტოტიკური ქვედა საზღვრები. შემუშავებულია: ჩადებულ უფსმ სიგნალთა სისტემაზე დაფუძნებული გისოსისებრი კოდების აგების ალგორითმი; სიგნალურ-კოდური კონსტრუქცია, რომელიც წარმოადგენს განზოგადოებულ კასკადურ კოდს სადაც შიდა საფეხურზე გამოყენებულია უფსმ სიგნალები ჩადებულობის თვისებებით, ხოლო გარე საფეხურზე სხვადასხვა სიჭარბის შემცველი ერთეულოვანი მეხსიერების მქონე კოდები. გამოკვლეულია ამ კონსტრუქციის თავისუფალი ევკლიდური მანძილის დამოკიდებულება სიჩქარეზე. **საკვანძო სიტყვები:** გისოსისებრი კოდები, მოდულაცია, ევკლიდური მანძილი, უწყვეტი ფაზის მქონე სიხშირულად მოდულირებული სიგნალები.

The bounds of free Euclidean distance for trellis codes

Teimuraz Mtvralashvili, Candidate of Technical Sciences, Associative professor of Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, e-mail: tmtvralashvili@mail.ru

Abstract. The paper presents the asymptotic lower bounds of free Euclidean distance for trellis codes based on continuous-phase frequency-shift keying (CPFSK) signals. We have developed an algorithm for building trellis codes based on the nested CPFSK signal system and signal-code construction, which is a generalized concatenated code, where the inner level uses CPFSK signals with nested properties, while the outer level uses codes with unit memory containing different redundancies. For the given construction the dependence of the free Euclidean distance on the transmission rate is investigated.

Keywords: Trellis codes, Modulation, Euclidean distance, Continuous-phase frequency-shift keying signals.

შესავალი. კასკადური სიგნალურ-კოდური კონსტრუქციების ასიმპტოტიკური საზღვრების შესწავლისადმი მიძღვნილია მრავალი ნაშრომი, მაგალითად [1]. ასეთ კონსტრუქციებში კასკადური სისტემის გარე საფეხურზე გამოყენებულია ხელშემლამდგრადი კოდი, ხოლო შიდა საფეხურზე კი სიგნალთა სისტემად აღებულია მეხსიერების არა მქონე მოდულაცია (მაგალითად, ფაზური და ამპლიტუდა-ფაზა მოდულირებული სიგნალები). რაც შეეხება ისეთ სიგნალურ-კოდური კონსტრუქციების ასიმპტოტიკურ მახასიათებლებს, სადაც შიდა საფეხურზე გამოყენებულია მოდულაცია მეხსიერებით (მაგალითად, უწყვეტი ფაზის მქონე სიხშირულად მოდულირებული (უფსმ) სიგნალები), მათი მახასიათებლები ლიტერატურაში ნაკლებადაა შესწავლილი. გასათვალისწინებელია ის ფაქტიც, რომ ასეთი სიგნალთა სისტემები სულ უფრო და უფრო ფართოდ გამოიყენება თანამედროვე კავშირის

საშუალებებში მათი ეფექტური სპექტრულ-სიხშირული მახასიათებლების გამო, მაგალითად მობილური კავშირის სისტემებში. ასევე საინტერესოა ასეთი სიგნალების კომბინირება მაკორექტირებელ კოდებთან, რაც მნიშვნელოვნად ამაღლებს მათ ხელშემლამდგრადობას [2-5]. ამ ნაშრომებში ძირითადად აქცენტი გამახვილებულია აგებული სიგნალურ-კოდური კონსტრუქციების თავისუფალი ევკლიდური მანძილის მაქსიმიზაციაზე, რასაც საბოლოო ჯამში მიყვავართ ე.წ. გისოსისებრი კოდებთან, რომელთაც გააჩნიათ კოდირების დიდი ენერგეტიკული მოგება.

ერთმანეთში ჩადებული უფსმ სიგნალების ბაზაზე აგებული გისოსისებრი კოდების ასიმპტოტიკური მახასიათებლები განვიხილოთ უფსმ სიგნალებზე დაფუძნებული გისოსისებრი კოდები,

რომლებიც აგებულია განზოგადოებული კასკადური კოდირების პრინციპით [4] სიმარტივისათვის ჩვენ შემოვიფარგლებით q -ობითი უფსმ სიგნალების განხილვით, მოდულაციის ინდექსით $h = 1/q$, სადაც $q = \exp_2 \mu$, ხოლო μ მთელი დადებითი რიცხვია.

$q = q_1$ -ობითი უფსმ (რომლისთვისაც ($q_1 = \exp_2 \mu$ ხოლო მოდულაციის ინდექსი $h = 1/q_1$) შეიძლება წარმოდგენილ იქნას გისოსისებრი დიაგრამის საშუალებით, რომელიც იარუსზე შეიცავს $\exp_2 \mu$ კვანძს, ხოლო თვითეულ კვანძში შედის და კვანძიდან გამოდის $\exp_2 \mu$ წიბო. სიგნალთა ეს სიტემა (და შესაბამისი გისოსისებრი დიაგრამა) შეიძლება დანაწილდეს $\eta \leq \mu$ ბიჯის შემცველი პროცედურის საშუალებით. დანაწილების ნებისმიერ i -ურ ბიჯზე სიგნალთა სისტემა (გისოსისებრი დიაგრამა) შეიცავს

$$q_i = \exp_2 \left\{ \mu - \sum_{j=1}^{i-1} l_j \right\}$$

კვანძს თითოეულ იარუსზე და, თითოეულ კვანძში q_i შემავალ და q_i გამომავალ წიბოს. ეს სისტემა დანაწილდება $\exp l$ ქვესისტემად (ქვეგისოსად), რომელიც თითოეულ იარუსზე შეიცავს

$$q_{i+1} = \exp_2 \left\{ \mu - \sum_{j=1}^i l_j \right\}$$

კვანძს და თითოეულ კვანძში q_{i+1} შემავალ და q_{i+1} გამომავალ წიბოს, სადაც $l_j \geq 1$ - მთელი რიცხვია, ხოლო $i = 1, 2, \dots, \eta$ - დანაწილების ბიჯის ნომერი. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, დანაწილების i -ურ ბიჯზე უფსმ სიგნალების q_i -ობითი სისტემა (მოდულაციის ინდექსით ($h = 1/q_1$) დანაწილდება უფსმ სიგნალების q_{i+1} -ობითი ჩადებულ ქვესისტემად (მოდულაციის ინდექსით $h = 1/q_i$). ავლნიშნოთ დანაწილების ვექტორი $L = (l_1, l_2, \dots, l_\eta)$ -ით, სადაც

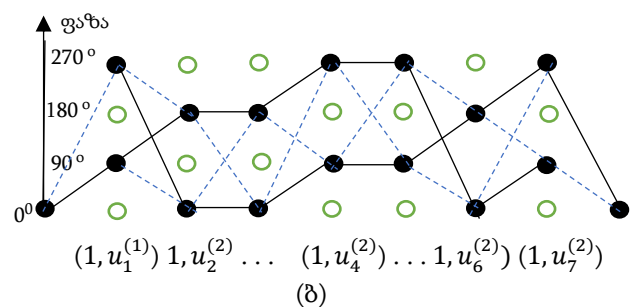
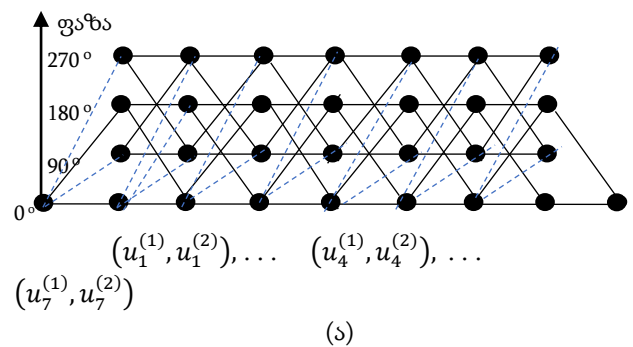
$$\sum_{j=1}^{\eta} l_j = \mu.$$

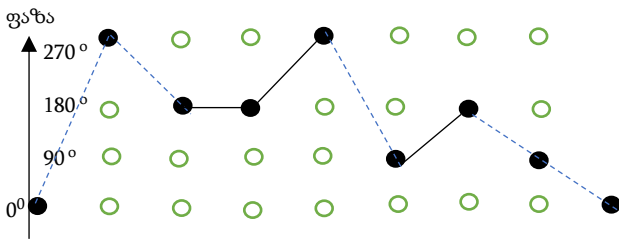
დანაწილების თითოეულ i -ურ ბიჯს შეესაბამება ნახევრად უსასრულო $\underline{u}_i = (u_{i,1}, u_{i,2}, \dots)$

მიმდევრობა, სადაც $u_{i,t} \in GF(Q_i)$, $Q_i = 2^{l_i}$ გვიჩვენებს თუ რომელ ქვესისტემას მიეკუთვნება უფსმ სიგნალი დანაწილების i -ურ ბიჯზე. მაშინ სრულ უფსმ სიგნალს შეესაბამება მიმდევრობა $\underline{u} = (u_1, u_2, \dots, u_\eta)$. უნდა აღინიშნოს, რომ უფსმ სიგნალების განხილული კლასისათვის, შეგვიძლია დანაწილების პროცედურის ისე ორგანიზება, რომ ნებისმიერ i -ურ ბიჯზე მიღებულ q_i -ობითი უფსმ სიგნალების (მოდულაციის ინდექსით $h = 1/q_i$) ქვესისტემებს გააჩნდეთ მოცემული ტიპის უფსმ სიგნალებისათვის ოპტიმალური დისტანციური მახასიათებლები [5]. ასეთი დანაწილების მაგალითი მოყვანილია ნახ.1-ზე. ავლნიშნოთ მოდულატორის შესასვლელი

$$(u_1^{(1)}, u_1^{(2)}), (u_2^{(1)}, u_2^{(2)}), (u_3^{(1)}, u_3^{(2)}), (u_4^{(1)}, u_4^{(2)}), (u_5^{(1)}, u_5^{(2)}), (u_6^{(1)}, u_6^{(2)}), (u_7^{(1)}, u_7^{(2)})$$

მიმდევრობით, სადაც თითოეული ორბიტიანი ბლოკი $(u_t^{(1)}, u_t^{(2)})$ შეესაბამება გისოსის წიბოს (4-ობითი უფსმ-ის ელემენტარულ სიგნალს).





(1,1) (1,1) (0,0) (1,0) (0,1) (1,0) (1,1)
(გ)

ნახ. 1. 4-ობითი უფსმ სიგნალების ($h = 1/4$) დანაწილების მაგალითი

ნახ. 1.ა. წარმოადგენს 4-ობითი უფსმ-ის ($h = 1/4$) გისოსისებურ დიაგრამას. აქ კვანძები შეესაბამება ფაზურ მდგომარეობებს.

ორობითი სიმბოლოების შესაბამის სიგნალებში ასახვისათვის ნახ.1.ა.-ზე უწყვეტი ხაზები შეესაბამება $u_t^{(1)} = 0$, ხოლო წყვეტილი ხაზები $u_t^{(1)} = 1$ შემთხვევებს ყველა t -თვის, $t = 1, 2, \dots, 7$. (ნახ.1.ა-ს გადატვირთვის თავიდან აცილების მიზნით ნაჩვენებია არ არის ყველა შესაძლო უწყვეტი ხაზი). ახლა, თუ ჩვენ დავაფიქსირებთ ორბიტის ბლოკების პირველ ბიტებს, ვთქვათ

$$1u_1^{(1)} = 1, u_2^{(1)} = 1, u_3^{(1)} = 0, u_4^{(1)} = 1, u_5^{(1)} = 0, u_6^{(1)} = 1, u_7^{(1)} = 1$$

შედეგად მივიღებთ ქვეგისოსს (ნახ.1.ბ) რომელიც თავის მხრივ წარმოადგენს ორობითი უფსმ-ის ($h = 1/2$) გისოსურ დიაგრამას. აქაც, უწყვეტი ხაზები შეესაბამება $u_t^{(2)} = 0$, ხოლო წყვეტილი ხაზები $u_t^{(2)} = 1$ შემთხვევებს ყველა t -თვის, $t = 1, 2, \dots, 7$. დავაფიქსირებთ ორბიტის ბლოკების მეორე ბიტებს, ვთქვათ

$$u_1^{(2)} = 1, u_2^{(2)} = 1, u_3^{(2)} = 0, u_4^{(2)} = 0, u_5^{(2)} = 1, u_6^{(2)} = 0, u_7^{(2)} = 1,$$

შედეგად საბოლოოდ მივიღებთ წიბოთა მიმდევრობას (ნახ.2.3.გ), რომელიც წარმოადგენს 4-ობითი უფსმ-ის ($h = 1/4$) კონკრეტულ სიგნალს. სხვა სიგნალის არჩევის პროცედურა, ანალოგიურია ზემოთ განხილული პროცედურისა.

დანაწილების i -ურ ბიჯზე, $i = 1, 2, \dots, \eta$, ერთი კვანძიდან გამომავალ ორ სიგნალურ წიბოს

შორის, რომელიც მიეკუთვნება სიგნალთა j და s ქვესისტემებს, $j, s \in \{1, 2, \dots, Q\}$, მინიმალური ევკლიდური მანძილის კვადრეტი ავლნიშნოთ $\Delta_i^2(y_j, y_s)$ -ით.

თეორემა 1. არსებობენ $[n, k_i]$ ერთეულოვანი მესხიერების მქონე კოდები ველზე $GF(Q_i)$, რომელიც დანაწილების i -ურ ბიჯზე q_i -ობითი უფსმ სიგნალებთან (მოდულაციის ინდექსით $h = 1/4$) სინთეზისას ძირითადი პარამეტრებისათვის $R_i = (k_i/n) \ln Q_i$ და $d^2 = \delta n$ უზრუნველყოფენ შემდეგ ტოლობას
 $(\delta = (1/\alpha)(2E^*(\alpha) - R_i) - \ln(\beta n))/(\alpha n)$,

სადაც $\alpha \geq 0, \beta \rightarrow 1$ როდესაც $n \rightarrow \infty, R_i$ ზემოდან შემოსაზღვრულია

$$R_i \{ 2 \ln Q_i - \ln \sum_{j=1}^{Q_i} \sum_{s=1}^{Q_i} \exp\{-\alpha \Delta_i^2(y_j, y_s)\} \},$$

სიდიდით. ხოლო

$$E^*(\alpha) = -\ln \sum_{j=1}^{Q_i} p_j \sum_{s=1}^{Q_i} p_s \exp\{-\alpha \Delta_i^2(y_j, y_s)\} = 2 \ln Q_i - \ln \sum_{j=1}^{Q_i} \sum_{s=1}^{Q_i} \exp\{-\alpha \Delta_i^2(y_j, y_s)\}.$$

თეორემა 1. მტკიცდება თეორემა 2.2-ის ანალოგიურად [5] და ამიტომ მის მტკიცებას ჩვენ აქ არ მოვიყვანთ.

ჩადებულ უფსმ სიგნალთა სისტემაზე დაფუძნებული გისოსისებრი კოდების აგების ალგორითმი.

კონსტრუქცია C.

1. ვაფორმირებთ ნახევრად უსასრულო საინფორმაციო მიმდევრობებს

$$\underline{\chi}_i = (\chi_i^{(1,1)}, \chi_i^{(1,2)}, \dots, \chi_i^{(1,k_i)}, \chi_i^{(2,1)}, \chi_i^{(2,2)}, \dots, \chi_i^{(2,k_i)}, \dots),$$

სადაც

$$\chi_i^{(t,s)} \in GF(Q_i), i = 1, 2, \dots, \eta, t = 1, 2, \dots, \infty, s = 1, 2, \dots, k_i.$$

2. ვაგებთ $[n, k_i]$ ერთეულოვანი

მესხიერების მქონე კოდებს ველზე $GF(Q_i)$ რომლებიც აკმაყოფილებენ თეორემა 1-ით მოცემულ შეფასებას, და ვახორციელებთ

კოდირებას მათი გამოყენებით. შედეგად ვიღებთ ნახევრად უსასრულო კოდურ მიმდევრობებს

$$\xi_i = (\xi_i^{(1,1)}, \xi_i^{(1,2)}, \dots, \dots, \xi_i^{(1,n)}, \xi_i^{(2,1)}, \xi_i^{(2,2)}, \dots, \xi_i^{(2,n)}, \dots),$$

სადაც

$$\xi_i^{(t,s)} \in GF(Q_i), i = 1, 2, \dots, \eta, t = 1, 2, \dots, \infty, s = 1, 2, \dots, n.$$

3. კოდურ მიმდევრობას

$$\underline{\xi}_i, i = 1, 2, \dots, \eta,$$

დანაწილების i – ურ ბიჯზე ავსახავთ უფსმ სიგნალთა სისტემის ერთ-ერთ ქვესისტემაში. ეს ხორციელდება \underline{u}_i მიმდევრობის სიმბოლოებისათვის $\underline{\xi}_i$ მიმდევრობის შესაბამისი სიმბოლოების მინიჭებით. შედეგად საბოლოოდ ვირჩევთ უფსმ სისტემის ერთ-ერთ სიგნალს.

აღწერილი ალგორითმის ბაზაზე ფორმირდება ერთეულოვანი მეხსიერების მქონე $C3[n, R, d^2, q]$ გისოსისებრი კოდის მიმდევრობა, სადაც სიჩქარე

$$R = \sum_{i=1}^r R_i, R_i = (k_i/n) \ln Q_i, i = 1, 2, \dots, \eta, \quad (1)$$

ხოლო დანარჩენი პარამეტრები განისაზღვრება და $C1$ და $C2$ -ის ანალოგიურად [6].

უნდა აღინიშნოს, რომ C წარმოადგენს განზოგადოებულ კასკადურ კოდს სადაც შიდა საფეხურზე გამოყენებულია უფსმ სიგნალები ჩადებულობის თვისებებით, ხოლო გარე საფეხურზე სხვადასხვა სიჭარბის შემცველი ერთეულოვანი მეხსიერების მქონე კოდები.

გამოვიკვლიოთ (2.1.) ფორმულით მოცემული თავისუფალი ევკლიდური მანძილის კვადრატის C -თვის.

დავუშვათ, რომ $L = (l_1, l_2, \dots, l_\eta)$ და R (მოცემული (2.1.) ფორმულით) შესაბამისად C -ის დანაწილების ვექტორი და სიჩქარეა, ხოლო $\delta(R_{i1}, l_{i1})$ და $R_{i2} = \delta^{-1}(\delta(R_{i1}, l_{i1}), l_{i2})$, შესაბამისად თეორემა 2.3.-ით მოცემული მანძილის საზღვარი და მისი შებრუნებული

ფუნქციაა, სადაც $i1 \neq i2$, და $i1, i2 \in \{1, 2, \dots, \eta\}$. მოცემული L -თვის დავაფიქსიროთ პირველი ერთეულოვანი მეხსიერების მქონე კოდის სიჩქარე R_1 და შემდგომ გამოვთვალოთ დანარჩენი R_1 სიჩქარეები $R_i = \delta^{-1}(\delta(R_1, l_1), l_i)$ ტოლობის საფუძველზე, სადაც $i = 2, 3, \dots, \eta$. ამგვარად შეგვიძლია გამოვთვალოთ

$$R = \sum_{i=1}^{\eta} R_i$$

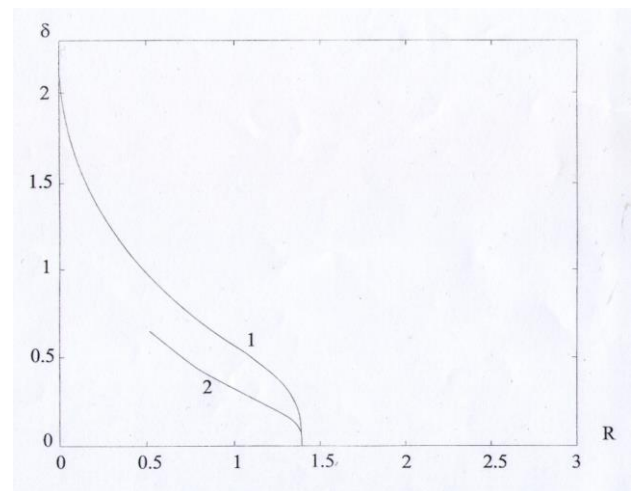
სიჩქარე. მოყვანილი მსჯელობიდან უშუალოდ გამომდინარეობს თეორემა:

თეორემა 2. არსებობენ $C3[n, R, d^2, q]$ გისოსისებრი კოდები პარამეტრებით:

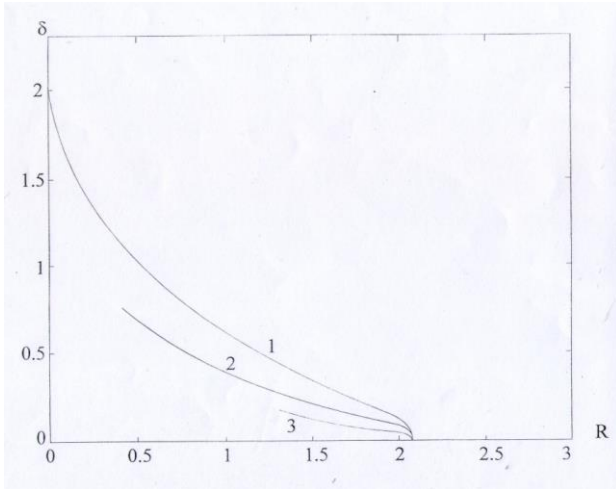
$$R = \sum_{i=1}^{\eta} R_i$$

და $d^2 = \delta n$ რომელთათვისაც $\delta = \delta(R_1, l_1)$, ხოლო $\delta(R_1, l_1)$ თეორემა 1-ით მოცემული საზღვარია.

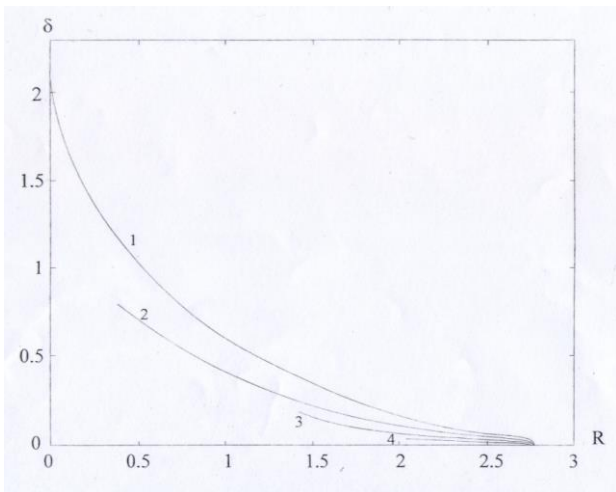
$\delta(R)$ ფუნქციის გრაფიკები C სიგნალურ-კოდური სისტემისათვის სხვადასხვა L -ის და $q = 2, 4, 8, 16$ მნიშვნელობებისათვის მოცემულია ნახაზებზე 2-4.



ნახ. 2. δ – ს დამოკიდებულება R -ზე C კონსტრუქციისათვის, როცა $q=4$: 1- $L=(2)$, 2- $L=(1,1)$



ნახ. 3. δ – ს დამოკიდებულება R -ზე C კონსტრუქციისათვის, როცა $q=8$: 1- $L=(3)$, 2- $L=(2,1)$, 3- $L=(1,1,1)$



ნახ. 4. δ – ს დამოკიდებულება R -ზე C კონსტრუქციისათვის, როცა $q=16$: 1- $L=(4)$, 2- $L=(3,1)$, 3- $L=(2,2)$, 4- $L=(1,1,1,1)$

აქ $\delta(R)$ -ის პირველი მნიშვნელობები წარმოდგენილია მოცემული δ –თვის მაქსიმალური მიღწევადი

$$R = \sum_{i=1}^{\eta} R_i$$

სიჩქარიდან დაწყებული. ცხადია, რომ ჩვენ გვექნება δ –ის არანაკლები მნიშვნელობები უფრო დაბალი სიჩქარეებისთვისაც. გათვლის შედეგები გვიჩვენებენ, რომ C დანაწილების ვექტორი $L = (\mu)$ (ე.ი. $C2$ [6]) უზრუნველყოფს საუკეთესო დისტანციურ მახასიათებლებს და ეს მახასიათებლები უარესდება დანაწილების ბიჯების რიცხვის გაზრდით. მეორე მხრივ C საშუალებას გვაძლევს გამოვიყენოთ გაცილებით უფრო მარტივად რეალიზებადი მაკორექტირებელი კოდები ვიდრე $C2$. მაგალითად, როდესაც $q = 16$ და $L = (1,1,1,1)$, C -ში ვიყენებთ ორობითი ერთეულოვანი მესხიერების მქონე კოდს, ნაცვლად 16-ობითი ერთეულოვანი მესხიერების მქონე კოდისა, რომელიც გამოიყენება $C2$ -ში.

ძირითადი შედეგები და დასკვნები

ნაშრომის ძირითად შედეგს წარმოადგენს უწყვეტი ფაზის მქონე სიხშირულად მოდულირებული სიგნალების ბაზაზე დაფუძნებული გისოსებრი კოდების აგება და მათი ასიმპტოტიკური დისტანციური მახასიათებლების შესწავლა. განზოგადებული კასკადური კოდირების პრინციპების გამოყენებით შემუშავებულია გარე, სხვადასხვა სიჭარბის შემცველი ერთეულოვანი მესხიერების მქონე, კოდებისა და შიგა ერთმანეთში ჩადებული q -ობითი უფსმ სიგნალების ბაზაზე დაფუძნებული სიგნალურ-კოდური კონსტრუქცია C . შემუშავებულია ამ კონსტრუქციის დისტანციური მახასიათებლების შესწავლის მეთოდიკა და მიღებულია ამ კონსტრუქციისათვის თავისუფალი ევკლიდური მანძილის კვადრატის ქვედა საზღვრები.

ლიტერატურა

1. Зяблов В.В., Портной С.Л., Шавгулидзе. "Экспонента вероятности ошибки для различных систем модуляции и кодирования," Автоматика и телемеханика, №9, стр.169-179, 1988.
2. F.Morales-Moreno and S.Pasupathy, "Structure, optimization and realization of FFSK trellis codes," IEEE Trans.Inform. Theory, vol. IT-34, pp.730-751, July 1988.
3. N.A.Ugreldize and S.A.Shavgulidze, "Convolutional codes over ring for CPFSK signalling," IEEE Electron. Lett., vol. 30, pp. 2714-2720, May 1994.

4. ს.შავგულიძე, თ.მთვრალაშვილი, ლ.ჩაჩუა, „განზოგადოებული კასკადური კოდების სინთეზი რვაობით ფაზა-მოდულირებულ სიგნალებთან“, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის 75-ე წლისთავისადმი მიძღვნილი პროფესორ მასწავლებელთა ღია სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენციის მოხსენებათა თეზისები, თბილისი, 2-4 ივნისი, გვ.187-188,1997.
5. Зяблов В.В., Шавгулидзе С.А "Оценка кодового расстояния сверточных обобщенных каскадных кодов с единичной памятью," Проблемы передачи информации, т.23, №2, стр. 17-27, 1987.
6. S.Shavgulidze, N.Ugrelidze, and L.Chachua, "Bounds on squared Euclidean distance of trellis codes on the basis of CPFSK signals," საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის შრომები, No.1 (425), გვ 93-100, თბილისი. 1999.

მალღვი საცხოვრებელი კორპუსების გაზომარაგების ზოგიერთი საკითხი

შოთა მესტირიშვილი, პროფესორი

საქ. ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი, საქართველო, e-mail: sh.mestvirishvili@gtu.ge

ირინა დენისოვა, აკადემიური დოქტორი

საქ. ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი, საქართველო

გიორგი ჭაღიაშვილი, დოქტორანტი

საქ. ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი, საქართველო

ანოტაცია. ნაშრომში განხილულია ბუნებრივი გაზის წნევის სიდიდის ცვლილება გაზგამანაწილებელი პუნქტისა და გაზის მომხმარებლის განთავსების ადგილებს შორის დონეთა მნიშვნელოვანი სხვაობის დროს. ამ შემთხვევაში წნევის სიდიდე შეიძლება უსაფრთხოების ნორმების ფარგლებიდან გამოვიდეს. შენობაში გაზის სანთურის წინ ნომინალური წნევისგან განსხვავებული სიდიდით გაზის მიწოდება იწვევს გაზის არასრულ წვას და მზუთავი გაზის წარმოქმნას. ბუნებრივი გაზის გაჟონვა ნომინალურზე მაღალი წნევის პირობებში, იწვევს სათავსის ჰაერში გაზის პროცენტული შემადგენლობის სწრაფმატებას აფეთქების ქვედა ზღვარზე მაღალა, რაც ნარევს აფეთქებად საშიშს ხდის. აღნიშნულის გამო, რიგ ქვეყნებში, სამშენებლო ნორმების მიხედვით დაუშვებელია 10 სართულიანზე მაღალი შენობების გაზიფიცირება. საქართველოში მსგავსი აკრძალვის არარსებობის გამო აღნიშნული პრობლემა იძენს დიდ აქტუალურობას, ვინაიდან ქვეყანაში აშენებულია და შენდება მრავალი მალღვი საცხოვრებელი კორპუსი და მათი თითქმის 100% გაზიფიცირებულია.

საკვანძო სიტყვები: გაზომარაგება, მალღვი კორპუსები, უსაფრთხოების ნორმები, გაზგამანაწილებელი პუნქტი, აფეთქების ზღვარი, გაზის სანთურა.

Some gas supply issues for high-rise apartment buildings

Shota Mestvirishvili, Professor

Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, e-mail: sh.mestvirishvili@gtu.ge

Irina Denisova, Academic Doctor

Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia

Giorgi Chaghiashvili, PhD Student

Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia

Abstract: The paper discusses the change in the magnitude of the natural gas pressure during a significant difference in levels between the gas distribution point and the gas consumer locations. In this case, the value of the pressure may exceed the safety norms. Supplying gas in front of a gas burner in a building with a value different from the nominal pressure causes incomplete combustion of the gas and the production of exhaust gas. Leakage of natural gas at pressures higher than nominal causes a rapid increase in the percentage of gas in the storage air above the lower edge of the explosion, making the mixture explosive. Due to this, in some countries, according to construction norms, gasification of buildings higher than 10 floors is not allowed. Due to the absence of such a ban in Georgia, this problem is gaining urgency, as many high-rise residential buildings have been built in the country and almost 100% of them are gasified.

Keywords: Gas supply, High-rise buildings, Safety norms, Gas distribution point, Explosion limit, Gas burner.

შესავალი

გაზომარაგებას მნიშვნელოვანი როლი აქვს საზოგადოების ცხოვრებაში, მიუხედავად იმისა, რომ ის აფეთქებად საშიშია, მაინც ფართოდ გამოიყენება როგორც მრეწველობაში, ასევე საყოფაცხოვრებო მიზნებისათვის. გაზის მომხმარებელია ყველა ასაკის ადამიანი ბავშვიდან დაწყებული ღრმად მოხუცამდე. აღნიშნულის გამო უსაფრთხოების წესების დაცვას გაზომარაგების ქსელიდან დაწყებული

სახლშიდა გაყვანილობით და გაზის მოწყობილობების დამონტაჟებით დამთავრებული, ძალიან სერიოზულად უნდა მოვეკიდოთ, რადგან შეიძლება პატარა შეცდომამ სავალალო შედეგამდე მოგვიყვანოს. აღნიშნულ ნაშრომში განვიხილავთ ბუნებრივი გაზით მომარაგებას მალღვი საცხოვრებელ შენობებში და მთაგორიან ადგილებში. რას უნდა მიექცეს განსაკუთრებული ყურადღება, რათა არ გამოვიდეთ იმ ნორმებიდან, რომლებიც

უსფრთხოების წესებით არის განსაზღვრული და ამ დროს საცხოვრებელი სახლების გაზომომარაგების უსაფრთხოების რა ნორმები შეიძლება დაირღვეს.

ძირითადი ნაწილი

დასახლებული პუნქტების გაზომომარაგების ქსელებს წნევების მიხედვით სამ ძირითად ჯგუფად ყოფენ: დაბალი, საშუალო და მაღალი წნევის ჯგუფები. მოსახლეობას ბუნებრივი გაზი მიეწოდება დაბლი წნევით, რომლის სიდიდე არის 3000 პასკალი (ანუ 300 მმ.ვერცხლის წყლის სვეტი). გაზის წნევის რეგულირება ხდება სახლის ინდივიდუალური რეგულატორით ან გაზგამანაწილებელი პუნქტების საშუალებით, რომლის მოქმედების რადიუსი ერთ კილომეტრამდეა.

ბუნებრივი გაზის შემადგენლობაში ძირითად კომპონენტს წარმოადგენს მეთანი. ეთანისა და პროპანის რაოდენობა კი მის შემადგენლობაში საგრძნობლად მცირეა. აღნიშნულის გამო მისი წონაც ჰაერის წონასთან შედარებით ნაკლებია, ბუნებრივი გაზის სიმკვრივე ატმოსფერულ ჰაერთან შედარებით ერთი და იგივე წნევის პირობებში თითქმის ორჯერ მცირეა. თუ დასახლებული პუნქტი გაზით მარაგდება დაბალი წნევის ქსელით, მასში წნევათა სხვაობა იცვლება ატმოსფერული ჰაერის წნევასთან შედარებით და დამოკიდებულია იმაზე, თუ ქსელის წერტილებს შორის დონეთა რა სხვაობაა (1):

$$\Delta P = g (p_3 - p_8) H, \tag{1}$$

სადაც ΔP არის წნევათა სხვაობა; p_3 და p_8 - შესაბამისად, ჰაერის და გაზის სიმკვრივეები; H - დონეთა სხვაობა გაზგამანაწილებელ პუნქტსა და მომხმარებელს შორის; g - დედამიწის მიზიდულობის ძალით გამოწვეული აჩქარება.

გაზომომარაგებაში წნევა უსაფრთხოების წესებით მკაცრად ლიმიტირებულია და როგორც (1) გამოსახულებიდან ჩანს, გაზის წნევის ცვლილება მით მეტია, რაც დიდია დონეთა სხვაობა გაზსადენის წერტილებს შორის და შეიძლება უსაფრთხოების ნორმების ფარგლებიდანაც კი გამოვიდეს, რაც გაზის ხელსაწყო მუშაობის რეჟიმის დარღვევას გამოიწვევს. აღნიშნული შემთხვევა ხშირად გვხვდება მთაგორიანი დასახლებების და მაღლივი შენობების პირობებში, განსაკუთრებით მაშინ, თუ ორივე ფაქტორი ერთად არის

თავმოყრილი. ასეთი შემთხვევები ხშირად გვხვდება საქართველოს ბევრ ქალაქში, სადაც გაზგამანაწილებელი პუნქტი რელიეფის დაბალ წერტილშია, შენობა კი, რომელიც გაზით მარაგდება, მაღლობზეა. ამ დროს გაზის მომხმარებელთან წნევა იზრდება. ასევე, საპირისპირო ხდება, როდესაც გაზგამანაწილებელი პუნქტი მაღლობზეა და მომხმარებელი კი ქვედა ნიშნულზე.

გაზის სანთურის წინ წნევის ცვლილება იწვევს თბური დატვირთვის ცვლილებას, რომელიც გამოისახება შემდეგი ფორმულით:

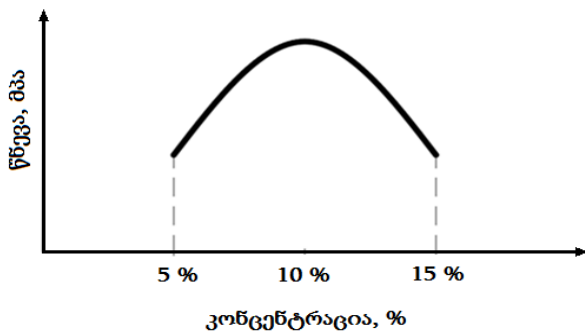
$$\frac{Q_2}{Q_1} = \sqrt{\frac{P_1}{P_2}} \tag{2}$$

სადაც Q_1 არის გაზის სანთურის თბური დატვირთვა ნომინალური წნევისას;

Q_2 - გაზის სანთურის თბური დატვირთვა წნევის ცვლილებისას; P_1 - გაზის ნომინალური წნევა;

P_2 - გაზის გაზრდილი წნევა.

ცნობილია, რომ სანთურის წინ გაზის მიწოდება ნომინალური წნევისგან განსხვავებული სიდიდით იწვევს დანადგარის მარგი ქმედების კოეფიციენტის საგრძნობ შემცირებას, რაც იმით არის გამოწვეული, რომ ირღვევა წვის რეჟიმი, ხდება გაზის არასრული წვა და წარმოიქმნება მხუთავი გაზი CO. გარდა აღნიშნულისა, წნევის ნორმისგან გადახრასთან სხვა საფრთხეებიც არის დაკავშირებული. მაგალითად, თუ გაზგამანაწილებელ ქსელში გაზის ჭარბი წნევა 3000 პასკალია, მაშინ სათავსოში, სადაც გაზს ვაწოდებთ, გაზის ქსელის ჰერმეტიულობა რომ დაირღვეს, აფეთქებად საშიში ნარევი ვერ წარმოიქმნება, რადგან სათავსოს ჰაერისა და გაზის ნარევის წნევა (თუ სათავსოს გარე ჰაერთან ჰაერცვლა არა აქვს) გაუთანაბრდება ქსელში გაზის წნევას და სათავსოში გაზის შემოდინება შეწყდება. ამ დროს გაზის პროცენტული შემადგენლობა იქნება 3%, აფეთქების ქვედა ზღვარი კი 5%-ია. იმ შემთხვევაში თუ გაზის ჭარბმა წნევამ 5000 პა-ს გადააჭარბა, უკვე ნარევი აფეთქებად საშიშია, რადგან ამ დროს გაზის პროცენტული შემადგენლობა უკვე აფეთქების ქვედა ზღვარს გადააჭარბებს და საკმარისია ნაპერწკალი, რომ სათავსოში მოხდეს აფეთქება. აფეთქების დროს წარმოშობილი დარტყმის ძალა გაზ-ჰაერის ნარევის კონცენტრაციის მიხედვით ნაჩვენებია ნახ. 1-ზე.



ნახ. 1. ბუნებრივი გაზის აფეთქების კონცენტრაციული ზღვრები

წნევის გაზრდა ნომინალთან შედარებით კიდევ იმით არის მიუღებელი, რომ რაც მეტია გაზსადენში გაზის წნევა სათავსოსთან შედარებით, აფეთქებად საშიში ნარევი სწრაფად შეიქმნება და მომხმარებელმა შეძლება ვერ მოასწროს სათავსოს განთავება. გაზის ხარჯი სიდიდე ნომინალთან შედარებით გამოითვლება ფორმულით:

$$\frac{V_2}{V_1} = \sqrt{\frac{P_1}{P_2}} \quad (3)$$

სადაც V_1 - გაზის ხარჯი ნომინალური წნევისას;
 V_2 - გაზის ხარჯი წნევის ცვლილებისას.

ასევე საშიშია გაზის წნევის შემცირება ისეთი სანთურებისათვის, რომლებშიც ხდება გაზისა და ჰაერის წინასწარი შერევა (ინჟექციური სანთურები), ამ დროს გაზისა და ჰაერის ნარევის სიჩქარე კლებულობს, რაც იწვევს სანთურის ჩაქრობას ან წვის ფრონტის გაზის სანთურის შიგნით შეტაცებას, რამაც შეიძლება გამოიწვიოს სანთურის დაზიანება და მწყობრიდან გამოსვლა.

აღნიშნულის გამო, რიგ ქვეყნებში, სამშენებლო ნორმებით და წესებით მაღლივ საცხოვრებელ კორპუსებში (10 სართულზე მეტი სიმაღლის შენობებში) ბუნებრივი გაზის შეყვანა (უკრაინა, რუსეთი და სხვ.) აკრძალულია. საქართველოში ასეთი აკრძალვა არ არსებობს. აკრძალვის არარსებობის გამო ეს პრობლემა

საქართველოში მეტად აქტუალურია, რადგან ბოლო პერიოდში საგრძნობლად იზრდება მაღლივი კორპუსების მშენებლობის ტენდენცია. ამავე დროს, ამენებული მაღლივი მრავალსართულიანი კორპუსები თითქმის მთლიანად გაზიფიცირებულია.

დასკვნა

დასასრულს გვინდა აღვნიშნოთ, რომ ზემოთ აღწერილი პრობლემების გადაწყვეტა შენობების სიმაღლის შეზღუდვით კი არ უნდა მოხდეს, არამედ დამუშავდეს გაზომარაგების ახალი სქემები მაღლივი კორპუსების გაზით მომარაგებისთვის, ან შეიქმნას ისეთი მოწყობილობები, რომლებიც უზრუნველყოფენ საყოფაცხოვრებო გაზის უსაფრთხოდ გამოყენებას.

ლიტერატურა

1. მუსერიძე ა. გაზომარაგება. თბილისი, ტომი II. 1979.
2. ხეროდინაშვილი ი. სისტემური მიდგომა და გაზომარაგების სისტემის კლასიფიკაცია, ძირითადი ტერმინები და მაჩვენებლები. ქუთაისი. საგამომცემლო ცენტრი, 2012. 284 გვ.
3. მესტირიშვილი შ., იაშვილი ნ., გოდერძი-შვილი გ., ხუტაშვილი ი., ქასოშვილი კ. „ბუნებრივი გაზის უსაფრთხოდ მოხმარების შესახებ“. ჟურნალი GEN, გვ. 84-85, vol.89, 2019.
4. Стаскевич Н.Л. Газоснабжение городов. 2-е изд., перераб. и доп. Л.:Гостоптехиздат, Ленинградское отделение. 1954. 2 т. 647 с.
5. Смирнов С.Д. Анализ эксплуатации ВДГО в многоквартирных жилых домах. М.:Молодой ученый., 2018. № 45 (231). сс. 32-37.
6. Леденев В. В. Высотные здания/ Учеб. пособие, Тамбовский гос. технический ун-т. Тамбов, 2014. 277 с.

ვირტუალური პრაქტიკული და ლაბორატორიული სამუშაოები სასწავლო პროცესისთვის

იური მოდებაძე, ტექნ. მეცნ. კადიტატი, ასოც. პროფესორი

საქ. ტექნიკური უნივერსიტეტი, ქ. თბილისი, საქართველო, e-mail: iurimodebadze@yahoo.com

კახა ხოშტარია, ტექნ. მეცნ. კადიტატი, მოწვეული პროფესორი

საქ. ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი, საქართველო, e-mail: kaxaxosh@yahoo.com

ანოტაცია. განხილულია სასწავლო პროცესში ლაბორატორიული და პრაქტიკული სამუშაოებისათვის ვირტუალური ხელსაწყოების შექმნა მოდელირების „LabVIEW“ პროგრამის გამოყენებით. ასევე მოყვანილია ამ პროგრამის დადებითი თვისებები ინჟინრული თვალსაზრისით და კონკრეტულ მაგალითებზე აგებულია შესაბამისი ვირტუალური ხელსაწყოები.

საკვანძო სიტყვები: მოდელირება, პროგრამა, ვირტუალური ხელსაწყო, ტელეკომუნიკაცია, მოდულიატორი, კოდირება.

Virtual practical and laboratory work for the learning process

Yuri Modebadze, Associate Professor,

Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, e-mail: iurimodebadze@yahoo.com

Kakha Khoshtaria, Professor,

Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, e-mail: kaxaxosh@yahoo.com

Annotation. The article discusses the creation of virtual tools for laboratory and practical work in the learning process using the modeling program "LabVIEW". The positive features of this program from an engineering point of view are also mentioned and relevant virtual tools are built on specific examples.

Keywords: modeling, program, virtual device, telecommunication, modulator, coding.

შესავალი. სასწავლო პროცესში, სილაბუსების მიხედვით გათვალისწინებულია, როგორც ლექციების კურსის, ასევე პრაქტიკული, ლაბორატორიული და სხვა სახის მეცადინეობების ჩატარება.

აქედან განსაკუთრებული როლი ეკისრება პრაქტიკულ და ლაბორატორიულ მეცადინეობებს. მათ მაღალ დონეზე ჩატარებისთვის საჭიროა უმაღლეს სასწავლებელს შემენილი ქონდეს პრაქტიკაში დანერგილი შესაბამისი რეალურად მომუშავე მოწყობილობა-დანადგარები, რომელზეც სტუდენტები ჩაატარებენ პრაქტიკულ და ლაბორატორიულ სამუშაოებს.

რადგან აღნიშნული მოწყობილობა-დანადგარები ძვირად ღირებულია, ამიტომ უმაღლესი სასწავლებლების მიერ მათი შექმნა გარკვეულ ფინანსურ-ეკონომიურ პრობლემებთანაა დაკავშირებული.

ამის გამო ჩვენ გთავაზობთ ვირტუალურ პრაქტიკულ და ლაბორატორიულ სამუშაოებს, რომლებიც შეიძლება ჩავატაროთ საშუალო დონის პერსონალურ კომპიუტერზე.

ეს ვირტუალური სამუშაოები საკმაოდ იაფი ჯდება, რადგან დღეისათვის პერსონალური კომპიუტერი პრობლემას არ წარმოადგენს და ის პროგრამა, რომელშიც უნდა შეიქმნას ვირტუალური სამუშაოები ინტერნეტშია ხელმისაწვდომი. მხოლოდ საჭიროა საგნების წამკითხველმა ლექტორმა ან ლექტორთა ჯგუფმა დაწეროს შესაბამისი პროგრამა.

ჩვენ ამ სტატიაში ვაჩვენებთ ტელეკომუნიკაციის დარგის ბაზაზე, როგორ უნდა შევქმნათ აღნიშნული სამუშაოები. ხოლო ის თუ სტუდენტს რაზე უნდა გავამახვილებოთ ყურადღება (რა უნდა გამოვათვლივინოთ, ავაგებინოთ და სხვ.) ეს უნდა გადაწყვიტოს საგნის წამკითხველმა ლექტორმა ან ლექტორთა ჯგუფმა.

ვირტუალური სამუშაოების შესაქმნელად საჭიროა მოდელირების პროგრამა. ასეთი პროგრამები სხვადასხვა დარგისთვის არის მრავალი. ჩვენ ვიყენებ „LabVIEW“ პროგრამას.

„LabVIEW“ არის ტექნიკური სფეროს ინჟინერებისათვის უფრო იოლი და მოსახერხებელი, რადგან არ მოითხოვს პროგრამის

დაწერის დროს პროგრამირებაში სპეციალურ განათლებას, საჭიროა მხოლოდ დასაპროგრამებელი პროცესის ცოდნა და უნდა გვექონდეს კომპიუტერთან მუშაობის გამოცდილება. ამ პროგრამით შესაძლებელია რეალური ხელსაწყოების ვირტუალური ანალოგების შექმნა.

აქედან გამომდინარე შეიძლება ვთქვათ, რომ „LabVIEW“ ადვილი გამოსაყენებელია და მიღებული პროგრამა ადვილად აღსაქმნელია, რადგან პროგრამის დასაწერად გამოიყენება სპეციალური გრაფიკული აღნიშვნები (პიქტოგრამები) და ისინი ალგორითმის მიხედვით მიმდევრობით ერთდებიან ერთმანეთთან. ანუ დაწერილი პროგრამა ჰგავს პროცესის ამსახველ სტრუქტურულ სქემას და ნათლად ჩანს თუ რა მათემატიკური ან ელექტრული პროცესები მიმდინარეობს მასში. პროგრამის დასაწერად გამოიყენება გრაფიკული პროგრამირების G ენა და არ არის საჭირო ტრადიციული ტექსტური პროგრამის დაწერა.

ამიტომ, მომხმარებლისთვის არ არის აუცილებელი პროგრამირების სპეციალური ენების ცოდნა. მაგრამ, ცხადია მომხმარებელმა უნდა იცოდეს რა არის ალგორითმი და როგორ უნდა შედგეს იგი. ანუ მოკლედ შეიძლება ვთქვათ, რომ LabVIEW-ში რაიმე პროცესის აღმწერი პროგრამის დაწერა ეს არის ამ პროცესის ამსახველი სტრუქტურული სქემის შედგენა პიქტოგრამების საშუალებით.

LabVIEW-ში ვაგებთ ე.წ. ვირტუალურ ხელსაწყოს (VI), რომელიც შედგება წინა პანელისგან (Front Panel) და ბლოკ-დიაგრამისგან (Blok Diagram). ვირტუალური ხელსაწყოს ფუნქცია არის რეალური ფიზიკური ხელსაწყოს მუშაობის იმიტაცია. ფაქტიურად Blok Diagram არის VI-ს პროგრამა.

VI-ს შესაქმნელად საჭიროა:

1. LabVIEW პროგრამის ელემენტარულ დონეზე ცოდნა.

კერძოდ, როგორ უნდა გამოვიყვანოთ ბლანკები (Front Panel და Blok Diagram), მენიუები, პიქტოგრამები, როგორ შევავროთ ერთმანეთთან გამოყვანილი პიქტოგრამები და სხვ. ეს ყველაფერი არ არის ძნელი. თუ კომპიუტერზე მუშაობა ვიცით, ადვილი და სწრაფად ათვისებადია.

2. ალგორითმის შედგენა.

ალგორითმის შესადგენად გამოიყენება შესაბამისი სტანდარტული მეთოდები. ცხადია, ამისათვის უნდა ვიცოდეთ აღსაწერი პროცესი

დაწვრილებით. ეს ყველაფერი შესაბამისი საგნის ლექტორს არ გაუჭირდება.

ამის შემდეგ, ალგორითმის მიხედვით უნდა განვსაზღვროთ რა სახის და რაოდენობის პიქტოგრამები იქნება გამოსაყვანი ბლანკებზე და როგორ შევავროთ ერთმანეთთან ეს პიქტოგრამები.

Front Panel-ზე განლაგებიან VI-ს შესაბამისი მენიუებიდან გამოყვანილი საწყისი მონაცემების ჩასაწერი, საბოლოო მონაცემების (შედეგები) ავტომატური ჩაწერის, ჩართვა-გამორთვის და ვიზუალურად ასახვის (ოსცილოგრაფი, ნათურები და სხვ.) პიქტოგრამები. აქ პიქტოგრამების ერთმანეთთან შეერთება არ ხდება.

Blok Diagram-ზე Front Panel-ზე გამოყვანილი პიქტოგრამები ავტომატურად აისახება. ამ პიქტოგრამებიდან უმჯობესია (არ არის აუცილებელი) საწყისი მონაცემების ჩასაწერი პიქტოგრამები განვალაგოთ მარცხნივ, ხოლო საბოლოო მონაცემების კი მარჯვნივ. მათ შუაში შესაბამისი მენიუებიდან უნდა გამოვიყვანოთ და განვალაგოთ ფუნქციური პიქტოგრამები (მათ მარცხნივ შესასვლელები აქვთ მარჯვნივ კი გამოსასვლელები). ამის შემდეგ კი საჭიროა მოვახდინოთ მათი ერთმანეთთან შეერთება.

პიქტოგრამების რაოდენობა, სახეები და რომლები უნდა შევავროთ ერთმანეთთან განისაზღვრება ალგორითმის მიხედვით.

სამუშაოს მიზანი. განვიხილოთ VI-ს შექმნის რამდენიმე მაგალითი.

1. სიხშირული მოდულატორი.

მარტივი სახით ამპლიტუდურად მოდულურებული სიგნალი მათემატიკურად ჩაიწერება ფორმულით $u = U_F \sin 2\pi Ft (1 + M \sin 2\pi ft)$. იგი არის ალგორითმი.

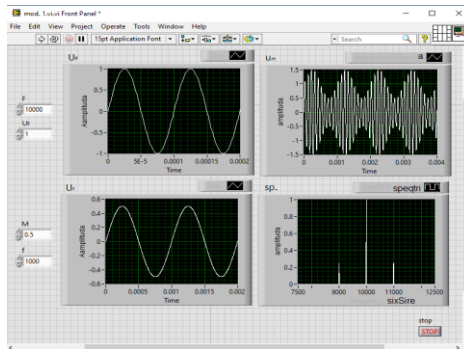
ამ ფორმულაში $U_0 \sin 2\pi Ft$ არის (U_F ამპლიტუდის და F სიხშირის) სამოდულირებელი და $M \sin 2\pi ft$ (M ამპლიტუდის და f სიხშირის) კი მამოდულირებელი სინუსოიდური სიგნალები. M -ს მოდულაციის კოეფიციენტს უწოდებენ.

თუ დავაკვირდებით ზემოთ მოყვანილ შესაბამის მათემატიკურ ფორმულას მივხვდებით, რომ ამპლიტუდური მოდულაციის VI-ს აგების დროს წინა პანელზე უნდა გამოვიყვანოთ U_0 , M , F და f ჩასაწერი, მოდულირებული, საწყისი და გადამტანი სიგნალების ვიზუალური დაკვირვების

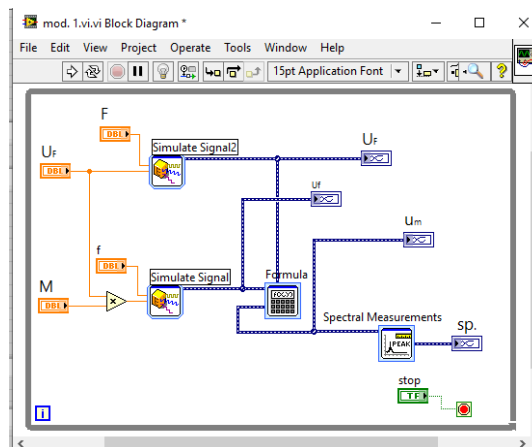
(სიგნალების ფორმის და სპექტრის) პიქტოგრამები (ნახ. 1).

ბლოკდიაგრამაზე დამატებით გამოგვყავს ორი "Simulate ..." (სინუსოიდური სიგნალების მისაღებად), „Formula“ (მათემატიკური ოპერაციების შესასრულებლად) და "Spectral..." (სპექტრის) პიქტოგრამები (ნახ. 2).

ვთქვათ საწყისი მონაცემებია: $U_0=1\text{ვ}$, $M=0,5$, $F=10000\text{ ჰც}$ და $f=1000\text{ ჰც}$. ამ მონაცემების ჩაწერისა და პროგრამის გაშვება-გაჩერების შემდეგ წინა პანელზე შესაბამის პიქტოგრამებზე დაიხაზება ნახ. 1-ზე ნაჩვენები გრაფიკები, რომლებიც ასახავენ ამპლიტუდური მოდულაციის დროს მიმდინარე პროცესებს.



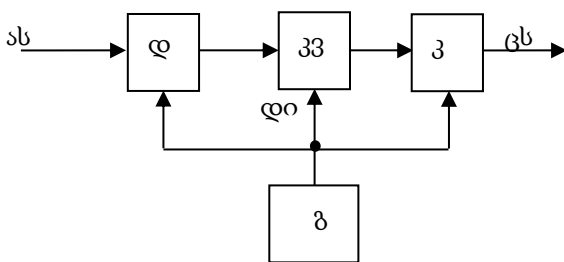
ნახ. 1



ნახ. 2

2. იმპულსურ-კოდური მოდულატორი.

იმპულსურ-კოდური მოდულაცია შედგება სამი ეტაპისგან დისკრეტიზაცია (დ), დაკვანტვა (კვ) და კოდირება (კ). მისი სტრუქტურული სქემა, რომელიც არის ალგორითმი, ნაჩვენებია ნახ. 3-ზე.



ნახ. 3.

დისკრეტიზაციის სიხშირე ტოლია $f_d=F_0$, სადა F_0 საწყისი ანალოგური სიგნალის დიაპაზონის ზედა სიხშირეა. კვანტირების ბიჯი $\Delta=U/2^n$, სადა U საწყისი სიგნალის ამპლიტუდაა, ხოლო n ციფრული სიგნალის თანრიგების რაოდენობაა.

VI-ს ასაგებად პროგრამა დავყოთ სამ ქვეპროგრამად: პირველმა უნდა მოახდინოს დისკრეტიზაცია, მეორემ დაკვანტვა და მესამემ კოდირება. ამ ქვეპროგრამების შესაბამისი შეერთებით მივიღებთ იმპულსურ-კოდური მოდულაციის VI-ს პროგრამას.

ანალოგური სიგნალის დისკრეტიზაციის დროს პირველმა ქვეპროგრამამ უნდა მოგვცეს დისკრეტული სიგნალი, რომელიც იქნება

ანალოგური სიგნალის შესაბამისი ანათვლების მიმდევრობა.

იმპულსური დისკრეტული სიგნალი $u_{იდ}=u_{ად}$, სადაც $u_{ა}$ ანალოგური, ხოლო $u_{დ}$ დისკრეტიზაციის სიგნალია.

მეორე ქვეპროგრამამ $u_{იდ}$ სიგნალი უნდა გარდაქმნას $u_{კვ}$ დაკვანტულ სიგნალად.

დისკრეტული სიგნალიდან დაკვანტული სიგნალის მიღების ალგორითმი არის შემდეგი:

ა) ყოველ დისკრეტიზაციის პერიოდში ვაფორმირთ ერთ პროგრამულ (LabVIEW-ში საწყისი პირობებით განსაზღვრული) ანათვლიანი ხანგრძლივობის დისკრეტული სიგნალი.

ბ) ყოველ დისკრეტიზაციის პერიოდში ფორმირებული პროგრამული ანათვალი უნდა გავიმეოროთ დისკრეტიზაციის პერიოდის განმავლობაში.

გ) მიღებული ანათვლების მიმდევრობა უნდა გავყოთ დაკვანტვის ბიჯზე და დავამრგვალოთ მთელამდე.

ამ დროს ფორმირებული დაკვანტული სიგნალის მნიშვნელობები იქნება რიცხვების მასივი, რომლებიც დამოკიდებული იქნება ანათვლების ნომერზე. ჩვენ კი დაგვჭირდება მათი დამოკიდებულება დროზე. ე.ი საჭირო იქნება გადამყვანი პიქტოგრამები.

კოდერით დაკვანტული სიგნალი უნდა გადავიყვანოთ ციფრულში. ამიტომ დაგვჭირდება ათობითი რიცხვების ორობითში გადამყვანი. ამისათვის ვიყენებთ დაკვანტული მნიშვნელობების 2-ზე გაყოფის მეთოდს. რის

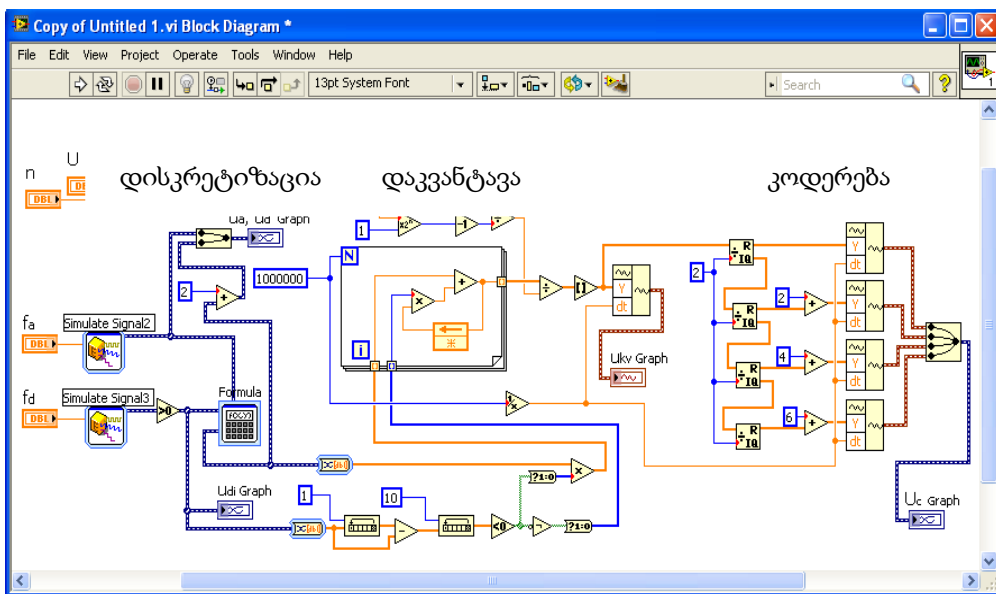
შედეგადაც კოდერის გამოსასვლელზე მიიღება პარალელურ კოდით გამოსახული ციფრული სიგნალი.

ვთქვათ საწყისი მონაცემები: $f_{დ}=10000$ ჰც, $f_{ს}=1000$ ჰც, $U_{ს}=1$ ვ და $n=4$. მოყვანილი ალგორითმის მიხედვით გამოვიყვანოთ პიქტოგრამები და შევაერთოთ ერთმანეთთან.

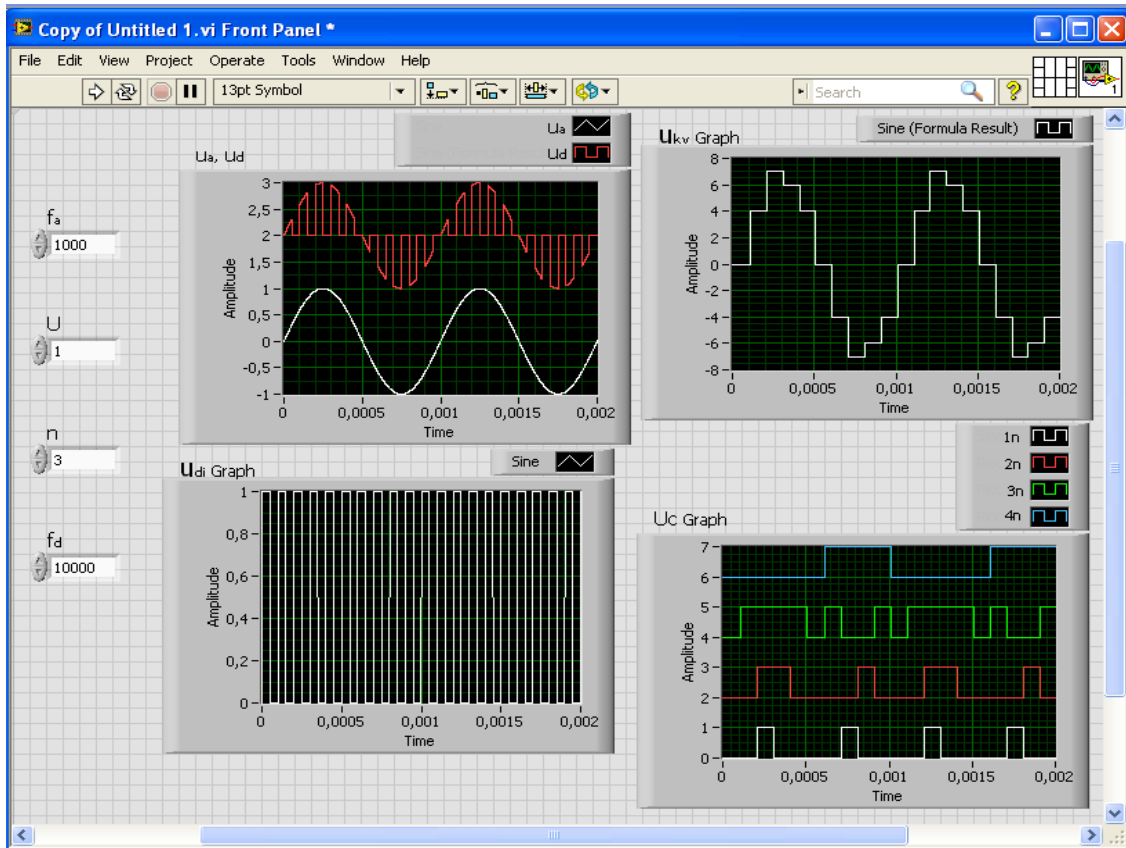
ამ მონაცემების ჩაწერისა და VI-ს პროგრამის (ნახ. 4) გაშვების შემდეგ წინა პანელზე შესაბამის პიქტოგრამებზე დაიხაზება ნახ. 5-ზე ნაჩვენები გრაფიკები, რომლებშიც ასახულია იმპულსურ-კოდური მოდულაციის სამივე ეტაპი.

დასკვნები.

1. LabVIEW პროგრამის საშუალებით შესაძლებელია ნებისმიერი მოდელის შექმნა;
2. ალგორითმის შესადგენად შეიძლება გამოვიყენოთ მათემატიკური ფორმულა, ან ლოგიკური მსჯელობა, ან სტრუქტურული სქემა;
3. აგებულ მოდელში საწყისი მონაცემების ცვლილებით შესაძლებელია პროცესის გამოკვლევა;
4. აგებულ მოდელში საწყისი მონაცემების ცვლილებით შესაძლებელია სხვადასხვა ვარიანტის ლაბორატორიული სამუშაოების ჩატარება;
5. აგებულ მოდელში საწყისი მონაცემების ცვლილებით შესაძლებელია სხვადასხვა ვარიანტის პრაქტიკული გამოთვლების ჩატარება.



ნახ. 4.



ნახ. 5.

ლიტერატურა

1. მოდებაძე ი., ხომტარია კ., ხუმწარია ჯ. "მრავალარხიანი საკაბელო ტელეკომუნიკაციის საფუძვლები", სტუ-ს გამომცემლობა. თბილისი. 2012. 152 გვ.
2. იური მოდებაძე, გივი მურჯიკნელი, კახა ხომტარია. ბოჭკოვან-ოპტიკური სისტემის მოდელირება, სტუ, საგამომცემლო სახლი "ტექნიკური უნივერსიტეტი", თბილისი, 2019, 180 გვ.
3. იური მოდებაძე, გურამ კურტანიძე "ბოჭკოვან-ოპტიკური სისტემების მოდელირება", ვირტუალური ლაბორატორიული სამუშაოები. სტუ. საგამომცემლო სახლი: ტექნიკური უნივერსიტეტი. თბილისი. 2020. 45 გვ.

უნივერსალური სკუტერის მართვის მიკროპროცესორული სისტემა

სერგო დადუნაშვილი, ტექნ მეცნ. დოქტორი, პროფესორი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი, საქართველო. E-mail: dadu@gtu.ge

ანოტაცია. მოცემულია მართვის სისტემის აღწერა სკუტერისათვის, რომლის გამოყენება შესაძლებელია როგორც სახმელეთო სატრანსპორტო საშუალება შეზღუდული ფიზიკური შესაძლებლობების მქონე პირებისათვის. ეს სისტემა არის განსაკუთრებული თავისი მრავალფუნქციონალურობით და ტრანსფორმაციის შესაძლებლობებით, გამომდინარე იქედან, რომ საბორტო მინი კომპიუტერი რეალიზებულია PCM-3350 მიკროპროცესორის ბაზაზე.

საკვანძო სიტყვები: სკუტერი; მართვის სისტემა; მულტიფუნქციონალურობა; საბორტო კომპიუტერი.

Multiprocessor control system of the universal scooter

Sergo Dadunashvili, Doctor of Technical Sciences, Professor
Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, dadu@gtu.ge

Annotation. The article describes a scooter control system that can be used as a ground vehicle for people with disabilities. The features of the described control system are due to the multifunctionality and transformability of the scooter. The advantages of the hardware implementation based on the PCM-3350 on-board computer in PC/104 format are shown.

Keywords: scooter; control system; multifunctionality; board computer.

შესავალი

სკუტერი - თვისობრივად ახალი ინოვაციური პროდუქტია. ეს არის ტრანსფორმირებადი მრავალ-ფუნქციური პირადი მოხმარების სახმელეთო სატრანსპორტო საშუალება, ელექტროამძრავით, რომელიც ძირითადად გათვლილია შეზღუდული შესაძლებლობების მქონე პირებზე. მათი შექმნა განაპირობა მანქანათმშენებლობის დარგის განვი-თარებამ - რეაბილიტაციური სატრანსპორტო ტექ-ნიკის, ელექტროამძრავი სამედიცინო აპარატების, მცირე ზომის ჩქაროსნული სატრანსპორტო საშუალებების (ელექტროსკუტერების), თვითმავა-ლი რობოტების და კოსმოსური სატრანსპორტო ტექნიკის. ცალკე აღებული სატრანსპორტო ტექ-ნიკის ვიწრო სეგმენტში მსგავსი პროგრესის კატალიზატორი გახდა ორი მნიშვნელოვანი პრობლემის დამუშავება: უზრუნველყოფა სატრან-სპორტო საშუალების გადაადგილება კიბეებზე და მრავალფუნქციონალურობის რეალიზაცია (რაც ნიშნავს ტრასფორმირებადობას ფართო დიაპაზონ-ში). ფუნქციების (და შესაბამისად სატრანსპორტო საშუალების კონფიგურაციის) განხილვისას აუცილებელია დავასახელოთ შემდეგი:

➤ „სკუტერი“ - გრძელბაზიანი მოძრაობა მაღალი სიჩქარით;

- „სავარძელი“ - მოკლებაზიანი მანევრირება;
 - „ბალანსი“ - ორბორბლიანი მდგომი მოძრაობა გიროსტაბილიზაციის რეჟიმში;
 - „კომპაკტ-ვერტიკალი“ - სამბორბლიანი მდგომი მოძრაობა გიროსტაბილიზაციის რეჟიმში;
 - „ორმხრივი ბორდიური“ - მდგომი ან მჯდომი უწყვეტი სვლით ბორდიურების გადალახვა;
 - „კიბე ზევით“ - მდგომი ან მჯდომი საფეხურებზე ზევით ასვლა წინსვლისას;
 - „კიბე ქვევით“ - მდგომი ან მჯდომი საფეხურებზე ქვევით ჩასვლა წინსვლისას;
- ამ ფუნქციების შესასრულებლად სატრანს-პორტო საშუალებების შემადგენლობაში შედის მიკროპროცესორული მართვის მქონე 10 კომპაქტური მაღალი მომენტის მქონე ელექტროამძრავი.

1. მართვის სისტემის სტრუქტურა და ფუნქციონირება

საბორტო კომპიუტერი არის სკუტერის „ტვინი“, რომელიც მართავს პერიფერიულ კონტროლერებს, აწარმოებს მათთან ინფორმაციის მიმოცვლას საერთო სალტით CAN-ინტერფეისით. ელექტროამძრავების მართვის გარდა საჭიროა „გაიაზროს“ ბრძანებები სკუტერის საჭიდან, რომელსაც ემსახურება საკუთარი მიკროკონტრო-ლერი, ამის გარდა უნდა გამოითვალოს და გამოი-სახოს ეკრანზე

ბატარეაში არსებული ძაბვის დონე, გამოითვალოს ტრაექტორია კიბეებზე ასვლისას, უნდა ჰქონდეს დისტანციური წვდომა და ამ ყველაფერთან ერთად უნდა ჰქონდეს მინიმალური გაბარიტები. სკუტერში გამოიყენება PC/104 ფორმატზე აგებული Advantech ფირმის საბორტო კომპიუტერი PCM_3350 [1;2].

საბორტო კომპიუტერის მეშვეობით ხდება შემდგომი ცალკეული პროგრამების რეალიზაცია:

- სკუტერის გაქანება/დამუხრუჭება მართვადი აჩქარება/შენელებით, რომელიც ადაპტირებულ-ლია მომხმარებელთან;
- „უკანა ხიდის ელექტრული დიფერენციალი“ (პროგრამა, რომელიც ახდენს მოხვევისას უკანა ბორბლების ალგორითმის რეალიზაციას);
- გრძივი და განივი გიროსტაბილიზაცია;
- ორმხრივი ბორდიურის გადალახვა ზევით და ქვემოთ;
- მოძრაობა კიბეზე ზევით და ქვემოთ, საფეხურების ზომასთან ადაპტაციით;
- კიბის პარამეტრების იდენტიფიცირება;
- თვლისა ბაზის ცვლილება;
- სკუტერის სენსორების, ამძრავების მართვის ბლოკების და აკუმულატორის მონიტორინგი;
- პარკირების რადარის ემულაცია სენსორების მიერ შეგროვებული მონაცემების საფუძველზე;
- მართვის სისტემასთან დისტანციურად დაკავშირება და პარამეტრების ცვლა ინტერნეტის მეშვეობით.

სკუტერის განკარგულებაშია 24 სენსორი, რომლებიც მას საშუალებას აძლევენ შეეგუოს გარემოს. მათ შორისაა [3;4]:

- ჰოლლის სენსორები, რომლებიც ჩაშენებულია ელექტროამძრავებში და განსაძღვრავენ ძრავის მართვას განსხვავებულ რეჟიმებში;
- კუთხის აბსოლუტური სენსორები, რომლებიც სკუტერის ძირითადი შემადგენელი ნაწილების ადგილმდებარეობას განსაზღვრავენ;
- საჭის მობრუნების რეზისტული სენსორი;
- მანძილის ინფრაწითელი სენსორი პარკირების რადარისათვის;
- ინკლინომეტრი, რომელიც სკუტერის დახრას ზომავს მოძრაობისას;

- აქსელერომეტრი და კუთხური სიჩქარის სენსორი, რომლებიც გიროსტაბილიზაციის მართვას ემსახურებიან;
- რადიოტალღოვანი მიმღები, დისტანციური მართვისათვის;
- წრფივი გადაადგილების რეზისტენტული სენსორი სავარძლის ადგილმდებარეობის განსაზღვრისათვის ჩარჩოს მდებარეობის მიმართ;
- ძრავების ძაბვის და აკუმულატორის ნარჩენი ტევადობის გამზომი შუნტები;
- სიჩქარის პოტენციომეტრული მავალბელი;
- წონის ტენზომეტრიული სენსორი აპარატის შეწონვის კონტროლისათვის.

მართვის სისტემის ქვედა დონეზე, იმ კონტროლერების ჯამური რაოდენობა, რომლებიც ცალკეული სამუშაოს შესრულებაზე აგებენ პასუხს არის 13: ათი - ამძრავის მართვისათვის, ერთი - საჭის, ერთი მიკროკონტროლერი-ოპტიმიზატორი, რომელიც აწესრულებს კავშირებს მართვის პანელსა და „ტვინს“ შორის და აკონტროლებს მიღებული ინფორმაციის დისპლეიზე ასახვას. აკუმულატორის ნარჩენი ძაბვის განსაზღვრას, დამუხტვის და განმუხტვის რეჟიმებს ადგენს მესამე კონტროლერი. ქვედა დონის ყველა კონტროლიორი დაკავშირებულია ერთმანეთთან საერთო სალტით CAN-ინტერფეისის გამოყენებით, რის მეშვეობითაც შესაძლებელია გამომყვანების რაოდენობის შემცირება და მონაცემების მაქსიმალური სიჩქარით (1მბიტ/წმ) გადაცემა.

მართვის სისტემის აგება ეფუძნება რეალური დროის CAN-ქსელის გამოყენებას მონაცემების გადაცემის საერთო გარემოსთან. ეს ნიშნავს, რომ ქსელის ყველა კვანძი ერთდროულად იღებს სალტიდან სიგნალს, ხოლო CAN კონტროლიორები CAN შეტყობინებების ფილტრაციის აპარატულ შესაძლებლობას იძლევიან. ყოველი კვანძი ორი ნაწილისაგან შედგება: მიკრო პროცესორისაგან და თვით CAN კონტროლიორისაგან, რომელიც უზრუნველყოფს ქსელთან კავშირს და მიმოცვლის პროტოკოლის რეალიზაციას ახდენს. მართვის სისტემის ზოგადი ბლოკ-სქემა მოცემულია ნახ. 1-ზე.

2. სკუტერის მართვის სისტემის არქიტექტურა

სისტემის არქიტექტურა შერჩეულია ორდონი-ანი. ქვედა დონე ემსახურება უშუალოდ ამძრავებს, მეორე დონე კი ძრავების

შეთანხმებულ მუშაობას შემუსავებული პროგრამით (ალგორითმით), სის-ტემის და სენსორების ტესტირებას და კონტროლს; გარე ინტერფეისი - დაშორებულ წვდომას [4;5].

რადგან მოწყობილობის ყველა ამონავე ერთი ტიპისაა (მუდმივი ძაბვის ძრავები, რომლებიც იმართებიან ჰოლოის სენსორიდან მოსული სიგნალებით), შესრულდა მართვის ბლოკების უნიფიკაცია, რათა გაადვილდეს მათი ტირაჟირება, დაყენება და შეკეთება. ყოველი ბლოკი შედგება ძალოვანი პლატისაგან, პროცესორული პლატისაგან და შეუღლების პლატისაგან.

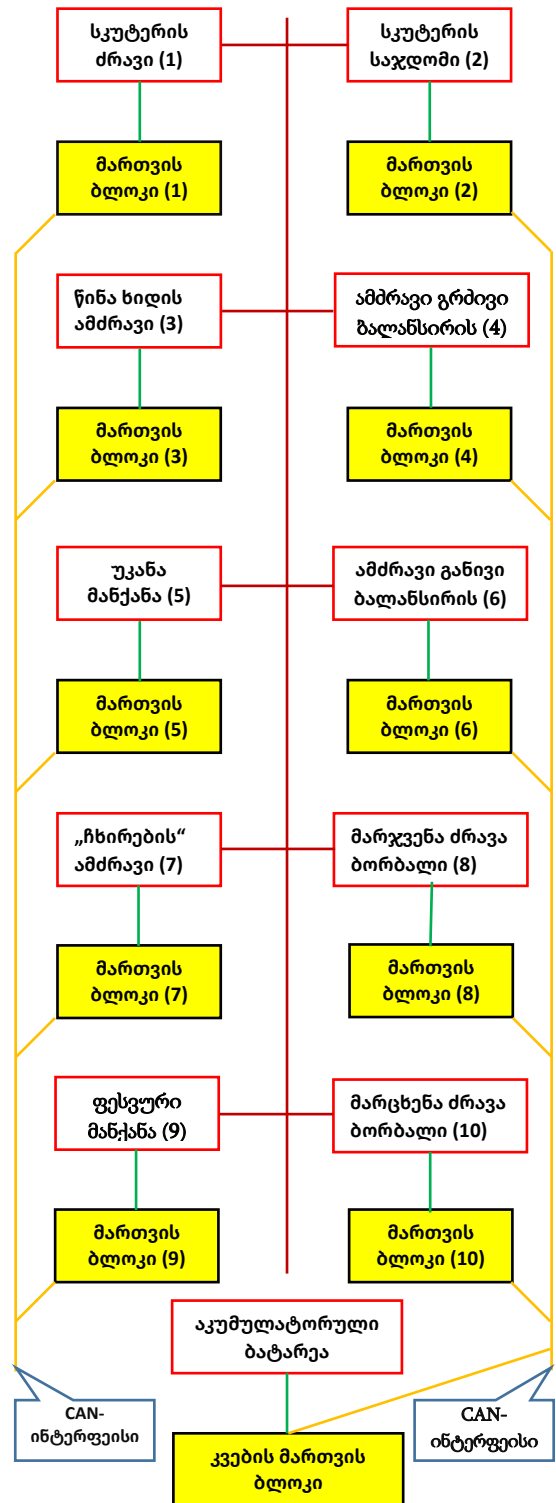
ძირითადი მიზანი იყო ისეთი ბლოკის შექმნა, რომელიც განკუთვნილი იქნებოდა სხვადასხვა სიმძლავრის მქონე ძრავების სამართავად, ძრავის სიჩქარის, ბრუნვის ან ადგილმდებარეობის უკუკავშირის წარმოებისთვის საჭირო პროგრამული უზრუნველყოფით. ამონავეს ელექტრონიკის ბლოკის დამუშავების დროს შესრულდა ოპტიმიზაციის ამოცანა, და ბლოკის მინიმალური ზომების გამოყენებით მიღებულია მაქსიმალური სიმძლავრე. ბლოკის ზომების შემცირება, პირველ რიგში, განისაზღვრებოდა გაერთმთლიანების მოსაზრებებით. გარეთა მოწყობილობების მომსახურების პასუხისმგებლობა გადაიტანა TMS320F2406 კონტროლერ-ზე. ოპტიკურად გახსნა CAN-ინტერფეისის უზრუნველყო მონაცემების გადაცემის ხაზის დაბრკოლებამდგრადობის გაზარდა. მეხსიერების ფლემ პლატის შემოღება უზრუნველყო სამართავი პულტის პროცესორის გაქოლვის შეცვლა ბლოკის გამოცვლის გარეშე. ბლოკი გარანტირებულად მუშაობს 1კვტ სიმძლავრეზე საჭირო თბოარინების უზრუნველყოფისას.

გამოსასვლელი ტრანზისტორების GWM 160-0055P3, IXYS-ის ფირმის, გამოყენებით მოდულურ ძალოვან ბოგირებში, აუმჯობესებს ბლოკის თბო და ელექტრო საექსპლუატაციო მახასიათებლებს. ასევე შემუშავდა ვენმილური ძრავების ვექტორული მართვის ბლოკი, 10-თანრიგისანი როტორის მდგომარეობის სენსორის RMB30, RLS ფირმის გამოყენებით.

ეს ბლოკი საშუალებას იძლევა ხარისხის მიხედვით მართვის გაუმჯობესების, ამცირებს გამავალი დენის პულსაციებს, ამცირებს მართვადი სიჩქარის ზღვარს, ზრდის სასარგებლო მუშაობის კოეფიციენტს, ამცირებს

ხმაურის დონეს.

მართვის პულტი საჭეზე (ნახ.2) არის კონსტრუქციულად დასრულებული ბლოკი, გაუმჯობესებული გარეგნული

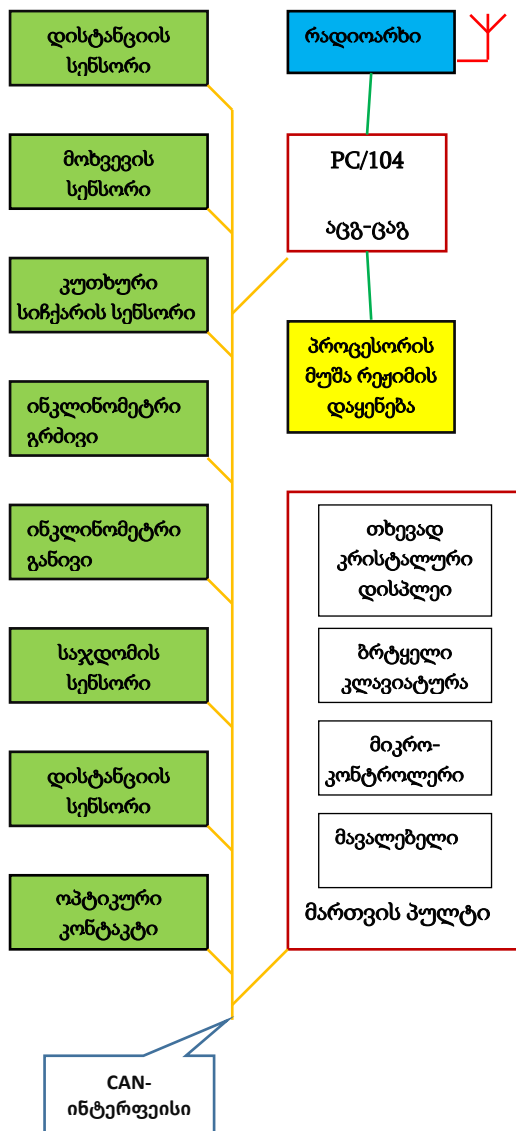


მახასიათებლებით, ბრტყელი კლავიატურის პანელით, თხევად კრისტალური დისპლეით. ბლოკი აწყობილია

ნახ. 1. სატრანსპორტო სასვალეების ელექტრო ამპრავი

მიკროკონტროლიორი MSP430F149-ის საფუძველზე, Texas Instruments-ის ფირმის, რომელიც დაკავებულია დისპლეიზე გამოსახული გრაფიკული ინფორმაციის გადამუშავებით. საჭიროების შემთხვევაში მართვის ბლოკს შეუძლია უზრუნველყოს მონაცემების უსადენო გადაცემა, IrDA არხის გამოყენებით. ინდიკაციისთვის საჭირო ინფორმაცია გადაეცემა ზედა დონის კონტროლიორისგან, RS232 ინტერფეისით.

მართვის ბლოკში დაყენებულია PC/104 ფორმატის ბორტ კომპიუტერი, რამაც საშუალება მოგვცა საგრძნობლად გაგვეზარდა პროექტირებისას და დამუშავებისას არსებული შესაძლებლობები, ასევე გაგვეზარდა მომხარებლის ფუნქციების ნაკრები.



ნახ. 2. მართვის სისტემის ბლოკ-სქემა

3. პროგრამული უზრუნველყოფა

ავტომატური მართვის სისტემისთვის ისეთი პროგრამული უზრუნველყოფის შემუშავება, რომელიც ფუნქციონირებს რეალური დროის რეჟიმში, იწარმოებოდა Math Works-ის ფირმის MatLab-ის პროგრამული პაკეტის და დამუშავების ინტეგრირებული ვიზუალური გარსის - Simulink-ის გამოყენებით. Simulink-ის ბიბლიოთეკის გამოყენება, რომელსაც გააჩნია ასობით სხვადასხვა დანიშნულების გამზადებული ბლოკი, საგრძნობლად ამცირებს პროგრამირების პროცესს და დაჰყავს ის ყოველ ეტაპზე, მხოლოდ შერჩეული ორი ბლოკის შეერთებაზე. საჭირო ბლოკის არ ქონის შემთხვევაში მისი შემუშავება დამოუკიდებლად შესაძლებელია პროგრამირების რომელიმე ენაზე.

Simulink-ში შექმნილი მოდელი შესაძლებელია შემოწმდეს რეალურ მოწყობილობაზე, მაგალითად Real Time Workshop-ში, რომელიც გარდასახავს მას კოდში C-ენაზე სხვადასხვა აპარატურული პლატფორმებისთვის. ასეთ პლატ-ფორმად შეგვიძლია გამოვიყენოთ IBM PC თავსებადი კომპიუტერი, რომელზეც ყენდება რეალური დროის ბირთვი xPC Target. ბირთვი xPC Target გვაძლევს მოდელის ატვირთვის, შესრულებისა და პროცესში იმ ბლოკის პარამეტრების შეცვლის საშუალებას, რომლებისგანაც შედგება მოდელი.

PC/104 ფორმატის ბორტ კომპიუტერად გამოიყენებულია Advantech ფირმის PCM-3350 პროცესორული მოდელი. ამ მოდელის გამოყენება ამცირებს აპარატის მზადყოფნის დრო. თვითტესტირება და პროგრამების ჩატვირთვა PCM 3350-თვის იკავებს 15-20 წამს. კონტროლიორის პლატაზე განლაგებულია ქსელური ადაპტერი, რაც საშუალებას იძლევა გამოვიყენოს PC/104 ბლოკის ორპლ-ატიანი კონსტრუქცია (პლატა PCM 3350 + პლატა CAN ო აცვ).

შესრულდა ზედა დონის კონტროლიორის მოდიფიკაციის შემდეგი საფეხურები:

- MatLab-ში დამოდელოდა და დაიწერა პროგრამები ქვედა დონის მართვის ბლოკების ყველა ამპრავისათვის.
- ყველა სენსორისათვის და მოწყობილობისათვის შექმნილია გარე ფუნქციების და კავშირების აღწერები; დაწერილია სენსორების პირველადი სიგნალების დამუშავების პროგრამები; დაწერილია სენსორების შემავალი

- სიგნალების კავშირების პროგრამები მონაცემების დამუშავების პროგრამებთან
- შეიქმნა სკუტერის ძირითადი რეჟიმების და კონფიგურაციების ბიბლიოთეკა, დამუშავებულია კავშირები ყველა ძირითადი რეჟიმის შიგნით არსებულ რგოლების შორის.
 - დაიწერა ძირითად რეჟიმებს შორის გადასვლის ქვეპროგრამები, გადაწყობის ალგორითმის და მოწყობილობების სენსორების უკუსიგნალების სიგნალების გათვალისწინებით.
 - შეიქმნა სენსორების და მოწყობილობების დამუშავების ქვეპროგრამები, რომლებიც უზრუნველყოფენ სკუტერის და მასში სემავალ ბლიკების მუშაობის, მოძრაობის, გადაწყობის კონტროლს.

დასკვნა

სტატიაში განხილული იდეები და წარმოდგენილი რეალური მიდევნები არამარტო თეორიულად დასაბუთებულია თანამედროვე კომპიუტერული ტექნოლოგიების გამოყენებით, არამედ გამოცდილია დამზადებულ მრავლირი-ხივან მოდელებზე და ექსპერიმენტულ ნიმუშებზე.

მუშავდება ელექტრომექანიკა, უმჯობესდება და ოპტიმიზირდება მართვის სისტემა და მისი პროგრამური უზრუნველყოფა და პროტოტიპი მზადდება სერიული წარმოებისთვის.

კაცობრიობა გაბედულად გადადის პატარა განზომილებიანი ელექტროძრავიანი ინდივიდუალური ტრანსორტის ახალ დონეზე, ამავე დროს ახალ საფეხურს აღწევს რეაბილიტაციურ ინდუსტრიაში და ავტომატიზაციის ტექნოლოგიაში.

ლიტერატურა

1. დადუნაშვილი ს. მიკროკონტროლერების გამოყენების აპარეტული და პროგრამული უზრუნველყოფა - სტუ, თბილისი, 2010. 156 გვერდ. ISBN 978-9941-14-915-3.
2. Dadunashvili Sergo, Petriashvili Lili, Khartishvili Maka. Wireless Networks for Offline Sensors - Informational and Communication Technologies - Theory and Practice: Proceedings of the International Scientific Conference ICTMC - Imprint Nova, New York, 2011. p. 89-94.

3. დადუნაშვილი ს.ა., გოგილიძე ე.რ. ენერგობოეექტების დაცვის სისტემების აგება მოდულური პრინციპის მიხედვით - საქართველოს საინჟინრო სიახლენი, 2014, No.2, გვ. 58-65.
4. დადუნაშვილი ს. ელექტროენერჯის მოხმარების კონტროლის ციფრული სისტემა. თბილისი, „ენერჯია“, №4(96), (II), 2020. გვ. 167-170.
5. ს. დადუნაშვილი მიკროკონტროლერების გამომცდელი სისტემის დამუშავება. თბილისი, „ენერჯია“, №4(96), (II), 2020. გვ. 171-174.

References (transliterated)

1. Dadunashvili S. Hardware and Software of microprocessors using – GTU, Tbilisi, 2010. 156 p. ISBN 978-9941-14-915-3
2. Dadunashvili S., Petriashvili L., Khartishvili M. Wireless Networks for Offline Sensors - Informational and Communication Technologies - Theory and Practice: Proceedings of the International Scientific Conference ICTMC - Imprint Nova, New York, 2011. p. 89-94.
3. Dadunashvili S.A., Gogilidze E.R., Construction of the defensive system of power facilities by a modular concept - Georgian Engineering News, 2014, No.2, p. 58-65.
4. S. Dadunashvili Digital power consumption control system. Tbilisi, „Energy“, №4(96), (II), 2020. p. 167-170
5. S. Dadunashvili Development of a test system for microcontrollers. Tbilisi, „Energy“, №4(96), (II), 2020. p. 171-174

საავტომობილო ტრანსმისიის საგზაო გამოცდის მიკროპროცესორული სისტემა

სერგო დადუნაშვილი, ტექნ მეცნ. დოქტორი, პროფესორი

სეპარტველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი, საქართველო dadu@gtu.ge

ანოტაცია. აღწერილია ტექნიკური და პროგრამული საშუალებები მიკროპროცესორული სისტემის, ავტომობილის ტრანსმისიის საგზაო გამოცდისთვის. პირველადი ინფორმაცია აიღება ტენზომეტრიულ სენსორებიდან, რომლებიც განთავსებულია მბრუნავ ნახევარღერძებზე. მონაცემები მიიღება სიგნალების გაძლიერებით და გარდაიქმნება ციფრულ ფორმაში. მათი გადაცემა ხდება ავტომობილის სალონში Bluetooth-ის რადიოარხით. ისინი რეგისტრირდებიან ფლემ მემორიაში და დამუსავებისათვის უგზავნიან ნოუთბუქში.

საკვანძო სიტყვები: სენსორი; ტრანსმისია; ვგროვის სისტემა; ბლუტუსი.

Microprocessor system of road tests of automobile transmission

Sergo Dadunashvili, Doctor of Technical Sciences, Professor

Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, dadu@gtu.ge

Annotation. The article describes the hardware and software of the system for road testing of automobile transmissions. Primary information is taken from strain gauges installed on rotating semi-axes. The data obtained after amplifying the signals and converting them into digital form is transmitted via Bluetooth radio channels to the cab of the car, where it is registered in a flash memory device, and then entered into a laptop.

Keywords: sensor; transmission; control system; bluetooth.

შესავალი

ახალი ავტომობილის მრავალსტადიური შექმნის პროცესში არსებითი მნიშვნელობა ენიჭება საგზაო გამოცდევებს. მათი ამოცანა არის ავტომობილის მახასიათებლების ექსპერიმენტალური განსაზღვრა რეალურ პირობებში. საავტომობილო ტრანსმისიის გამძლეობასა და საიმედოობაზე კვლევების ჩასატარებლად, მათი კონსტრუქციისა და ტექნიკური დამზადების შემდგომი დახვეწისთვის აუცილებელია ავტომატიზირებული მზომი სისტემა, თანამედროვე კომპიუტერულ და მიკროპროცესორულ საშუალებების ბაზაზე.

გამოსაცდელი მოწყობილობა შეიცავს სენსორებს, სიგნალის მზომს და გარდაქმნის საშუალებებს, მონაცემების მაგროვებელ და გადამამუშავებელ საშუალებებს.

მექანიკური ტრანსმისია ფართოდ გამოიყენება თანამედროვე მსუბუქ და სატვირთო ავტომობილებში. შეიცავს მბრუნავ დეტალებსა და კვანძებს: კარდანის ლილვი, ნახევარ ღეძი, კბილანა და სხვა. გამძლეობასა და საიმედოობაზე გამოცდის დროს ჩნდება სიგნალების მიღების პრობლემა, მბრუნავ დეტალებზე განთავსებულ

სენსორებიდან სიგნალის მოხსნა შემდგომი გაზომვისა და გადამამუშავებისთვის კომპიუტერში. საზომი სიგნალების მისაღებად გამოიყენება მცოცავი კონტაქტები, რომელსაც აქვს დიდი ნაკლი: ცვდებიან, საგზაო ვიბრაციისას გამზომ არხებში წარმოიქმნება დამახინჯებები. ამ პრობლემის გადასაჭრელად იყენებენ უკაბელო სისტემებს, რომელიც უზრუნველყოფს რადიო არხებით მონაცემების გადატანას მბრუნავი სენსორებიდან კომპიუტერში.

კომპიუტერს მონაცემების დამგროვებლით მყარ დისკზე (ვინჩესტერზე) არ შეუძლია უზრუნველყოს მუშაობის საიმედოობა ვიბრაციის პირობებში, რომელიც წარმოიქმნება ავტომობილის გადაადგილებისას. საჭიროა შუალედური საექსპერიმენტო მონაცემების რეგისტრატორი, შესრულებული მყარი ფლემ-დისკის ბაზაზე. ასეთი გადაწყვეტილებით სალონში განთავსებული ნოუთბუქი ირთვება მხოლოდ გაზომვის ციკლის დასრულების შემდეგ, უფრო ზუსტად მანქანის გაჩერებისას, როცა ვიბრაცია აღარ არის. ფლემ-დისკიდან ნოუთბუქში მონაცემების გადაცემის და მათი

დამუშავების შემდეგ მიიღება გადაწყვეტილება ექსპერიმენტის გაგრძელების თაობაზე.

1. სისტემის სტრუქტურული სქემა

ნახ. 1-ზე წარმოდგენილია ტელემეტრიული სისტემის სტრუქტურული სქემა, საავტომობილო ტრანსმისიის საგზაო გამოცდისათვის.

პირველადი ინფორმაციას მბრუნავ მომენტსა და წამყვანი ხიდის ნახევარღერძის დეფორმაციის შესახებ ვიდეო ტენზოსენსორების მეშვეობით (ტს). მათი რაოდენობა დამოკიდებულია ავტომობილზე და იცვლება 2-დან 6-მდე (ს1 - ს6). ტენზოსენსორების სიგნალები ნიეწოდება შესაბამის მზომ ბლოკებში (მზ), რომლებიც დამაგრებულია თვლის მორგვზე და ბრუნავს გამოსაკვლელ ნახევარღერძზე.

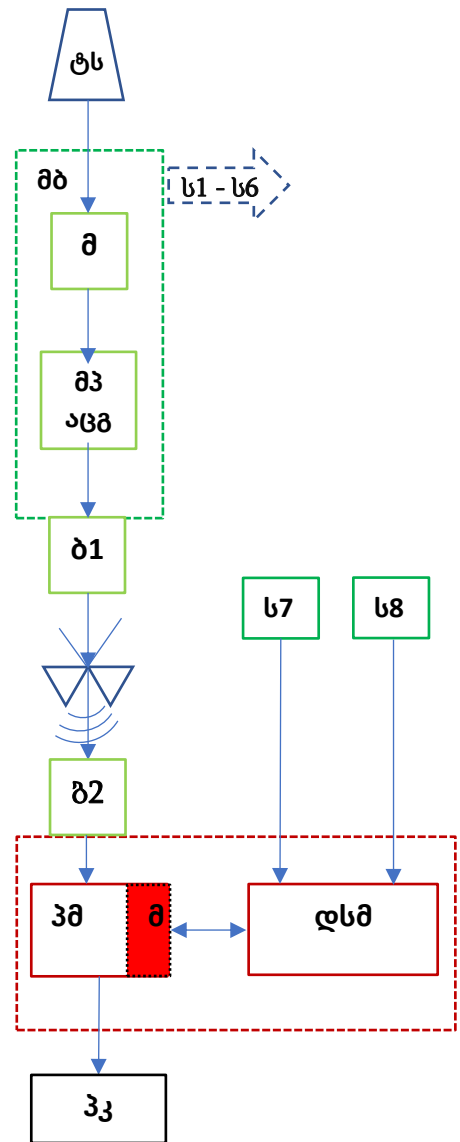
ყველა მზომ ბლოკში არის ტენზომეტრიული მამლიერებელი (მ), მიკროპოცესორი ანალოგურ-ციფრული გარდამქმნელი (მზ-ავგ) და რადიო ადაპტერი Bluetooth DBT-120 (ბ1). ციფრული მონაცემები რადიოარხებით მიმღები ადაპტერის (ბ2) გავლით ხვდება რეგისტრატორში (რ), რომელიც რეალიზებულია CPU686E პროცესორული მოდულის (პმ) ბაზაზე და მონაცემები იწერება ფლეშ-მეხსიერებაში (მ) 1გბ.

ექვსის ძირითადი ტენზოსენსორის გარდა, სისტემაში არის ორი დამატებითი სენსორი, მათი სიგნალები აღწერენ ჩატარებული ექსპერიმენტის პირობებს: ს7- ავტომობილის ძრავის მუხლა ლილვის ბრუნვის სიჩქარის საზომად და ს8- ავტომობილის სიჩქარის საზომად. ამ სენსორებიდან იმპულსური სიგნალები შედის DI32 (დსმ) მოდულის გავლით, რომელიც დაკავშირებულია CPU686E ISA სალტის საშვალეებით. სიგნალების გაზომილი პერიოდები ასევე რეგისტრირდება ფლეშ-მეხსიერებაში (მ). მონაცემები რეგისტრატორიდან გადაიცემა პერსონალურ კომპიუტერში (პკ).

2. ტენზომეტრიული მამლიერებელი

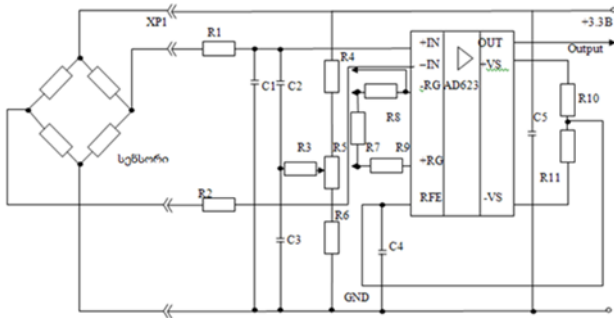
ტენზომეტრიული მამლიერებელი შესრულებულია AD623 Analog Devices მიკროსქემის ბაზაზე. სქემა წარმოდგენილია ფიგურა 2-ზე.

ტენზოსენსორის კვება ხორციელდება სტაბილიზირებული ძაბვით +3,3ვ. ზღვრული დენის შესაზღუდად კვების წყაროდან, სენსორული ბოგირის ტენზორებისტორების წინაღობა უნდა იყოს არა ნაკლები 200 ომისა. ასეთ შემთხვევაში დენი სენსორში არ აღემატება 16,5 მა.



ნახ. 1. საავტომობილო ტრანსმისიის საგზაო გამოცდის სისტემის სტრუქტურული სქემა

R₁ და R₂ რეზისტორები და C₁, C₂ და C₃ კონდენსატორები მზომი ბლოკის შესავალ წრედში ფილტრავს დამახინჯებებს, რომლებიც შეიძლება წარმოიქმნას ტენზოსენსორში და შემართებელ მავთულში. R₅ ცვლადი რეზისტორი აკომპენსირებს ტენზორეზისტორების პარამეტრების ცვლილებას და ამის მეშვეობით ბალანსირდება სენსორი.



პარამეტრების სტაბილიზაციის ასამაღლებლად გასაზომ ობიექტზე ვიბრაციის ზემოქმედებისას R₅ ცვლადი წინაღობის გამოსასვლელზე დამონტაჟებული RC ფილტრი, რომელიც შედგება R₃ და C₂, C₃ კონდენსატორებისაგან.

მზომ ბლოკში გამოიყენება AD623 მამლიერებლის მიკროსქემა. გამლიერების კოეფიციენტი G რეგულირებადია 1-დან 1000-მდე, R_G გარე რეზისტორის გამოყენებით, რომელიც ირთვება მიკროსქემის 1 და 8 გამოსასვლელში და გამოითვლება ფორმულით:

$$G=1+100 \text{ (კომ)}/R_G \text{ (კომ)}$$

გამლიერების კოეფიციენტზე ვიბრაციის ზეგავლენის შესამცირებლად R_G რეზისტორი შესრულებულია არა ცვლად რეზისტორით, არამედ შედგება სამი მუდმივი რეზისტორისაგან R₇, R₈, R₉ ნომინალებით 300, 200 და 100 ომი. სასურველი გამლიერების კოეფიციენტის ასარჩევად კონტაქტორ XP2-ზე ყენდება ზღუდარები.

AD623 დიფერენციალური მამლიერებლის ფუნქციაა გაამლიეროს სხვაობითი სიგნალი U₂₃ მიკროსქემის შესასვლელ გამომყვანებზე 2 და 3 (IN). თუ შესასვლელი სიგნალის U₂₃=0 გამოსასვლელი სიგნალი (OUT) მე-6 გამომყვანზე

უდრის ნოლს (U₆=0). ტენზოსენსორის დატვირთვისას U₂₃ შესასვლელი სიგნალი შეიძლება აღმოჩნდეს როგორც დადებითი, ასევე უარყოფითი. მამლიერებლის გამოსასვლელზე უნდა წარმოქმნილიყო შესაბამისი სხვადასხვა პოლარობის სიგნალები. მაგრამ მიღებული უარყოფითი სიგნალი U₆ < 0 შეუძლებელია, იმდენად რამდენადაც AD623 მამლიერებელს აქვს ერთპოლარული კვება +3,3 ვ. ამიტომ მამლიერებლის დამატებით შესასვლელზე (მე-5 გამომყვანი) მიეწოდება წანაცვლების ძაბვა U₅=1,65ვ, რომელიც მიღებულია ძაბვის ორზე გაყოფით R₁₀ და R₁₁ რეზისტორების გამოყენებით. ამ წანაცვლების შედეგად მე-5 გამომყვანზე, ნულოვან სიგნალს მამლიერებლის დიფერენციალურ შესასვლელზე 2 და 3 (U₂₃=0), მე-6 გამომყვანზე ვლდებულობთ გამოსასვლელ სიგნალს U₆=+1,65ვ.

ნიშანცვლადი (U₂₃) სიგნალის საშუალო ნულოვანი შემადგენლის დროს, მე-6-ე გამოსასვლელზე მივიღებთ სიგნალს: U₆=+1,65ვ±ΔU₆ სადაც ΔU₆=GU₂₃. მე-6 გამოსასვლელზე ძაბვის საერთო დიაპაზონი არის 0-სა და +3,3ვ-ს შორის, რომელიც ემთხვევა შესავალ დინამიურ ძაბვის დიაპაზონს, რომელიც შემდეგ გამოიყენება ანალოგურ-ციფრულ გარდამქმნელში (აგვ).

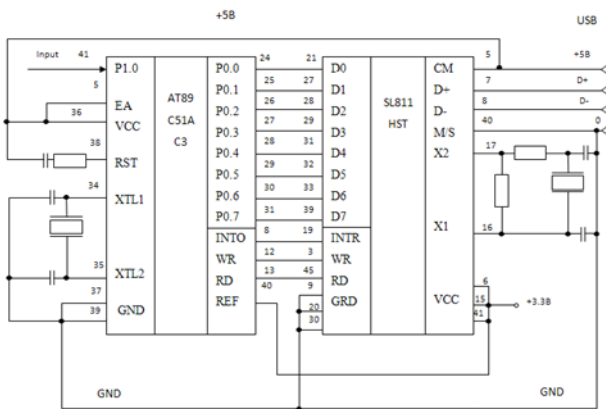
3. მიკროპროცესორი და აგვ.

მთავარ მართვის საშუალებად მზომ ბლოკში გამოიყენებულია Atmel-ის ფირმის მიკროპროცესორი AT89C51AC3. ტენზოსენსორის და მამლიერებლის კვება ხორციელდება საერთო სტაბილიზირებული კვების წყაროდან +3,3ვ. ეს ძაბვა გამოიყენება საყრდენ ძაბვად აგვ-თვის AT89C51AC3 მიკროპროცესორში. ასეთი სქემა უზრუნველყოფს გაზომვის მაღალ სიზუსტეს, იმდენად რამდენადაც შესაძლო ძაბვის რყევა +3,3ვ და შესაბამისი სიგნალების ცვლილება კომპენსირდება აგვ-ს დინამიური დიაპაზონის ცვლილებით, რომელიც არ აისახება მიღებულ ციფრულ მონაცემებზე. AT89C51AC3 მიკროპროცესორის პროგრამული უზრუნველყოფით რეალიზირდება შემდეგი ფუნქციები:

- ანალოგურ-ციფრული გარდამქმნელის მართვა;
- გაზომილი შედეგების დაგროვება მეხსიერების ბუფერში;

- გადაცემული მონაცემების პაკეტების მართვა, მზომი ბლოკიდან რეგისტრატორში რადიო არხებით Bluetooth მოწყობილობის დახმარებით (ადაპტერი 31).

მიკროპროცესორიდან AT89C51AC3 მონაცემების მოსახსნელად ადაპტერში Bluetooth DBT-120 USB ინტერფეისით, გამოიყენება Cypress ფირმის მიკროკონტროლერი SL811HST. მიკროკონტროლერისა და მიკროპროცესორის დაკავშირების სქემა წარმოდგენილია ფიგურა 3-ზე.



არსებითად SL811HST მიკროკონტროლერი წარმოადგენს ხიდს, რომელსაც არ გააჩნია საკუთარი მეხსიერება პროგრამირებისათვის, ამიტომ საჭიროა გარე მართვა, რომელიც ხორციელდება AT89C51AC3 მიკროპროცესორით მონაცემთა გადაცემის 8-თანრიგიანი სალტეს გამოყენებით. USB-ს გასართი, ნაჩვენები ფიგურა 3-ზე, დანიშნულია ადაპტერის DBT-120 Bluetooth შესაერთებლად, რადიო არხით მონაცემების პაკეტური გადაცემისათვის.

4. მონაცემების უკაბელო გადაცემა (Bluetooth სტანდარტი)

ზემოაღწერილი ტელემეტრიული სისტემის განსაკუთრებულობა გამოსაკვლევ ტრანსმისიისთვის მდგომარეობს მონაცემების სენსორებიდან, რომლებიც დამონტაჟებულია მბრუნავ ნახევარღერძებზე, უკაბელო გადაცემა ავტომობილის სალონში მდებარე რეგისტრატორში. ამ მიზნისთვის გამოიყენება D-Link-ის ფირმის DBT-120 Bluetooth შვიდი ადაპტერი, რომლებიც ქმნიან ლოკალურ რადიო ქსელს Piconet-ს. ადაპტერს აქვს საკუთარი

მიკროპროცესორი მზა პროგრამული უზრუნველყოფით, სიგნალის მიმღები და გადამცემი, ჩაშენებული ანტენა. ყოველ მოდულს ერთი ტაქტის განმავლობაში ენიჭება შესაბამისი სიხშირული არხი და მიღება გადაცემის რეჟიმი.

DBT-120 ადაპტერი დაკავშირებულია მონაცემების რეგისტრატორთან, რომელიც წამყვან როლს ასრულებს Piconet-ის ქსელში, მზომი ბლოკის ექვს ადაპტერს ანიჭებს პერსონალურ სიხშირულ არხს და დროს მიღება გადაცემისთვის. არხების სიხშირული და დროითი დაყოფა გამორიცხავს კონფლიქტურ სიტუაციას Piconet-ის ქსელში.

მიღება-გადაცემის ყოველ ტაქტში ხანგრძლივობით 625 მკწ, DBT-120 ადაპტერს შეუძლია გადასცეს ფიქსირებული ფორმატის პაკეტი, მომსახურებრივი ინფორმაციითა და გადასაცემი მონაცემებით. მომსახურებრივი ინფორმაციას გააჩნია 72-თანრიგიანი წვდომის კოდი, მოწყობილობის სინქრონიზაციის უზრუნველყოფით, პაკეტის 54-თანრიგიანი დასახელებით, რომელიც შეიცავს პაკეტის საკონტროლო და პარამეტრების ინფორმაციას.

მონაცემების სისტემაში, მზომი ბლოკის ბუფერიდან გადაგზავნილი რეგისტრატორში, შეიძლება 256 ბაიტი იყვეს. მეტი მოცულობის პაკეტი, რომელის ზომამ შეიძლება მიაღწიოს 64 კბაიტს, გადაცემა წინასწარი სეგმენტაციის გზით. გადასაცემი დიდი პაკეტის სეგმენტაციის პროცედურა და მიღებული სეგმენტების უკუ აწყობა ავტომატურად ხორციელდება DBT-120 ადაპტერის პროგრამული საშუალებით.

5. სენსორისა და მონაცემების რეგისტრატორის ფუნქციონალური ელემენტები

რეგისტრატორის მთავარ ელემენტს წარმოადგენს CPU686E მოდული. პროგრამულად CPU686E თავსებადია Windows-თან. ტელემეტრულ სისტემაში გათვლილია შეერთება გამოტანილი ადაპტერის DBT-120 Bluetooth CPU686E-თან USB 1.1 ინტერფეისით.

რეგისტრატორი სხვა ფუნქციონალურ ელემენტად ითვლება ციფრული შეყვანის მოდული გალვანური გახსნით DI32, რომელთანც გათვალისწინებულია ს7 და ს8 სენსორების შეერთება. ს7 სენსორის დანიშნულება არის მუხლა ლილვის ბრუნვის სიხშირის გაზომვა. პირველადი სიგნალი წარმოადგენს, სინუსოიდალურ ძაბვას, რომელიც მიღებულია

სამფაზა გენერატორის ერთი ფაზით, გამართვის შემდეგ კი ვიღებთ საბორტო კვებას 24ვ.

მონაცემების რეგისტრატორის ბლოკში უარყოფითი ნახევარტალდა ამ სინულიდას სცილდება, დადებითი ნახევარტალდა კი იზღუდება სტაბილიზატორით 4,7ვ-მდე. ტრაპეციოდალური იმპულსები, რომელიც მიიღება მიიღება ამ წესით სინუსოიდისაგან, შედის მოდულში DBT-120, მათი სიხშირის გასაზომად.

ელექტრონული სპიდომეტრი გამოყენებულია ს8 სენსორად. მიღებული იმპულსების სიხშირე განსაზღვრავს ავტომობილის სიჩქარეს და იცვლება 5-დან 100კვ-ის ფარგლებში. დაბალი სიგნალის დონე იმყოფება 0-დან 1,9ვ-მდე, მაღალი კი უდრის +8ვ. ამ იმპულსების შეყვანის სქემა ანალოგიურია ს7 სენსორისა.

ს7 და ს8 სენსორების სიხშირეების განსაზღვრისთვის გამოიყენება სიხშირის მზომი, რომელიც ჩაშენებულია DBT-120 მოდულში. მზომს გააჩნია 16-თანრიგიანი მრიცხველი (მონაცემების რეგისტრირით), რომელიც გაზომვის დროს განმავლობაში ივსება ტაქტური გენერატორის იმპულსებით. შესავალი სიხშირეების გაზომვა შეიძლება განხორციელდეს ერთ ან რამდენიმე პერიოდის განმავლობაში. CPU686E პროგრამული გზით რთავს სიხშირის მზომს, შემაჯავლი იმპულსების არხების ნომრის მითითების გზით.

გაზომვის პროცესის დასრულების მომენტში სიხშირე მზომი გამოიმშავებს CPU686E-ს აპარატულ წყვეტას, რომელიც მიუთითებს გაზომვის შედეგების მზადყოფნაზე მონაცემების რეგისტრში.

მონაცემთა რეგისტრატორის პროგრამული უზრუნველყოფა ახორციელებს შემდეგ ძირითად ფუნქციებს:

- 6 მზომი ბლოკის მოთხოვნის მიმდევრობითულ ფორმირებას, მათი USB-ით გადაცემას ;
- მზომი ბლოკებიდან ადაპტერით Bluetooth და USB-ს გამოყენებით, საპასუხო პაკეტების მიღება დაგროვილი ინფორმაციით;
- ს7 და ს8 სენსორიდან იმპულსური სიგნალების პერიოდების გაზომვა;

- მიღებული მონაცემების პაკეტების ჩაწერა CompactFlash მეხსიერებაში.

აღწერილი სისტემის მუშაობის შედეგად ტრანსმისიის გამოსაცდელად საერთო ფაილში CompactFlash მეხსიერებაში იწერება მზრუნავი მომენტის ფუნქციები ავტომობილის ნახევარდერძებზე, მზომი ბლოკების მიერ მიღებული მონაცემებით, რომელიც რადიო არხებით გადაეცემა რეგისტრატორს, და ასევე დამხმარე მონაცემები ძრავის მუშაობის რეჟიმისა და ავტომობილის სიჩქარის შესახებ, მიიღება ს7 და ს8 სენსორების საშუალებით.

ექსპერიმენტის დასრულების შემდეგ, მონაცემები CompactFlash-დან რადიო არხით შედის ნოუთბუქში. იქ კი მონაცემების დაყოფა ხდება, ცალკეული შესაბამისი არხებით, არხების მასშტაბირება და მოცემული ფუნქციის გრაფიკული გამოსახვა. ამის შემდეგ მონაცემები შეკავთ პროგრამა Catman-ში შემდგომი ანალიზისთვის და ხდება რეზულტატების დოკუმენტირება.

დასკვნა

ადრე საგზაო გამოცდის დროს ტენზოსენსორების სიგნალები აიღებოდა მცოცი კონტაქტებისგან და მანქანის სალონში გადაეცემოდა მავთულებით. ძირითადი უპირატესობა წარმოდგენილი სისტემის მდგომარეობს უკაბელო მონაცემების გადაცემაში რაც არსებითად აღმოფხვრა დამახინჯებები საზომ სისტემაში.

ლიტერატურა

1. დადუნაშვილი ს. მიკროკონტროლერების გამოყენების აპარატული და პროგრამული უზრუნველყოფა. სტუ, თბილისი, 2010. 156 გვ. ISBN 978-9941-14-915-3.
2. Dadunashvili Sergo, Petriashvili Lili, Khartishvili Maka. Wireless Networks for Offline Sensors - Informational and Communication Technologies – Theory and Practice: Proceedings of the International Scientific Conference ICTMC - Imprint Nova, New York, 2011. p. 89-94.
3. დადუნაშვილი ს.ა., გოგილიძე ე.რ. ენერგობოქტების დაცვის სისტემების აგება მოდულური პრინციპის მიხედვით - საქართველოს საინჟინრო სიახლენი, 2014, No.2, გვ. 58-65.

4. დადუნაშვილი ს. ელექტროენერჯის მოხმარების კონტროლის ციფრული
5. ს. დადუნაშვილი მიკროკონტროლერების გამომცდელი სისტემის დამუშავება. თბილისი, „ენერჯია“, №4(96), (II), 2020. გვ. 171-174

References (transliterated)

1. S. Dadunashvili Hardware and Software of microprocessors using – GTU, Tbilisi, 2010. 156 p. ISBN 978-9941-14-915-3
2. Dadunashvili S., Petriashvili L., Khartishvili M. Wireless Networks for Offline Sensors - Informational and Communication Technologies –

- სისტემა. თბილისი, „ენერჯია“, №4(96), (II), 2020. გვ. 167-170
- Theory and Practice: Proceedings of the International Scientific Conference ICTMC - Imprint Nova, New York, 2011. p. 89-94.
3. Dadunashvili S.A., Gogilidze E.R., Construction of the defensive system of power facilities by a modular concept - Georgian Engineering News, 2014, No.2, p. 58-65.
4. S. Dadunashvili Digital power consumption control system. Tbilisi, „Energy“, №4(96), (II), 2020. p. 167-170
5. S. Dadunashvili Development of a test system for microcontrollers. Tbilisi, „Energy“, №4(96), (II), 2020. p. 171-174

ნავთობის რეზერვუარში ნავთობის დონის გაზომვა ელექტროვიზუალური მეთოდით

დავით ჟუჟნიაშვილი, დოქტორანტი

საქ. ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი, საქართველო, e-mail: jurniashvili@mail.ru

ზაალ აზმაიპარაშვილი, ტ. მ.კ., პროფესორი;

საქ. ტექნიკ. უნივერსიტეტი, თბილისი, საქართველო, e-mail: Zaalzmaiparashvili@gtu.ge

გურამ მურჯიკნელი, ტ. მ.კ., პროფესორი;

საქ. ტექნიკ. უნივერსიტეტი, თბილისი, საქართველო, e-mail: gurami.murjikneli@gtu.ge

გივი მურჯიკნელი, ტ. მ.კ., ასოცირებული პროფესორი;

საქ. ტექნიკ. უნივერსიტეტი, თბილისი, საქართველო, e-mail givi.murjikneli@magtikom.ge

ანოტაცია. დამუშავებულია ნავთობის გაზომვის ელექტროვიზუალური მოწყობილობა რეზერვუარში, რომელიც წარმოადგენს ვიზუალური და ელექტრული საზომების ჰიბრიდს. ვიზუალური ნაწილი აგებულია ზიარჭურჭლის მოქმედების პრინციპზე. ნავთობის რეზერვუარს გვერდიდან უკეთდება გამჭვირვალე მილი, რომლითაც დგინდება ნავთობის დონე რეზერვუარში. მოწყობილობის მეორე (ელექტრული) ნაწილით ხდება ნავთობის დონის შესაბამისი ციფრული ინფორმაციის მიღება ფოტორეზისტორული სენსორით, რომელიც შემდეგ ანალოგურ-ციფრული გარდამქმნელით გადაგვყავს ორობით-ათობით კოდში და ვაწვდით ოპერატორის საინდიკაციო მოწყობილობას.

საკვანძო სიტყვები: ნავთობის რეზერვუარი, ვიზუალური ზიარჭურჭელი, სენსორი, ანალოგურ-ციფრული გარდამქმნელები.

Oil Level in a Reservoir Measurement by Electrovisual Method

David Zhuzhniashvili, doctoral student

Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, e-mail: jurniashvili@mail.ru

Zaal Azmaiparashvili, PhD., Professor;

Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, e-mail: Zaalzmaiparashvili@gtu.ge

Guram Murjikneli, PhD., Professor;

Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, e-mail: gurami.murjikneli@gtu.ge

Givi Murjikneli, PhD., Associate Professor;

Georgia Technical University, Tbilisi, Georgia, e-mail givi.murjikneli@magtikom.ge

Annotation: The paper develops an electrovisual device for measuring oil in a reservoir, which is a hybrid of visual and electrical measurements. The visual part is built on the principle of operation of a water level. A transparent pipe is mounted on the side of the oil tank to determine the oil level in the tank. The second (electrical) part of the device receives digital information corresponding to the oil level with a photoresistor sensor, which is then converted into a binary-decimal code with an analog-digital converter and is fed to the operator's indicator device.

Keywords: Oil Reservoir, Visual Water-level, Sensor, Analog-Digital Converters

შესავალი. ნედლი ნავთობის დონის უწყვეტი გაზომვა რეზერვუარში წარმოადგენს ისეთ ამოცანას, რომლის გადაწყვეტა მოითხოვს მუდმივ ყურადღებას. ამ მიზნით გამოიყენება ნავთობის დონის სხვადასხვა საზომები, რომლებიც შეიძლება დავყოთ კონტაქტურ და უკონტაქტო საზომ მოწყობილობებად.

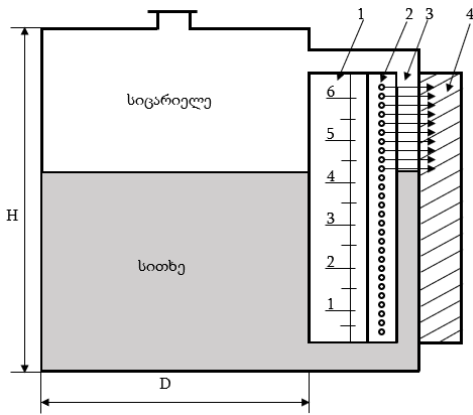
მოქმედების პრინციპის მიხედვით ნავთობპროდუქტების დონის საზომები იყოფა ვიზუალურ, მექანიკურ, ელექტრულ, სითბურ,

აკუსტიკურ მიკროტალღურ, რადარულ ტიპებად.

სამუშაოს მიზანი. წინამდებარე ნაშრომში დამუშავებულია ნავთობის დონის ელექტროვიზუალური საზომი მოწყობილობა, რომელიც წარმოადგენს ვიზუალური და ელექტრული დონის საზომების ჰიბრიდს, განვიხილოთ მისი მუშაობის პრინციპი.

ელექტროვიზუალური საზომი მოწყობილობის აგება და მისი მუშაობის

პრინციპის განხილვა. ნავთობის რეზერვუარში (ნახ. 1) ნავთობის დონის საზომის ვიზუალური ნაწილი აგებულია ზიარჭურჭლის მოქმედების პრინციპზე და აქვს ნახ. 1-ზე მოცემული სახე, საიდანაც ჩანს რომ, ნავთობის რეზერვუარს გვერდიდან მთელ სიმაღლეზე უერთდება $H = 5-10$ სმ-ის ტოლი გამჭვირვალე მილი, რომელიც შეიძლება იყოს როგორც მრგვალი, ისე მართკუთხა ფორმის. მას ნავთობის რეზერვუართან აქვს შეტყობინებები (ხვრელები), რომლებითაც აღნიშნული მილი ნავთობის რეზერვუართან ერთობლიობაში ქმნის ზიარჭურჭელს და აქედან გამომდინარე, გაჭვირვალე მილში ნავთობის დონის მიხედვით შეიძლება განვსაზღვროთ



ნახ. 1. ნავთობის რეზერვუარი:

- 1-პანელი სიგრძის ნიშნულებით; 2-სინათლის წყარო; 3-გამჭვირვალე მილი; 4-სენსორები

ნავთობის დონე რეზერვუარში. რაც შეეხება გამჭვირვალე მილს, მისი ერთი მხრიდან გაკეთებულია პანელი, რომელზეც განთავსებულია სიგრძის ამსახველი ნიშნულები სმ-ში იმ მიზნით, რომ მილში ნავთობის დონე შევადაროთ შესაბამის ნიშნულს და გავიგოთ, თუ რა დონეზეა ნავთობი რეზერვუარში.

გარდა სიგრძის შესაბამისი ნიშნულებისა, მილზე მონიშნულია აგრეთვე მასის შესაბამისი ნიშნულები, რის შედეგადაც შესაძლებელია მივიღოთ ინფორმაცია რეზერვუარში არსებული ნავთობის მასის შესახებაც.

განვიხილოთ მაგალითი რეზერვუარში ნავთობის დონის გაზომვის სავარაუდო ცდომილების გამოსაანგარიშებლად. ვთქვათ

გვაქვს ნავთობის რეზერვუარი ზომებით: $H=5$ მ , $D=6$ მ. მაშინ რეზერვუარის მოცულობა

$$V=\Delta=\pi D^2 H/4 = 3,14 \cdot 6^2 \cdot 5/4 = 141,3 \text{ მ}^3.$$

იმ შემთხვევაში, თუ პანელზე მოვნიშნავთ ერთი სანტიმეტრის ტოლ ინტერვალებს, მაშინ ორ უახლოეს ინტერვალს შორის მოცულობათა სხვაობა მოგვცემს სიდიდეს

$$\Delta = 141,3 / 500 \text{მ}^3 = 282,6 \text{ ლიტრი}.$$

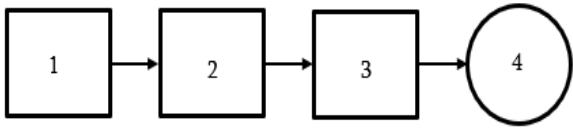
აქედან ჩანს, რომ, განხილული გაზომვის რეზერვუარში ნავთობის დონის ყოველი ერთი სმ-ით ცვლილება გამოიწვევს მოცულობის ცვლილებას 282,6 ლიტრით. ანუ ამ შემთხვევაში აბსოლუტური ცდომილება Δ არ აღემატება $282,6/2=141,3$ ლ-ს., ხოლო ფარდობითი ცდომილების მაქსიმალური მნიშვნელობისათვის კი გვექნება

$$\Delta_{\%} = \Delta/2 \cdot 100 = 0,1\%,$$

რაც სავსებით მისაღებია. მაგრამ თუ ნიშნულებს შორის იქნება ინტერვალი 10 სმ, მაშინ ფარდობითი ცდომილება გახდება 1 %. ამრიგად, იმისათვის, რომ რეზერვუარებში ნავთობის გაზომვის სიზუსტე გავზარდოთ, ფარდობითი ცდომილება უნდა შევამციროთ, ანუ გავზარდოთ პანელზე მონიშნული ინტერვალების (შესაბამისად სენსორების) რაოდენობა.

ამგვარად, ჩვენ განვიხილეთ ნავთობის რეზერვუარში ელექტროვიზუალური დონის საზომი მოწყობილობის ვიზუალური ნაწილი, რომელიც მოსახერხებელია მცირე ზომის რეზერვუარებში დონის გასაზომად და აქვს მაღალი სიზუსტე. მაგრამ ასეთი ტიპის დონის საზომს გააჩნია სერიოზული ნაკლოვანი მხარე, რაც იმაში გამოიხატება, რომ დიდი ზომის რეზერვუარებთან მუშაობისას მათი საშუალებით მოუხერხებელია ინფორმაციის აღება დიდი სიმაღლის რეზერვუარებიდან.

ამოცანის გადაწყვეტა შესაძლებელია სქემის მეორე (ელექტრული) ნაწილის გამოყენებით (ნახ. 2), რომელიც ფაქტიურად ანალოგური ციფრული გარდამსახია (acg). მისი საშუალებით შესაძლებელია გავაერთიანოთ რეზერვუარის გამჭვირვალე მილის სხვადასხვა წერტილებიდან აღებული გაზომვის შედეგები.



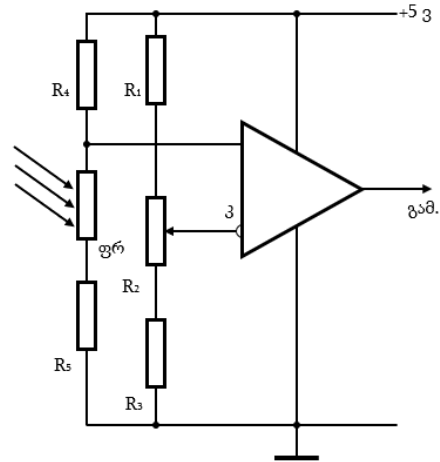
ნახ. 2. ელექტროვიზუალური დონის საზომის ელექტრული ნაწილის ბლოკ-სქემა:
 1-კომპარატორები; 2-პრიორიტეტული შიფრატორი; 3-ორობით-ათობით კოდში გარდაქმნელი; 4-საინდიკაციო ბლოკი

ერთი რეზერვუარის სხვადასხვა წერტილებიდან მიღებული საზომი ინფორმაციის გაერთიანება ხდება სენსორების გამოყენებით, რომლებიც აგებულია f_r ფოტორეზისტორებისა და k კომპარატორების ბაზაზე (ნახ. 3).

ფოტორეზისტორის დასხივების შედეგად მისი წინააღობის სიდიდე მკვეთრად მცირდება. ამისათვის უნდა მივმართოთ ფოტოელემენტის სხივი გამჭვირვალე მილისაკენ და თუ ამ დროს სხივი გაივლის ისეთ წერტილში, რომელშიც გვაქვს ნავთობი ფოტოწინააღობის სიდიდე დარჩება უცვლელი, ხოლო თუ სხივი გაივლის მილის იმ წერტილში, სადაც ნავთობი არ გვაქვს, მოხდება ფოტოწინააღობის მკვეთრი შემცირება. კომპარატორის საყრდენი ძაბვა ფორმირდება R_1 , R_2 და R_3 წინააღობებზე აგებული ძაბვის გამყოფით. ამრიგად, როცა ძაბვა კომპარატორის პირდაპირ შესასვლელზე გადააჭარბებს ძაბვას ინვერსულ შესასვლელზე (ანუ როდესაც ფოტოწინააღობის დასხივება არ ხდება) კომპარატორის გამოსასვლელზე მივიღებთ ლოგიკურ ერთს, ხოლო როდესაც ძაბვა კომპარატორის პირდაპირ შესასვლელზე ინვერსულ შესასვლელზე ძაბვასთან შედარებით ნაკლები გახდება (ფოტორეზისტორის დასხივების შედეგად), კომპარატორის გამოსასვლელზე მივიღებთ ლოგიკურ ნულს. სენსორის კვება ხდება +5 ვ-ით.

ამგვარად, თუ გამჭვირვალე მილის მთელი სიგრძის შესაბამისად არსებული პანელის მხრიდან განვათავსებთ სინათლის წყაროს გარკვეულ რაოდენობას და ამ წყაროდან გამომავალ სინათლის სხივებს მილის გავლით მივმართავთ შესაბამისი რაოდენობის ფოტოწინააღობებისაკენ, მაშინ მივიღებთ ერთიანებისა

და ნულების შესაბამის მნიშვნელობებს, ანუ



ნახ. 3. სენსორი

უნიტარულ კოდს. იქ, სადაც გვექნება ნავთობის შესაბამისი წერტილები მივიღებთ ლოგიკურ ერთიანებს, ხოლო სადაც არ გვექნება ნავთობის შესაბამისი წერტილები, იმ ადგილებში მივიღებთ ლოგიკურ ნულებს. თითოეული ლოგიკური ერთისა და ნულის მისაღებად საჭიროა შესაბამისი წრედები რომელთა რაოდენობა იქნება პანელზე ინტერვალების ჯამური რაოდენობის ნიშნულების ტოლი.

შემდეგ მიღებულ უნიტარულ კოდს ვაწვდით შიფრატორს, რომლის გამოსასვლელზე განხილული რეზერვუარის სიმაღლიდან გამომდინარე, მიიღება შვიდთანრიგა ორობითი კოდი. ეს კოდი შეესაბამება გამჭვირვალე მილზე მონიშნულ ინტერვალების მაქსიმალურ რაოდენობას, რომელიც ჩვენს მიერ განხილული მაგალითისათვის 100-ის ტოლია. შემდეგ აღნიშნული შვიდთანრიგა ორობითი კოდი გადაგვყავს სამთანრიგა ორობით-ათობით კოდში, რომლის გამრავლებით ორ მეზობელ ინტერვალს შორის მანძილზე ($100 \times 5 \text{ სმ} = 5 \text{ მ}$) მივიღებთ ნავთობის დონის მაქსიმალურ მაჩვენებელს რეზერვუარში.

შემდეგ მიღებულ სამთანრიგა ორობით-ათობით კოდს ვაწვდით სამთანრიგა ათობით საინდიკაციო მოწყობილობას. რომელიც მოთავსებულია ოპერატორთან და ოპერატორი ღებულობს ინფორმაციას რეზერვუარში ნავთობის დონის შესახებ.

დასკვნები.

1. ამგვარად ,დამუშავებულია ნავთობის დონის გაზომვის ელექტროფიზიკური მოწყობილობა რეზერვუარში, რომელიც წარმოადგენს ვიზუალური და ელექტრული საზომების ჰიბრიდს.

2. ნაშრომში გამოყენებულია ზიარტურჭლის მოქმედების პრინციპი, რომელიც იქმნება ნავთობის რეზერვუარისა და გამჭვირვალე მილის ერთმანეთთან პარალელური მიერთებით.

3. აგებულია სენსორული ბლოკი, რომლის გამოსასვლელზე მიიღება რეზერვუარში ნავთობის დონის შესაბამისი ციფრული კოდი.

4. დამუშავებულია ანალოგურ-ციფრული გარდამქმნელი, რომლის საშუალებითაც მიიღება ციფრული უნიტარული კოდის შესაბამის ორობით-ათობითი კოდი.

5. დამუშავებულია ოპერატორის საინდიკაციო მოწყობილობა ნავთობის დონის შესაბამისი ორობით-ათობით კოდით.

ლიტერატურა

1. Повышение эффективности с применением электрофизических методов. Шайхутдинова М. Ш. Уфа, 2020. 126 с.
2. Датчики для измерений при производстве электрической и тепловой энергии. Волков Ю. В. Санкт-Петербург, 2019, 89 с.
3. ანალოგური სიგნალების ციფრული დამუშავება. ზ. აზმაიფარაშვილი, მურჯიკნელი, გ. მურჯიკნელი. გ. თბილისი, ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2017, 162 გვ.

References (Literature)

1. Increasing Effectiveness By Applying Electrophysical Methods. Shaikhutdinova, M.Sh. Ufa, 2020, 126 pages.
2. Measurement Sensors In Production of Electrical and Thermal Energy. Volkov, U. V, St. Petersburg, 2019, 89 pages.
3. ანალოგური სიგნალების ციფრული დამუშავება. ზ. აზმაიფარაშვილი, მურჯიკნელი, გ. მურჯიკნელი. გ. თბილისი, ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2017, 162 გვ.

ლუმინესცენციური ნათურების მართვის სქემების ანალიზი, ტექნიკურ-ექსპერიმენტული მახასიათებლები და მათი კვლევის შედეგები

ზაალ აზმაიფარაშვილი, პროფესორი, მიკროპროცესორული და საზომი სისტემების დეპარტამენტის უფროსი

საქ. ტექნიკური უნივერსიტეტი, ქ. თბილისი, საქართველო, e-mail: z.azmaiparashvili@gtu.ge

მერაბ ფოლადაშვილი, დირექტორი, შ.პ.ს. „სათი“, ქ. თბილისი, საქართველო,

e-mail: mebo2@rambler.ru

ნიკოლოზ მესხიძე, ინჟინერ-პროგრამისტი

საქ. ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი, საქართველო, e-mail: nmesxidze27@gmail.com

ნუკრი ებრაიძე, დოქტორანტი

საქ. ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი, საქართველო, e-mail: nukri8848@gmail.com

ანოტაცია. განხილულია ლუმინესცენციური ნათურების არსებული მართვის სქემები, ჩატარებულია მათი მიმოხილვითი ანალიზი და შემოთავაზებულია მოდიფიცირებული მართვის სქემის ალტერნატიული ვარიანტი. ჩატარებულია მართვის სქემების ექსპერიმენტული მახასიათებლების კვლევები და კვლევის შედეგად მიღებული მონაცემების შედარებითი ანალიზი, რის საფუძველზეც შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ მოდიფიცირებული მართვის სქემა თავისი ენერგეტიკული და ხარისხობრივი პარამეტრებით გაუმჯობესებულია სტანდარტულ მართვის სქემასთან შედარებით.

საკვანძო სიტყვები: მართვის სქემა, ლუმინესცენციური ნათურა, მართვადი გენერატორი, რეზონანსული კონტური, ველიანი ტრანზისტორები, ენერგეტიკული პარამეტრები.

Analysis of luminescent lamp control circuits, technical-experimental characteristics and their research results

Zaal Azmaiparashvili, Professor, Head of Department Microprocessor and Measurement Systems

Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, e-mail: z.azmaiparashvili@gtu.ge

Merab Pholadashvili, Director, "Sati" Ltd, st. Tbilisi, Georgia, E-mail: mebo2@rambler.ru

Nikoloz Meskhidze, Engineer-programmer

Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, e-mail: nmesxidze27@gmail.com

Nukri Ebravidze, doctoral student

Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, e-mail: nukri8848@gmail.com

Annotation. Existing control schemes of fluorescent lamps are reviewed, their review analysis is performed and an alternative version of the modified control scheme is proposed. Studies of the experimental characteristics of management schemes and comparative analysis of the data obtained from the research have been carried out, on the basis of which we can conclude that the modified management scheme with its energy and quality parameters is improved compared to the standard control scheme.

Keywords: control circuit, fluorescent lamp, control generator, resonant circuit, field-effect transistors, power settings.

შესავალი. არსებობს ლუმინესცენციური ნათურების მართვის მრავალი სქემების ვარიანტები, მათ შორის აღსანიშნავია პრაქტიკაში ყველაზე პოპულარული რამოდენიმე სახის მართვის სისტემა, სადაც გამოყენებულია კათოდის შეთბობის პრინციპი. როგორც წესი, ასეთი მოწყობილობა შეიცავს ენერჯის წყაროს, რომელიც გამოიყენება კათოდების შეთბობისთვის, ასევე ნათურის ნათების პროცესის უზრუნველყოფისთვის, ანთების და გამშვების პროცესის მართვისათვის.

ლუმინესცენციური ნათურის კათოდების შეთბობისათვის გამოიყენება კონდენსატორზე აგებული იმპულსების მაფორმირებელი, თერმისტორი ან სტარტერი, რომელიც ჩართულია კათოდებს შორის ან გამოიყენება მადალსიხშირული ტრანსფორმატორი. ლუმინესცენციურ ნათურაში გამავალი დენის შეზღუდვისთვის გამოიყენება ინდუქციური და ტევადური ბალასტები, რომლებიც ნათურასთან ჩართულნი არიან მიმდევრობით.

ლუმინესცენციური ნათურის ანთება ხდება კათოდებს შორის არსებული ძაბვის გაზრდის

საშუალებით, რაც ხორციელდება სპეციალური სქემის მიერ ფორმირებული მაღალი ძაბვის იპულსების მეშვეობით. ასევე ძაბვის ზრდა შეიძლება განხორციელდეს სტარტერის კონტაქტების კომუტაციითაც, როდესაც ნათურა წრედში ჩართულია ინდუქციური ბალასტი.

ნათურის გაშვების, ანთების და საჭირო სიმძლავრის დამყარების პროცესის მართვა ხორციელდება სპეციალური მიკროსქემის, - ე.წ. დრაივერის საშუალებით, მათ შორის ასევე გამოიყენება მიკროკონტროლერებიც.

სამუშაოს მიზანი. ნაშრომის მიზანს წარმოადგენს, ლუმინესცენციური ნათურების მართვის სქემის ალტერნატიული (მოდიფიცირებული) ვერსიის შემუშავებას გაუმჯობესებული ენერგეტიკული და ხარისხობრივი მაჩვენებლებით სტანდარტულ მართვის სქემასთან შედარებით.

არსებული მართვის სქემების მიმოხილვითი ანალიზი.

საწარმოო პრაქტიკაში გამოიყენება მართვის სქემები, სადაც გამოყენებულია ისეთი ელექტრული ენერჯის წყაროები, როგორცაა ძირითადი სიხშირის მართვადი გენერატორები (სიხშირის გადაწყობის ფუნქციის მქონე გენერატორები), ტრანზისტორული მაფორმირებლები, სიმეტრიული ნახევარხიდოვანი ან სრულხიდოვანი ჩართვის სქემით, მიმდევრობითი LC რეზონანსული კონტური, რომელიც შესდგება ინდუქტიური და ტევადური ელემენტებისაგან, მაბლოკირებელი კონდენსატორებისგან და ა.შ. ძალური გამოსასვლელი მიერთებულია მიმდევრობითი LC რეზონანსულ კონტურთან,[1],[5],[6].

არსებული სქემები აგებულია კათოდების დენითა და ძაბვით შეთბობის ეფექტზე. [2],[7],[8] ასეთი გადაწყვეტა დაკავშირებულია გამარტივებული ტრანსფორმატორის არსებობასთან, რომელიც შესრულებულია ცალკეული გულარის სახით. ასეთი ტრანსფორმატორი განაპირობებს მართვის მაღალი ხარისხის მახასიათებლის მიღებას, თუმცა რამდენადმე ართულებს მართვის სქემის რეალიზაციას მთლიანობაში.

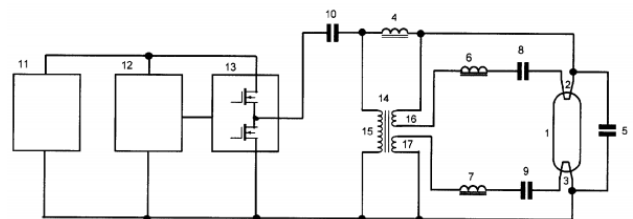
აღნიშნული ტრანსფორმატორის პირველადი გრაგნილის მართვის სქემასთან მიერთების რამოდენიმე ვარიანტი არსებობს:

ა) როდესაც იგი მიერთებულია ლუმინესცენციური ნათურის პარალელურად [3],[9],[14];

ბ) როდესაც იგი მიერთებულია პარალელურად რეზონანსული კონტურის [4], [10-11] ტრანსფორმატორში გამავალი დენის არასიმეტრიულად განაწილების აღმოფხვრის მიზნით, ტრანსფორმატორის პირველადი გრაგნილი იმპულსების მაფორმირებელთან მიერთებულია მაბლოკირებელი კონდენსატორის საშუალებით.

მართვის სქემაში, რომელიც აგებულია კათოდების შეთბობის პრინციპზე, გამოყენებულია ნახევარხიდოვანი ტრანზისტორული გენერატორი, დროსელიანი მიმდევრობითი რეზონანსული წრედი, რეზონანსული კონდენსატორი, მაბლოკირებელი კონდენსატორი, მიკროკონტროლერი IR2166, რომელიც მართავს იმპულსების გენერატორის სიხშირეს, სიმძლავრის კორექტორს და უზრუნველყოფს დაცვით ფუნქციებს ლუმინესცენციური ნათურის როგორც მწყობრიდან გამოსვლის შემთხვევაში, ასევე მართვის სქემის ნორმალური რეჟიმიდან გამოსვლის პირობებში. რეზონანსული კონდენსატორი ჩართულია კათოდების შორის, რაც უზრუნველყოფს კათოდების შეთბობას[12]. განხილულ (არსებულ) სქემებში ნათურის ანთების მომენტში მოხმარებული დენის სიდიდე გაცილებით მეტია ნათურის მუშა დენზე და აღწევს რამოდენიმე ამპერს. სწორედ ესაა არსებული სქემების ნაკლოვანებები, რადგან ლუმინესცენციური ნათურის ანთებისთვის საკმარისია 50÷100 მა სიდიდის დენის მნიშვნელობა. აღნიშნული ნაკლი განაპირობებს ლუმინესცენციური ნათურის სასიცოცხლო რესურსების მკვეთრ შემცირებას მით უმეტეს თუ ხდება ხშირი ჩართვა-გამორთვა.

ლუმინესცენციური ნათურის მართვის სტრუქტურული სქემა. ლუმინესცენციური ნათურის ფუნქციური სქემა ნახევარხიდოვანი ტრანზისტორული იმპულსების გენერატორით, მოცემულია ნახ.1-ზე.



ნახ.1. ლუმინესცენციური ნათურის მოდიფიცირებული მართვის ფუნქციური სქემა

სქემაზე აღნიშნულია შემდეგი ელემენტები და კვანძები:

1 - ლუმინესცენციური ნათურა; 2,3 - ლუმინესცენციური ნათურები ორელექტროდიანი კათოდებით; 4 - დროსელი; 5 - ძირითადი რეზონანსული კონტურის კონდენსატორი; 6,7 - მცირეგაბარიტიანი დროსელები; 8-9 - დამატებითი რეზონანსული კონტურის კონდენსატორები; 10 - მაბლოკირებელი კონდენსატორი; 11 - ელექტრული ენერჯის წყარო (AC/DC გარდამქმნელი); 12 - ძირითადი სიხშირის გენერატორი; 13 - ტრანზისტორული ნახევარხიდი (მაგ. IRF820 ტიპის ველიან ტრანზისტორებზე აწყობილი); 14 - მცირე-სიმძლავრეანი მაღალსიხშირული ტრანსფორმატორი; 15-პირველადი გრაგნილი; 16,17 - მეორადი გრაგნილები. მცირე ინდუქციურობის მქონე დროსელები 6,7 რომელთა უნდუქტივობა შეადგენს 10-30 მკჰნ, წარმოადგენენ მცირეგაბარიტიან ელექტრულ კომპონენტებს. კონდენსატორებს 8,9 გააჩნიათ ტევადობა 22 ± 100 ნფ. მუშა ძაბვით 25ვ. და ზომებით 0603, 0805, რაც თავის მხრივ მცირე გაბარიტიანია [13].

უპირატესობანი. შემოთავაზებული ეკონომიური ენერგომომარების მქონე მართვის სქემის - უპირატესობანი მდგომარეობს შემდეგში: მაღალსიხშირული ტრანსფორმატორის უშუალოდ მიერთებამ იმპულსების მაფორმირების გამოსასვლელთან, ხოლო მეორადი გრაგნილების მიერთებამ ლუმინესცენციური ნათურის კათოდებთან გამოიწვია კათოდების შეთბობის დენის განსაზღვრული მნიშვნელობის მიღება ძირითადი რეზონანსული კონტურასკან დამოუკიდებლად. უკანასკნელი განაპირობებს კათოდების წრედში ჩართული მთავარი და დამხმარე მიმდევრობითი რეზონანსული კონტურების საკუთარ სიხშირეთა მოთხოვნილი თანაფარდობის მიღწევას, რაც თავის მხრივ იძლევა კათოდების შეთბობის ოპტიმალური დენის მიღების საშუალებას ნათურის ანთების პროცესის ყველა ეტაპზე (სასტარტო გაშვება, ანთება და ნათება)

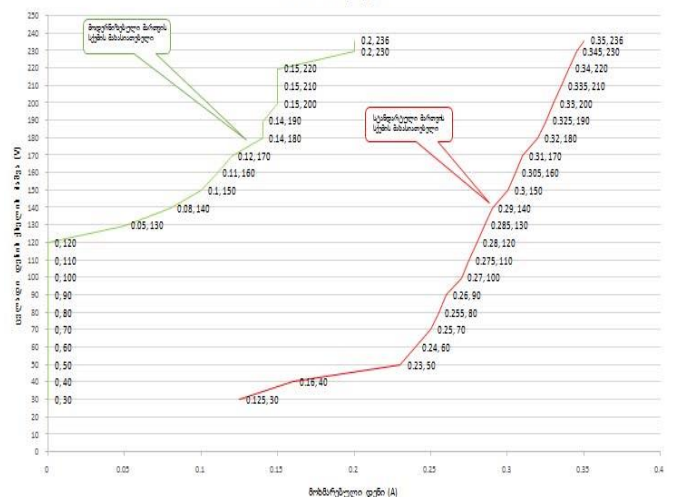
ცხრ. 1-ში მოცემულია ლუმინესცენციური ნათურის სტანდარტული და მოდიფიცირებული მართვის სქემების ექსპერიმენტული გამოცდის შედეგად მიღებული ვოლტ-ამპერული მახასიათებლების მონაცემები.

ცხრილი 1

სტანდარტული მართვის სქემის გამოცდის შედეგები		მოდიფიცირებული მართვის სქემის გამოცდის შედეგები	
დენი (A)	ძაბვა (V)	დენი (A)	ძაბვა (V)
X	Y	X	Y
0.35	236	0.20	236
0.345	230	0.20	230
0.34	220	0.15	220
0.335	210	0.15	210
0.33	200	0.15	200
0.325	190	0.14	190
0.32	180	0.14	180
0.31	170	0.12	170
0.305	160	0.11	160
0.3	150	0.10	150
0.29	140	0.08	140
0.285	130	0.05	130
0.28	120	0	120
0.275	110	0	110
0.27	100	0	100
0.26	90	0	90
0.255	80	0	80
0.25	70	0	70
0.24	60	0	60
0.23	50	0	50
0.16	40	0	40
0.125	30	0	30

ნახ. 2-ზე მოცემულია ლუმინესცენციური ნათურის სტანდარტული და მოდიფიცირებული მართვის სქემების გამოცდის შედეგად მიღებული ექსპერიმენტული ვოლტ-ამპერული მახასიათებლების გრაფიკები (ცხრ.1-ში არსებული მონაცემების მიხედვით)

ლუმინესცენციური ნათურის სტანდარტული და მოდიფიცირებული მართვის სქემის მახასიათებლები



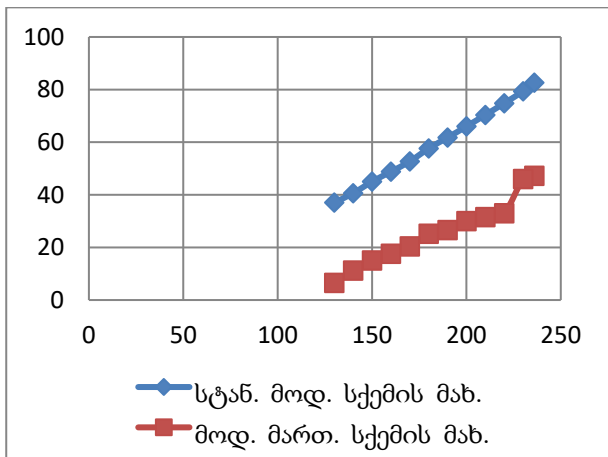
ნახ. 2. ლუმინესცენციური ნათურის სტანდარტული და მოდიფიცირებული მართვის სქემების ექსპერიმენტული ვოლტ-ამპერული მახასიათებლები

ცხრ. 2-ში მოცემულია სტანდარტული და მოდერნიზებული მართვის სქემის მიერ მოხმარებული სიმძლავრეების ანათვლები და შედარებითი ანალიზის საფუძველზე მიღებული შედეგები.

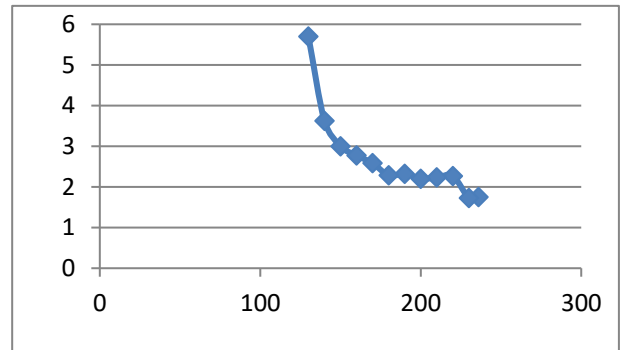
ცხრილი 2

ქსელური ძაბვა (ვ.)	სტან. სქემის სიმძლავრე (W სტ.)	მოდერნ. სქემის სიმძლავრე (W მოდ.)	ფარდობითი მაჩვენებელი W _{სტ} /W _{მოდ.}
236	82.6	47.2	1.75
230	79.35	46	1.725
220	74.8	33	2.267
210	70.35	31.5	2.233
200	66	30	2.2
190	61.75	26.6	2.321
180	57.6	25.2	2.286
170	52.7	20.4	2.583
160	48.8	17.6	2.773
150	45	15	3
140	40.6	11.2	3.625
130	37.05	6.5	5.7

ნახ. 3-ზე მოცემულია ლუმინესცენციური ნათურის სტანდარტული და მოდერნიზებული მართვის სქემის მიერ მოხმარებული სიმძლავრეების გრაფიკები ცვლადი დენის ქსელური ძაბვის ცვლილების პირობებში (130 – 250 ვ. დიაპაზონში). ხოლო ნახ. 4-ზე მოცემულია სტანდარტული და მოდიფიცირებული მართვის სქემის შედარებითი ანალიზის გრაფიკი. მონაცემები მიღებულია ჩატარებული ექსპერიმენტის საფუძველზე რომელიც მოცემულია ცხრ. 2-ში.



ნახ. 3 სტანდარტული და მოდერნიზებული მართვის სქემის მიერ მოხმარებული სიმძლავრის გრაფიკები



ნახ. 4 სტანდარტული და მოდერნიზებული მართვის სქემების მიერ მოხმარებული სიმძლავრის ფარდობითი მახასიათებელი

5 ცალი (4ც. x 18 ვტ.) ლუმინესცენციური სანათის მოდერნიზებული მართვის სქემების მონტაჟის შემდეგ საშუალება მოგვეცა აღნიშნული ნათურები მიგვეერთებინა ელექტრო ენერჯის მრავალფუნქციონალურ ციფრულ მრიცხველთან, რომლის საშუალებითაც მოვახდინეთ რამოდენიმე სახის ექსპერიმენტული გამოცდა და მივიღეთ დამატებითი პარამეტრების შესახებ ინფორმაცია.

ცხრ. 3-ში მოცემულია ციფრული მრიცხველით გაზომილი ენერგეტიკული და ხარისხობრივი პარამეტრების მნიშვნელობები.

ცხრილი 3

გაზომილი ფიზიკური სიდიდე	სტანდარტული მართვის სქემა	მოდერნიზებული მართვის სქემა
U, [V]	215 - 224	
I, [A]	0,3 – 0,32	0,15-0,18
THD U, [%]	2,8	1,3
THD I, [%]	78,3	33,8
cos φ	0,72	0,87

საბოლოოდ შეიძლება დავასკვნათ შემდეგი: შემოთავაზებულ - მოდიფიცირებულ მართვის სქემას გააჩნია მთელი რიგი უპირატესობანი სტანდარტულთან შედარებით. მოდიფიცირებული მართვის სქემის რეალიზაცია გამოიწვევს ლუმინესცენციური ნათურების საციცოცხლო რესურსის გაზრდას, მოწყობილობის იმედიანობის ამაღლებას და მოხმარებული სრული ენერჯის შემცირებას (ელექტრული ენერჯის ეფექტურ ხარჯვას მოცემულ დროის დიაპაზონში), გარდა ამისა

უმჯობესდება ხარისხობრივი პარამეტრები (როგორცაა $\cos(\varphi)$, (THD U, [%], THD I, [%]) რაც მთლიანობაში აუმჯობესებს ცვლადი დენის ენერგეტიკული ქსელის ხარისხობრივ მაჩვენებლებს. ფართო მასშტაბით დანერგვის შემთხვევაში მივიღებთ მაღალ ეკონომიურ ეფექტს არსებულ სტანდარტულ სანათებთან შედარებით, რაც ხელს შეუწყობს თვისობრივად ახალი სახის მოწყობილობების - ენერგოეფექტური მართვის სქემიანი სანათების დანერგვის პროცესის დაჩქარებას საქართველოში.

დასკვნა

ლუმინესცენციური ნათურების სტანდარტული და მოდიფიცირებული მართვის სქემების ანალიზის საფუძველზე შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ მოდიფიცირებული მართვის სქემა თავისი ენერგეტიკული და ხარისხობრივი პარამეტრებით გაუმჯობესებულია სტანდარტულ მართვის სქემასთან შედარებით, რასაც ადასტურებს ჩატარებული ექსპერიმენტული კვლევების საფუძველზე მიღებული მონაცემების მახასიათებლები და მათი შედარებითი ანალიზი.

ლიტერატურა

1. აშშ პატენტი № 6956336, კლ. 315/247 10/2005 ავტორი T. Ribarich.
2. აშშ პატენტი №7154234, კლ. 315/225 12/2006 ავტორი C. Content.
3. აშშ პატენტი №65012256 კლ. 315/105 12/2002 ავტორი J. Konopka
4. აშშ პატენტი 5656891, კლ. 315/94, 8/1997 ავტორი S. Logger
5. აშშ პატენტი №4042852, ავტორები: George Zaderej და სხვ. 08.16.1977
6. აშშ პატენტი №6545417, ავტორი: Dai Sung Moon. 04.08.2003
7. აშშ პატენტი №5686799, ავტორები: M. Moisin და სხვ. 11.11.1997
8. აშშ პატენტი №6140779, ავტორები: Masaki Konazawa და სხვ. 10.31.2000
9. აშშ პატენტი №6956336, ავტორები: T. Ribarich და სხვ. 10.18.2005
10. აშშ პატენტი №7154232, ავტორები: Cecillia Contenti და სხვ. 12.26.2006
11. IR AN1038 "Low Voltage DC Supply Dimmable Ballast for 1 x 13W T8 Lamp". Peter Green. 11.22.2004

12. Джонс М.Х. Электроника – практический курс, Москва: «Техносфера», 2006. – 512стр. ISBN 5-94836-086-5

13. აზმაიფარაშვილი ზ., ტომარაძე ო., ცერცვაძე რ. საზომი სისტემების ელექტრული წრედების ლაბორატორიული პრაქტიკუმები. სტუ, თბილისი. 2014. 212გვ. ISBN 978-9941-0-6583-5

14.

<http://electricalschool.info/main/electroshe my/502-skhemy-vkljuchenija-ljuminescentnykh.html>

References (transliterated)

1. U.S. Patent № 6956336, Cl. 315/247 10/2005 By T. Ribarich
2. U.S. Patent №7154234, Cl. 315/225 12/2006 Author C. Content.
3. U.S. Patent 506501225b Cl. 315/105 12/2002 Author J. Konopka
4. U.S. Patent 5656891, Cl. 315/94, 8/1997 by S. Logger
5. U.S. Patent №4042852, Authors: George Zaderej et al. 08.16.1977
6. U.S. Patent №6545417, Author: Dai Sung Moon. 04.08.2003
7. U.S. Patent 685686799, Authors: M. Moisin et al. 11.11.1997
8. U.S. Patent №6140779, Authors: Masaki Konazawa et al. 10.31.2000
9. U.S. Patent 956956336, Authors: T. Ribarich et al. 10.18.2005
10. U.S. Patent №7154232, Authors: Cecillia Contenti et al. 12.26.2006
11. IR AN1038 "Low Voltage DC Supply Dimmable Ballast for 1 x 13W T8 Lamp". Peter Green. 11.22.2004
12. Jones M.H. Electronics - practical course, Moscow: "Technosphere", 2006. - 512p. ISBN 5-94836-086-5
13. Z. Azmaiparashvili, O. Tomaradze, R. Tsertsvadze, Laboratory practicums of electrical circuits of measuring systems. GTU, Tbilisi 2014, - 212 p. ISBN 978-9941-0-6583-5
14. <http://electricalschool.info/main/electroshe my/502-skhemy-vkljuchenija-ljuminescentnykh.html>

ენერგოეფექტურობა და განახლებადი ენერჯის წყაროები
ენერგო-რესურსების დამზოგავი ტექნოლოგიები ენერგეტიკაში
Energy efficiency and renewable energy sources
Energy Saving technologies in Power Engineering

განახლებადი ენერჯის და ენერგოეფექტური ტექნოლოგიების დანერგვის
პერსპექტივები კერძო და საჯარო სექტორში

ნათია არაბიძე, ასოცირებული პროფესორი

საქ. ტექნიკური უნივერსიტეტი, ქ.თბილისი, საქართველო, e-mail: arabidze.natia@yahoo.com

სოსო მინდიაშვილი, მაგისტრანტი

საქ. ტექნიკური უნივერსიტეტი, ქ.თბილისი, საქართველო, e-mail: mindiashvilisoso@gmail.com

ანოტაცია. განხილულია მსოფლიოში ელექტროენერჯიაზე მზარდი მოთხოვნის სტატისტიკა და მასთან ერთად მზარდი ეკოლოგიური პრობლემები. ცალკეულ ნაწილებად გამოყოფილია კერძო და საჯარო სექტორები, რომლების მიმართაც განხილულია განახლებადი ენერჯის და ენერგოეფექტური ტექნოლოგიების დანერგვის პერსპექტივები, პრივილეგიები და გამოწვევები. გაანალიზებულია პრობლემების და გამოწვევების შინაარსი ცალკეული სექტორებისთვის. დასკვნის სახით წარმოდგენილია პერსპექტივის განვითარების ძირითადი მიმართულებები.

საკვანძო სიტყვები: განახლებადი ენერჯია, ენერგოეფექტურობა, მზის ენერჯია, ქარის ენერჯია, ბიოგაზი.

Prospects for the introduction of renewable energy and energy efficient technologies
in the private and public sectors

Natia rabidze, Associate Professor

Georgian Technival University, Tbilisi, Georgia, e-mail: arabidze.natia@yahoo.com

Soso indiashvili, Masters student

Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, e-mail: mindiashvilisoso@gmail.com

Annotation. The statistics of the growing demand for electricity in the world and the growing environmental problems with it are discussed. The private and public sectors are divided into separate sections, which discuss the prospects, privileges and challenges of the introduction of renewable energy and energy efficient technologies. The content of problems and challenges for individual sectors is analyzed. The main directions of perspective development are presented as a conclusion.

Keywords: Renewable energy, Energy efficiency, Solar energy, Wind energy, Biogas.

შესავალი. XXI საუკუნის დასაწყისიდან ელექტროენერჯიაზე მოთხოვნის მკვეთრმა ზრდამ კარგად წარმოაჩინა გენერაციის პროცესთან დაკავშირებული ეკოლოგიური პრობლემები.

2000 წ. საქართველოში მოხმარებული ელექტრული ენერჯის ჯამური რაოდენობა 6800,9 მლნ.კვტ.სთ იყო, ხოლო 2020 წლისთვის ეს მაჩვენებელი გაზრდილია 47%-ით (12 616,1 მლნ. კვტ.სთ).

ელექტროენერჯის წარმოების პალაერულად ატმოსფეროში ხშირად ხდება მავნე აირების ემისია.

თბოელექტროსადგურების შემთხვევაში პრობლემა დგას ატმოსფეროში სათბური აირების

ემისიების კუთხით. 2017 წლის 7 ივნისიდან საქართველოში ოფიციალურად ძალაში შევიდა გაეროს კლიმატის ცვლილების ჩარჩო კონვენციის „პარიზის შეთანხმება“. აღნიშნულის საფუძველზე საქართველომ შეიმუშავა 2030 წლისათვის კლიმატის ცვლილების სტრატეგია და 2021-2023 წლების სამოქმედო გეგმა. აღნიშნული გეგმის მიხედვით სათბური აირების წარმოქმნის სიაში ენერგეტიკა მეორე ადგილზეა (პირველზეა ტრანსპორტის სექტორი).

2015 წ. მონაცემებით ელექტრო ენერჯის გენერაციისა და გადაცემის სექტორის წილი საერთო ემისიებში 21%-ია (3,65 მგვტ CO₂ ეკვ.)

ქვანახშირი, ისევე როგორც ბუნებრივი აირი ამოწურვადი ბუნებრივი რესურსია, მოთხოვნის

ზრდასთან ერთად კი იზრდება ამოწურვადი რესურსის მოხმარებაც, რაც თავის მხრივ ქმნის ალტერნატივის ძიების აუცილებლობას.

აღსანიშნავია, რომ საქართველოში საწვავად გამოყენებული ქვანახშირის მოპოვება მცირდება (2019 წ. საქართველოში ქვანახშირის მომპოვებელ უმსხვილესი კომპანია „საქნახშირის“ მიერ 2018 წელთან შედარებით მოპოვებული იქნა 90%-ით ნაკლები რესურსი). აღნიშნულ ფაქტები პირდაპირ მეტყველებს იმაზე, რომ გაზრდილ მოთხოვნის დასაკმაყოფილებლად იმპორტის გაზრდა იქნება საჭირო.

ჰიდროენერგეტიკის განვითარება დღესაც აქტუალურია და მისი განვითარების ტემპები დასაჩქარებელია. მზარდი ელექტროენერჯის მოთხოვნით გამორჩეული სახელმწიფოები, მუდმივად ზრდიან გენერაციის ობიექტების, განსაკუთრების დიდი ჰესების მშენებლობის ტემპებს (მაგ., ჩინეთი, მსოფლიოში უდიდესი ჰესი „სამი ხეობა“ 22 500 მგვტ). ჰიდროგენერაცია სხვა სახის გენერაციასთან შედარებით გამოცდილი, საიმედო ტექნოლოგიაა და მისი გავლენა გარემოზე შედარებით ნაკლებია.

საქართველოს ენერგეტიკისთვის უალტერნატივოა ჰიდროენერგეტიკის განვითარება. საქართველოში გენერირებული ელექტროენერჯის 75-80% ჰიდროელექტრო-სადგურებზე მოდის. მათ შორის 65-67% წყალსაცავიან ჰესებზე.

ელექტროენერჯის გენერაციის პროცესში უდიდესი მნიშვნელობა ენიჭება მიწოდების მოქნილობას. მიუხედავად თანამედროვე ტექნოლოგიების განვითარებისა, რომლებიც საშუალებას იძლევა მაქსიმალური სიზუსტით მოხდეს მოთხოვნის პროგნოზირება, ელექტრული ენერჯის საჭირო რაოდენობის წინასწარი განსაზღვრა, სრული სიზუსტით მაინც შეუძლებელია. გამომდინარე აქედან ნებისმიერი სახის ელექტროსადგურისთვის უმნიშვნელოვანესი პრივილეგიაა დროის ნებისმიერ მომენტში სისტემის უზრუნველყოფა საჭირო რაოდენობის ელექტროენერჯით.

ელექტროენერჯის სიმძლავრეების მოქნილი რეგულირების კუთხით მნიშვნელოვან ინოვაციას წარმოადგენს გადამცემი ქსელების ავტომატიზაცია. უკანასკნელი პროცესები, რომლებიც საქართველოს სახელმწიფო ელექტროსისტემამ განახორციელა ელექტროგადამცემი ქსელის ავტომატიზაციის კუთხით ასევე მნიშვნელოვან

როლს თამაშობს ენერგორესურსების სწორ განაწილებაში, რაც პირდაპირ აისახება სადგურების ფუნქციონირებასა და ენერგოეფექტურობაზე.

აღნიშნული საკითხების წამოჭრის და ელექტრული ენერჯის მოთხოვნის ზრდის პარალელურად ჩნდება საჭიროება, შეიქმნას მაქსიმალურად მოქნილი ელექტროსისტემა, რომელსაც შესაძლებლობა ექნება მომხარებლისთვის გახდეს ენერჯის სტაბილური წყარო.

განახლებადი ენერგეტიკის განვითარების კუთხით შესაძლებელია ისეთი სისტემის ფუნქციონირებაც, როდესაც მომხმარებელი ელექტროენერჯის მწარმოებელიც ხდება. ამ შემთხვევაში მომხარებელი თვითონ ახდენს ელექტროენერჯის გენერირებას მზის პანელების, ქარის ტურბინის, მიკრო ჰესის და სხვა საშუალებით. თუკი მის მიერ გენერირებული ელექტროენერჯის რაოდენობა არაა საკმარისი მოთხოვნის დასაკმაყოფილებლად, ის ჩვეულებისამებრ ყიდულობს დანაკლისს ადგილობრივი ელექტროსისტემისგან, ხოლო ჭარბი რაოდენობის ელექტროენერჯის გენერირების შემთხვევაში უკვე თვითონ ყიდის მას. ამგვარი სისტემების მუშაობისთვის ასევე უმნიშვნელოვანია ე.წ. „ჭკვიანი ქსელის“ არსებობა, რომელიც ზემოთ აღნიშნულ პროცესს ავტომატურად აწარმოებს და მას მაქსიმალურად ენერგოეფექტურს ხდის.

საქართველომ განახლებადი ენერგეტიკის განვითარება ქარის რესურსის ათვისებით დაიწყო. ევროპის რეკონსტრუქციისა და განვითარების ბანკის (EBRD) ხელშეწყობით 2016 წელს ქალაქი გორის მახლობლად ამუშავდა ქარის ელექტროსადგური. დამონტაჟდა 6 ქარის ტურბინა საერთო დადგმული სიმძლავრით 20,7 მგვტ. გამომდინარე იქედან, რომ მზის ენერჯისთან შედარებით ქარი უფრო სტაბილურად შეგვიძლია ჩავთვალოთ (გენერირებული ელ.ენერჯის რაოდენობა მეტწილად არაა დამოკიდებული დღეღამურ ციკლზე და ცვალებადობა ძირითადად სეზონურად ხდება) სადგურმა მოლოდინი გაამართლა და გენერირებული ელ.ენერჯის რაოდენობა სტაბილური იყო მთელი ექსპლუატაციის პერიოდის განმავლობაში. 2021 წლის (იანვარი - აპრილი) მონაცემებით გორის ქარის ელ.სადგურის მიერ გენერირდა 26,7 მლნ.

კვტ.სთ ელ.ენერგია. უმცირესი 5,1 მლნ.კვტ.სთ (იანვრის თვე) ხოლო უდიდესი 8,9 მლნ.კვტ.სთ (აპრილის თვე).

არანაკლებ მნიშვნელოვანია ენერგო-ეფექტური ტექნოლოგიების ათვისება, რომელსაც პირდაპირი გავლენა აქვს ელექტროენერჯის მოხმარებასა და ეკოლოგიაზე. ნებისმიერი სახის წარმოების პროცესში ენერგოეფექტური ტექნოლოგიების გამოყენება საშუალებას იძლევა მოხდეს ნაკლები სიმძლავრის მოხმარების ხარჯზე მეტი საწარმოო სიმძლავრის გენერირება. ამასთან უმნიშვნელოვანესია აღნიშნული საკითხის ეკოლოგიური ასპექტებიც.

2020 წ. მაისიდან საქართველოში ამოქმედდა კანონი ენერგოეფექტურობის შესახებ, რომლის მიზნებიცაა ენერჯის დაზოგვისა, ენერგოდამოუკიდებულობის გაზრდისა და ენერგოეფექტური ტექნოლოგიების დანერგვის ხელშეწყობა, რაც პირდაპირი პასუხია ზემოთ მოყვანილ პრობლემაზე.

საკითხისადმი კომპლექსურმა მიდგომამ აჩვენა, რომ როგორც განახლებადი ენერჯების განვითარების, ასევე ენერგოეფექტური ტექნოლოგიების დანერგვის განხილვა, მიზანშეწონილია კერძო და საჯარო სექტორებისთვის ცალკ-ცალკე. აღნიშნული გამომდინარეობს მათი მოთხოვნების, საჭიროებების და სხვა განმასხვავებელი ფაქტორების არსებობიდან.

უკანასკნელის საუკეთესო მაგალითია „პარიზის შეთანხმების“ საფუძველზე 2019 წ. დეკემბერში საქართველოში ამოქმედებული კანონი „განახლებადი წყაროებიდან ენერჯის წარმოებისა და გამოყენების წახალისების შესახებ“, რომლის ერთ-ერთი მიზანიცაა განახლებადი წყაროდან მიღებული ენერჯის ხელშეწყობისა და წახალისებისთვის სამართლებრივი საფუძვლების შემუშავება და განახლებადი წყაროდან მიღებული ენერჯის სამიზნე მაჩვენებლის მიღწევისთვის საჭირო ღონისძიებების დადგენა.

სტატისტიკური მონაცემები. 2009 წელთან შედარებით 2019 წელს მსოფლიოში ელ.ენერჯის ჯამური მოხმარება გაზრდილია 17.32%-ით. 2019 წელს წარმოებული ელ.ენერჯის მხოლოდ 5% გენერირება მოხდა განახლებადი ენერჯის წყაროდან (მზე, ქარი და ბიოგაზი). ჰიდროენერჯეტიკამ ამ მაჩვენებლებში მხოლოდ 6,4 % დაიკავა, ხოლო დანარჩენი 88,7% მოდის

ნავთობზე, გაზზე, ქვანახშირზე და ბირთვულ ენერჯეტიკაზე. ამასთან უნდა აღინიშნოს, რომ 2020 წლის მონაცემებით მსოფლიო მოსახლეობის 13%-ს (დაახლ. 940 მლნ. ადამიანი) არ აქვს სტაბილური წვდომა ელექტროენერჯიაზე (საქართველოსთვის ეს მაჩვენებელი 1990 წელს იმდროინდელი მოსახლეობის 2,67%-ს შეადგენდა, დღეისთვის კი ის 0,001%-ია).

2020 წ. მონაცემებით განახლებადი ენერჯის წილი ქვეყნების და კონტინენტების ენერჯეტიკაში შემდეგნაირია: აშშ - 6,2%, დანარჩენი ჩრდ. ამერიკა - 4%; სამხრეთ და ცენტრალური ამერიკა - 4,3%, ბრაზილია - 16,3%, ცენტრალური ევროპა - 11%, აღმ. ევროპა - 4,3%, ჩინეთი - 4,7%, დანარჩენი აზია - 2,9% დსთ-ს ქვეყნები - 0,1%, ახლო აღმოსავლეთი - 0,3%, აფრიკა - 2,0% , აზიის ეკონომიკური თანამშრომლობისა და განვითარების ორგანიზაციის წევრი ქვეყნები - 5,0%.

2019 წლიდან მოყოლებული მსოფლიოში ნახშირბადის ემისიები გაზრდილია 13%-ით. განახლებადი ენერჯეტიკის წილის ზრდის პროცესი დადებითად აისახა საშუალო წლიურ მაჩვენებელზე. თუკი 2008-2018 წლის პერიოდში ზრდის წლიური მაჩვენებელი იყო 1,1%, 2019 წლისთვის ის 0,5%-მდე არის შემცირებული.

აღნიშნული სცენარის პოზიტიური განვითარების შემთხვევაში შესაძლებელია, რომ 2030 წლისთვის ატმოსფეროში ნახშირბადის ემისიების წლიური ზრდა შემცირდეს 0,2-0,3%-მდე, რისი მიღწევაც შესაძლებელია საკითხისადმი კომპლექსური მიდგომით.

სამუშაოს მიზანი. სამუშაოს მიზანს წარმოადგენს განახლებადი ენერჯის და ენერგოეფექტური ტექნოლოგიების დანერგვის პერსპექტივების განსაზღვრა.

საჯარო სექტორი. ერთიან ენერჯოსისტემაში ჩართული საჯარო სექტორის სუბიექტების ელ.ენერჯის მოხმარება დამოკიდებულია სისტემის გენერაციაზე. მსოფლიოში და მათ შორის საქართველოშიც აღნიშნული სექტორის ელ.ენერჯის მოთხოვნის დაკმაყოფილება მთლიანად დამოკიდებულია ერთიან ენერჯოსისტემაზე.

საჯარო სექტორში განახლებადი ენერჯების და ენერგოეფექტური ტექნოლოგიების განხილვა შესაძლებელია რამოდენიმე კუთხით:

1. შენობების ელ.ენერჯის მოხმარებაში ავტონომიურად გენერირებული ელექტრო-ენერჯის წილის ზრდა მზის პანელების

მეშვეობით (ასევე შესაძლებელია ქარის მცირე ტურბინების გამოყენებითაც);

2. შენობების გათბობა-გაგრილების სისტემების ტექნოლოგიების ენერგო-ეფექტურობის ზრდა და მის შემადგენლობაში მავნე მინარევების არარსებობა;

3. გათბობის და ცხელი წყლით უზრუნველყოფის სისტემებში მზის კოლექტორებით მიღებული თბილი წყლის გამოყენება;

4. საჯარო სექტორში მომუშავე თანამშრომელთა მოტივირება ნაკლებად გამოიყენონ კერძო ავტომობილები და იმგზავრონ საზოგადოებრივი ტრანსპორტით.

საჯარო სექტორის განვითარება ამ კუთხით წარმოსადგეია, როგორც ცალკეული შენობების ენერგომომხმარებელში განახლებადი ენერგიით გენერირებული ელ.ენერგიის ინტეგრაცია. (მაგ., მზის პანელების მონტაჟით შენობების სახურავებზე). აღნიშნულის პრივილეგია იმაში მდგომარეობს, რომ სამუშაო საათები საჯარო სექტორში ძირითადად დღის პერიოდზე მოდის, შესაბამისად გარკვეულწილად მზის ენერგიის ელ.ენერგიად გარდაქმნის ტექნოლოგია ამ კუთხით საკმაოდ პერსპექტიულია.

საქართველოში 2020 წ. მაისში ამოქმედდა კანონი შენობების ენერგოეფექტურობის შესახებ, რომლის მიზანია შენობების ენერგო-ეფექტურობის გაუმჯობესება და ენერგორესურსების რაციონალური გამოყენების ხელშეწყობა.

ასევე არანაკლებ მნიშვნელოვან საკითხს წარმოადგენს შენობების გაგრილება-გათბობის მექანიზმები. სტატისტიკური მონაცემები აჩვენებს საჯარო სექტორში განსაკუთრებით მაღალია დანახარჯები შენობის კონდიციონერების სისტემებზე.

აღნიშნული ფაქტორიდან გამოწვეული მავნე ზეგავლენის შემცირების ერთ-ერთი მთავარი საშუალებას წარმოადგენს ტექნოლოგიის ენერგოეფექტურობის ზრდა, მაცივარაგენტსა და თვითონ მოწყობილობის შემადგენლობაში შემავალი მავნე ნივთიერებების რაოდენობის შემცირებით ან საერთოდ არარსებობით.

გარემოზე მავნე ზეგავლენის შემცირების წახალისებად შეიძლება ჩაითვალოს „ეკომარკირების“ სისტემების შემოღება, რომელიც პროდუქციის მიერ გაავლენაზე მინიმალურ ნეგატიურ ზემოქმედებაზე

მიუთითებს. ეკომარკირების მიღების წახალისების მექანიზმები კი ხელს შეუწყობს ზოგადი ეკოლოგიური და ენერგოეფექტურობის გაუმჯობესებას.

არანაკლებ მნიშვნელოვანია აღნიშნული საკითხის განხილვა საზოგადოებრივი ტრანსპორტის კუთხით. კერძოდ ენერგო-ეფექტური და განახლებადი ენერგიების გამოყენება მის მიერ გარემოზე მავნე ზემოქმედების შესამცირებლად.

განვითარებად ქვეყნებში აღნიშნული პრობლემა მკვეთრად დგას რადგანაც საზოგადოებრივი ტრანსპორტის დიდი ნაწილი - ავტობუსები ხშირად მუშაობენ დიზელზე ან ბენზინზე რაც თავისთავად ზრდის მავნე ნივთიერების ემისიებს. აღნიშნული ტექნოლოგიის კიდევ ერთ ნაკლს წარმოადგენს ნაკლები ენერგოეფექტურობა, რაც პირდაპირ არის დაკავშირებული გარემოს დაბინძურებასთან.

2021 იანვარში შოტლანდიაში, ქალაქ აბერდინში ამუშავდა პირველი ორსართულიანი ავტობუსები, რომლებიც საწვავად წყალბადს იყენებენ და მათი ტექნიკური მახასიათებლების მიხედვით მოახდენენ 1 კგ CO₂-ის ემისიის შემცირებას თითოეულ გავლილ კილომეტრზე.

წყალბადზე მომუშავე ტრანსპორტის ეკოლოგიურობასთან ერთად მის კიდევ ერთ უპირატესობას წარმოადგენს ხმაურის ნაკლები დონე, რაც არანაკლებ მნიშვნელოვანია დიდი ქალაქებში.

უნდა აღინიშნოს, რომ არანაკლებ მნიშვნელოვანია საზოგადოებრივი ტრანსპორტით სარგებლობის წახალისება. აღნიშნულით შესაძლებელი ხდება ენერგო-ეფექტური და ეკოლოგიურად უსაფრთხო ტრანსპორტის სარგებლობასთან ერთად გზებზე სიტუაციების განმუხტვაც.

საჯარო სექტორში განახლებადი ენერგიების და ენერგოეფექტური ტექნოლოგიების უმნიშვნელოვანეს როლს ასევე წარმოადგენს აღნიშნული საკითხის პოპულარიზაცია, როგორც კლმატზე და გარემოზე ზრუნვის მაგალითი.

მსოფლიო ტენდენციების გათვალისწინებით ენერგოეფექტური ტექნოლოგიით, ბიოსაწვავზე ან წყალბადზე მომუშავე საზოგადოებრივი ტრანსპორტის წილი მსოფლიო სატრანსპორტო სისტემაში გაიზრდება 40%-მდე 2030 წლისთვის. აღნიშნული მაჩვენებელი განპირობებულია ევროპასა და

განვითარებულ ქვეყნებში ეკოლოგიურად სუფთა ტრანსპორტის ზრდით და პოპულაციით, თუმცა მაჩვენებელი არც ისე მაღალია აღნიშნული ტექნოლოგიების სიძვირიდან გამომდინარე.

საჯარო სექტორის მხრიდან მნიშვნელოვანი ღონისძიებები გატარდა საქართველოშიც. თბილისის მერიამ დაიწყო ეკოლოგიურად სუფთა, ენერგოეფექტური საზოგადოებრივი ტრანსპორტის შემოყვანა, რომელიც ეტაპობრივად ჩაანაცვლებს მოძველებულ ტრანსპორტს დიზელის და ბენზინის ძრავებზე მაღალი სათბური აირების ემისიების მაჩვენებლით.

აღსანიშნავია, რომ ქალაქში ე.წ. "Bus line"-ების შექმნა ასევე პირდაპირ კავშირშია ენერგოეფექტურობასთან როგორც საზოგადოებრივი ტრანსპორტით, ასევე კერძო ავტომობილებით მოსარგებლეთათვის. ერთის მხრივ საზოგადოებრივი ტრანსპორტის მოძრაობა ხდება შეუფერხებელად და არაა დამოკიდებული საცობებზე. საცობების შემცირება და დანიშნულების ადგილზე მისაღწევი დროის შემცირება კი პირდაპირაა დამოკიდებული ძრავის მუშაობის და ინტენსივობის ხანგრძლივობასთან, რომელიც თავის მხრივ უშუალო კავშირშია მავნე აირების ემისიასთან.

ასევე ბოლო დროს მეტად პოპულარული ხდება ელ.სკუტერების ქირაობის შესაძლებლობაც, რომელიც მცირე დისტანციებზე გადაადგილებას ამარტივებს და შესაბამისად კერძო ავტომობილის ეკოლოგიურ ალტერნატივას ქმნის.

კერძო სექტორის კუთხით განახლებადი ენერჯის წყაროების დანერგვა ოფისების, საწყობების, ფაბრიკა-ქახნების და სხვა სახის ინდუსტრიული ობიექტების ელ.ენერჯის მოთხოვნის ნაწილობრივ ან სრულ დასაფარად გარემოზე მავნე ზეგავლენის პარალელურად შემცირების ერთ-ერთი უმთავრესი გზაა. გამომდინარე იქედან, რომ წარმოების სფერო მეტწილად კერძო სექტორს ეკუთვნის და მასშტაბებიც საკმაოდ დიდია, განახლებადი ენერჯებიდან გენერირებული ელ.ენერჯის წილის სიდიდე მნიშვნელოვანია. წარმოება, განსაკუთრებით კი დიდ მასშტაბებში უშუალო გავლენას ახდენს გარემოზე ნარჩენების წარმოქმნით და ატმოსფეროში მავნე აირების ემისიებით. უნდა აღინიშნოს, რომ თვითონ საწარმოს ინტერესებში უნდა იყოს

ენერგოეფექტური ტექნოლოგიების და განახლებადი წყაროებიდან ელ.ენერჯის გენერაციის საშუალებების დანერგვა, რაც თავის მხრივ გამოიწვევს წარმოებლურობის ზრდასა და დანახარჯების შემცირებას.

ამ სფეროში პრობლემის გამოკვეთა უშუალოდ ფინანსური კუთხით ხდება, განსაკუთრებით კი მაშინ, როცა კერძო ბიზნეს სექტორის წარმომადგენელი პირი მცირე მეწარმეა. რადგანაც ზემოთაღნიშნული ტექნოლოგია ჯერ კიდევ საკმაოდ ძვირადღირებულია, მცირე მეწარმეები ხშირ შემთხვევაში ვერ ხედავენ დანერგვის პერსპექტივას და თუ ხედავენ დამაბრკოლებელ ფაქტორად მიიჩნევენ ტექნოლოგიის დანერგვის შემდეგ მისი ამოსყიდვის პერიოდის ხანგრძლივობა. ამიტომ შეიძლება ითქვას, რომ კერძო სექტორისთვის საწყის ეტაპზე უფრო მნიშვნელოვანია საწარმოს ენერგოეფექტური მოწყობილობებით აღჭურვა.

გრძელვადიან პერსპექტივაში მცირე მეწარმეთათვის უფრო რეალისტური ხდება განახლებადი ენერჯის წყაროების დანერგვა და ელ.ენერჯიაზე მოთხოვნის ნაწილის ამით დაკმაყოფილება. თუმცა აქაც ჩნდება გარკვეული პრობლემები. უპირველესად ეს აღნიშნული წყაროს ფარდობითი არასტაბილურობაა, თუკი საჯარო სექტორის შემთხვევაში სამუშაო საათების უმეტესი ნაწილი მოდიოდა დღე, კერძო სექტორში წარმოების პროცესში ხშირად უწყვეტად დღე-ღამურ პერიოდში მიდის, რაც თავისთავად არგუმენტია აღნიშნული პერსპექტივის წინააღმდეგ.

ყოველივე ზემოთაღნიშნულიდან გამომდინარე შესაძლოა ჩამოვაყალიბოთ პრობლემები, რომლებიც განახლებადი ენერჯის ტექნოლოგიის დანერგვას უშლის ხელს:

1. ტექნოლოგიების ღირებულება. საქართველოს მაგალითზე განახლებადი ენერჯის სისტემების მონტაჟი ხშირ შემთხვევაში საკმაოდ დიდ ფინანსურ ხარჯებთანაა დაკავშირებული, თუმცა აქვე უნდა აღინიშნოს რომ სახელმწიფოს მხრიდან ამ სფეროს აქტიური წახალისების შედეგად, პრობლემა ნაკლებად გამოკვეთილი ხდება;

2. არასტაბილურობა. როგორც ზემოთ აღინიშნა ენერჯის სტემაზე საწარმოო სიმძლავრის დამოკიდებულება ამ ეტაპზე მეტად სტაბილურია, ვიდრე განახლებადი ენერჯის

სისტემის დანერგვის შედეგად მიღებული ენერჯის მოხმარება. აღნიშნული ეხება გარანტირებულ სიმძლავრეს, რომელიც წარმოების პროცესთან პირდაპირ კავშირშია;

3. არარენტაბელურობა. მცირე საწარმოებმა შესაძლოა ჩათვალონ, რომ მაგ. მზის პანელების მონტაჟის შემდეგ მისგან მიღებული ელექტროენერგეტიკული სარგებელი საკმაოდ დიდ პერიოდს მოითხოვს თვითღირებულების დასაფარად და ამიტომ ამ კუთხით განივთარება არარენტაბელურია.

როგორც ზემოთ იყო ნახსენები, კერძო სექტორში მეტად რენტაბელური და ამ ეტაპზე პერსპექტიული ენერგოეფექტური ტექნოლოგიების დანერგვაა. ენერგოეფექტური სისტემების გამოყენება ხელს შეუწყობს წარმოების ზრდას და შედეგად შესამჩნევი უფრო ნაკლებ პერიოდში გახდება.

აგრონომიულ სექტორში მომუშავეთათვის მნიშვნელოვან პერსპექტივას წარმოადგენს ბიოგაზის სისტემების გამოყენება. ბიოგაზის სისტემების მონტაჟი განსაკუთრებით სარგებლიანია მაშინ, როდესაც საქმე ეხება დიდი რაოდენობით ბიონარჩენებს, რომლის გამოყენება ბიოგაზის სისტემის შემდეგ სასუქადაც არის შესაძლებელი.

განვითარებად ქვეყნებში ბიოგაზის სისტემებს სტრატეგიული მნიშვნელობა აქვს. მაღალმთიან და სხვა რეგიონებში სადაც ბუნებრივი აირის მიწოდება პრობლემატურია, ბიოგაზის სისტემა კარგ ალტერნატივას წარმოადგენს, დამოუკიდებელი აირის წარმოქმნით რომლის გამოყენებაც შესაძლებელია როგორც საყოფაცხოვრებო საჭიროებებისთვის, ასევე წარმოების პროცესშიც.

საქართველოს შემთხვევაში ასევე მნიშვნელოვანია კერძო სექტორის მიერ განხორციელებული ღონისძიებები, რომლებიც ენერგოეფექტური ტექნოლოგიების დანერგვისა და მათზე აირების ემისიების შემცირებასთან არის დაკავშირებული.

განვითარების მიმართულებად კერძო სექტორმა საქართველოში აირჩია ელექტროავტომობილების გაქირავება, ასევე მათთვის სატენების მონტაჟი. სატენების მონტაჟი ემსახურება ელექტროავტომობილებით მოსარგებლეთათვის მოხერხებული და კომფორტული გარემოს შექმნას, რაც ამავდროულად მნიშვნელოვანი წამახალისებელი ღონისძიებაცაა.

დასკვნები

1. გამომდინარე გავლენის ნეგატიური კუთხით განვითარების სცენარებიდან მსოფლოს წინაშე მდგარი ენერგეტიკული და ეკოლოგიური პრობლემები საჭიროებენ სწრაფ რეაგირებას.

2. განახლებადი ენერჯის და ენერგო-ეფექტური ტექნოლოგიების პერსპექტივების რეალიზაციის ერთ-ერთ უმთავრეს იარაღს აღნიშნული კუთხით ინფორმატიულობის ზრდაა.

3. საჯარო სექტორის მხრიდან მნიშვნელოვანია აღნიშნული ტექნოლოგიების დანერგვა არამხოლოდ როგორც ეკო-ენერგეტიკული გადაწყვეტილება, არამედ როგორც მაგალითი უფრო ფართე კერძო სექტორისთვის.

4. ენერგოეფექტური ტექნოლოგიების დანერგვა შესაძლოა გახდეს პრობლემის გადაჭის პირველი ეტაპი კერძო სექტორისთვის.

5. მნიშვნელოვანია მსოფლიო მაგალითების და გამოცდილებების გათვალისწინება და გააზრება, რათა განვითარებად და ნაკლებად განვითარებულ ქვეყნებშიც მოხდეს განახლებადი და ენერგოეფექტური ტექნოლოგიების დანერგვა.

ლიტერატურა

1. მსოფლიო ენერჯის სტატისტიკური მიმოხილვა 2020 წელი, 69-ე გამოცემა. ლონდონი, დიდი ბრიტანეთი. გვ.8-9.
2. საკვანძო მსოფლიო ენერგეტიკული სტატისტიკა. აგვისტო, 2020 წელი. საერთაშორისო ენერგეტიკული სააგენტო.
3. მდგრადი მიმართულებები და ენერგოეფექტური ურბანული ტრანსპორტი. ცოდნის სერია 020/14. ენერგეტიკის სექტორის მართვის დახმარების პროგრამა- მსოფლიო ბანკი.

1. **References (translated)**Statistical Review of World Energy 2020 | 69th edition. London, UK, pp. 8-9.Key world energy statistics -statistic report.
2. August 2020. International Energy Agency.Toward Sustainable and Energy EfficientUrban Transport.
3. Knowledge Series 020/14, Energy Sector Management Assistance Program -The World Bank.

RSS ბრუნვითი მართვადი სისტემის გამოყენებით გამრუდებული ჭაბურღილების გაყვანა

ვასილ გოდაბრელიძე, დოქტორანტი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი, საქართველო, e-mail: vgodabre@alaska.edu

ანოტაცია: სტატიაში განხილულია RSS (Rotary Steerable System) ბრუნვითი მართვადი სისტემის ეფექტური გამოყენება დახრილ-მიმართული და ჰორიზონტალური ჭაბურღილების ბურღვისას. ამ სისტემის ძირითადი უპირატესობა მის წინამორბედთან ხრახნულ ძრავასთან შედარებით მდგომარეობს იმაში, რომ მისი საშუალებით შესაძლებელია მიმართულების შეცვლა ბრუნვით რეჟიმში, აქვს მაღალი მექანიკური სიჩქარე, ექსპლუატაციის დროს მარტივი გამოსაყენებელია. სისტემა აღჭურვილია უახლესი ტექნოლოგიის ელექტრონული მოწყობილობით და მთლიანად ავტომატიზირებულია უკანასკნელ წლებში შექმნილია ჰიბრიდული და გონიერი ბრუნვითი მართვადი სისტემები. მათ შეუძლიათ დააკალიბრონ და სტაბილური გახადონ ლულა, გაიყვანონ ის რთული მყარად განსაზღვრული ტრაექტორიით, თავიდან აიცილონ მისი დაკლაკვნა. ამ სისტემის გამოყენებით შესაძლებელია გამრუდებული ჭაბურღილებით წინასწარ განსაზღვრული ტრაექტორიის გავლა დროულად და ნაკლები ფინანსური და მატერიალური დანახარჯებით და ბურღვის ტექნიკურ-ეკონომიური მაჩვენებლების მნიშვნელოვანი გაზრდა.

საკვანძო სიტყვები: გამრუდებული ჭაბურღილები, მართვადი სისტემა, ლულის ტრაექტორია, დაკალიბრება.

Directional drilling using rotary steerable system (RSS)

Vasil Godabrelidze, doctoral student

Georgian Technical University, Georgia, Tbilisi, vgodabre@alaska.edu

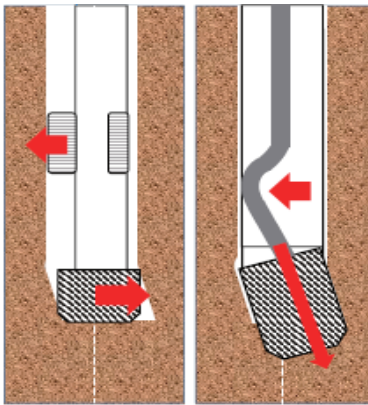
Annotation. The article discusses the effective use of the RSS (Rotary Steerable System) while drilling the inclined and horizontal wells. The main advantage of the system compared to its predecessor, mud motor, is that it allows you to change the direction of drilling in rotary mode; it has a high mechanical speed, easy to use during operation. The system is equipped with the state-of-the-art electronic equipment and is fully automated. In recent years, hybrid and intelligent rotary control systems have been developed. They can calibrate and ensure the stability of borehole, drill the wellbore with predetermined trajectory of any difficulty level while minimizing the tortuosity. Using the RSS system it is possible to drill a wellbore along the desired trajectory of the well plan in a timely manner and with less financial and material costs while optimizing the technical and economic performance of drilling.

Keywords: Inclined wells, Steerable system, wellbore trajectory, Calibration.

შესავალი. RSS (Rotary Steerable System) ბრუნვითი მართვადი სისტემა დღეისათვის ყველაზე თანამედროვე სისტემაა ჭაბურღილების გასაბურღად და ამ სისტემის საშუალებით ეტაპობრივად ხორციელდება ხრახნული ძრავების ჩანაცვლება. თუმცა ეს ტექნოლოგია ჯერ კიდევ დახვეწის ეტაპზეა. დახრილ-მიმართული ბურღვისას ამ სისტემის ძირითადი უპირატესობა მის წინამორბედთან, ხრახნულ ძრავასთან, შედარებით მდგომარეობს იმაში რომ მისი საშუალებით შესაძლებელია მიმართულების შეცვლა ბრუნვით რეჟიმში და შესაბამისად მისი გამოყენებაც მხოლოდ ბრუნვით რეჟიმში ხდება და არ საჭიროებს გაცურების რეჟიმს. ბრუნვით რეჟიმში კი როგორც ვიცით ბურღვის სისწრაფე გაცილებით მაღალია შემცირებული ხახუნის ხარჯზე.

ძირითადი ნაწილი. ამ სისტემაში კონტროლირებადი მიმართულებით ბურღვისათვის გამოყენებულია 2 სხვადასხვა ტიპის მექანიზმი, Push-the-bits ან Point-the-bit. (იხ. ნახ. 1).

Push-the-bit მექანიზმი იყენებს ე.წ. ლაპოტებს, რომლებიც სასურველი მიმართულებით აწვებიან ჭაბურღილის კედლებს, რაც იწვევს სატეხის საპირისპირო მიმართულებით გადახრას. ლაპოტების გაშლის კუთხეზე და შესაბამისად კედლებზე მიწოლის ძალის მიმართულებაზე მომუშავე ბურღვის სპეციალისტი ზედაპირიდან აკონტროლებს. რაც შეეხება მეორე მექანიზმს, Point-the-bit, ამ შემთხვევაში სატეხის გადახრა ხდება სისტემის ღერძის გადახრის ხარჯზე.

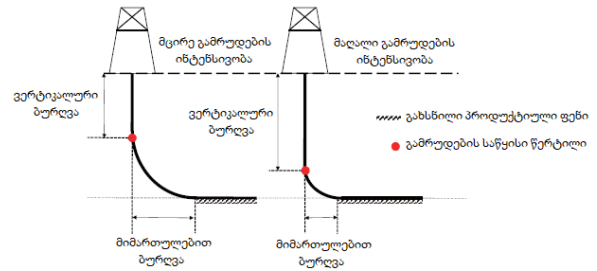


ნახ. 1. ბრუნვითი მართვადი სისტემის მექანიზმები:
 ა-Push-the-bit, ბ-Point-the-bit

მეორე მექანიზმი სისტემაში მოითხოვს გარკვეულ არამბრუნავ სექციას, იმისათვის რომ სატეხი სასურველი მიმართულებით იყოს გადახრილი ფიქსირებულად. გარდა იმისა მარტივ და ნაკლები დაკლავნილობის მქონე ჭაბურღილის ლულას (ტრაექტორიას) ვღებულობთ, რაც შემდგომში თავის მხრივ აადვილებს სამაგრი მიღების ჩაშვება/დაცემენტების საშუალებას.

დახრილ-მიმართული ბურღვისას გამრუდების ინტენსივობა, რომელიც განსაზღვრავს ლულის ტრაექტორიის გადახრის კუთხისა და აზიმუტის ჯამურ ცვლილებას 100ft დისტანციაზე, ერთ-ერთ მთავარ გამოწვევას წარმოადგენს ბურღვის ხანგრძლივობისა და დანახარჯების შესამცირებლად. როგორც ნახ. 2-დან ჩანს, გაზრდილი გამრუდების ინტენსივობა საშუალებას იძლევა გამრუდების საწყისი წერტილის სიღრმე გავზარდოთ, რაც განაპირობებს მიმართულებით გასაბურღი ლულის სიგრძის შემცირებას ვერტიკალურის ზრდის ხარჯზე. ეს კი ამაღლებს ეფექტურობას ვინაიდან ლულის ვერტიკალური სექციის ბურღვა გაცილებით მაღალ სიჩქარეზე მიმდინარეობს. ასევე იზრდება გახსნილი პროდუქტიული ფენის სიგრძეც რომელზედაც ჭაბურღილით ხდება წვდომა.

2013 წ. კომპანია „სლამბერჯემ“ შექმნა ე.წ. ჰიბრიდული ბრუნვითი მართვადი სისტემა სახელწოდებით „Power Drive Archer“, რომელშიც კომბინირებულია ორივე Push-the-bit და Point-the-bit მექანიზმები. ამ ჰიბრიდული სისტემის საშუალებით მიიღწევა 18°/100ft-მდე გამრუდების ინტენსივობა, რაც იმის მაჩვენებელია, რომ დღეისათვის არსებულ



ნახ. 2. გამრუდების ინტენსივობის ეფექტი მიმართულებით ბურღვაზე

ბრუნვით მართვად სისტემებს შორის ჰიბრიდულ სისტემას საუკეთესო მართვადი მექანიზმი გააჩნია.

ჭაბურღილის ლულის სიგრძითი მდებარეობის კონტროლი ბურღვის პროცესში არსებითი პირობაა წინასწარ განსაზღვრული ტრაექტორიის გავლა დროულად და ბიუჯეტის ფარგლებში. ბურღვის თანამედროვე პირობებში ოპერატორები ეძებენ ყველანაირ საშუალებას სწრაფად გაბურღონ წაგრძელებული ჰორიზონტალური ჭაბურღილები რათა შეამცირონ დანახარჯები. მაგალითისათვის განვიხილოთ კომპანია ჰალიბურტონის მიერ შემუშავებული გონიერი ბრუნვითი მართვადი სისტემა iCruise (RSS) (ნახ.3), რომელიც სრულიად ავტომატიზირებულია და უზრუნველყოფს მაღალი სიზუსტის მიმართულებით ბურღვას, რაც ოპერატორებს საშუალებას აძლევს დაზოგონ დრო ბურღვის მაღალი სიჩქარეების და პროგნოზირებადი შედეგების გავლენით.



ნახ. 3. კომპანია ჰალიბურტონის მიერ შემუშავებული გონიერი ბრუნვითი მართვადი სისტემა iCruise (RSS)

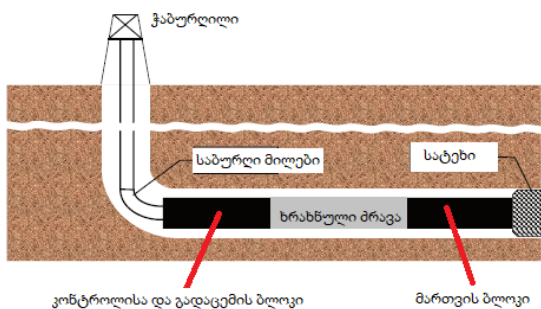
დღესდღეობით ბაზარზე წარმოდგენილ სხვადასვა სისტემებს შორის, iCruise (RSS) გამოირჩევა მაღალი საექსპლუატაციო მახასიათებლებით, მარტივია და თან ძალიან გამძლე. იგი საშუალებას იძლევა შემცირდეს

ბურღვის დრო და მაქსიმუმამდე იქნას გაზრდილი ბურღვის სიჩქარე.

გონიერი ბრუნვითი მართვადი სისტემა iCruise (RSS) აღჭურვილია უახლესი ტექნოლოგიის ელექტრონული მოწყობილობებით, რომლებიც უზრუნველყოფენ კომპლექსურ გამოთვლებს ჭაბურღილის სიღრმეში. სისტემის მართვა მაღალი სიზუსტითაა შესაძლებელი 400 ბრუნი/წთ ბრუნვით სიჩქარემდე და ამავდროულად ის წუთში ასრულებს 1000 გაზომვას სისტემის გადახრის კუთხის მიმართულებით.

გონიერი ბრუნვითი მართვადი სისტემა iCruise (RSS)-ში ინტეგრირებულია ბურღვითი ბრძანებების მრჩეველი (Drilling advisory commands) რომელიც დაფუძნებულია ბურღვითი პროცესების აღმწერ ფიზიკურ მოდელებზე, სასანგრეგო ანაკრები მოწყობილობის (BHA) ციფრულ ანალოგზე და რეალურ დროში მოპოვებული ინფორმაციის ანალიზზე.

როგორც უკვე ავღნიშნეთ, დღეისათვის არსებულ ბრუნვით მართვადი სისტემებს შორის ჰიბრიდულ სისტემას საუკეთესო მართვადი მექანიზმი გააჩნია. აქვე წარმოგიდგინთ სტრუქტურულად ახალი ტიპის ჰიბრიდულ სისტემას, რომელიც კონცეპტუალურად მსგავსია „სლამბერჯე“-ს მიერ წარმოდგენილი სისტემისა, თუმცა მისი უპირატესობა იმაში მდგომარეობს რომ სისტემას შეუძლია საფენების გაწევა ბურღვის გარსაცამის ცენტრისაკენ და შესაბამისად გაზრდილი ჯამური სიმძლავრის გამომუშავება სისტემის სამართვადი განხილული ჰიბრიდული სისტემა მართვის ორივე მექანიზმისათვის მხოლოდ ერთ ძალურ ამძრავს საჭიროებს. ნახ. 4-ზე სქემატურად წარმოდგენილია შემუშავებული ჰიბრიდული სისტემა, სადაც ქვედა სასანგრეგო ანაკრები

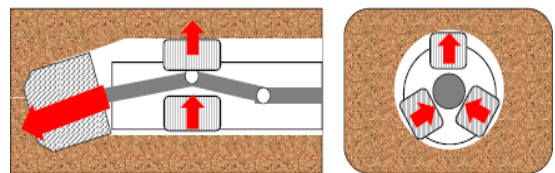


ნახ. 4. ჰიბრიდული სისტემა სქემატურად

მოწყობილობა (BHA) შედგება ხუთი კომპონენტისაგან, ესენია: საბურღი მილეზი,

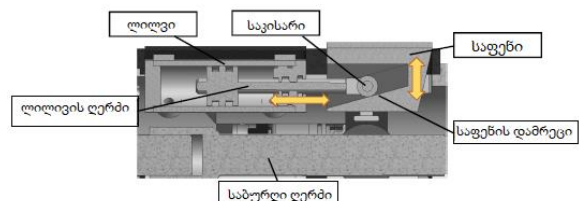
კონტროლისა და გადაცემის ბლოკი, რომელიც განსაზღვრავს სისტემის სივრცულ მდებარეობას და აკონტროლებს მის მიმართულებას, ხრახნული სასანგრეგო ძრავა, რომელიც საბურღი სითხის ენერგიას გარდაქმნის მაბრუნებელი ძალის მომენტად, მართვის ბლოკი, აღჭურვილი ჰიბრიდული საფენებით რომლებიც აწევიან ჭაბურღილის ლულის კედლებს და გადახრიან სისტემის ბოლო კომპონენტს, სატეხს, სასურველი მიმართულებით.

განხილული ჰიბრიდული სისტემა წარმოადგენს კომბინაციას Push-the-bit და Point-the-bit მექანიზმებისა და შესაბამისად უზრუნველყოფს მართვის გაუმჯობესებულ შესაძლებლობას ჰიბრიდული საფენების ხარჯზე. სისტემა აღჭურვილია 3 ასეთი ტიპის საფენით (იხ. ნახ. 5.) რომელთაც შეუძლიათ სისტემის ღერძის გადახრა გარსაცამის შიგნით და ასევე მიაწვინენ ჭაბურღილის ლულის კედლებს.



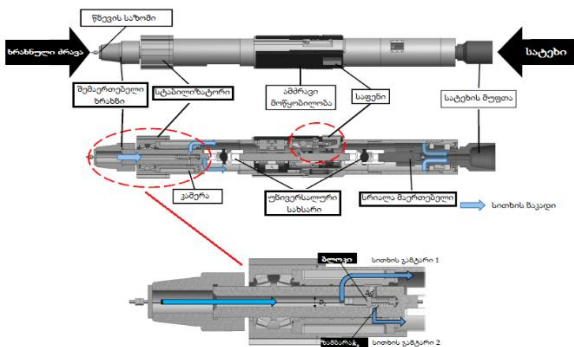
ნახ. 5. ჰიბრიდული მართვადი სისტემის საფენები

თითოეული საფენი მოქმედებაში მოდის ლილვის საშუალებით, რომელიც საბურღი ღერძის პარალელურად მოძრაობს. საფენების გადაადგილება მხოლოდ პერპენდიკულარული მიმართულებით ხდება, ვინაიდან თითოეული მათგანი მიმართველ ჩარჩოზე მიმაგრებული. საფენებს ასევე გააჩნიათ დამრეცი და ლილვის ღერძის ბოლოზე მიმაგრებული საკისარი იმისათვის რომ პარალელური მოძრაობის გარდაქმნა მოხდეს პერპენდიკულარულ მოძრაობად, რაც დიდად ზრდის სისტემის ეფექტურ მუშაობას.



ნახ. 6. ჰიბრიდული საფენისა და ლილვის სტრუქტურა

შემოთავაზებული ჰიბრიდული სისტემა და მისი კომპონენტების დიზაინი სქემატურად წარმოდგენილია ნახ. 7-ზე. სისტემის ხრახნული ძრავის ენერჯის წყაროდ, სატეხის გასაგრძელებლად და ასევე გაბურღული ქანის ნამტვრევების ზედაპირზე ტრანსპორტირებისათვის გამოიყენება საბურღი სითხე. შესაბამისად სისტემის დიზაინში გათვალისწინებულია სითხის გამტარი მარშრუტი. როგორც სურათზეა ნაჩვენები, ხრახნული ძრავის გავლის შემდგომ, სითხე პირდაპირ მართვის ბლოკში შედის და პირველ რიგში ის ჩაედინება კამერაში სადაც წნევითი სარქველის გამოყენებით მოქმედებაში მოყვას ლილვი. წნევითი სარქველი თავის მხრივ შედგება ქუდიანი ხრახნისა და ზამბარისაგან, იგი აკონტროლებს მართვის ბლოკის შიდა წნევას რისთვისაც ზღუდავს სითხის ნაკადს სანამ მისი წნევა არ მიაღწევს წინასწარ განსაზღვრულ ნიშნულამდე.



ნახ. 7. ჰიბრიდული სისტემა და მისი კომპონენტების დიზაინი სქემატურად

თუ ცნობილია კამერის შიდა დიამეტრი D_c , ზამბარის სიხისტე k_s , მანძილი ბლოკსა და კამერის გასასვლელს შორის Δd , ზამბარის საწყისი დაჭიმულობა T_i , მაშინ კამერაში წარმოქმნილი წნევის გამოთვლა შესაძლებელია შემდეგი ფორმულით:

$$P_c = \frac{F_s}{A} = \frac{4 \cdot (k_s \cdot \Delta d + T_i)}{\pi \cdot D_c^2}, \quad (1)$$

სადაც A არის კამერის განივი კვეთის ფართობი, ხოლო F_s კი ზამბარაზე მოქმედი შეკუმშვის ძალა.

უნივერსალური სახსრების გამოყენებით საბურღი ღერძი დაყოფილია სამ ნაწილად და შესაბამისად მისი გადახრა ნებისმიერი სასურველი მიმართულებით არის შესაძლებელი დაზიანების გარეშე. თუმცა სითხის გადინება

უნივერსალურ სახსრებში ვერ ხდება და ამიტომ კამერის შიგნიდან სითხე მართვის ბლოკის გარსაცამის გავლით პირდაპირ სატეხის მუფთაში გადაედინება.

დასკვნა. ზემოაღნიშნულიდან შეიძლება გაკეთდეს დასკვნა, რომ RSS ბრუნვითი მართვადი სისტემა სრულიად ავტომატიზირებულია და უზრუნველყოფს დახრილ-მიმართული და ჰორიზონტალური ჭაბურღილების დიდი სიზუსტით ბურღვას, საგრძნობლად ზრდის ბურღვის მექანიკურ სიჩქარეს, მუშაობის პროცესში მარტივი სამართავია, შეუძლია სრულად დააკალიბროს ჭაბურღილის ლულა, ასევე მნიშვნელოვნად გააუმჯობესოს ბურღვის ტექნიკურ-ეკონომიური მაჩვენებლები.

ლიტერატურა

1. Jongheon Kim, Hyun Myung, "Development of a novel hybrid-type rotary steerable system for directional drilling", IEEE access vol.5, p.24678-24687, Oct. 31, 2017.
2. Y. Zhang and R. Samuel, "Analytical model to estimate the directional tendency of point and push-the-bit BHAs," in Proc. of SPE Annu. Tech. Conf. and Exhibition, Houston, Texas, Sep. 28-30, 2015.
3. J. Sugiura, "Optimal BHA design for steerability and stability with configurable rotary steerable system", in Proc. Of SPE Asia Pacific Oil & Gas Conf. and Exhibition, Perth, Australia, Oct. 20-22, 2008.
4. S. Menand, C. Simon, L. Gerbaud, M. Ben Hamida, H. J. Denoix, B. Cuillier, J. Gaombalet, Y. Amghar, H. Sinardet et al., "PDC bit steerability modeling and testing for push-the-bit and point-the-bit RSS," in Proc. of IADC/SPE Drilling Conf. and Exhibition, San Diego, California, Mar. 2012.
5. S. Poli, F. Donati, J. Oppedt, and D. Ragnitz, "Advanced tools for advanced wells: rotary closed loop drilling system-results of prototype field testing," SPE Drilling & Completion, vol. 13, issue 2, pp. 67-72, Jun. 1998.
6. JPT staff, "Hybrid rotary steerable system delivers higher build rates and smoother holes," SPE J. of Petroleum Technol., vol. 65, issue 4, pp. 32-34, Apr. 2013.
7. C. Zhang, W. Zou and N. Cheng, "Overview of rotary steerable system and its control methods",

- in Proc. of IEEE Int. Conf. on Mechatronics and Automation, Harbin, China, Aug. 7-10, 2016.
8. B. Park, J. Kim, J. Park, J.-U. Shin, and H. Myung, "Hybrid 4-pad rotary steerable system for directional drilling of unconventional recourses", in Proc. of Ubiquitous Robots and Ambient Intell. (URAI), Jeju, South Korea, Oct. 30-Nov. 2, 2013.
 9. A. A. Dabyah, E. Biscaro, and H. Mayer, "New generation of rotary steerable system enables higher BUR and performance", in Proc. of SPE Annual Technical Conf. and Exhibition, Dubai, UAE, Sep. 26-28, 2016.
 10. G. Downton, T. Klausen, A. Handriks, and D. Pafitis, "New directions in rotary steerable drilling", Oilfield review, vol. 12, issue 1, pp. 18-29, Mar. 2000.
 11. Halliburton, Directional drilling, SperryDrill Technical Information Handbook, 2009.
 12. <https://www.halliburton.com/en-US/ps/sperry/drilling/directional-drilling/icruise.html?node-id=hg98y5kt>.

აჭარა-თრიალეთის აღმოსავლეთ დაძირვის (სართიჭალა-მანავის ზოლი)
სტრატეგრაფიული ერთეულების ენერგეტიკული მდგომარეობა

ზურაბ სურამელაშვილი, დოქტორანტი

საქ. ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი, საქართველო, e-mail: zurabs@mail.ru

ანოტაცია. ჰაბურდილის ჰიდროდინამიკური კვლევების საფუძველზე დადგენილია, რომ სართიჭალა-მანავის სტრუქტურულ ზოლში გავრცელებული შუა ეოცენური ნალექები ხასიათდება ანომალურად დაბალი ფენის წნევებით. შუაეოცენური ნალექები სართიჭალა-მანავის ზოლში ხასიათდებიან კარგი გამტარიანობით და ეფექტური წყალწვევითი რეჟიმით. ამ ზოლში განვითარებულია სტრუქტურების დიდი ნავთობგაჯერბული სიმაღლე, ქანების შეღწევადობის მაღალი პარამეტრები უზრუნველყოფენ ნახშირწყალბადების სწრაფ გადაადგილებას საწყის ეტაპზე და ნავთობისა და წყლის კონტაქტის თანაბარ ამოწვას.

ქანების ენერგეტიკული მდგომარეობის გათვალისწინებით დადგენილია ცალკეული პერსპექტიული სტრუქტურის ფარგლებში ნახშირწყალბადების ამოღების ტემპი, ჰაბურდილების რაოდენობა და განლაგების სქემა, რომლებიც უზრუნველყოფენ ნავთობისა და გაზის გაცემის მაღალ მაჩვენებელს.

საკვანძო სიტყვები: ჰიდროდინამიკა, ენერგეტიკული მდგომარეობა, აქტიური წყალწვევითი რეჟიმი, პიეზომეტრული დონე, ფენის წნევა, ანომალურად დაბალი წნევა, ანომალურად მაღალი წნევა.

Energy Properties of the Stratigraphic Units of Adjara-Trialeti Eastern Dip
(Sartichala-Manavi Section)

Zurab Suramelashvili, doctoral student,

Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, e-mail: zurabs@mail.ru

Anotation. Hydrodynamic studies of the wells have determined that the Middle Eocene formations of Sartichala-Manavi structural section are characterized with abnormally low formation pressure. Sartichala-Manavi section Middle Eocene is characterized with good permeability and effective water drive regime. The structures in the named section have large oil-saturated thickness, high rock permeability features enable for fast hydrocarbon movement at the initial stage and even elevation of oil-and-water contact. Energy properties of the rocks are used to determine hydrocarbon recovery pace, quantity and location of the wells within individual prospective structure that ensure high oil and gas recovery.

Keywords: Hydrodynamic, energy property, active water drive regime, piezometric level, formation pressure, abnormally low pressure, abnormally high pressure.

შესავალი. ზოლის სტრატეგრაფიული ერთეულები ხასიათდებიან განსხვავებული ჰიდროდინამიკური მახასიათებლებით.

შუაეოცენური ნალექები ხასიათდებიან დრეკადი წყალწვევითი რეჟიმით, ზედაეოცენური-გახსნილი გაზის რეჟიმით, მაიკოპი-ხისტი წყალწვევითი რეჟიმით, ქვედა ეოცენი-წყალწვევითი რეჟიმით, ხოლო ზედა ცარცი-ხისტი წყალწვევითი რეჟიმით. აღნიშნული რეჟიმებიდან შუაეოცენურ ნალექებში ფენის წნევის გრადიენტი ჰიდროსტატიკურთან შედარებით დაბალია.

ქვედაეოცენურ ნალექებში ფენის წნევები ნორმალური ჰიდროსტატიკურია, ხოლო

მაიკოპის, ზედა ეოცენისა და ზედაცარციული ნალექები ხასიათდებიან ანომალურად მაღალი ფენის წნევების მაჩვენებლებით. ქვემოთ მოცემულია ჰიდროდინამიკური რეჟიმებისა და ფენის წნევების წარმოშობისა და მათი გავრცელების ზონების განსაზღვრებები.

შუაეოცენური ვულკანოგენურ-დანალექი კომპლექსის ენერგეტიკული მდგომარეობა

სართიჭალა-მანავის შუაეოცენური ჰიდროდინამიკური სისტემა ერთიანი წყალწვევითი რეჟიმის მქონე თბილისისპირა რეგიონის შუაეოცენური ჰიდროდინამიკური კომპლექსის შემადგენელი ნაწილია.

ამ კომპლექსის კვება ხდება თბილისის მიდამოებში, მდინარე მტკვრის ხეობაში გაშიშვლებული შუაეოცენური ქანებიდან, რომლებშიც მიმდინარეობს მდინარისა და ზედაპირული წყლების ინფილტრაცია

თბილისისპირა რაიონის შუაეოცენური კომპლექსი წარმოადგენს ერთიან წყალწნევის სისტემას. მტკვრის ხეობის მარჯვენა, დასავლეთი ნაწილი შეიცავს სულფატ-ჰიდროკარბონატული შემადგენლობის წყლებს, საერთო მინერალიზაციით 0.3-0.7 გ/ლ და ხასიათდება აქტიური წყალწნევის რეჟიმით. აღმოსავლეთ ნაწილში გავრცელებულია ქლორ-კალციუმიანი წყლები, საერთო მინერალიზაციით 5-5.8 გ/ლ და ხასიათდება შეზღუდული წყალწნევის რეჟიმით. წყლის მინერალიზაციის ზრდა ხდება თბილისიდან აღმოსავლეთით, ნავთობის საბადოების გავრცელების მიმართულებით. შუაეოცენური ნალექების ზედაპირული გამოსავლები, რომლებიც განლაგებულია რეგიონის დასავლეთ ნაწილში, წარმოადგენენ მათი კვების არეს ატმოსფერული და ზედაპირული წყლებით, ხოლო ტექტონიკური რღვევები - წყალწნევის სისტემის განტვირთვის არეს.

თბილისის ფარგლებში არსებული წყალწნევის სისტემის "ჰიდროგეოლოგიური ფანჯარა", (თერმული წყაროები), წარმოადგენს შუაეოცენური კომპლექსის მიწისქვეშა წყლების ზედაპირზე გამოდინების ზონას. აქვე, აღმოსავლეთით, მდებარეობს ინფილტრაციის მეორე კერა მდ. მტკვრის კალაპოტში. ამ მდგომარეობამ განაპირობა ერთიანი წყალწნევის სისტემის დასავლეთი და აღმოსავლეთი ნაწილების სხვადასხვა ჰიდროგეოლოგიური ხასიათი.

იმ შემთხვევაში, თუ აღნიშნულ სისტემას არ ექნებოდა "ჰიდროგეოლოგიური ფანჯარა", მაშინ სისტემის აღმოსავლეთი ნაწილის კვების არე დაკავშირებული იქნებოდა დასავლეთით არსებული ინფილტრაციული სისტემის კვების არესთან. შესაბამისად, ჭაბურღილებში პიეზომეტრიული დონე იქნებოდა გაცილებით ზემოთ, არსებულთან შედარებით, ხოლო საბადოების დამუშავების რეჟიმი იქნებოდა არა დრეკადი წყალწნევის, არამედ ხისტი წყალწნევის. ეს ნიშნავს, რომ ამ შემთხვევაში

ჭაბურღილები იმუშავებდნენ თვითგადმო-დინებით სუფთა წყალზე.

სამგორი-პატარძელი-ნინოწმინდა

მანავის ნავთობის საბადოები განლაგებულია აღნიშნული წყალწნევის სისტემის ფარგლებში. ამ საბადოების ჰიდროდინამიკური მდგომარეობა განპირობებულია ერთიანი წყალწნევის რეჟიმით

შუაეოცენურ ნალექებში არსებულ ნავთობის საბადოებს აქვს კარგი ჰიდროდინამიკური კავშირი ერთმანეთთან და მოსაზღვრე კონტურგარეშე რეგიონთან. ნინოწმინდის ნავთობის საბადოების დამუშავების პროცესში აქტიური წყალდაწნევის რეჟიმი ხელსაყრელ პირობას ქმნის ნავთობის წყლით გამოდევნისთვის ვერტიკალური მიმართულებით.

სამგორი-პატარძელი-ნინოწმინდის,

სამხრეთი თალის, თელეთის საბადოების შუაეოცენური ნალექებიდან ნავთობის მაქსიმალური ამოღებით ($4.45 \times 10^6 \text{ მ}^3$ ფენის პირობებში) ფენის წნევა მნიშვნელოვნად შემცირდა (21-22 ატმ-ით) 1983-1985 წლებში. ამ პერიოდში დაფიქსირებულია პიეზომეტრიული დონეების დაცემა სამეთვალყურეო ჭაბურღილებში. შეწყდა მოდინება თბილისის გეოთერმულ ჭაბურღილებში. ფენის წნევამ აბსოლუტურ ნიშნულზე (მინუს -1750მ) სამგორი-პატარძელში შეადგინა 200 ატმ, ხოლო ნინოწმინდაში - 206 ატმ, მოხდა ნინოწმინდის უბნიდან 2164.6 ათ. ტ ნავთობის გადადინება პატარძელის უბანში. კარგი ჰიდრო-დინამიკური კავშირის პირობებში ნინოწმინდიდან სამგორი-პატარძელის მიმართულებით ნავთობის გადადინებაზე მიუთითებს ნინოწმინდის ფართობზე ფენის წნევის დაცემა 2.0 მპა-ით ამ საბადოს დამუშავების დაწყებამდე.

ნავთობისა და გაზის მარაგების ამოღების თანხვედრად ფენის წნევა საბადოს ფარგლებში მცირდება, რადგანაც ნავთობი და გაზი იცვლება წყლით და იზრდება ჰიდროსტატიკური უკუწნევა. ეს პროცესი მიმდინარეობს იმ შემთხვევაშიც კი, როდესაც კვების წყარო უცვლელია.

დადასტურებულია, რომ თბილისისპირა შუაეოცენურ ჰიდროგეოლოგიურ აუზში ჩვენ

გვაქვს ინფიტრირებული წყლების აქტიური მოდინება. ეს მოდინება უზრუნველყოფს კვების კონტურზე (მუდმივი პიეზომეტრიული დონე წყლით გაჯერებულ ნაწილში). თვით სბადლოში ნავთობისა და გაზის მოპოვებასთან ერთად ფენის წნევა აუცილებლად მცირდება. ნავთობგაჯერებულ ნაწილში ფენის წნევის შემცირება ჰიდროსტატიკური უკუწნევის ხარჯზე არ ქმნის უკუგავლენას მთლიან წყალწნევით სისტემაზე.

აქვე უნდა აღვნიშნოთ, რომ საბადოში წნევის შემცირება (მიუხედავად იმ მიზეზებისა, რომლებმაც გამოიწვია ეს შემცირება) იწვევს ქანებისა და ფენის სითხეების დრეკად გაფართოებას და დრეკადი ენერჯის გათავისუფლებას. გათავისუფლებული დრეკადი ენერჯის ხარჯზე მიმდინარეობს ფენის სითხის მოპოვება საბადოს დამუშავების საწყის სტადიაში.

დამუშავების საწყის სტადიაში ფენის წნევა საწყის ნავთობისა და წყლის კონტაქტებზე ა.ნ. -2130 მ ტოლია 252.6 ატმ. ჭარბი წნევა-0. ა.ნ. -1750 მ საწყისმა წნევამ შეადგინა 226.0 ატმ. იმ შემთხვევაში თუ ამ დონეზე ამოვიდოდა ნ.წ.კ. ფენის წნევა შეადგენდა 214.7 ატმ, ე.ი. ბუდობის საწყისი მდომარეობის სტადიაში ა.ნ. -1750 მ ჭარბი წნევა შეადგენდა $[226.0-214.6=11.4]$ ატმ.

გაზის ქუდის სახურავის (საშუალოდ ა.ნ. -1400მ) დონეზე ჭარბი წნევა გაზგაჯერებულ ზონაში შეადგენდა 31.1ატმ. $[210.7-179.6=31.1]$. იხ. ცხ.1. გათვლები შესრულებულია ვ. სალავიოვას მიერ, შეფასებითი გაანგარიშების მიხედვით საბადოში „ჭარბი“ წნევის შემცირების ხარჯზე თავისუფლდება დრეკადი მარაგები-1 მილ.კუბ.მ ე.ი. სამგორი-პატარძელის-ნინოწმინდის საბადოზე 1მილ მ³ ნავთობი, მოპოვებული იქნა ქანების, სითხისა და გაზის გაფართოების ხარჯზე. დანარჩენი ნაწილი მოპოვებული იქნა თერმალური წყლის შემოდინებით საბადოზე.

1979-1983 წწ. სამგორი-პატარძელის-ნინოწმინდას სამხრეთი თალი, თელეთი, შუაეოცენური ნალექებიდან სტაბილურად მოიპოვებდნენ 3.3 მლნ.ტ. ნავთობს, რაც ფენის პირობებში შეადგენს 4.45 მლნ. მ³. ამან გამოიწვია ფენის წნევის შემცირება საბადოებში.

1984 წ. სამგორის უბანი ჰიდრო-დინამიკურად გამოეყო დანარჩენ უბნებს. შემდგომში, 1986 წელს, ნავთობისა და წყლის კონტაქტის ამოწვევასთან დაკავშირებით (-1570 მ სიღრმეზე ზღვის დონიდან), ერთმანეთს გამოეყო ნინოწმინდისა და პატარძელის ბუდობები. ფენის ფლუიდების ამოღების ტემპების შემცირებასთან ერთად (1.45×106მ³ ნავთობი და წყალი ერთად) პიეზომეტრიულ ჭაბურღილებში წყლის დონეები აღდგა და ქ. თბილისის რაიონში განლაგებულ თერმულ ჭაბურღილებში დაიწყო წყლის გადმოდინება.

ფენის წნევის მაქსიმალური შემცირება დაყვანილი აბ.ნ. -1750 მ. სამგორში შეადგინა 200ატმ, ნინოწმინდის ბუდობში-206 ატმ. 1985 წლიდან საბადოში დაიწყო ფენის წნევის გაზრდა და 1987 წ გაიზარდა 210-212 ატმ (აბ.ნ.-1750 მ).

ნინოწმინდის ფართობზე 1986 წელს დაიწყო ფენის წნევის აღდგენა. ასე მაგალითად, 08.08.1988 წ N30-ე ჭაბურღილში, 2550 მ სიღრმეზე (-1634 მ) ფენის წნევამ შეადგინა 203,5 ატმ, რაც -1750მ-ზე შეადგენს 211,8 ატმ-ს.

ეს ნიშნავს, რომ 1986-1987 წლებში ფენის წნევა პრაქტიკულად მიუახლოვდა საწყის მნიშვნელობას.

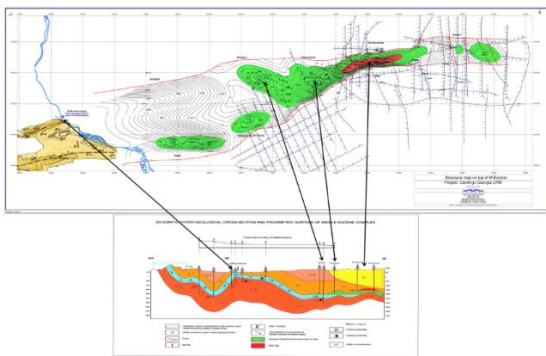
სანგრევისა და ფენის წნევები გაზომილ იქნა №№ 4, 9, 16, 22, 30, 96, 97, 98, 100 ჭაბურღილებში. მინუს -1486 მ სიღრმეზე წნევამ შეადგინა 187.2 კგ/სმ². ნავთობისა და წყლის, გაზისა და ნავთობის გამყოფი სიბრტყეები განსაზღვრულია ჰიდრო-დინამიკური გამოკვლევების მიხედვით

სამგორის თალზე ნავთობის მოპოვება შუაეოცენური ნალექებიდან 2017-2019 წლებში მიმდინარეობს მხოლოდ S -76 ჭაბურღილში, სართიჭალის თალი S-80, 91 ჭაბურღილებში.

პატარძელის თალში-P-15,93,95,144. მოპოვება გაწყლიანების გამო მეტად შემცირებულია. პრაქტიკულად საბადო დრენირებულია და ნავთობის მოპოვება მიმდინარეობს მხოლოდ უკიდურესად მაღალი ნიშნულების ჭაბურღილებში.

გარდა შუაეოცენური ნალექების ანომალურად დაბალი წნევითი რეჟიმისა, სართიჭალა-მანავის ტექტონიკურ ზოლში გავრცელებულია ანომალურად მაღალი წნევის ზონები.

ანომალურად მაღალი ფენის წნევების (ამფწ) ზონები ფართოდაა გავრცელებული მსოფლიოს მრავალი ნავთობგაზიანი ოლქის დანალექ საფარში, მათ შორის ჩვენი საბადოების ფარგლებში. შესაბამისი ინტერვალების ბურღვისას წარმოქმნილი გართულებების დასაძლევად დიდი დრო და სახსრები იხარჯება, რაც მნიშვნელოვნად ზრდის ჭაბურღილის თვითღირებულებას. აქედან გამომდინარე, ამფწ-ის წარმოშობის და გავრცელების ზონების შესწავლა მოითხოვს განსაკუთრებულ ყურადღებას.



ნახ. 1. თბილისისპირა რეგიონის შუა ეოცენის კომპლექსის სქემატური გეოლოგიური ჭრილი (თავდუმამე, სურამელაშვილი, 2015 წ. ჯ.ბარძიმიშვილის მიხედვით)

ანომალურად მაღალი ფენის წნევების ზონების წარმოშობის, გავრცელების და პროგნოზირების შესახებ თბილისის მიმდებარე ნავთობგაზიანი რაიონის დანალექ საფარში

ნინოწმინდის და მანავის ნავთობგაზიანი საბადოების ფარგლებში 60-მდე ღრმა ჭაბურღილია გაბურღული. ლულის კედლების შევიწროების, ჩამოქცევიფლუიდების გამოვლენის, სარეცხი სითხის შთანთქმების და საბურღი ინსტრუმენტის მოძრაობის უნარის დაკარგვის ხშირი შემთხვევების გამო, ათზე მეტმა ჭაბურღილმა ვერ მიაღწია დასახულ მიზანს და ლიკვიდირებულ იქნა, ზოგიერთში დამატებითი (გვერდითი) ლულები გაიბურღა; უმეტესი მათგანის ბურღვა, მართალია, დამთავრდა მშენებლობით, მაგრამ აღნიშნული გართულებების სალიკვიდაციოდ დიდი დრო და სახსრები დაიხარჯა. ამ გართულებათა უმეტესობა რაიონის რთული გეოლოგიური აგებულებით ინსპირირებული ანომალურად

მაღალი ფენის წნევის (ამფწ) ზონების არსებობით არის განპირობებული. ეს ზონები ფართოდაა გავრცელებული არა მარტო ჩვენი ტერიტორიის გეოლოგიურ ჭრილებში, არამედ მსოფლიოს მრავალი ნავთობიანი ოლქის დანალექ საფარში.

ამფწ-ის ზონების წარმოშობის, გავრცელების და პროგნოზირების შესახებ ქვემოთ მოტანილი დასკვნები სალიტერატურო წყაროების, ძირითადად კი ნინოწმინდის და მანავის ფართობებზე შპს „GBOC“ (შემდგომში „CanArgo“, ამჟამად „KBOC“) მიერ ჩატარებული ბურღვის, გეოლოგიური, გეოფიზიკური მონაცემების და ჰიდროდინამიკური გამოკვლევების ანალიზს ეყრდნობა. მიღებული შედეგები, შესაძლებელია, გამოყენებულ იქნას აგრეთვე ნორიო-მარტყოფის დ, საერთოდ, აჭარა-თრიალეთის ნაოჭა ზონის აღმოსავლური დაძირვის სხვა ფართობებზე ღრმა ჭაბურღილების დაპროექტების და ბურღვის მიზნით. ამასთან ერთად, აღნიშნულ საკითხზე მსჯელობისას ურთიერთგაგების მიღწევის მიზნით, გათვალისწინებულია მირითადი ტერმინის განმარტებას, რომელთა მნიშვნელობები გაზიარებულია მკვლევართა უმეტესობის მიერ.

ფენის წნევა არის სითხის ან გაზის წნევა ბუნებრივ პირობებში არსებულ ნავთობიან, გაზიან ან წყლოვან შრე-კოლექტორებში; განსაზღვრავს ფენის ბუნებრივი ენერჯის სიდიდეს.

ანომალურად მაღალი ფენის წნევა (ამფწ) შრე-კოლექტორების ისეთი მახასიათებელია, რომელიც გაწონასწორებულია $\gamma=1,30\text{გ/სმ}^3$ სიმკვრივის მქონე სარეცხი სითხის წონით. მისი ქვედა საზღვარი 30%-ით მეტია პირობით ჰიდროსტატიკურ წნევაზე და 20-25%-ით ნორმალურ ჰიდროსტატიკურ წნევაზე, ჭარბი წნევის გათვალისწინებით.

პირობითი ჰიდროსტატიკური წნევა შეესაბამება მტკნარი წყლის ($\gamma=1,00\text{გ/სმ}^3$) სვეტის წონას ფენის ზედაპირიდან მიწის პირამდე.

ნორმალური ჰიდროსტატიკური წნევა შეესაბამება ისეთ ფენის წნევას, რომელიც გაწონასწორებულია ჭაბურღილის პირიდან გახსნილ ფენამდე ავსებული მინერალიზებული წყლის სვეტის წონით ($\gamma=1,05-1,10\text{გ/სმ}^3$).

ჭარბი წნევა არის ფენის წნევის ნამატი შრის წყლოვან წნევასთან მიმართებაში ნავთობის და გაზის ბუდობის მოცემულ ნიშნულზე.

ანომალურობის კოეფიციენტი არის ანომალურად მაღალი ფენის წნევის სეფარდება იმავე სიღრმეზე გამოთვლილი ნორმალური ჰიდროსტატიკური წნევის სიდიდესთან: $K_{ან.} = P_{ან.} / P_{ნორ.}$

ნინოწმინდა-მანავის (და, საერთოდ აჭარა-თრიალეთის აღმოსავლური დაძირვის) დანალექ საფარში ამფწ-ის ზონების წარმოშობას, ჩვენი მოანგემატით, ძირითადად განაპირობებს:

1) პლასტიკური თიხური ქანების, განსაკუთრებით ბენტონიტების შემცველი მძლავრი (>1,5-2,0კმ) წყებების გავრცელება;

2) ღრმად დაძირული, ვრცელი, ძირითადად თიხური ნალექებით აგებული სედიმენტაციური აუზის არსებობა;

3) მასალის დალექვის (აუზის ფსკერის კომპენსაციური დაძირვის სიჩქარის პრიმატი ქანების დიაგენეზური გამკვრივების ხანგრძლივობის მიმართ;

4) ქანების ინტენსიური დანაოჭება და რღვევითი დისლოკაციების ფართო ქსელის გავითარება.

მეორეხარისხოვანი მნიშვნელობა ენიჭება:

5) მაღალი ფენის წნევის მქონე ფლუიდების შემოდინებას ჩაკეტილ (ლოკალურ) რეზერვუარებში;

6) ოსმოსურ მოვლენებს;

7) გეოქიმიურ პროცესებს (მაგ: ილიტიზაციას).

რაც შეეხება ამფწ-ის ზონების პროგნოზირების საკითხს, ამ მიზნით კარგ შედეგებს იძლევა „d-ექსპონენტის მეთოდი“, შპს „კანარგოს“ გეოლოგების მიერ შემუშავებული „გეოლოგიური მიკროსტრუქტურების და ფორმების კვლევის მეთოდი“, ღრმა ბურღვის, სეისმური პროფილირების, აკუსტიკური კაროტაჟის და გეოლოგიური მონაცემების კომპლექსური ანალიზი. ამის გარდა, გეოლოგიურ ჭრილში ამფწ-ის ინტერვალების გახსნის (არსებობის) ინდიკატორებია:

1) ბურღვის მექანიკური სიჩქარის გაზრდა;

2) დონის მომატება სარეცხი სითხის რეზერვუარებში;

3) შლამის ოდენობის გაზრდა ვიბროსაცერზე;

4) შლამის ნაწილაკების და კერნის (ქანების) დაბალი სიმკვრივე;

5) ქანების ხვედრითი ელექტრო-წინააღმდეგობის მკვეთრი (ნახტომისებური) შემცირება;

6) შედარებით მძლავრი ტექტონიკური რღვევის ზონების არსებობა, რაც შესაბამის ასახვას პოულობს შლამის ნაწილაკების ზედაპირზე (მიკროსკოპის ქვეშ);

7) ქლორიდების შემცველობა სარეცხი ხსნარის ფილტრატსა და მონტმორილონიტურ თიხებში;

8) დატვირთვის გაზრდა კავზე და გრეხვის მომენტის მაღალი მაღალი მაჩვენებელი;

9) გეოთრემული გრადიენტის გაზრდა.

ღრმად დაძირული, პლასტიკური, განსაკუთრებით მონტმორილონიტური სახეობებით მდიდარი თიხების მძლავრი დასტები პოტენციურად მაღალი დრეკადი ენერჯის მატარებელია. რაც უფრო დიდი სისქისაა, ამასთანავე, ღრმადაა დაძირული ეს ქანები და ვრცელია შესაბამისი სედიმენტაციური აუზი, მით მეტია ამფწ-ის ზონის სიმძლავრე, განლაგების სიღრმე და ანომალურობის კოეფიციენტის სიდიდე. ამ პარამეტრების მნიშვნელობები კლებულობს როფების ცენტრალური ნაწილიდან ბორტებისკენ. ჩვენს ტერიტორიაზე ასეთ პირობებში იმყოფება შუასარმატული, მაიკოპური და ზედაეოცენური ალევრო-პელიტური წარმონაქმნები. მიუხედავად იმისა, რომ ეს ნალექები აქ ღრმადაა დაძირული (3,5-4,5 კმ), მათი უდიდესი ნაწილი, განსაკუთრებით შუასარმატული და მაიკოპური თიხური ქანები, მაინც ინარჩუნებს პლასტიკურობას. ამ წარმონაქმნების ფორმირება მიმდინარეობდა, ძირითადად, შემადგენელი მასალის ფართო-მასშტაბური მობილიზაციის და ინტენსიური დაგროვების, აუზის ფსკერის კომპენსაციური დაძირვის და ბორტების ახვევების პირობებში. ამასთანავე, ნალექების დეჰიდრატაციის და გამკვრივების პროცესი დროში ჩამორჩებოდა სედიმენტაციის სიჩქარეს. ამ მდგომარეობათა გამო, ჯერ კიდევ გაუმკვრივებელ პლასტიკურ ქანებში დარჩენილია ბმული (ფორების) წყლის დიდი ოდენობა, რომელიც თავის თავზე ღებულობს გეოსტატიკურ და გეოდინამიკურ წნევებს, რაც ჩვენს პირობებში ამფწ-ის ზონების წარმოშობის ერთ-ერთ ძირითად ფაქტორს წარმოადგენს. ქანების ტექტონიკური სტრესის შედეგად წარმოშობილი გეოდინამიკური წნევის გრადიენტი შედარებით მაღალია ნაოჭების კლიტეებსა და რღვევის ზონებში. აქ არსებულ ქანებზე, გეოსტატიკური წნევის გარდა, გეოდინამიკური დამაბულობაც მოქმედებს.

ამასთანავე, თუ რღვევის ზონები გამტარია და მათში ცირკულირებს ღრმა ჰორიზონტებიდან გამოწურული გაზირებული წყალი, მაშინ, ანტიკლინის თაღში, საშუალო და მცირე სიბრტყეებზედაც კი, შესაძლებელია, ამფწ-ის ზონა ჩამოყალიბდეს (მაგ., ნინოწმინდის და მანავის ანტიკლინები). ამფწ-ის ზონა ჩვეულებრივად, ზემოდან და ქვემოდან ისაზღვრება ქანების ნორმალური შემჭიდროების ზონებით. როგორც გამოირკვა, აღნიშნული ზონები უშუალოდ კი არ ენაცვლება ერთმანეთს გეოლოგიურ ჭრილში, არამედ მათ შორის ყალიბდება გარდამავალი ინტერვალები, რომელთა სიმძლავრეები, დაახლოებით ერთგვაროვან ფაციესურ გარემოშიც კი, დიდ ფარგლებში ცვალებადობს, ჩვენ შემთხვევაში რამდენიმე ათეული მეტრიდან ასეულ მეტრებამდე, ფენის წნევის გრადიენტი კი საშუალოდ 1,25-დან 1,30-მდე მერყეობს.

ნინოწმინდა-მანავის მოედნების დანალექ საფარში ამფწ-ის ზონა სტრატეგრაფიულად, ძირითადად, შუასარმატული, მაიკოპური და ზედაეოცენური მძლავრი თიხური ქანების გავრცელების ინტერვალს უკავშირდება. ამასთანავე, ფენის წნევის გრადიენტის, ამფწ-ის ზონების სიმძლავრეების განაწილებასა და ჰიფსომეტრიული მდებარეობის ცვალებადობაში გარკვეული კანონზომიერებები შეინიშნება, კერძოდ, მათი მნიშვნელობები არათანაბრად, მაგრამ საზოგადოდ მატულობს სამხრეთ-დასავლეთიდან ჩრდილო-აღმოსავლეთისკენ, რაც ამ მიმართულებით პლასტიკური თიხური ქანების სიმძლავრეების, მათი დაძირვის სიღრმეების და ტექტონიკური დაძაბულობის გაზრდით არის განპირობებული. კერძოდ, აღნიშნული მიმართულებით, ჩვენი გამოთვლებით, ფენის წნევის გრადიენტის მაქსიმალური მნიშვნელობები ცვალებადობს: 1,75-1,85-დან (ნინოწმინდის ანტიკლინის დასავლეთი პერიკლინი-პატარაძეულის ანტიკლინი) -1,85-1,90 (ნინოწმინდის ანტიკლინის აღმოსავლური პერიკლინი-მანავი-კაკაბეთის ანტიკლინი) -2,00-2,20-მდე (მანავის ანტიკლინი-გომბორის სინკლინის სამხრეთ-დასავლეთი ფრთა). შუა ეოცენის ვულკანოგენურ-დანალექი, მტკიცე გაგებით აგებულ მასივში, როგორც ინსტრუმენტული გაზომვები და ბურღვის პრაქტიკა გვიჩვენებს, ფენის წნევის გრადიენტი, ნორმალურ ჰიდროსტატიკურ წნევასთან შედარებით,

დაბალია. კერძოდ, ნინოწმინდაში, ამჟამად, მინუს 2130 მ სიღრმეზე, ფენის წნევის მნიშვნელობა 250,6 ატმს-ს შეადგენს, რაც შუა ეოცენის მთელ ვულკანოგენურ-დანალექ მასივში ანომალურად დაბალი ფენის წნევის ზონის არსებობაზე მიუთითებს. მანავის (ნაწილობრივ, ნინოწმინდის) მოედნის გეოლოგიური ჭრილის ქვედა ნაწილში, ანომალურად დაბალი ფენის წნევის (შუა ეოცენი) და ქანების ნორმალური შემჭიდროების (ზედა ცარცი) ზონებს შორის განვითარებულია პალეოცენურ-ქვედაეოცენური თიხიან-ქვიშიან-ალევიროლითური ქანები. მათი შედარებით მცირე სიმძლავრეების გავრცელების ინტერვალში ყალიბდება ნორმალური შემჭიდროების ზონა, ხოლო დიდი სიმძლავრის პირობებში აღნიშნული ქანები გარდამავალი ან ამფწ-ის დაბალი მნიშვნელობის ($K_{\text{სე}}=1,3-1,4$) არეალში ექცევა, ე.ი. შესაბამის ინტერვალში ანომალურად მაღალი ფენის წნევის არეალის ნაწილობრივი რეგენერაცია ხდება.

ამფწ-ის ზონის ზედა საზღვარი ნინოწმინდა-მანავის ტერიტორიაზე ჰიფსომეტრიულად ცვალებადობს (სდ-ჩა მიმართულებით) 600-800-დან 900-2200 მ-მდე, ქვედა-2400-2700 მ-დან 3700-4500 მ-მდე. პირველი მათგანი რაიონის სამხრეთ-დასავლეთ ნაწილში სტრატეგრაფიულად და ტექტონიკურად ემთხვევა შუა სარმატის და მაიკოპის გამყოფ I რეგიონალურ რღვევას, ცენტრალურ და ჩრდილო-აღმოსავლურ ნაწილებში მდებარეობს შუა სარმატის ქვედა ჰორიზონტებში, აღნიშნული რღვევის სიბრტყიდან ჰიფსომეტრიულად მაღლა, მაგრამ, საერთო ჯამში, უფრო ღრმად. ზონა ქვემოდან იფარგლება დამარხული ანტიკლინების თაღებში, შუა და ზედა ეოცენის მოსაზღვრე დასტებით, სტრუქტურების ფრთებზე-ზედა ეოცენის ქვედა ინტერვალებით. ზონის სიმძლავრე ასევე არათანაბრად მატულობს ჩრდილო-აღმოსავლეთი მიმართულებით, საშუალოდ, 700-2100 მ-დან, 2000-3000 მ-მდე. აღნიშნული ზონის სახურავი ჰიფსომეტრიულად ამოწეულია ანტიკლინების თაღებში, 900-1000 მ-დან 600-700 მ-მდე, დაწეულია სინკლინების ძირში, 1800-2200 მ-მდე. მისი სიმძლავრე ანტიკლინების ფარგლებში მერყეობს, საშუალოდ, 300-700 მ-დან 1700-2000 მ-მდე, სინკლინების ძირში-1400-1700 მ-დან 2600-3000 მ-მდე. ამასთანავე, ამფწ-ის მნიშვნელობები, პირველ შემთხვევაში, მეტწილად, ნაკლებია,

ვიდრე ღრმად დაძირულ სინკლინურ დეპრესიებში.

დასასრულს, რეკომენდაციის სახით შეიძლება აღვნიშნოთ: კარგი იქნება, თუ ანალოგიური სახის გამოკვლევები ჩატარდება თბილისის მიმდებარე რაიონის ერთ-ერთ ყველაზე რთული გეოლოგიური აგებულების მქონე ნორიო-მარტყოფის ფართობზე. ღრმად ვართ დარწმუნებული, რომ მიღებული შედეგები ხელს შეუწყობს უსაფრთხო ბურღვას და არ გაზრდის მის თვითღირებულებას.

ლიტერატურა

1. თავდუმაძე ი., ჭანკოტაძე გ. „სამგორი-პატარძელი-ნინოწმინდის ჭაბურღილების ჰიდროდინამიკური გამოკვლევების ანალიზი“. თბილისი. 1999. გვ. 15-24.
2. თავდუმაძე ი., შარიქაძე მ. და სხვ. „სამგორი-პატარძელი-ნინოწმინდის და ნორიოს ნაპრალოვანი კოლექტორების დამუშავების ზოგიერთი თავისებურებები“, თბილისი, 2018. NOC-ის ფონდები, გვ. 78.
3. Харатишвили Л. «Проблемы гидрогеологии и инженерной геологии». Тбилиси. 1980.
4. დურგლიშვილი გ., თავდუმაძე ი., სურამელაშვილი ზ., პაატაშვილი რ.

„ნინოწმინდას საბადოს 2018-2022 წწ. დამუშავების გეგმა“. 2017. KBOC-ის გეოლოგიური ფონდები, გვ. 1-228.

5. პაატაშვილი რ., სურამელაშვილი ზ. და სხვ., „ჭარა-თრიალეთის აღმოსავლეთ დაძირვის ნავთობგაზიანობის პოტენციალი“, ნავთობისა და გაზის სახელმწიფო სააგენტო. 2020. დეკემბერი, გვ.76-81.

References

1. Tavdumadze I., Chankotadze G. “Analysis of hydrodynamic studies of Samgori-Patardzeuli-Ninotsminda wells”, Tbilisi. 1999, pp. 15-24.
2. Tavdumadze I., Sharikadze M. “Certain Features of Samgori-Patardzeuli-Ninotsminda and Norio Fractured Reservoir Development”. Tbilisi. 2018, NOC funds, pp. 78.
3. Kharatishvili L. “Problems of Hydrogeology and Engineering Geology”, Tbilisi, 1980;
4. Durglishvili G., Tavdumadze I., Suramelashvili Z, R. Paatashvili, “Ninotsminda Oil Field Development Plan 2018-2022”, 2017, KBOC geological funds, pp. 1-228.
5. Paatashvili R., Suramelashvili Z, *et al.*, “Oil-and-Gas Potential of Adjara-Trialeti Eastern Dip”, State Agency of Oil and Gas, December 2020, pp. 76-81.

აჭარის რეგიონის გადამუშავებას დაქვემდებარებული საყოფაცხოვრებო და საწარმოო ნარჩენების ენერგეტიკული რესურსების გამოკვლევა და მათი ათვისების პერსპექტივები

მადონა ლორია აკად. დოქტორი, ასისტენტ-პროფესორი

ბათუმის შოთა რუსთაველის სახ. უნივერ. ბათუმი, საქართველო, e-mail: madona.loria@bsu.edu.ge

ზურაბ მეგრელიშვილი ტექნ. მეცნ. დოქტორი, პროფესორი

ბათუმის შოთა რუსთაველის სახ. უნივერ. ბათუმი, საქართველო, e-mail: zurab.megrelishvili@bsu.edu.ge

მაია ტუღუში ტექნ. მეცნ. კანდ. ასოცირებული პროფესორი

ბათუმის სახელმწიფო საზღვაო აკადემია, ბათუმი, საქართველო, e-mail: m.tugushi@bsma.edu.ge

დავით ჩხაიძე ტექნ. მეცნ. კანდ. ასოცირებული პროფესორი

ბათუმის შოთა რუსთაველის სახ. უნივერ. ბათუმი, საქართველო, e-mail: davit.chkhaidze@bsu.edu.ge

ანოტაცია. შესწავლილია აჭარის რეგიონის ნაგავსაყრელების არსებული მდგომარეობა. გამოკვლეული და დადგენილია ნაგავსაყრელებზე არსებული მყარი და თხევადი, გადამუშავებას დაქვემდებარებული საყოფაცხოვრებო და საწარმოო ნარჩენების ენერგეტიკული პოტენციალი. დასაბუთებულია არსებული ენერგეტიკული რესურსების სხვადასხვა სახის ენერგიებად გარდაქმნის მიზანშეწონილობა და შემოთავაზებულია არსებული ენერგეტიკული რესურსების ათვისების პერსპექტივები. დასაბუთებულია, რომ აღნიშნული ენერგეტიკული რესურსების რეალიზაციით მნიშვნელოვნად გაუმჯობესდება აჭარის რეგიონის ენერგეტიკული და ეკოლოგიური მდგომარეობა.

საკვანძო სიტყვები: ნარჩენები, ენერგეტიკული პოტენციალი, აჭარის რეგიონი, საყოფაცხოვრებო, საწარმოო, ათვისების პერსპექტივები, ეკოლოგია.

Investigation of energy resources of household and production waste subordinated to recycling of Adjarian region and prospects of their utilization.

Madona Loria, PhD, Asistent- Professor

Batumi Shota Rustaveli State University, Batumi, Georgia, e-mail: madona.loria@bsu.edu.ge

Zurab Megrelishvili Doctor of Technical Science, Professor

Batumi Shota Rustaveli State University, Batumi, Georgia, e-mail: zurab.megrelishvili@bsu.edu.ge

Maia Tugushi Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Batumi State Maritime Academy, Batumi, Georgia, e-mail m.tugushi@bsma.edu.ge

David Chkhaidze, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Batumi Shota Rustaveli State University, Batumi, Georgia, e-mail: davit.chckaidze@bsu.edu.ge

Annotation. A paper examines current state of landfills in the region of Adjara. In the paper is investigated and identified the energy potential of solid and liquid, recyclable household and industrial waste at landfills. There is substantiated expediency of transforming the existing energy resources into different types of energy and are proposed perspectives of utilization of the existing energy resources. It is substantiated that the realization of the mentioned energy resources will significantly improve ecological and energy condition of the region of Adjara.

Keywords: Waste, energy potential, Adjara region, household, industrial, development prospects, ecology.

შესავალი. თანამედროვე ეტაპზე, ახალი ტექნოლოგიების კვალდაკვალ შექმნილი ელექტროტექნოლოგიური დანადგარების დანერგვის შედეგად, მოთხოვნა ელექტროენერჯის მიმართ ინტენსიურად გაიზარდა და მსოფლიო ენერგეტიკული კრიზისის წინაშე დააყენა.

ამავდროულად, დედამიწაზე მოსახლეობის რიცხვის ზრდამ გამოიწვია ნაგავსაყრელების რაოდენობისა და მოცულობის გაზრდა, რამაც

ბევრი რეგიონი დააყენა ეკოლოგიური კატასტროფის წინაშე.

მსოფლიო მივიდა იმ დასკვნამდე, რომ წიაღისეული ნახშირბადოვანი რესურსების (ქვანახშირი, ნავთობი და სხვა) ენერგეტიკაზე დაფუძნებულმა ეკონომიკამ ნაწილობრივ ამოწურა თავისი შესაძლებლობები და დადგა დრო, გლობალური ტექნოლოგიური პარადიგმის შეცვლის ახლით, რაც ითვალისწინებს არაწიაღისეული რესურსების გამოყენებას ენერგეტიკაში [1].

ბიოეკონომიკა, კერძოდ ბიოენერგეტიკა, რომელიც დამყარებულია ნარჩენების გამოყენებაზე, წარმოადგენს მსოფლიოში მდგრადი განვითარების ერთ-ერთ საფუძველს.

აშშ-ში მაგალითად, 2008 წელს, ნაგავსაყრელიდან წარმოქმნილი ბიოგაზიდან სულ გენერირდა 11 მლრდ. კვტ/სთ ელექტროენერგია და 2.2 მლნ. მ³ გაზი. ეს ენერგია საკმარისი იყო 1.4 მლნ სახლის გასათბობად და ელექტროენერგიის მისაწოდებლად [1].

საქართველოში ნარჩენები სერიოზულ ეკოლოგიურ პრობლემას წარმოადგენს. დღემდე ის ითვლება გარემოს დაბინძურების და ადამიანის ჯანმრთელობაზე მავნე ზემოქმედების წყაროდ. ქვეყანაში ნარჩენების მართვის სისტემა არასრულყოფილია და მოითხოვს შემდგომ განვითარებას [2].

სამუშაოს მიზანი. სამუშაოს მიზანია აჭარის რეგიონის მიერ, მყარი და თხევადი, გადამუშავებას დაქვემდებარებული საყოფაცხოვრებო და საწარმოო ნარჩენების ენერგეტიკული პოტენციალის შესწავლა, მათი სხვადასხვა სახის ენერგიებად გარდაქმნის მიზანშეწონილობის დასაბუთება, ათვისების გზების განსაზღვრა და მოსალოდნელი ენერგეტიკული ეფექტურობისა და ეკოლოგიური მდგომარეობის გაუმჯობესების შედეგების პროგნოზირება.

ძირითადი ნაწილი. ქ. ბათუმის ნაგავსაყრელი მდებარეობს ქ. ბათუმიდან 5 კმ-ის დაშორებით, ხელვაჩაურის რ-ის სოფ. ადლიაში, უშუალოდ მდინარე ჭოროხის პირას, ზღვის შესართავიდან 1,5 კმ-ზე, რის გამოც ზედაპირული ჩამდინარე და ნაწრეტი წყლებით ბინძურდება მდინარე, ხოლო შემდგომ ზღვა. ნაგავსაყრელის ფართობი 19,2 ჰა და ის ფუნქციონირებს 1965 წლიდან. ნაგავსაყრელზე მთლიანად განთავსებული ნარჩენების რაოდენობა დაახლოებით არის 2 640 000 ტ. (ნახ.1) [3].

ბათუმის ნაგავსაყრელი შედგება 2 ნაწილისაგან, ჩრდილო ნაწილი რომელიც მოქმედია და სამხრეთ ნაწილი რომელიც 2002 წლიდან დახურულია (ნახ. 1,ა) [3].

ნაგავსაყრელი დაბინძურების სერიოზულ საფრთხეს წარმოადგენს, რამდენადაც ის არ არის მოწყობილი გარემოს დაცვითი პრინციპების გათვალისწინებით. ნარჩენები უმეტესად პირდაპირ იყრება მისთვის სპეციალურად გამოყოფილ ადგილებში, დაშრევისა და საიზოლაციო ფენით გადაფარვის გარეშე. არ არის უზრუნველყოფილი ნაგავსაყრელის ფსკერის გაუმტარობა.

არ არსებობს სადრენაჟო სისტემა. წვიმის ნაწრეტი წყალი ნარჩენების ფენების გავლის და დაბინძურების შემდეგ, მიწისქვეშა წყლებისა და მიწის დაბინძურებას იწვევს.



ნახ. 1. ბათუმის მუნიციპალური ნაგავსაყრელი

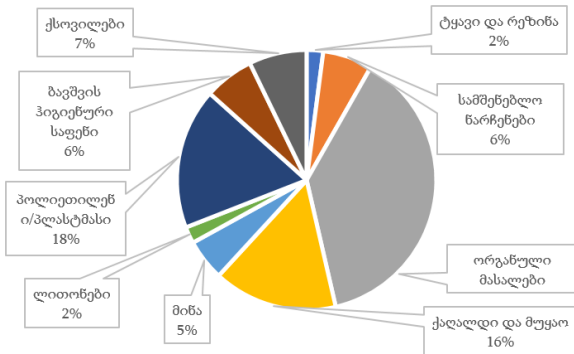
ნარჩენების დასანოტივებელი წყალმომარაგების სისტემის არ არსებობის შედეგად ადგილი აქვს თვითაალების და წვის პროცესებს, რაც ჰაერის დაბინძურების სერიოზული წყაროა (ნახ. 1,ბ). ნაგავსაყრელი არ არის შემოღობილი და დაცული, რის შედეგად ადგილი აქვს ნაგავსაყრელის მთელ ტერიტორიაზე პირუტყვისა და ადამიანების თავისუფალ გადაადგილებას (ნახ. 1,გ,დ) [3].

ნაგავსაყრელზე ნარჩენების გადატანა ხდება ყოველგვარი დახარისხების გარეშე. საყოფაცხოვრებო ნარჩენებთან ერთად ხვდება სამრეწველო, სამშენებლო, სამედიცინო, ბიოლოგიური, ტექნიკური და სხვა (ნახ. 2) [1].

ნაგავსაყრელზე მოხვედრილი ნარჩენების 38% ორგანული წარმოშობისაა, რომლებიც ჩამარხულ პირობებში განიცდიან ანაერობულ დაშლას, რის შედეგადაც წარმოიქმნება ე. წ. ბიოგაზი. ის ძალზე ადვილად აალებადი გაზია, იგი შეიძლება დაგროვდეს ნაგავსაყრელის ღრმა ფენებში, გაჟონოს ნიადაგისა და ქანების ჰორიზონტალურ შრეებში და შესაძლოა შეაღწიოს შენობების საძირკველშიც კი. შედეგად, დიდია აფეთქების რისკი. ამას გარდა, მეთანის გაზი სპობს რა მცენარეთა ფესვთა სისტემას, ანადგურებს მცენარეულ საფარს, და შესაბამისად ზრდის ეროზიის საშიშროებას. ნაგავსაყრელზე წარმოქმნილი ბიოგაზის გამოყენება სხვადასხვა მიზნისათვის ამ პრობლემის კიდევ ერთი გადაწყვეტაა [4].

ნარჩენები განიხილება, როგორც მნიშვნელოვანი მატერიალური რესურსი ქვეყნის ენერგეტიკული პოტენციალის გაზრდის თვალსაზრისით [5].

1 მ³ ბიოაირი 0,6 მ³ ბუნებრივი აირის, 0,7 ლ მათის, 0,4 ლ ბენზინის და 3,5 კვ შეშის ექვივალენტურია. 1 ტ მეტალის ქილების გადამუშავებით, იზოგება - 1,25 ტ რკინის საბადოს მასალა, 0,5 ტ ქვანახშირი და 1.62 ვტ ენერგია. 1 ტ გადამუშავებული ქაღალდით იზოგება 17 ხე, 26 329 ლ წყალი, 1752, 64 ლ ნავთობი და 4000 კვტ/სთ ენერგია [6].



ნახ. 2. ბათუმის ნაგავსაყრელზე შეტანილი ნარჩენების შემადგენლობა % -ში

ბიოგაზი არის საწვავი, რომელიც სხვადასხვა ორგანული ნივთიერებების ფერმენტაციის პროცესში, უჟანგბადო გარემოში წარმოიქმნება [5].

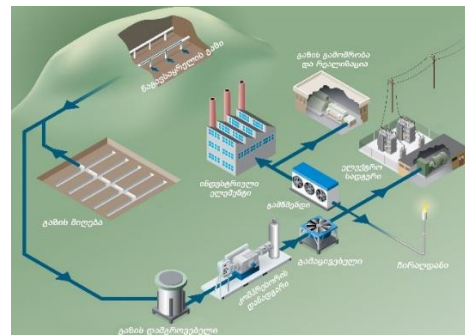
ცხრ. 1-ში მოცემულია ალტერნატიული საწვავის მიღების წყაროები და გადამუშავების შემდეგ მათგან მიღებული ძირითადი მაჩვენებლები.

ცხრილი 1

წყარო	ბიომასის სახეობა	ძირითადი მაჩვენებლები
ბიოაირი ნაგავსაყრელებიდან	მყარი საყოფაცხოვრებო და საწარმოო ნარჩენები	მეთანი-45-65%, აზოტი-10-20%, ნახშირორჟანგი-25-35%
ბიოაირი ჩამდინარე წყლებიდან	თხევადი, საყოფაცხოვრებო და საწარმოო ნარჩენები	მეთანი-45-65% ნახშირორჟანგი-25-35%, სხვადასხვა აირების მინარევები
ბიოაირი ნარჩენებისაგან	ნაკელი, სასოფლ-სამეურნეო, სამრეწველო გადამამუშავებელი წარმოების საყოფაცხოვრებო ნარჩენები	მეთანი-60-70% ნახშირორჟანგი-30-35%

როგორც ცნობილია, ორგანული ან ნაწილობრივ ორგანული ნარჩენების დამარხვას ყოველთვის თან სდევს ნარჩენების ხრწნა და შედეგად, სათბურის აირების, ძირითადად მეთანისა

(CH₄) და ნახშირორჟანგის (CO₂) წარმოქმნა. სათბურის გაზების ემისიების შემცირების მიზნით, ბევრ ქვეყანაში ხდება მეთანის შეგროვება და დაწვა ან მისი ენერჯის წყაროდ გამოყენება (ელექტროენერჯიად გარდაქმნა, გაზი), რაც ნაკლებ სათბურის ეფექტს იწვევს ატმოსფეროში. იქ, სადაც არ ხდება მეთანის შეგროვება და გამოყენება ან ადგილზე დაწვა, ახლომდებარე ტერიტორიაზე დგება უსიამოვნო სუნის და ატმოსფეროში აედინება საკმაოდ მაღალი გლობალური პოტენციალის მქონე სათბურის გაზი-მეთანი. ნაგავსაყრელზე ორგანული ნარჩენებისგან აირების გამოყოფის სრული პერიოდი თითქმის 70 წელია. ნაგავსაყრელის დახურვის შემდგომ 15-20 წლის განმავლობაში ჯერ კიდევ აქტიურად ხდება სათბურის გაზების გამოყოფა. ამდენად, მიზანშეწონილია ამ ემისიის შესამცირებლად მოეწყოს გაზის ექსტრაქციის (გაზის ჭაბურღილები, გაზის შემკრები მილები, გაზის საქაჩი სადგური, საიზოლაციო ტრაპი, გაზის მოტორები და გაზის ჩირაღდანი) სისტემა და მოხდეს წარმოებული მეთანის შეგროვება და ენერგეტიკულ რესურსად გამოყენება (ელექტროენერჯი ან გაზის ადგილობრივი მოხმარებისათვის).



(ა)



(ბ)

ნახ. 3. ა) - ნაგავსაყრელის აირის შეგროვების სისტემის სქემა; ბ) - ნაგავსაყრელზე აირშემგროვებელი მილები

როგორც ზემოთ იქნა აღნიშნული, ბათუმის ნაგავსაყრელ პოლიგონზე მისი გახსნის პერიოდის დადგენილი ნარჩენების რაოდენობა დაახლოებით შეადგენს 9 407 419 მ³-ს [7].

იმის გათვალისწინებით, რომ 1 მ³ ნაგავი წარმოადგენს 0,22 ტ-ს [4] მაშინ მივიღებთ, რომ დაგროვილი ნარჩენი შეადგენს 2 069 632 ტ-ს. IPCC-ს რეკომენდაციებზე დაყრდნობით 1 ტ ნარჩენიდან წარმოიქმნება 100-200 მ³ ბიოგაზი ნარჩენის შემადგენლობისა და კლიმატისაგან დამოკიდებულებით. ნაგავსაყრელიდან მეთანის ადინების შესაფასებლად გაკეთდა ყველაზე კონსერვატიული დაშვება, რომ 1 ტ ნარჩენიდან წარმოიქმნება 100 მ³ ბიოგაზი და შესაბამისად ატმოსფეროში გაიფრქვევა 206963200 მ³ ბიოგაზი სრული დეგრადაციის (70 წელი) განმავლობაში. აქედან, მინიმუმ 50% არის მეთანი [7].

ნახ. 3-ზე მოცემულია აირის შეგროვების სისტემის სქემა: ნარჩენების გადარჩევის შემდეგ არაორგანული ნარჩენები იყრება სპეციალურად მომზადებულ ნაგავსაყრელებზე, საიდანაც მიიღება ბიოგაზი. ნაგავსაყრელზე სპეციალური ჭებიტ დაგროვილი აირი გადაეცემა გაზდამგროვებელს. მიღებული ბიოგაზი გაწმენდის შემდეგ (არასაჭირო გაზების მოცილება-გამდიდება) მიეწოდება ელექტროენერჯის წარმოებისათვის ან ბიოგაზის გაშრობის შემდეგ მისი გადაზიდვისათვის [1], [4]. ასეთი ან ანალოგიური სქემა შეიძლება რეკომენდებული იყოს რეალიზაციისათვის.

როგორც ცნობილია, ნარჩენების რაოდენობა სეზონის მიხედვით ცვალებადია. შესაბამისად, საკურორტო სეზონის პერიოდში ქ. ბათუმში 300-400 ტ ნარჩენების დაგროვება ხდება დღეში, ხოლო სხვა პერიოდებში 100 – 200 ტ.

2017 წ. ჩატარებული ექსპერიმენტის მიხედვით 100კგ ორგანული ნარჩენისაგან შეგვიძლია მივიღოთ 3-5 მ³ გაზი საიდანაც შესაძლებელია 1.45 კვტ სიმძლავრის მიღება [8].

ამის გათვალისწინებით გამოთვლილია შესაძლო მისაღები სიმძლავრე (ცხრილი 2)

ქ. ბათუმის ნაგავსაყრელზე მიღებული მეთანიდან, როგორც ცხრილი 2-დან ჩანს, ელექტროენერჯის გენერაციის შემთხვევაში, შესაძლოა 18,513 მგვტ სიმძლავრის მიღება წელიწადში.

„ენერგო პრო ჯორჯია“-ს მონაცემების მიხედვით ქ. ბათუმისთვის დადგმული სიმძლავრე

საშუალოდ შეადგენს 40 მგვტ., ხელვაჩაურისთვის 4 მგვტ., ქობულეთისთვის კი 6,7 მგვტ.

ცხრილი 2

სეზონი, (თვეები)	რაოდენობა (ნაგვის) დღეში ტ	რაოდენობა (ნაგვის) თვეში ტ	რაოდენობა ორგანული თვეში ტ	მიღებული სიმძლავრე საშუალოდ თვეში კვტ; მგვტ	მიღებული სიმძლავრე საშუალოდ წელიწადში კვტ; მგვტ
არატურის-ტული (X, XI, XII, I, II, III, IV)	150	4 500	1 710	99180 კვტ 99.18 მგვტ	694 260 კვტ 694.260 მგვტ
ტურისტული (V, VI, VII, VIII, IX)	350	10 500	3 990	231420 კვტ 231.42 მგვტ	1 157 100 კვტ 1 157.1 მგვტ
სულ	-	15 000	5 700	3 30600 კვტ 330.6 მგვტ	18 513 600 კვტ 18 513.6 მგვტ

თუ შევადარებთ ამ მონაცემებს სტატიაში განხილული ექსპერიმენტის შედეგს, თვალნათელია მიღებული ენერჯის ელექტრომომარაგების ქსელში გამოყენების პერსპექტივა. მაგალითად ხელვაჩაურის რაიონის ელექტრომომარაგების უზრუნველყოფისათვის ან სხვა მიზნებისათვის.

ქ. ბათუმისათვის, როგორც საქართველოში ტურიზმის ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი ცენტრისათვის, ამ ღონისძიების განხორციელება წარმოადგენს პრიორიტეტს, რათა ადგილობრივი თუ უცხოელი ტურისტებისთვის, ისევე, როგორც ადგილობრივი მოსახლეობისათვის, მოხდეს მაღალი დონის დასაცვენებელი თუ საცხოვრებელი გარემოს შექმნა [7].

დასკვნები

1. არსებული ნაგავსაყრელი საშიშროებას უქმნის მოსახლეობას და აბინძურებს გარემოს.
2. აუცილებელია/საჭიროა ნაგვის გადამამუშავებელი ქარხნის არსებობა.
3. ქარხნის აშენებამდე უნდა დაინერგოს ნაგვის დახარისხებისა და შეგროვების სისტემა.
4. სხვა ქვეყნების გამოცდილების გათვალისწინებით მიზანშეწონილია არსებული ნაგავსაყრელის მასიდან ბიოგაზის მიღების სქემებისა და დანადგარების დანერგვა.
5. ნაგავსაყრელიდან მიღებული ბიოგაზი გაწმენდის შემდეგ შეიძლება რეალიზებული იყოს როგორც საწვავი აირი საყოფაცხოვრებო დანიშნულებისათვის ან როგორც ელექტროენერჯის მიღების წყარო.

6. ასეთი სქემების განხორციელება ხელს უწყობს გარემოს დაცვის ამოცანების გადაწყვეტას და ამავდროულად შეიძლება გამოყენებული იქნეს დამატებითი ენერჯის მისაღებად.

ლიტერატურა

1. შრომის უსაფრთხოების სახელმძღვანელო - დოკუმენტი არასახიფათო ნარჩენების ნაგავსაყრელებისათვის.
2. საქართველოს სტატისტიკის ეროვნული სამსახური - „ენერგორესურსების მოხმარების გამოკვლევის შედეგები“ 17.12.2019 (www.geostat.ge).
3. საარსებო გარემოს აღდგენისა და განსახლების ჩარჩო-დოკუმენტი (LRRF). მყარი საყოფაცხოვრებო ნარჩენების პროექტი აჭარის ავტონომიური რესპუბლიკა, საქართველო. აპრილი. 2015.
4. ინასარიძე ნ., ჭოლოშვილი ა. „ნარჩენების მართვა და ბიოტექნოლოგია“. თბილისი. 2013.
5. ო. ჯაფარიძე „მცენარეული ბიომასის ნარჩენების თბოუნარიანობის ექსპერიმენტული გამოკვლევა“ ავტორეფერატი. თბილისი. 2020.
6. შამათავა თ. „ბიოსაწვავის მიღების ტექნოლოგიური პროცესების განსაზღვრა და მისი ეკოლოგიურ-ეკონომიკური შეფასება საქართველოს პირობებში“ დისერტაცია. თბილისი. 2017.
7. ქალაქ ბათუმის ენერგეტიკული მდგრადი განვითარების სამოქმედო გეგმა. ქ. ბათუმის მერია.

8. მეგრელიშვილი ზ., ლორია მ. და სხვ. „ბიოგაზის დანადგარის გამოყენება სოფლის კერძო და ფერმერულ მეურნეობაში“. სამეცნიერო ჟურნალი „საქართველოს საინჟინრო სიახლენი“ №1, 2017. ISSN 1512-0287. გვ.109-115. თბილისი. 2017.

References (transliterated)

1. Occupational Safety Guide - a document for non-hazardous waste landfills.
2. National Statistics Office of Georgia - "Energy Consumption Survey results" 17.12.2019 (www.geostat.ge).
3. Framework for Restoration and Resettlement (LRRF). Solid household waste project Autonomous Republic of Adjara, Georgia. April. 2015.
4. Inasaridze N., Choghoshvili A. "Waste Management and Biotechnology". Tbilisi. 2013.
5. Japaridze O. "Experimental Investigation of Thermal Capacity of Plant Biomass Waste" Abstract. Tbilisi. 2020.
6. Shamatava T. "Defining the technological processes of biofuel production and its Ecological-Economic Assessment in the Conditions of Georgia" dissertation. Tbilisi. 2017.
7. Energy Sustainable Development Action Plan of Batumi. ქ. Batumi City Hall.
8. Megrelishvili Z., Loria M. et al. "Use of Biogas Plant in Private Rural and Farm Farms". Scientific Journal "Georgian Engineering News" №1, 2017. ISSN 1512-0287. Pp.109-115. Tbilisi. 2017.

მზის ენერგეტიკული რესურსების გამოყენების პერსპექტივები ქვემო ქართლის რეგიონში

ნოდარ მირიანაშვილი, ტექნ. მეცნ. დოქტორი, უფრ. მეცნ. თანამშრომელი,
საქ. ტექნიკ. უნივერსიტეტი, ირ. ჟორდანია სახ. საქართველოს საწარმოო ძალებისა და ბუნებრივი რესურსების შემსწავლელი ცენტრი, ქ. თბილისი, საქართველო, e-mail: nmirianash@gmail.com
ზურაბ ლომსაძე, ტექნ. მეცნ. დოქტორი, პროფესორი,
საქ. ტექნიკ. უნივერსიტეტი, ირ. ჟორდანია სახ. საქართველოს საწარმოო ძალებისა და ბუნებრივი რესურსების შემსწავლელი ცენტრი, ქ. თბილისი, საქართველო, e-mail: zlomsadze@mail.ru
ქეთევან ვეზირიშვილი-ნოზაძე, ტექნ. მეცნ. დოქტორი, პროფესორი,
საქ. ტექნიკ. უნივერსიტეტი, ირ. ჟორდანია სახ. საქართველოს საწარმოო ძალებისა და ბუნებრივი რესურსების შემსწავლელი ცენტრი, ქ. თბილისი, საქართველო, e-mail: ketivezirishvili@gmail.com
ანტონ დვალაძე, მაგისტრი, წამყვანი ინჟინერი
საქ. ტექნიკ. უნივერსიტეტი, ირ. ჟორდანია სახ. საქართველოს საწარმოო ძალებისა და ბუნებრივი რესურსების შემსწავლელი ცენტრი, ქ. თბილისი, საქართველო, e-mail: ANTDVAL@mail.ru

ანოტაცია. მოხსენებაში შეფასებულია ქვემო ქართლის რეგიონის მზის ენერგეტიკული პოტენციალი, მისი გამოყენების ტექნიკურ-ეკონომიკური ასპექტები და ათვისების პერსპექტივები.

ქვემო ქართლის ტერიტორია დიდი ჰელიოენერგეტიკული პოტენციალით ხასიათდება. მზის, როგორც განახლებადი ენერგეტიკული რესურსის გამოყენება საშუალებას იძლევა რეგიონში შეიქმნას დამატებითი ენერგეტიკული სიმძლავრეები, რომლებიც უზრუნველყოფენ აღნიშნული რესურსის ფართოდ მოხმარებას და ენერგეტიკული უსაფრთხოების ზრდას.

ნაშრომში ხაზგასმულია, რომ ეკოსისტემის დაცვისა და ბუნებრივი რესურსების რაციონალურად გამოყენების სტრატეგიის შემუშავება, მისი პრიორიტეტული მიმართულებების განსაზღვრა, თანამედროვე, ეკოლოგიურად სუფთა ტექნოლოგიების დანერგვა, საქართველოს ეკონომიკური პოტენციალის ზრდის ერთ-ერთი აუცილებელი პირობაა.

საკვანძო სიტყვები: მზის ენერგეტიკული რესურსები, ენერგოდაზოგვა, ჯამური რადიაცია, ნათების ხანგრძლივობა, თბომომარაგება.

Prospects for the use of solar energy resources in the Kvemo Kartli region

Nodar Mirianashvili, Tech. Sci. Doctor, Ph.D. Sci. Employee,
Georgian Technical University, Ir. Jordania Georgian Production Forces and Natural Resources Study Center,
Tbilisi, Georgia, e-mail: nmirianash@gmail.com
Zurab Lomsadze, Tech. Sci. Doctor, Professor,
Georgian Technical University, Ir. Jordania Georgian Production Forces and Natural Resources Study Center,
Tbilisi, Georgia, e-mail: zlomsadze@mail.ru
Ketevan Vezirishvili-Nozadze, Tech. Sci. Doctor, Professor,
Georgian Technical University, Ir. Jordania Georgian Production Forces and Natural Resources Study Center,
Tbilisi, Georgia, e-mail: ketivezirishvili@gmail.com
Anton Dvaladze, Master, Leading Engineer
Georgian Technical University, Ir. Jordania Georgian Production Forces and Natural Resources Study Center,
Tbilisi, Georgia, e-mail: ANTDVAL@mail.ru

Annotation. The report evaluates the solar energy potential of Kvemo Kartli region, technical-economic aspects of its use and prospects for development.

The territory of Kvemo Kartli is characterized by great helioenergy potential. The use of solar as a renewable energy resource allows to create additional energy capacities in the region, which will ensure the widespread use of this resource and increase energy security.

The paper emphasizes that the development of a strategy for the protection of the ecosystem and the rational use of natural resources, the definition of its priorities, the introduction of modern, environmentally friendly technologies, is one of the necessary conditions for the growth of Georgia's economic potential.

Keywords: solar energy resources, energy saving, total radiation, light duration, heat supply.

შესავალი. ენერგორესურსების ეფექტურად გამოყენების მიზნით ქვეყნის თითოეული რეგიონისათვის მნიშვნელოვანია დამუშავდეს მეცნიერულად დასაბუთებული პროგრამა რეგიონული ენერგოსისტემის შესაქმნელად, რომელიც ორიენტირებული იქნება ყველა სახის საკუთარი ენერგორესურსების მაქსიმალურ გამოყენებაზე და გაითვალისწინებს მოცემული რეგიონის ფიზიკურ-გეოგრაფიულ, კლიმატურ, ეკონომიკურ, ეკოლოგიურ და დემოგრაფიულ თავისებურებებს. მაქსიმალურ გამოყენებაზე და გაითვალისწინებს მოცემული რეგიონის ფიზიკურ-გეოგრაფიულ, კლიმატურ, ეკონომიკურ, ეკოლოგიურ და დემოგრაფიულ თავისებურებებს.

სამუშაოს მიზანი. სამუშაოს მიზანს წარმოადგენს ქვემო ქართლის რეგიონში მზის ენერგეტიკული პოტენციალის შეფასება და მისი ათვისების პერსპექტივები.

ქვემო ქართლის ტერიტორია, არც ისე ვრცელი (~6,5 ათ. კმ²), მაგრამ მჭიდროდ დასახლებული (~0,5 მლნ. კაცი), განვითარებული ეკონომიკით, პერსპექტიულია მზის ენერჯის ათვისებისა და რეგიონულ ენერგობალანსში მისი ჩართვის მხრივ. გათვლების თანახმად, მოცემული ტერიტორიის თეორიული ჰელიოენერგეტიკული პოტენციალი არის 9×10^{12} კვტ.სთ წელიწადში. რეგიონის ფართობის მხოლოდ 1%-იც რომ იყოს დაკავებული ნახევარგამტარი მზის კოლექტორის (მკ) მიერ, რომელსაც შეუძლია მზის რადიაციის გარდაქმნა უშუალოდ ელექტროენერჯად, მარგი ქმედების კოეფიციენტით (მკკ) 0,10-0,12, მაშინ წელიწადში შესაძლებელი იქნება 10 მლრდ. კვტ.სთ-მდე ელექტროენერჯის მიღება. უფრო დიდ ეფექტს იძლევა თბური მზის კოლექტორის გამოყენება, რომლის საშუალო-წლიური მკკ აღწევს 0,20-0,33-ს [1,2].

საშუალო ღრუბლიანობა. მზის ნათების ხანგრძლივობის მრავალწლიანი გაზომვის ანალიზმა აჩვენა, რომ ქვემო ქართლის ტერიტორიაზე აბსოლუტურად უღრუბლო დღეების რაოდენობა წელიწადში 50-60-ია. მიუხედავად ამისა, წელიწადში საშუალოდ აღინიშნება 2200-2400 მზიანი საათი.

ზამთარში მზის ენერჯის შემოდინებისათვის უფრო ხელსაყრელი პირობები აღინიშნება მთიან რაიონებში

(დმანისი, წალკა), ვიდრე ვაკე ადგილებზე (რუსთავი, მარნეული).

ზაფხულში მნიშვნელოვანი ღრუბლიანობა მთიან რაიონებში, დაახლოებით 15-20%-ით ამცირებს პირდაპირ რადიაციას და 5-10%-ით - ჯამურ რადიაციას, ვაკე რაიონებთან შედარებით.

მთლიანად წელიწადში ქვემო ქართლის ვაკე რაიონების (მარნეული, გარდაბანი, ბოლნისი და ქ.რუსთავი) ჰელიოენერგეტიკული პოტენციალი უფრო მაღალია, ვიდრე მთიანი რაიონებისა (დმანისი, თეთრი წყარო, წალკა). მზის დანადგარების მუშაობის ეფექტიანობის დაქვეითებას მთიან რაიონებში ხელს უწყობს, აგრეთვე, მზის რადიაციის და მზის ნათების ხანგრძლივობის მომატებული დღე-ღამეთშორისი ცვლილებები.

ნათების ხანგრძლივობა. მზის ნათების ხანგრძლივობის მრავალწლიანი გაზომვის ანალიზმა აჩვენა, რომ ქვემო ქართლის ტერიტორიაზე აბსოლუტურად უღრუბლო დღეების რაოდენობა წელიწადში 50-60-ია. მიუხედავად ამისა, წელიწადში საშუალოდ აღინიშნება 2200-2400 მზიანი საათი. ამ დროს ჰორიზონტალური ზედაპირის ყოველ კვადრატულ მეტრზე მოდის 1400-1450 კვტ.სთ ენერჯია მზის პირდაპირი და გაბნეული რადიაციის სახით.

ცხრ. 1-ში მოცემულია ჰორიზონტალურ ზედაპირზე პირდაპირი (S^1) და ჯამური რადიაციის (Q) საშუალო თვიური მაჩვენებლები ოთხი სეზონის ცენტრალურ თვეებში ქვემო ქართლში განლაგებული პუნქტებისათვის.

მაგალითად, მზის პირდაპირი რადიაციის (S^1) იანვრის ჯამი მერყეობს 24,4-დან (მარნეული) 35,6 კვტ.სთ/მ²-მდე თვეში (დმანისი). ჯამური რადიაცია, გაბნეული კომპონენტის მნიშვნელოვანი წვლილის გამო, პრაქტიკულად ორჯერ აღემატება პირდაპირს და შეადგენს იანვარში 52,5 კვტ.სთ/მ² თვეში მარნეულში, ხოლო წალკაში - 70,6 კვტ.სთ/მ² თვეში. ივლისში პირდაპირი დასხივებით მოეწოდება 105,3-დან (წალკა) 134,7 კვტ.სთ/მ²-მდე (გარდაბანი) და ჯამური დასხივებით 186,7-დან (წალკა) 204,2 კვტ.სთ/მ²-მდე (გარდაბანი) მზის ენერჯია. ამრიგად, იანვრიდან ივლისამდე მზის ენერჯის მოდინება იზრდება 3-4-ჯერ. ამასთან, ზამთარში მზის ენერჯის შემოდინებისათვის უფრო ხელსაყრელი პირობები აღინიშნება მთიან რაიონებში

(დმანისი, წალკა), ვიდრე ვაკე ადგილებზე (რუსთავი, მარნეული) [3].

ზაფხულში მნიშვნელოვანი ღრუბლიანობა მთიან რაიონებში, დაახლოებით 15-20%-ით

ამცირებს პირდაპირ რადიაციას და 5-10%-ით - ჯამურ რადიაციას, ვაკე რაიონებთან შედარებით.

**ჰორიზონტალურ ზედაპირზე მოდინებული მზის პირდაპირი (S^1)
და ჯამური რადიაციის (Q) საშუალო თვიური მაჩვენებლები,
კვტ.სთ/მ²**

ცხრილი 1

#	სადგური	თვე				თვე			
		I	IV	VII	X	I	IV	VII	X
		S^1				Q			
1	ბოლნისი	31,9	68,1	127,8	57,5	54,7	137,5	196,7	97,8
2	გარდაბანი	31,7	70,8	134,7	58,3	54,2	138,9	204,2	100,6
3	დმანისი	35,6	72,2	105,6	54,4	62,5	150,0	200,0	100,6
4	მარნეული	24,4	72,2	127,8	56,9	52,5	137,5	198,9	98,9
5	რუსთავი	25,6	72,2	122,2	56,9	52,8	136,1	193,3	97,8
6	თეთრი წყარო	27,2	63,9	113,9	54,2	60,6	148,6	197,2	96,7
7	წალკა	35,3	67,8	105,3	59,7	70,6	135,3	186,7	96,7

მთლიანად წელიწადში ქვემო ქართლის ვაკე რაიონების (მარნეული, გარდაბანი, ბოლნისი და ქ.რუსთავი) ჰელიოენერგეტიკული პოტენციალი უფრო მაღალია, ვიდრე მთიანი რაიონებისა (დმანისი, თეთრი წყარო, წალკა). მზის დანადგარების მუშაობის ეფექტიანობის დაქვეითებას მთიან რაიონებში ხელს უწყობს, აგრეთვე, მზის რადიაციის და მზის ნათების ხანგრძლივობის მომატებული დღე-ღამეთშორისი ცვლილებები.

ქვემო ქართლის ტერიტორიაზე ჰდ-ს შეუძლია სასარგებლო ენერჯის გენერირება წელიწადში 1800-2000 საათის განმავლობაში. დარჩენილ დროში, რომელიც შეადგენს 6700-6900 საათს, უწყვეტი ენერგომომარაგებისათვის აუცილებელია სარეზერვო წყარო [4].

ხელით რეგულირების შემთხვევაში, ჰდ-ის ორიენტირებას, ჩვეულებრივ, წელიწადში 2-4-

ჯერ ახდენენ და აყენებენ ზამთარში $\alpha=60^\circ$ კუთხით, გაზაფხულზე $\alpha=30^\circ$, ზაფხულში $\alpha=10^\circ$, შემოდგომაზე $\alpha=50^\circ$ -ით ჰორიზონტის მიმართ. ცხრილში მოცემულია მზის პირდაპირი და ჯამური რადიაციის საშუალო თვიური ნაკრებები, რომლებიც სეზონების ცენტრალურ თვეებში მოედინება სამხრეთისაკენ ორიენტირებულ და α კუთხით დახრილ ბრტყელ ზედაპირებზე. მზის ენერჯის რაოდენობა, რომელიც მოედინება დახრილ ზედაპირებზე ნოემბრიდან მარტის ჩათვლით, 2-2,5-ჯერ უფრო მაღალია, ვიდრე ჰორიზონტალურ ზედაპირებზე, რაც არსებითად ზრდის ჰდ-ის გამომუშავებას ცივ სეზონში, როდესაც განსაკუთრებით საჭიროა ენერჯია (იხ. ცხრ. 2).

მზის პირდაპირი (S^1_{α}) და ჯამური რადიაციის (Q_{α}) საშუალო თვიური მაჩვენებლები. ორიენტაცია - სამხრეთი; დახრა - ოპტიმალური, კვტ.სთ/მ² თვე

ცხრილი 2

#	სადგური	პირდაპირი რადიაცია				ჯამური რადიაცია			
		I	IV	VII	X	I	IV	VII	X
		$\alpha=60^\circ$	$\alpha=30^\circ$	$\alpha=10^\circ$	$\alpha=50^\circ$	$\alpha=60^\circ$	$\alpha=30^\circ$	$\alpha=10^\circ$	$\alpha=50^\circ$
1	ბოლნისი	78	76	130	92	98	151	201	137
2	გარდაბანი	78	79	137	93	98	153	208	141
3	დმანისი	87	81	108	87	112	165	204	141
4	მარნეული	60	81	130	91	94	151	203	138
5	რუსთავი	63	81	125	91	95	150	197	137
6	თეთრი წყარო	67	72	116	87	109	163	201	135
7	წალკა	86	76	107	96	127	149	190	135

ცხრ. 3-ში მოცემულია მზის ჯამური გამოსხივების საშუალო თვიური მნიშვნელობები, რომლებიც მოედინება ჩრდილოეთით, ჩრდილო-აღმოსავლეთით, ჩრდილო-დასავლეთით, აღმოსავლეთით, დასავლეთით, სამხრეთ-აღმოსავლეთით, სამხრეთ-დასავლეთით და სამხრეთით ორიენტირებულ ვერტიკალურ ზედაპირებზე იანვარსა და ივლისში. როგორც ჩანს, იანვარში ყველაზე მეტად მზის ენერგიას იღებენ სამხრეთი კედლები, რაც 4-ჯერ მეტია, ვიდრე ჩრდილოეთ კედლებზე. ივლისში მზით მაქსიმალურადაა განათებული აღმოსავლეთი (დასავლეთი) და სამხრეთ-აღმოსავლეთი

(სამხრეთ-დასავლეთი) კედლები, რომლებზეც (ფართობის ერთეულზე გათვლით) 1,5-ჯერ მეტი მზის ენერგია მოდის, ვიდრე ჩრდილოეთის კედლებზე. მშენებლობის დროს შენობათა და ნაგებობათა თბურ რეჟიმში მზის ენერგიის როლის განსაზღვრა, პროექტებში პასიური და აქტიური ჰელიოსისტემების ჩართვა, საშუალებას იძლევა კაპიტალური დანახარჯების არსებითი გაზრდის გარეშე, მნიშვნელოვნად შემცირდეს ხარჯი სათბობზე, შენობათა თბომომარაგებასა და კონდიციონირებაზე, შეიქმნას უფრო კომფორტული პირობები მათი ექსპლუატაციის დროს [1,3,4].

მზის ჯამური რადიაცია სხვადასხვა მხარეს ორიენტირებულ ვერტიკალურ ზედაპირებზე, კვტ.სთ/მ² თვე

ცხრილი 3

#	პუნქტი	ჩრდილო-ეთი	ჩრდ.-აღმ. (ჩრდ.-დას.)	აღმოსავლ. (დასავლ.)	სამხრ.-აღმ. (სამხ.-დას)	სამხრეთი
იანვარი						
1	ბოლნისი	20	20	32	66	82
2	გარდაბანი	19	19	31	65	81

3	დმანისი	22	22	36	68	87
4	მარნეული	19	19	30	63	79
5	რუსთავი	19	19	30	58	74
6	თეთრი წყარო	22	22	35	67	85
7	წალკა	25	25	41	86	110
ივლისი						
1	ბოლნისი	63	84	102	100	89
2	გარდაბანი	65	88	106	104	92
3	დმანისი	64	86	104	102	90
4	მარნეული	64	86	103	101	89
5	რუსთავი	62	83	101	99	87
6	თეთრი წყარო	63	85	102	100	89
7	წალკა	60	80	97	95	84

პერსპექტიული ჰელიოსადგურების ლოკაცია. დიდი სიმძლავრის ჰელიოსისტემები, ე.წ. „მზის ფერმები“, რომელთა სიმძლავრე 80-100 მგვტ იქნება და რომლებსაც შეუძლია თბური

და ელექტრული ენერჯის გენერირება, შეიძლება შეიქმნას გარდაბნის, ბოლნისისა და მარნეულის მუნიციპალიტეტების ტერიტორიებზე (იხ. რუკაზე).

პერსპექტიული ჰელიოსადგურების ლოკაცია



დასკვნა

ჩატარებული კვლევებიდან ჩანს, რომ ქვემო ქართლში მზის ენერჯის მნიშვნელოვანი პოტენციალია. ქვემოთ ჩამოთვლილ ღონისძიებათა კომპლექსის განხორციელების შედეგად მნიშვნელოვნად გაუმჯობესდება რეგიონის ენერგობალანსი და შემცირდება ძვირადღირებული ორგანული სათბობის მოხმარება. ეს ღონისძიებებია:

- დამუშავდეს მზის ენერჯის გამოყენების რეგიონული პროგრამა;

- აღნიშნული პროგრამის განხორციელების მიზნით მოძიებულ იქნეს ინვესტორთა ჯგუფი, რომელთა მეშვეობით მოხდება სხვადასხვა დანიშნულების ობიექტების (სამრეწველო, საცხოვრებელი, კულტურულ-გასართობი) აღჭურვა აქტიური და პასიური ჰელიოსისტემებით;

- ჩატარდეს მოსამზადებელი სამუშაოები 2025 წლესათვის რეგიონში მზის ენერჯაზე მომუშავე მძლავრი თბური და ფოტოელექტრული სადგურების ასაგებად.

ლიტერატურა

1. Минеральные ресурсы Грузии и проблемы их рационального использования. КЕПС при Президиуме АН Грузии. Тбилиси: Мецნიერება. 1991, 702 с.
2. Чоговадзе Г.И., Хачатурян Д.А. Использование нетрадиционных возобновляемых источников в энергетике Грузинской ССР. Тбилиси. Мецნიერება. 1989, 247 с.

3. Цуцкиридзе Я.А. Солнечный кадастр Грузии. Тр. ЗаКНИГМИ, вып.12. 1963, с.54-83.

4. ჟორდანიანი ი., მირიანაშვილი ნ., ვეზირიშვილი-ნოზაძე ქ., არველაძე რ., დ.ჩომახიძე, თ.ჯიშკარიანი. საქართველოს ენერგეტიკული რესურსები (სამსახურებრივი სარგებლობისათვის). მონოგრაფიაში „საქართველოს ბუნებრივი რესურსები“ (ორტომეული), ტომი II, თავი VI . საქ. მეცნ. ეროვნული აკადემია, საქ. ტექნ. უნივ. საქ. საწარმოო ძალებისა და ბუნებრივი რესურსების შემსწავლელი ცენტრი, თბილისი, 2015. გვ. 543-792.

References (transliterated)

1. Mineralnie resursi Gruzii i problemi ix racionalnogo ispolzovania. KEPS pri prezidiume AN Gruzii. Tbilisi. Metsniereba. 1991, 702 p.
2. Chogovadze G.I., Khachaturian D.A. Ispolzovanie netradicionnix vozobnovliaemix istocnikov v energetike Gruzinskoi SSR. Tbilisi. Metsniereba. 1989, 247 p.
3. Tsutskiridze Ya.A. Solnecni cadastr Gruzii. Tr. ZakNIGMI, vip. 12. 1963, pp. 54-83.
4. Jordania Ir., MirianaSvili N., VeziriSvili-NozaZe K., ArvelaZe R., ComaxiZe D., JiSkariani T. saqarTvelos energetikuli resursebi (samsaxurebrivi sargeblobisaTvis). monografiaSi „saqarTvelos bunebrivi resursebi“ (ortomeuli), tomi II, Tavi VI . saq. mecn. erovnulli akademi, saq. teqn. univ. saq. sawarmoo Zalebisa da bunebrivi resursebis Semswavleli centri, Tbilisi, 2015 w. gv.543-792

თბური ტუმბოები გათბობის სისტემებში

ნოდარ მირიანაშვილი, ტექნ. მეცნ. დოქტორი, მთავარი მეცნიერ- თანამშრომელი
სსიპ საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის არჩილ ელიაშვილის სახელობის მართვის სისტემების ინსტიტუტი, ქ. თბილისი, საქართველო, [e-mail: nmirianash@gmail.com](mailto:nmirianash@gmail.com)

ნუგზარ ყავლაშვილი, ტექნიკის მეცნიერებათა კანდიდატი, პროფესორი
სსიპ საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის არჩილ ელიაშვილის სახელობის მართვის სისტემების ინსტიტუტი, ქ. თბილისი, საქართველო, [e-mail: nkavlash@gmail.com](mailto:nkavlash@gmail.com)

ნუგზარ დადიანი, ტექნ. მეცნ. კანდიდატი, უფროსი მეცნიერი თანამშრომელი,
სსიპ საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის არჩილ ელიაშვილის სახელობის მართვის სისტემების ინსტიტუტი, ქ. თბილისი, საქართველო, [e-mail: n.dadiani@gtu.ge](mailto:n.dadiani@gtu.ge)

ქეთევან კვირიკაშვილი, მაგისტრი, მეცნიერ თანამშრომელი
სსიპ საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის არჩილ ელიაშვილის სახელობის მართვის სისტემების ინსტიტუტი, ქ. თბილისი, საქართველო, [e-mail: geto.kvirikashvili@gmail.com](mailto:geto.kvirikashvili@gmail.com)

ანოტაცია. დამუშავებულია გათბობის სისტემებში თბური ტუმბოს დანადგარების მუშაობის იმიტაციური მოდელი, რომლის საშუალებითაც შესაძლებელია განვსაზღვროთ დასახლებული პუნქტების ცალკეული ობიექტებისა და საწარმო-ტექნოლოგიური პროცესების სითბო-სიცივით მომარაგების ოპტიმალური სქემები.

მოსხენებაში წარმოდგენილია ჩვენს მიერ ჩატარებული თბური ტუმბოს დანადგარების ბაზაზე მოქმედი სხვადასხვა ტიპის გათბობის სისტემების ენერგოეკონომიკური ანალიზის შედეგები. კლიმატური რაიონების მიხედვით, სხვადასხვა სახის დაბალპოტენციური სითბოს წყაროსა და სათბობის სხვადასხვა ღირებულებისათვის დადგენილია თბური ტუმბოების გამოყენების ეფექტურობის ზონები.

საკვანძო სიტყვები: გათბობა, თბური ტუმბო, ენერგოდაზოგვა, თბოსიცივით მომარაგება, დაბალპოტენციური სითბო.

Thermal pumps in the heating system

Nodar Mirianashvili, Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher
Archil Eliashvili Institute of Control Systems of the LEPL Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, e-mail: nmirianash@gmail.com

Nugzar Kavlashvili, Candidate of Technical Sciences, Professor
Archil Eliashvili Institute of Control Systems of the LEPL Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, e-mail: nkavlash@gmail.com

Nugzar Dadiani, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher
Archil Eliashvili Institute of Control Systems of the LEPL Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, e-mail: n.dadiani@gtu.ge

Ketevan Kvirikashvili, Master Researcher
Archil Eliashvili Institute of Control Systems of the LEPL Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, e-mail: geto.kvirikashvili@gmail.com

Annotation *There has been elaborated an imitative model of the heating system heat pump machinery by means of which it is possible to establish an individual objects and manufacturing technology processes in residential localities of the heating-cooling supply optimal schemes. In the report there is laid out an analysis conducted by us, of the energy-economical results of the various types of the heatins systems operating on the basis of heating pump macninery. Based on climate districts there are established heating pumps usage effective zones for various types of low potential heat sources and for heating stations of various cost.*

Keywords: *Heating, heat pump, energy saving, heat supply, low potential heat.*

შესავალი. თბური ტუმბოს დანადგარების გამოყენებისას მათი ეფექტურობის ერთ-ერთი განმსაზღვრელი ფაქტორია ის, რომ აღნიშნული დანადგარები სითბოსთან ერთად გამოიმუშავებენ აგრეთვე სიცივეს. ამდენად, იმ ობიექტების შერჩევისას, სადაც უნდა განხორციელდეს თბური ტუმბოს ბაზაზე მოქმედი სითბო-სიცივით მომარაგების სისტემები, ყოველთვის განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება აღნიშნულ ობიექტებზე სიცივის მოხმარების საჭიროებას. ამასთან, უნდა აღინიშნოს, რომ უდიდეს ინტერესს წარმოადგენს თბური ტუმბოების გამოყენების საკითხების შესწავლა კონკრეტულად თბომომარაგების მიზნებისათვის, ვინაიდან ქვეყნის უდიდეს ნაწილში საანგარიშო დატვირთვების თანაფარდობა გათბობაზე და გაგრილებაზე შეადგენს 4:1.

მოხსენებაში წარმოდგენილია შენობების გასათბობად თბური ტუმბოს დანადგარების გამოყენების კვლევის შედეგები თბური ენერჯის დამატებით გენერატორებთან - თბურ დამყვანებთან შეხამებით, სათბობ-ენერგეტიკული კომპლექსის ენერგოეკონომიკური მახასიათებლების შესაძლო ცვლილებათა მთელი დიაპაზონში.

სამუშაოს მიზანი. აღნიშნული პრობლემის გადასაწყვეტად დამუშავდა სპეციალური იმიტაციური მოდელი. ნახაზზე 1 მოცემულია შენობის გათბობის პრინციპული სქემა და გათბობის მოდელის საწყისი მონაცემების ყველა ვარიანტი. გათბობის საანგარიშო რეჟიმში თბური ტუმბოს თბური დატვირთვა იანგარიშება ფორმულით:

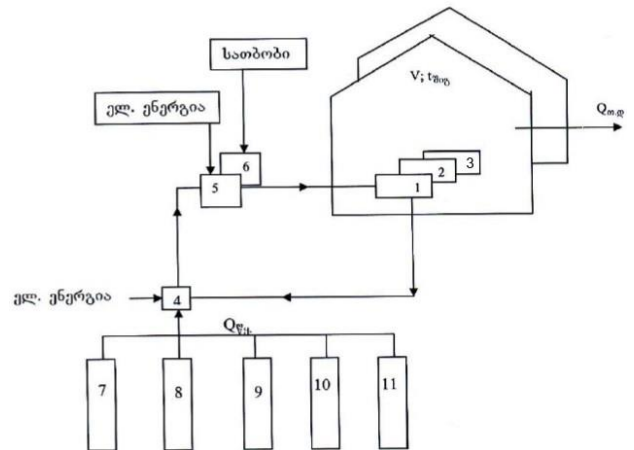
$$Q_{თბ}^{საანგ} = \alpha_{საანგ} \cdot Q_{თდ}, \text{ კვტ} \quad (1)$$

სადაც $Q_{თდ}$ - შენობის თბური დანაკარგებია; $\alpha_{საანგ}$ - თბური ტუმბოს წილია მთლიანად გამომუშავებულ სითბოში.

გათბობის საანგარიშო რეჟიმებისათვის თბური ტუმბოს სიმძლავრე იანგარიშება ფორმულით:

$$N_{თბ}^{საანგ} = Q_{თბ}^{საანგ} / \varphi, \text{ კვტ} \quad (2)$$

სადაც φ - თბური ტუმბოს გარდაქმნის კოეფიციენტი.



ნახ. 1. შენობის გათბობის პრინციპული სქემა თბური ტუმბოს გამოყენებით:

1 - წყლით გათბობის პანელური სისტემა; 2- წყლით გათბობის რადიატორული სისტემა; 3 - ჰაერით გათბობის სისტემა; 4 - თბური ტუმბო; 5 - თბური დამყვანი, რომელიც მოიხმარს ელექტროენერჯიას; 6 - თბური დამყვანი, რომელიც მოიხმარს ორგანულ სათბობს; დაბალბოტენციური სითბოს წყაროები: 7 - გარე ჰაერი; 8 - მდინარე, $t_{\text{წყ}} = 4 \div 8^{\circ}\text{C}$; ზღვა, $t_{\text{წყ}} = 10 \div 12^{\circ}\text{C}$; 9 - გრუნტი, $t_{\text{წყ}} = 10^{\circ}\text{C}$; 10 - აერაციის სადგური, $t_{\text{წყ}} = 16^{\circ}\text{C} \div 22^{\circ}\text{C}$; 11 - გეოთერმული ან სამრეწველო ჩამონადენის წყლის სითბო, $t_{\text{წყ}} = 40^{\circ}\text{C}$.

დანარჩენი რეჟიმებისათვის გამომუშავებული სითბო იანგარიშება თბური ტუმბოს საანგარიშო სიმძლავრის მიხედვით:

$$Q_{თბ}^i = N_{თბ}^{საანგ} \cdot \varphi^i, \text{ კვტ} \quad (3)$$

სადაც i - რაიონის კლიმატურ მახასიათებელში ტემპერატურული ინტერვალის ნომერია.

თბური ტუმბოს მიერ მოხმარებული ელექტროენერჯის წლიური ხარჯი, აგრეთვე თბური ტუმბოთი და თბური დამყვანით მთელი წლის განმავლობაში გამომუშავებული თბური ენერჯია იანგარიშება როგორც ყველა ტემპერატურული ინტერვალის ჯამი:

$$\sum_i N_{თბ}^i \cdot \tau_i, \sum_i Q_{თბ}^i \cdot \tau_i, \sum_i Q_{დამ}^i \cdot \tau_i, \quad (4)$$

სადაც τ - არის i -ური ტემპერატურული ინტერვალის ხანგრძლივობა, $Q_{დამ}$ - თბური დამყვანის თბური დატვირთვა, კვტ.

სითბოს წლიურ გამომუშავებაში თბური ტუმბოს წილი ტოლია:

$$\alpha_{\text{წლ}} = \sum_i Q_{\text{თბ}}^i \cdot \tau_i / \sum_i Q_{\text{თდ}}^i \cdot \tau_i \quad (5)$$

თბურ დამყვანთან ერთად თბურ ტუმბოზე გაწეული დისკონტირებული ანუ წლიური დანახარჯები იანგარიშება ფორმულით:

$$U = C_{\text{ელ}} \cdot \mathcal{E}_{\text{თბ}} + C_{\text{სათ}} \cdot Q_{\text{დამ}} / \eta_{\text{დამ}} + 0,21(K_{\text{თბ}} + K_{\text{დამ}} + K_{\text{გ.ხელ}}), \quad \$/\text{წელ}$$

(6)

სადაც $C_{\text{ელ}}$ - ელექტროენერჯის ფასია, $\$/\text{კვტ.სთ}$; $\mathcal{E}_{\text{თბ}}$ - თბური ტუმბოს მიერ მოხმარებული ელექტროენერჯის ხარჯი, კვტსთ/წელი; $C_{\text{სათ}}$ - სათბობის (ენერჯის) ფასია თბური დამყვანისათვის, $\$/\text{ტ.პ.ს.}, \$/\text{მვტსთ}$; $Q_{\text{დამ}}$ - თბური დამყვანის მიერ მოხმარებული სათბობის (ენერჯის) წლიური ხარჯია, ტ.პ.ს/წელი, მვტსთ/წელი; $K_{\text{თბ}}, K_{\text{დამ}}, K_{\text{გ.ხელ}}$ - შესაბამისად თბურ ტუმბოზე, თბურ დამყვანზე და გამათბობელ ხელსაწყოზე განხორციელებული ინვესტიციებია, $\$$; $\eta_{\text{დამ}}$ - თბური დამყვანის მ.ე.კ.; 0,21 - ჯამური კოეფიციენტი, რომელიც შედგება ინვესტიციის ანუ კაპდაბანდების ეფექტურობის ნორმატიული კოეფიციენტისაგან $H_6 = 0,15$ და საექსპლუატაციო ანარიცხებისაგან - 0,06 (ამორტიზაცია - 0,05, მიმდინარე რემონტი და სხვა - 0,01).

თბური ტუმბოს დანადგარზე განხორციელებული ინვესტიცია იანგარიშება ფორმულით:

$$K_{\text{თბ}} = C_0 \cdot G_{\text{სათ}} + 1,67 \cdot 1,15 (C_1 \cdot F_j + C_2 \cdot F_0 + C_3 N_{\text{თბ}}), \quad \$$$

(7)

სადაც C_0 - ფრეონის ფასია, $\$/\text{ტნ}$; C_1, C_2, C_3 - შესაბამისად კონდენსატორის, საორთქლებლისა და კომპრესორის ხვედრითი ღირებულებებია, $\$/\text{მ}^2$ და $\$/\text{კვტ}$; F_j და F_0 - შესაბამისად კონდენსატორისა და საორთქლებლის ხურების ზედაპირის ფართობი, მ^2 ; $N_{\text{თბ}}$ - თბური ტუმბოს ელექტრული სიმძლავრეა, კვტ; 1,67 - კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს სამშენებლო-სამონტაჟო სამუშაოების ღირებულებას; 1,15 - სხვადასხვა ხარჯებია.

ელექტროენერჯისა და სათბობის ზღვრული ფასები, რომლის დროსაც შენობის გათბობის შემოთავაზებული ვარიანტი თბურ ტუმბოსთან ერთად იქნება თანაბარეკონომიური გათბობის ტრადიციულ ვარიანტთან შედარებისას, იანგარიშება ფორმულით:

$$C_{\text{ელ}}^{\text{შემ}} = \frac{U_{\text{ტრად}} - (C_{\text{სათ}} \cdot Q_{\text{დამ}} / \eta_{\text{დამ}} + 0,21 (K_{\text{თბ}} + K_{\text{დამ}} + K_{\text{გ.ხელ}}))}{\mathcal{E}_{\text{თბ}}}, \quad \$/\text{კვტ.სთ}$$

(8)

$$C_{\text{სათ}}^{\text{შემ}} = \frac{U_{\text{ტრად}} - (C_{\text{ელ}} \cdot \mathcal{E}_{\text{თბ}} + 0,21 (K_{\text{თბ}} + K_{\text{დამ}} + K_{\text{გ.ხელ}}))}{Q_{\text{დამ}} / \eta_{\text{დამ}}}, \quad \$/\text{მვტ.სთ}$$

(9)

პირველადი სათბობის ეკონომია სათბობზე და ელექტროენერჯაზე მომუშავე თბური დამყვანებისათვის იანგარიშება ფორმულით:

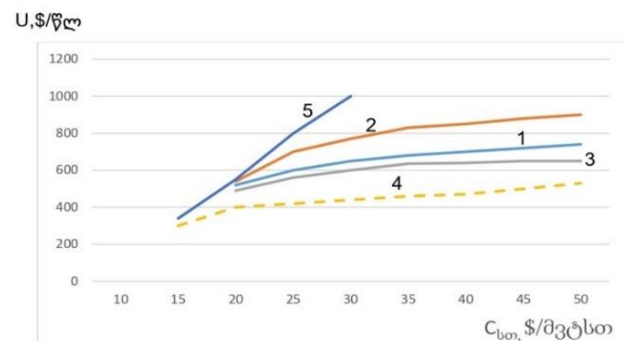
$$\Delta_{\text{სათ}} = \frac{Q_{\text{ტრად}} - \mathcal{E}_{\text{თბ}} / 0,32 - Q_{\text{დამ}}}{Q_{\text{ტრად}}} \cdot 10^2, \quad \%$$

(10)

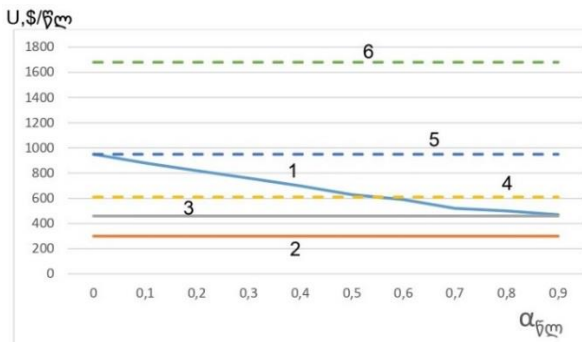
$$\Delta_{\text{ელ}} = \frac{Q_{\text{ტრად}} - \mathcal{E}_{\text{თბ}} / 0,32 - Q_{\text{დამ}} / 0,32}{Q_{\text{ტრად}}} \cdot 10^2, \quad \%$$

(11)

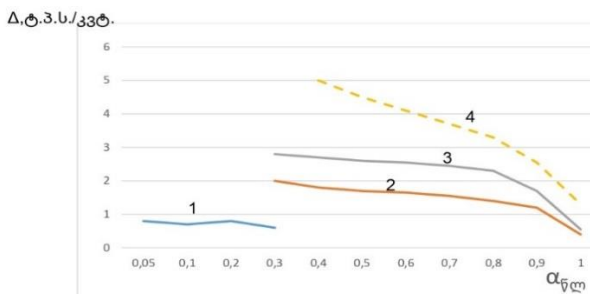
გათბობის სისტემებში თბური ტუმბოს დანადგარების გამოყენების ეკონომიკური ეფექტურობის განსაზღვრისათვის შედგენილ იქნა მათემატიკური მოდელი. მოდელზე ჩატარებული კვლევის შედეგები მოყვანილია ნახ. 2, 3, 4 და 5-ზე [1].



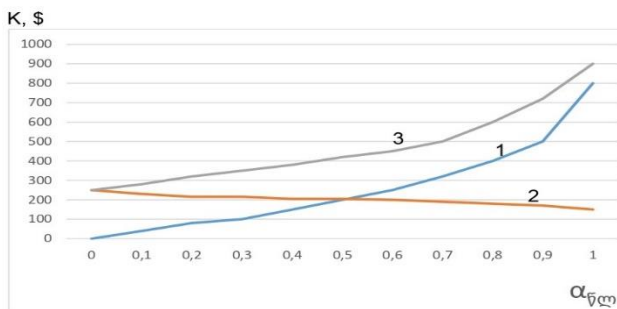
ნახ. 2. წლიური დანახარჯების დამოკიდებულება სათბობის ღირებულებაზე (თბილისი, რადიატორული სისტემა): 1 - მდინარე; 2 - გრუნტი; 3 - $t_{\text{წყ}} = 16+20^\circ\text{C}$; 4 - $t_{\text{წყ}} = 40^\circ\text{C}$; 5 - გათბობის ტრადიციული სისტემა



ნახ.3. თბური ტუმბოს ბაზაზე მოქმედი გათბობის სისტემის შედარება გათბობის ტრადიციულ სისტემასთან სათბობის სხვადასხვა ფასების პირობებში (თბილისი, პანელური სისტემა):
 1-თბური ტუმბოს ვარიანტი; 2, 3, 4, 5, 6 - ტრადიციული სისტემები, 1-35\$/მგტსთ; 2-15/მგტსთ; 3-20\$/მგტსთ; 4-25\$/მგტსთ; 5-35\$/მგტსთ; 6-55\$/მგტსთ, თბური დამყვანი მუშაობს ელექტროენერგიაზე.



ნახ. 4. სათბობის ხვედრითი ეკონომიის დამოკიდებულება $\alpha_{კლ}$ -ზე, (თბილისი, პანელური სისტემა): 1-გარე ჰაერი; 2-მდინარე; 3-გრუნტი; 4- $t_{გყ} = 16 + 20^{\circ}C$



ნახ. 5. ინვესტიციების დამოკიდებულება $\alpha_{კლ}$ -ზე გათბობის დატვირთვის წლიური გრაფიკის დაფარვისას. (თბილისი, პანელური სისტემა):
 1-ინვესტიცია თბურ ტუმბოზე; 2-ინვესტიცია თბურ დამყვანზე; 3-ჯამური
 ჩატარებულმა გამოკვლევებმა გვიჩვენა, რომ გათბობის რადიატორული ტიპის სისტემებისათვის, როდესაც თბურ ენერგიაზე დანახარჯები ტოლია 15 \$/მგტსთ-ის, თბური

ტუმბოს ბაზაზე შექმნილი გათბობის სისტემების გამოყენება ქვეყნის ნებისმიერ რეგიონში და ნებისმიერი სახის დაბალპოტენციური სითბოს წყაროს გამოყენების შემთხვევაში იქნება არაეფექტური. თბურ ენერგიაზე დანახარჯების ზრდის შემთხვევაში (20\$/მგტსთ), თბური ტუმბოებით აღჭურვილი გათბობის სისტემები გახდება კონკურენტუნარიანი ქვეყნის ყველა რეგიონში დაბალპოტენციურ სითბოს წყაროდ აერაციის სადგურის წყლის სითბოს გამოყენების შემთხვევაში და კიდევ, მდინარის წყლის გამოყენების შემთხვევაში იმ რეგიონებში, სადაც გრადუს-საათების რიცხვი იქნება 3300-ზე მეტი. როდესაც დანახარჯები თბურ ენერგიაზე ტოლი იქნება 25-35\$/მგტსთ-ის, მაშინ თბური ტუმბოებით აღჭურვილი გათბობის სისტემები იქნება არაეფექტური ქვეყნის ნებისმიერ კლიმატურ ზონაში მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ დაბალპოტენციურ სითბოს წყაროდ გამოყენებული იქნება გარე ჰაერის სითბო [2].

გათბობის პანელური ტიპის სისტემებისათვის, როდესაც დანახარჯები თბურ ენერგიაზე ტოლია 15\$/მგტსთ-ის, ეფექტურია მხოლოდ თბური ტუმბოებით აღჭურვილი გათბობის სისტემები, სადაც დაბალპოტენციურ სითბოს წყაროდ გამოყენებულია აერაციის სადგურის წყლის სითბო. თბურ ენერგიაზე 20\$/მგტსთ-ის ღირებულების შემთხვევაში თბური ტუმბოებით აღჭურვილი გათბობის სისტემები ეფექტურია ქვეყნის ნებისმიერ კლიმატურ ზონაში, თუ დაბალპოტენციურ სითბოს წყაროდ გამოყენებული იქნება აერაციის სადგურის ან მდინარის წყლის სითბო. იმ ზონებში კი სადაც გრადუს-საათების რიცხვი 2600-ზე მეტია - გრუნტის სითბო [2, 3].

თბურ ენერგიაზე 25\$/მგტსთ-ის ღირებულების შემთხვევაში თბური ტუმბოებით აღჭურვილი გათბობის სისტემები ეფექტურია ქვეყნის ყველა კლიმატურ ზონაში ნებისმიერი სახის დაბალპოტენციური სითბოს წყაროს გამოყენებისას.

დასკვნა

თბური ტუმბოებით აღჭურვილი გათბობის სისტემების შედარებისას სხვადასხვა სახის დაბალპოტენციური სითბოს წყაროების გამოყენების შემთხვევაში, ნათლად ჩანს, რომ პირველ ადგილზეა გეოთერმული ან

სამრეწველო ჩამონადენი და აერაციის სადგური. შემდეგ თანმიმდევრობით მოდიან - ზღვისა და მდინარის წყალი, გრუნტი და გარე ჰაერი. ეს თანმიმდევრობა დამახასიათებელია შენობის შიგა გათბობის ორივე ტიპისათვის - რადიატორული და პანელური სისტემებისათვის.

მიღებული შედეგების საფუძველზე, გათბობის მიზნებისათვის თბური ტუმბოების ეფექტურად გამოყენების მიზნით რეკომენდაციას ვუწევთ მათ დანერგვას ახალ მშენებლობებში გათბობის პანელურ სისტემებთან ერთად.

ლიტერატურა

1. Mirianashvili N. Decentralized Heating and Cooling Systems Based on Termal Pumps. Bulletin of the Georgian Academy of Sciences, 172, #3, 2005. p. 505-507.
2. მირიანაშვილი ნ., ჯანიკაშვილი მ. თბური ტუმბოს ბაზაზე მოქმედი გათბობის სისტემების ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების ოპტიმიზაცია. ა. ელიაშვილის სახ. მართვის სისტემების

ინსტიტუტის შრომათა კრებული, №9, 2005, გვ. 121-124.

3. Мирианашвили Н.А., Маграквелидзе Т.Ш., Ломидзе Х.Н., Везиришвили К.О. Имитационное моделирование отопительной системы с энергосберегающим тепловым насосом. Сборник трудов конференции, Фонд "Зеленая земля". Тбилиси. 2003. с.127-130.

References (transliterated)

1. Mirianashvili N. Decentralized Heating and Cooling Systems Based on Termal Pumps. Bulletin of the Georgian Academy of Sciences, 172, #3, 2005. p. 505-507.
2. Mirianashvili N., Janikashvili M., Tburi tumbos bazaze moqmedi gatbobis sistemebis teqnikekonomikuri machveneblebis optimizacia. A. elishvilis sax. martvis sistemebis institutis shromata krebuli, №9, 2005. gv.121-124.
3. Mirianashvili N. A., Magraqvelidze T. SH., Lomidze Kh.N., Vezirishvili K.O., imitacionnoe modelirovnanie otopitelnoi sistemi s energosberegai u-shim teplovim nasosom. sbornik trudov konferencii, fond "zelionaiia zemlia". Tbilisi. 2003. g. c. 127-130.

ენერგოსაფრთხოება - ქვეყნის მდგრადი განვითარების ქვაკუთხედი

ქეთევან ვეზირიშვილი-ნოზაძე, ტექნ. მეცნ. დოქტორი, პროფესორი
საქ. ტექნიკური უნივერსიტეტი, ქ. თბილისი, საქართველო, e-mail: k.vezirishvili@gmail.com
ელენე ფანცხავა, აკადემიური დოქტორი, ასისტენტ პროფესორი
საქ. ტექნიკური უნივერსიტეტი, ქ. თბილისი, საქართველო, e-mail: elenepantskava@mail.ru
მაია ჯიხვაძე, აკადემიური დოქტორი, ასისტენტ პროფესორი
საქ. ტექნიკური უნივერსიტეტი, ქ. თბილისი, საქართველო, e-mail: mayajikhvadze@gmail.com
მადონა ლორია, აკადემიური დოქტორი, ასისტენტ პროფესორი
ბათუმის შოთა რუსთაველის ტექნიკური უნივერსიტეტი, ქ. ბათუმი, საქართველო,
e-mail: mloria@gmail.com

ანოტაცია. დღეს, როგორც არასდროს, ენერგეტიკის კუთხით, აქტიურად დგას ენერგოსაფრთხოებისა და მდგრადობის პრობლემა, განსაკუთრებით ჰესებთან დაკავშირებით ბოლო დროს გამძაფრებული წინააღმდეგობების ფონზე. აღნიშნული კი თავის მხრივ წინაპირობა ხდება იმისა, რომ რუსეთიდან და სხვა მეზობელი ქვეყნებიდან (აზერბაიჯანი და თურქეთი) ელექტროენერჯის იმპორტი სულ უფრო და უფრო იზრდება.

წარმოდგენილ სტატიაში შევეცდებით დავსვათ აქცენტები პრობლემის ძირითად არსთან დაკავშირებით და ამომწურავი პასუხები გავცეთ ყველა წამოჭრილ კითხვას, ჩვენი მიზანია დავებინოთ სახელმწიფო სტრუქტურებს და მოსახლეობას მიაღწიონ შეთანხმებას ჰესების მშენებლობასთან დაკავშირებით და გადაწყვეტილება მიიღონ მხოლოდ და მხოლოდ სახელმწიფოს ინტერესებიდან გამომდინარე, რადგან ქვეყნის ეკონომიკურ განვითარებას და ზოგადად სტაბილურობას აუცილებლად ესაჭიროება მდგრადი ენერგოსისტემა.

საკვანძო სიტყვები: ენერგოსისტემა, ენერგოადამოუკიდებლობა, წყალსაცავიანი ჰესი, გენერაციის ობიექტი.

Energy security - the cornerstone of the country's sustainable development

Ketevan Vezirishvili-Nozadze, doctor of technical sciences, professor
Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, e-mail: k.vezirishvili@gmail.com
Elene Pantskhava, academic doctor, assistant professor
Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, e-mail: elenepantskava@mail.ru
Maia Jikhvadze, academic doctor, assistant professor
Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, e-mail: mayajikhvadze@gmail.com
Madona Loria, academic doctor, assistant professor
Batumi Shota Rustaveli Technical University, Batumi, Georgia, e-mail: mloria@gmail.com

Annotation. Today, as never before, the problem of energy security and sustainability is actively posed in terms of energy, especially in the light of the recently intensified opposition to hydropower. This, in its turn, becomes a precondition for the fact that electricity imports from Russia and other neighboring countries (Azerbaijan and Turkey) are growing more and more.

In this article we will try to emphasize the main essence of the problem and give comprehensive answers to all the questions raised. Our goal is to help the state structures and the population reach an agreement on the construction of hydropower plants and make a decision solely in the interests of the state, because the country's economic development and general stability need a sustainable energy system.

Keywords: power system, energy independence, reservoir HPP, generation facility.

შესავალი. ჰესების მშენებლობისას უმნიშვნელოვანესია, რომ ზედმიწევნით სწორად და გასაგებად იყოს ახსნილი, თუ რისთვის შენდება გენერაციის ესა თუ ის ობიექტი, მათ შორის და უმთავრესად მსხვილი ობიექტები. ყველა დაინტერესებულმა პირმა უნდა იცოდეს

რა ენერგეტიკულ და ეკონომიკურ სარგებელს მოიტანს იგი როგორც ქვეყნისთვის მთლიანად, ისე ადგილობრივი მოსახლეობის-თვის. ჰესების აგების პროცესის სწორად წარმართვა, არამარტო ენერგეტიკის, არამედ საქართველოს ეკონომიკის განვითარების ტენდენციას შეცვლის სასიკეთოდ.

საუბარი აღარაა იმაზე, რომ საქართველოს ენერგეტიკულ დამოუკიდებლობას მხოლოდ საკუთარი გენერაციის წყაროები უზრუნველყოფს.

ის ფაქტი, რომ ბოლო 10 – 15 წელიწადი დენი აღარ გვეთიშება არის ბევრი სწორი რეფორმის და ამ სექტორში დასაქმებული პროფესიონალების დაუღალავი შრომის შედეგი. მაგრამ რამდენადაც არ უნდა გვინდოდეს უწყვეტი მიედება და მაღალი ენერგეტიკული უსაფრთხოების კოეფიციენტი, რეალობა შემდეგია: ქვეყანას გენერირებული რესურსი არ ყოფნის, რაც დღის წესრიგში იმპორტის აუცილებლობას აყენებს. დღეის მონაცემებით ელექტროენერჯის მოხმარება შეადგენს - 189768 მგვტს, ექსპორტი - 0,13 მგვტს, იმპორტი - 103519 მგვტია, გამომუშავება 800 მგვტ-ია, აქედან ჰიდრორესურსები - 568,13 მგვტ, თბოსადგურები - 212, 73 მგვტ, ქარი - 20 მგვტ. ეს არის რეალური სურათი.

ძირითადი ნაწილი. რა შედეგი მოგვიტანა ბოლო წლებში აშენებულმა ჰესებმა?

2020 წლის 31 დეკემბრის მდგომარეობით საქართველოში სულ 99 ჰესი ფუნქციონირებდა, მათგან 7 წყალსაცავიანი იყო, 19 სეზონური, 73 კი დარეგულირებული 13 მეგავატამდე სიმძლავრის. ჰიდროგენერაციის 49,5% - 4,079 მლრდ კვტ/სთ მარეგულირებლიან ჰესებზე მოდიოდა, სეზონური ჰესების წილი - 42,9% - ს შეადგენდა - 3,538 მლრდ კვტ/სთ. დარჩენილი 73 პატარა ჰესის ანგარიშზე კი მხოლოდ 631 მლნ კვტ/სთ ირიცხებოდა. მიუხედავად იმისა, რომ ბოლო წლებში რამდენიმე საშუალო სიმძლავრის ჰესი აშენდა, მზარდი მოთხოვნის გათვალისწინებით დეფიციტი და შესაბამისად იმპორტის საჭიროება მხოლოდ გაიზარდა.

ელექტროენერგეტიკული ბაზრის ოპერატორი - ესკო ელექტროენერჯის გენერაციის, მოხმარების, ექსპორტ - იმპორტისა და ტრანზიტის შესახებ ინფორმაციას 2006 წლიდან აღრიცხავს. 2006 წ. დეკემბერში საქართველოს ჰესების რაოდენობა 40-ს შეადგენდა. 14 წ. განმავლობაში 60-მდე ახალი ჰესი აშენდა, მაგრამ მათგან თითოეული ან მცირე სიმძლავრის იყო, ან სეზონური და არც ერთი წყალსაცავიანი. 2006 წელს სეზონური 15 ჰესი იყო, 2020 წ. - 19, თუმცა ეს არ ნიშნავს, რომ მათი რაოდენობა სულ 4-ით გაიზარდა. „ბჟუჟაჰესი“. „მარტყოფჰესი“, „ალაზანჰესი“, „სიონჰესი“ და „თეთრიხევი ჰესი“ 15 წლის წინ „სეზონური ჰესების“ გრაფაში

ეწერა, ტექნიკური პარამეტრების მიხედვით მათ მოგვიანებით „სეზონური ჰესების“ კატეგორიაში გადაინაცვლეს.

2006 წ. შემდეგ საქართველოში „ლარსი ჰესი“, ფარავან ჰესი“, „დარიალ ჰესი“, „ხელვაჩაური ჰესი 1“, „შუახევი ჰესი“, „კირნათი ჰესი“, „ოლდენერჯი ჰესი“, „მესტია ჭალა ჰესი 2“ აშენდა. მათ 2020 წელს ჯამში 1.520 მლრდ კვტ/სთ გამოიმუშავეს, მთელი ჰიდროგენერაციის 18%-ზე მეტი.

დამოუკიდებელი საქართველოს ისტორიაში ერთადერთი საშუალო სიმძლავრის ჰესი რომელიც 2006 წლამდე აშენდა „ხადორჰესი“ იყო, რომელიც ექსპლუატაციაში 2004 წელს შევიდა. მან 2020 წელს 108 მლნ. კვტ.სთ გამოიმუშავა.

თუ 2020 წ. შედეგებს ავიღებთ. 1 წყალსაცავიანი ჰესის საშუალოწლიური გამოიმუშავება 583 მლნ კვტ/სთ-ია, სეზონურის - 186 მლნ კვტ.სთ, ხოლო მცირე სიმძლავრის - 8.7 მლნ კვტ/სთ. ეს რიცხვები ყოველწლიურად იცვლება. გასულ წელს კლიმატური პირობები უკიდურესად არახელსაყრელი იყო, 2010 წელს პირიქით. მაშინ მხოლოდ ერთმა ენგურჰესმა 4.3 მლრდ კვტ/სთ გამოიმუშავა - 5.4%-ით მეტი ვიდრე ყველა მარეგულირებლიანმა ჰესმა ერთად 2020 წელს. ზუსტად იმავე 7-მა სადგურმა 2010 წელს 6.525 მლრდ კვტ/სთ გამოიმუშავა, 60%-ით მეტი ვიდრე 2020 წ., ამ შემთხვევაში 1 ჰესის წილად უკვე 932 მლნ კვტ.სთ მოდის.

გარდა იმისა, რომ წყალსაცავიანი ჰესი სეზონურთან შედარებით საშუალოდ 3.1-ჯერ, ხოლო დერეგულირებულთან შედარებით 67-ჯერ მეტელექტროენერჯიას გამოიმუშავეს, მას სხვა პლუსებიც გააჩნია, კერძოდ ის სტაბილური მომარაგების გარანტორია. მის ჩამანაცვლებლად შეიძლება მხოლოდ თბოსადგური ან ატომური ელექტროსადგური განვიხილოთ. საქართველო ბირთვულ ენერჯიას არ მოიხმარს, თბოსადგურები კი იმპორტირებულ ბუნებრივ გაზზე მუშაობენ. ბუნებრივი გაზი, გარემოს 2-ჯერ უფრო ნაკლებად აზიანებს ვიდრე ნახშირი, მაგრამ 10-ჯერ უფრო მეტ ნახშირორჟანგს გამოყოფს ვიდრე წყალსაცავიანი ჰესი. წყალსაცავიანი ჰესი გარკვეული რაოდენობის CO₂-ს მხოლოდ მშენებლობის პროცესში გამოყოფს და შემდეგ ძალიან მცირეს ოპერირების პირველ წლებში.

საქართველოში ეკონომიკურად მომგებიანი ქარის ენერჯის პოტენციალი 1350 მეგავტს,

ხოლო მზის ენერჯის 500 მეგავატს შეადგენს, მაგრამ მათი ჩართვა ქსელში სრულყოფილად მხოლოდ მაშინ მოხერხდება, თუ ახალი დიდი ჰესები აშენდა, სხვა შემთხვევაში, მათი არასტაბილურობის გამო პოტენციური მნიშვნელოვნად შემცირდა. ენერჯის შემნახველი ბატარეები გარდა იმისა რომ ძვირია, რაც აუცილებლად აისახება ტარიფზეც, არაეკოლოგიურიცაა, როგორც მათი წარმოება, ასევე შემდგომი უტილიზაცია. ბოლო წლებში აშენებული ჰესებიდან, სიმძლავრისა და გამომუშავების მიხედვით შეიძლება გამოირჩეს 3: „დარიალჰესი“, „შუახევეჰესი“ და „ფარავანჰესი“. მათ 2020 წ. ჯამში 1.030 მლრდ. კვტ.სთ გამოიმუშავეს.

87 მეგავატი სიმძლავრის ფარავანჰესი ექსპლუატაციაში 2014 წლის ოქტომბერში შევიდა. მისი მშენებლობა \$200 მლნ დაჯდა. 2020 წელს ჰესმა 325 მლნ. კვტ.სთ, 2015-2020 წლების კი ჯამში 2.230 მლრდ. კვტ.სთ გამოიმუშავა. საშუალოწლიური გამომუშავება მიმდინარე პერიოდში - 372 მლნ კვტ/სთ. ყველაზე ნაყოფიერი ჰესისთვის 2016 წელი გამოდგა, როდესაც მან ქსელს 428 მლნ. კვტ.სთ მიაწოდა, 2020 წელთან შედარებით 32%-ით მეტი. აღსანიშნავია, რომ მცირე პროტესტის მიუხედავად, ფარავანჰესის მშენებლობას განსაკუთრებული უკმაყოფილება არ მოჰყოლია.

108 მეგავატი სიმძლავრის დარიალჰესმა ელექტროენერჯის გამომუშავება 2016 წლის ნოემბერში დაიწყო, ოფიციალურად კი 2017 წლის აპრილში გაიხსნა. ჰესის საინვესტიციო ღირებულებამ \$123 მლნ. შეადგინა. ჰესმა 2020 წელს 445 მლნ. კვტ.სთ, 2017-2020 წლებში კი 1.223 მლრდ. კვტ.სთ, საშუალოწლიურად 306 მლნ კვტ/სთ გამოიმუშავა, რაც დაგეგმილზე - წელიწადში 510 მლნ კვტ/სთ მთელი 40% - ით ნაკლებია. დარიალჰესი საპროექტოსთან მიახლოებულ სიმძლავრეზე მხოლოდ 2020 წ. გავიდა, ენერგოპლატფორმის განმარტებით, ეს მხოლოდ მას შემდეგ მოხდა, რაც ჰესთან შესაბამისი ელექტროგადამცემი ხაზი დაგვიანებით იქნა მიყვანილი. გარემოს-დამცველები დარიალჰესს თერჯის წყლის დაშრობაშიც ადანაშაულებენ. ჰესის მესვეურები კი აცხადებენ, რომ მდინარის ნაწილის მხოლოდ მცირე მონაკვეთია მიღებში მოქცეული და სოციალურ ქსელში გავრცელებული ფოტოები, სადაც თითქოს წყალმა მნიშვნელოვნად დაიკლო რეალურად წელიწადის სხვადასხვა დროსაა

გადაღებული, რაც მათ შესადარისად უვარგის ხდის.

დარიალჰესთან შედარებით კიდევ უფრო მეტი პრობლემა შუახევეჰესს შეექმნა. მშენებლობა ახალი დაწყებული იყო, როდესაც მესამე პრეზიდენტმა მიხეილ სააკაშვილმა განაცხადა, რომ მის მიერ ორჯერ გახსნილი ჰესი, კალაძემ(იმდროინდელმა ენერგეტიკის მინისტრმა) მესამედ გახსნა. (იგულისხმება მშენებლობის დაწყება). დამოუკიდებელი საქართველოს ისტორიაში ყველაზე მძლავრი 187 მეგავატიანი ჰესი 2017 წ. გაიხსნა. მისი სადაწნევეო გვირაბი 38 კმ - ის სიგრძის იყო - ევროპაში მეორე. პრობლემები სწორედ ამ გვირაბს შეექმნა და რამდენიმე ადგილას ჩამოინგრა. ინვესტორს \$400 მლნ-იანი ღირებულების პროექტზე \$100 მლნ-ზე მეტის დამატება დასჭირდა. შეცდომის მიზეზად არასაკმარისი გეოლოგიური კვლევები დასახელდა. ჰესი ექსპლუატაციაში განმეორებით მხოლოდ 2020 წელს შევიდა და მან 258 მლნ. კვტ.სთ გამოიმუშავა.

აშენებულის გარდა ეკონომიკურად მომგებიანი აუთვისებელი ჰიდროპოტენციალი, საქართველოს კვალობაზე საკმაოდ დიდია და 30 მლრდ. კვტ.სთ-ს შეადგენს. უახლოეს პერიოდში მხოლოდ რამდენიმე ჰესის აშენებ - დასრულება იგეგმება. დარჩენილი პოტენციალი კი იკარგება. იმ მშენებარე ჰესებიდან რომელთა გამომუშავებაც წლიურად 100 მლნ. კვტ.სთ - ს აღემატება ყველაზე მალე 53 მეგავატიანი „მკვარი ჰესი“ უნდა დასრულდეს. მშენებლობა 2019 წ. უნდა დასრულებულიყო, მაგრამ 3 წლით 2022 წლამდე გადავადდა. მისი საინვესტიციო ღირებულება \$152 მლნ-ს, სავარაუდო წლიური გამომუშავება კი 252 მლნ. კვტ.სთ-ს შეადგენს. „ონის ჰესების კასკადიდან“ შემორჩენილი 122 მეგავატიანი „ონის ჰესი 1“ წესით 2024 წ. უნდა გაიხსნას. მისი საინვესტიციო ღირებულება \$185 მლნ.-ს, სავარაუდოდ წლიური გამომუშავება კი 440 მლნ. კვტ.სთ-ს შეადგენს. დაკნინდა „ცხენისწყლის ჰესების კასკადის“ პროექტიც და 4-დან მხოლოდ 1 ჰესიღა დარჩა. ამჟამინდელი გეგმის თანახმად 192 მგვტ სიმძლავრის „ლენტეხის ჰესის“ მშენებლობა 2027 წ. უნდა დასრულდეს და მან ქსელს წლიურად 668 მლნ. კვტ.სთ მიაწოდოს. პროექტის საინვესტიციო ღირებულება \$385 მლნ.-ს შეადგენს. თავდაპირველად გეგმის მიხედვით „ცხენისწყლის ჰესების კასკადს“ 1.740 მლრდ.

კვტ.სთ, „ონის ჰესების კასკად“ კი 790 მლნ. კვტ.სთ უნდა გამოემუშავებინა.

დიდი წყალსაცავიანი ჰესებიდან დასრულების ყველაზე მაღალი შანსი ნენსკრაჰესს გააჩნია. 280 მეგავატიანი სადგურის მშენებლობა 2015 წ. დაიწყო და 2021 წ. უნდა დასრულებულიყო, ელექტროენერჯის გამომუშავება კი უკვე 2019 წელს უნდა დაეწყო. წყალსაცავის მოცულობა 182 მლნ. მ³ შეადგენს, ენგურჰესთან შედარებით 6 - ჯერ ნაკლებს, ინვესტიციის მოცულობა - \$1 მლრდ.-ს. ჰესს კორეული K Water აშენებს. 2015 – 2019 წლებში კორეულმა ინვესტიციებმა ჯამში \$1 მლნ. შეადგინა, თუმცა ჰესის მთავარი კომპონენტის კაშხლის მშენებლობა ჯერ არ დაწყებულა. დაიწყო და შეჩერდა კასკადური ტიპის ნამახვანჰესის მშენებლობა. ქვემო ნამახვანის სიმძლავრე 333 მგვტ უნდა ყოფილიყო, ზემო ნამახვანის - 100 მგვტ, მათი ჯამური წლიური გამომუშავება - 1.560 მლრდ. კვტ.სთ. საინვესტიციო ღირებულება კი - \$800 მლნ.

ჰესის მშენებლობამ ქუთაისში პოლიტიკური და ეკონომიკური კრიზისები გადაფარა. 130 დღეზე მეტი ადამიანებს კარვებში ეძინათ. ზოგს ტვინის განადგურების საფრთხე აშფოთებდა, ზოგს ჰიპოთეკური 34 მ-ანი ტალღის, ნაწილს ტარიფი არ მოსწონდა, ნაწილისთვის კი უბრალოდ თურქული კომპანია აღმოჩნდა მიუღებელი. 29 მარტს პრემიერმა ღარიბაშვილმა განაცხადა, რომ მშენებელ კომპანიასთან შეთანხმების საფუძველზე კაშხლის საამშენებლო სამუშაოები 9-12 თვით შეჩერდებოდა. ეკონომიკის მინისტრ ნათია თურნავას განმარტებით თურქულ კომპანიას 280 ოჯახზე კომპენსაციის მიზნით უკვე გაცემული აქვს 34 მლნ. ლარი, რაც ოჯახზე 121 400 ლარი - 30 800 აშშ დოლარია.

რაც შეეხება „ნამახვანჰესის“ ენერჯეტიკულ მონაცემებს ის წარმოდგენილია N1.ცხრილში, რომელიც მოგვარდა ორგანიზაციამ „მსოფლიო გამოცდილება საქართველოსთვის“ (weg).

„ნამახვანჰესი“ შედარებულია გენერაციის სხვა განახლებად ტექნოლოგიებთან. მოყვანილი შეფასებები ეყრდნობა „ნამახვანჰესის“ ცნობილ პარამეტრებს, დარგის დარგის სპეციალისტებთან კონსულტაციებს, საერთაშორისო წყაროებსა და საკუთარ ანალიზს.

შედარება აჩვენებს, რომ ენერჯეტიკულად „ნამახვანჰესი“ საქართველოს ენერგოსექტორის ხელთ არსებული შესაძლებლობებიდან ერთ-

ერთი ყველაზე უფრო მომგებიანი მასშტაბური პროექტია. ამასთან, მიგვაჩნია, რომ პროექტის ფინანსური, იურიდიული, გარემოს და სოციალური საკითხები ცალკე, შესაბამისი კვალიფიკაციის სპეციალისტების მსჯელობის საგანი უნდა იყოს.

ცხრილი 1

ნამახვანჰესი და შესაძლო ალტერნატივები

	ნამახვანჰესი	მზის სადგურები	ქარის სადგურები	მყვრ ქვები
სიმძლავრე მგვტ	433	1150	430	410
წლიური გამომუშავება მგვტ.სთ	1500	1500	1500+	1500
განთავსების სავალი ფართობი	600-700 ჰა	23 კმ ²	> 100 კმ ²	102 ჰექტარი
ღირებულება \$	\$800 მლნ	\$1000 მლნ + მასშტაბული სიმძლავრე > \$1200 მლნ	\$520მლნ + მასშტაბული სიმძლავრე > 140-160 მლნ	\$800მლნ
მზის და ქარის სასაბურთაობის ინტეგრირების შესაძლებლობა	600	0	0	0
მასშტაბული სიმძლავრის საქონელი	-	700-800 მგვტ	70-100 მგვტ	-
პიკური მოხმობის შესაძლებლობა	✓	-	-	-
ენერჯის მარევი	✓	-	-	-
ეკოლოგიური ვადა წელიწადში	100	30-40	20-25	80
ჯამური გამომუშავება მგვტ.სთ	150	45-60	30-36	120

სხვა ალტერნატივებისგან განსხვავებით, ნამახვანჰესი:

- არ მოითხოვს მასშტაბულ სიმძლავრეს - შეიძლება დასაბუთდეს 600-700 მგვტ ქარის და მზის სადგურების ექვსი ჩარევის ენერჯეტიკული ალტერნატივების ანუ შესაძლებლობა არ აქვს.
- შეიძლება პიკური რეაქციისა შეიძლება და ქარის პიკური ანაზღაურების ჩანაცვლება.
- შეიძლება სწრაფი რეაქციის უზრუნველყოფის შესაძლებლობა აქვს მზის სადგურების შენობებთან და ამით სისტემის მუშაობის სიმართლას უზრუნველყოფს.
- ენერჯეტიკული კრიზისის შემთხვევაში, შეიძლება წყალსაცავი დარეგულირდეს მარევი კაშხლის გამოყენებით.
- სოციალური საერთაშორისო და აკადემიური გამოცდილება ენერჯეტიკული მნიშვნელობის ალტერნატივების ალტერნატივებს.

წყარო: IRENA; სხვ. sciencing.com; Nrel

სიმძლავრითა და მნიშვნელობით ყველაზე დიდი - ხუდონჰესის საკითხი უკვე აღარც განიხილება. თეორიულად 702 მეგავატი სიმძლავრის სადგურს 1.5 მლრდ. კვტ.სთ საკუთარი ელექტროენერჯია უნდა გამოემუშავებინა, ენგურჰესის უიაფესი - 1.86 თეთრიანი, წარმადობა კი 500 მლნ კვტ.სთ-ით გაეზარდა. ჰესს 1.2 მლრდ.-ის ინვესტიცია უნდა მოეხიდა. ამ ეტაპისთვის პროექტის დამკრის რაიმე წინაპირობა არ არსებობს.

დასკვნა. ბოლო პერიოდში გავრცელდა მოსაზრება, რომლის თანახმადაც ახალი ჰესების მშენებლობა საჭირო არაა, და რომ ძველი ჰესების რეაბილიტაციით მათი წარმადობა იზრდება. რეაბილიტაცია წარმადობას ზრდის, მაგრამ ბევრით ვერ. ენგურჰესის შემთხვევაში ეს 100-120 მლნ. კვტ.სთ-ია, მისი საპროექტო სიმძლავრის 3%-ზე ნაკლები. პანდემიამდე ელექტროენერჯის მოხმარების ზრდა წლიურად 3%-ს აჭარბებდა და ჰესების წარმადობას ერთჯერადი 3%-ით ან თუნდაც 5%-ით გაზრდა მხოლოდ ზღვაში წვეთი იქნება.

ბევრი პატარა ჰესი ერთ დიდ ჰესს ვერ ჩაანაცვლებს, ვერც ქარისა და მზის სადგურები, თუმცა მათი კომბინაცია ჯამურ გენერაციას მნიშვნელოვნად გაზრდის და ყველა მიმართულებით ენერგოდეფიციტურ ქვეყანას,

ელექტროენერჯის კუთხით საკუთარი მოთხოვნილების დაკმაყოფილებასა და ექსპორტის საშუალებას გაუჩენს.

რატომღაც ჰგონიათ, რომ საუბარი ენერგეტიკულ დამოუკიდებლობაზე, ეს რაღაც ლოზუნგია და მიაჩნიათ, რომ ამის უკან რაღაც გარკვეული ციფრები არ დევს. ჩვენი ქვეყანა ენერგეტიკულად თითქმის 70-75%-ით არის დამოკიდებული სხვადასხვა ქვეყანაზე და სრულ ენერგეტიკულ დამოუკიდებლობაზე ბუნებრივია საუბარი არ არის, ამას ვერ მივალწვეთ. ჩვენ ვსაუბრობთ ენერგეტიკული დამოუკიდებლობის მახასიათებლის გაუმჯობესებაზე.

ჩვენი ენერგეტიკა, თითქმის 80%-ით არის დამოკიდებული ჰესების მიერ გამოიმუშავებულ ენერჯიაზე. დეფიციტი, რაც დღეს გაგვაჩნია, არის დაახლოებით მილიარდ ექვსასი მილიონი და თუ ასე გაგრძელდა გენერაციის პროექტების ბლოკირება, ეს დეფიციტი წლიდან წლამდე გაიზრდება. მიგვაჩნია, თუ ქვეყნის განვითარება გვინდა, ენერგეტიკაც უნდა განვითარდეს, ამიტომ მიგვაჩნია, რომ „არა ჰესებს“ ნამდვილად არ არის კეთილგანწყობილი ლოზუნგი ჩვენი ქვეყნის ეკონომიკისთვის. მეტიც, ეს რეალურად დარტყმაა ქართულ ეკონომიკაზე და შესაბამისად, ქართულ სახელმწიფოზე.

ლიტერატურა

1. ვეზირიშვილი-ნოზაძე ქ., ფანცხავა ე. „განახლებადი, არატრადიციული ენერჯორესურსების მენეჯმენტი და მათი ათვისების პროგრამის დამუშავება საქართველოში“, საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია „მეცნიერება პრაქტიკისა და განვითარებისათვის“ 22-24 თებერვალი, 2019. ბაქო, აზერბაიჯანი.
2. ვეზირიშვილი-ნოზაძე ქ., ფანცხავა ე. „ენერჯოეფექტურობა-ქვეყნის თანამედროვე

განვითარების ქვაკუთხედი“, III საერთაშორისო კონფერენცია, თანამედროვე განვითარების ეკონომიკური სამართლებრივი და სოციალური პრობლემები“. 2019. 20-21 სექტემბერი.

3. ვეზირიშვილი-ნოზაძე ქ., ფანცხავა ე. „საქართველოს ელექტროენერგეტიკული სექტორის განვითარების ანალიზი და შუქჩრდილები (შედეგები)“, II საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენცია "ენერგეტიკის თანამედროვე პრობლემები და მათი გადაწყვეტის გზები", თბილისი, საქართველო, 2020. 7-10 დეკემბერი.

References (transliterated)

1. Vezirishvili-Nozadze Q., Fantsxava E., "ganaxlebad, aratradiciuli energoresursebis menejmenti da maTi aTvisebis programis damuSaveba saqarTveloSi" [Management of renewable, non-traditional energy resources and development of their assimilation program in Georgia], saerTaSoriso samecniero konferencia "mecniereba praqtikisa da ganviTarebisTvis", 22-24 Tebervali, 2019, baqo, azerbaijani.
2. Vezirishvili-Nozadze Q., Fantsxava E. "energoefekturoba – qveynis Tanamedrove ganviTarebis qvakuTxedi" [Energy efficiency – the cornerstone of modern development of the country], III saerTaSoriso konferencia, Tanamedrove ganviTarebis ekonomikuri samarTlebrivi da socialuri problemebi", 2019, 20-21 seqtemberi.
3. Vezirishvili-Nozadze Q., Fantsxava E. „saqarTvelos eleqtroenergetikuli seqtoris ganviTarebis analizi da Suq-Crdilebi (Sedegebi)" [Analysis and lights and shadows (results) of Georgian electricity sector development], II saerTaSoriso samecnieroteqnikuri konferencia "energetikis Tanamedrove problemebi da maTi gadawyvetis gzebi", Tbilisi, saqarTvelo, 2020, 7-10 dekemberi.

მზის ელექტროსადგურის პროექტირება მათემატიკური მოდელის გამოყენებით

გიორგი მეტრეველი, დოქტორანტი

საქართველოს განახლებადი ენერჯის კომპანია, ელექტრო ინჟინერის სამსახურის უფროსი, თბილისი, საქართველო, e-mail: giorgimetreveli88@yahoo.com

ანოტაცია. ამ ნაშრომის მიზანია, რომ შემუშავებულ იქნეს ისეთი მათემატიკური მოდელი, რომლის მეშვეობითაც წინასწარ განსაზღვრულ ზედაპირზე მზის ელექტრო სადგური დაპროექტდება იქნება შესაძლებელი. ანგარიშებმა აჩვენა, რომ მზის ელექტრო სადგურის მიერ გამოიმუშავებული ელექტრო ენერჯის რაოდენობაზე დიდ გავლენას ახდენს სწორად შერჩეული მზის პანელი და ცენტრალური ინვერტორი, მზის პანელის უჯრედის ტემპერატურის ცვლილება, მზის პანელის მოდულების ეფექტურობის ცვლილება და მზის პანელის პარალელურად და მიმდევრობით შეერთებული მოდულების რაოდენობა. მათემატიკური მოდელის ანგარიშები "Microsoft Excel" კომპიუტერულ პროგრამაში შესრულდა და შედეგები ყოველთვიურ საშუალო მაჩვენებლებამდე დამრგვალდა. ავთენტურობის გარკვევის მიზნით, მიღებული შედეგები "PVsyst software" კომპიუტერული პროგრამიდან მიღებულ ყოველთვიურ მონაცემებს შედარდა. შედარებამ აჩვენა, რომ "Microsoft Excel" და "PVsyst software" კომპიუტერული პროგრამებიდან მიღებული შედეგები ერთმანეთისგან მცირედით განსხვავდება, რაც ცალსახად მიუთითებს იმ ფაქტზე, რომ მათემატიკური მოდელის პრინციპები სწორია და მათი გამოყენება მზის ელექტრო სადგურების დეტალური პროექტირებისათვის მიზანშეწონილია.

საკვანძო სიტყვები: მზის ელექტრო სადგური, მზის პანელი, ცენტრალური ინვერტორი, მზის პანელის ტემპერატურის და ეფექტურობის ცვლილება, მზის პანელის პარალელურად და მიმდევრობით შეერთებული მოდულები.

Design of a solar power plant using mathematical model

Giorgi Metreveli, PhD student

Georgian Renewable Power Company, Head of Electrical Engineering Division Tbilisi, Georgia,
e-mail: giorgimetreveli88@yahoo.com

Summary. The purpose of this paper is to develop a mathematical model, which produces a design of a solar power plant on a surface under consideration. Calculations showed, that the amount of electrical energy produced by the solar power plant is significantly affected by a correctly selected solar panel and central inverter, temperature change of a cell of the solar panel, efficiency change of the cell of the solar panel and the amount of parallel and series connected modules of the solar panel. Calculations of the mathematical model have been made in "Microsoft Excel" computer programme and results have been averaged to monthly values. Comparison showed, that difference between the results of the "Microsoft Excel" and "PVsyst software" computer programmes were negligible, concluding that the principals of the mathematical model are relevant and can be used in detailed engineering designs of solar power plants.

Keywords: Solar power plant, Solar panel, central inverter, temperature and efficiency change of the cell of the solar panel, parallel and series connected modules of the solar panel.

შესავალი. დედამიწაზე კლიმატური პირობების ცვლილების და მასთან დაკავშირებული პრობლემების გამომწვევ ძირითად მიზეზად ეკოლოგიურად არამეგობრული ტექნოლოგიების გამოყენება სახელდება (Wong, 2012). ამიტომ, მსოფლიო მასშტაბით ენერგოეფექტური და ეკოლოგიურად სუფთა ტექნოლოგიები დღით-დღე ვითარდება. მათ შორისაა მზის ელექტრო სადგურები, რომლებიც მზის სხივის ფოტონის ენერჯიას ელექტრო-

ენერჯიად ეკოლოგიისთვის სრულიად უსაფრთხო გზით გარდაქმნიან (PARITOSH SHARMA, 2015).

მზის ელექტრო ენერჯის სადგურების სწორი დაპროექტებისათვის, პირველ რიგში, მნიშვნელოვანია, რომ ელექტრო ენერჯის მოხმარების ობიექტი წინასწარ შეირჩეს და ელექტრო ენერჯის საათობრივი მოხმარების მონაცემები შეგროვდეს, რათა დამპროექტებელი დარწმუნებული იყოს, რომ ელექტრო ენერჯის მოხმარებლის მოთხოვნები მთელი წლის

განმავლობაში სრულიად დაკმაყოფილებული იქნება.

ელექტროენერჯის მოხმარების ობიექტად საცხოვრებელი სახლი შეირჩა, რომელიც მდებარეობს სოფელ კობაძეებში, კახეთი, საქართველო. აღნიშნულ ზედაპირზე, მზის ელექტრო სადგურის დაპროექტების ერთ-ერთ ყველაზე ეფექტურ გზას მათემატიკური მოდელის შემუშავება წარმოადგენს, რომელიც ძირითად მათემატიკურ პრინციპებზეა დაფუძნებული და შემდეგ მახასიათებლებს იყენებს: მზის პანელის უჯრედების ტემპერატურა, უჯრედების ეფექტურობის ცვლილება, პარალელურად და მიმდევრობით შეერთებული მოდულების რაოდენობა, ა.შ.

მათემატიკური მოდელის ანგარიშები "Microsoft Excel" კომპიუტერულ პროგრამაში განხორციელდა, რომლის შედეგებიც "PVsyst software" კომპიუტერულ პროგრამიდან მიღებულ მონაცემებს შედარდა. შედეგებმა აჩვენა, რომ მათემატიკურ მოდელის მონაცემები სწორია და მისი გამოყენება ნებისმიერი სახის მზის ელექტრული ენერჯის სადგურისათვის პროექტირებისათვის მართებულია.

საცხოვრებელი სახლის ელექტრო ენერჯის მოხმარების საათობრივი აღწერა

მათემატიკური მოდელის ანგარიშების ჩატარებამდე, აუცილებელია ელექტრო ენერჯის მოხმარების ობიექტი შეირჩეს და მასზე ელექტრო ენერჯის მოხმარების საათობრივი მონაცემები დაზუსტდეს. შეირჩა სოფელ კობაძეებში მდებარე საცხოვრებელი სახლი, რომლის ზუსტი კოორდინატების დასადგენად „Google Earth“ კომპიუტერული პროგრამა იქნა გამოყენებული, რომელმაც გვაჩვენა, რომ სახლის სახურავის საპროექტო ნაწილი სამხრეთ-აღმოსავლეთისკენ არის მიმართული (იხ. ნახ.1)



ნახ. 1. სახლი სოფელ კობაძეებში, კახეთი, საქართველო

მათემატიკური მოდელის ანგარიშების მეთოდოლოგია

ელექტროენერჯის საათობრივი მოხმარების ყოველთვიური ზუსტი მონაცემების დადგენის შემდეგ, პირველ რიგში ისეთი მზის პანელის ტიპი უნდა შეირჩეს, რომელიც ფინანსური და ტექნიკური თვალსაზრისით ყველაზე მართებული იქნება (Figen Balo, 2016).

საცხოვრებელი სახლის წლიურ ჭრილში ელექტრო ენერჯის მოხმარების დადგენისა და მზის პანელის შერჩევის შემდეგ, მზის ელექტრო სადგურის პროექტირების ანგარიშების დაწყება არის შესაძლებელი, რომელიც ძირითად მათემატიკურ პრინციპებზე არის აგებული (R. Ahshan, 2020).

პირველ რიგში მზის პანელში არსებული უჯრედების ტემპერატურა კონკრეტული რიცხვის დღის საათების განმავლობაში უნდა განისაზღვროს:

$$T_c = T_a + \frac{G}{0.8} x (NOCT - 20), \quad (1)$$

სადაც T_a არის გარემოს ტემპერატურა; G (კვტ/მ²) - მზის სხივის რადიაციის სიდიდე დღის საათის მოცემულ მონაკვეთში; NOCT - უჯრედის ფუნქციონირების ნომინალური ტემპერატურა, რომელიც 42° და 48° შორის მერყეობს (Quaschnig, 2005).

გამომდინარე იქიდან, რომ მზის პანელის ეფექტურობა და ტემპერატურა ერთმანეთთან პირდაპირ კავშირშია (Jayanta Deb Mondol, 2006), მზის პანელის ეფექტურობის ცვლილება დღის საათების განმავლობაში შემდეგი ფორმულით უნდა დაზუსტდეს:

$$\eta_p = \eta_r x (1 - \beta_c(T_c - T_r)). \quad (2)$$

η_r არის მზის პანელის მოდულის ეფექტურობა რეფერენსულ ტემპერატურაზე (15,2°), ხოლო β_c - მზის პანელის მოდულის ეფექტურობის კოეფიციენტი.

მზის პანელის ტემპერატურისა და ეფექტურობის განსაზღვრის შემდეგ, ცენტრალური ინვერტორის შერჩევა არის აუცილებელი. ცენტრალური ინვერტორის ტექნიკური პარამეტრების ზუსტი შერჩევა მზის ელექტრო სადგურის გამართული და ხანგრძლივი მუშაობის წინაპირობაა (Jayanta Deb Mondol, 2006).

ნახ. 1-ზე მოცემული საცხოვრებელი სახლის ელექტრო ენერჯის მოხმარება ყოველი თვის 25

რიცხვისთვის 24 საათიან ჭრილში დაზუსტდა (იხ. ცხრ. 1).

ცხრილი 1. საცხოვრებელი სახლის ელექტრო ენერჯის საათობრივი მოხმარება

საცხოვრებელი სახლის ელექტრო ენერჯის საათობრივი მოხმარება													
საათი	ხელსაწყოები	25-Jan	25-Feb	25-Mar	25-Apr	25-May	25-Jun	25-Jul	25-Aug	25-Sep	25-Oct	25-Nov	25-Dec
		ვატი	ვატი	ვატი	ვატი	ვატი	ვატი	ვატი	ვატი	ვატი	ვატი	ვატი	ვატი
1:00	ელექტრონათურა	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245
2:00	ელექტრონათურა	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245
3:00	ელექტრონათურა	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245
4:00	ელექტრონათურა	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245
5:00	ელექტრონათურა	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245
6:00	შერეული	245	245	510	510	529	2220	510	510	558	500	405	510
7:00	შერეული	460	455	510	2445	2546	867	2295	2545	2045	1055	2028	1545
8:00	შერეული	2195	2470	2445	2445	605	610	845	605	605	1305	785	605
9:00	შერეული	595	640	605	605	605	245	245	245	245	245	265	245
10:00	შერეული	245	245	245	245	245	245	1245	1345	1045	245	245	245
11:00	შერეული	245	245	245	245	245	245	1245	1395	1145	245	245	245
12:00	შერეული	245	245	245	245	245	245	1245	1395	1219	245	245	245
13:00	შერეული	245	245	245	245	245	245	1245	1395	1219	245	245	245
14:00	შერეული	245	245	245	245	245	245	1445	1545	1250	245	245	245
15:00	შერეული	245	245	245	245	245	245	1545	1595	1320	245	245	245
16:00	შერეული	245	245	245	245	245	245	1545	1625	1325	245	245	245
17:00	შერეული	245	245	245	245	245	245	1745	1645	1330	245	245	245
18:00	შერეული	245	245	245	245	245	245	1645	1797	945	245	245	245
19:00	შერეული	740	780	740	740	728	757	2240	2365	1240	740	740	740
20:00	შერეული	1845	1805	1855	1855	1827	1845	2855	2055	2305	1845	1865	1855
21:00	შერეული	2028	2117	2280	2280	2060	2280	2400	2280	2300	2573	2160	2305
22:00	შერეული	827	1050	1035	1035	978	1035	1051	1035	1146	915	935	1055
23:00	შერეული	625	655	625	625	630	625	653	625	755	649	625	525
0:00	ელექტრონათურა	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245	245
ჯამი	შერეული	13235	13892	14280	16215	14183	14159	27469	27472	23467	13502	13483	13060

ცენტრალური ინვერტორის შერჩევის შემდეგ პარალელურად და მიმდებრობით შერთებული პანელების რაოდენობების დადგენა შემდეგი ფორმულით არის შესაძლებელი:

$$V_{oc-max} = V_{oc} + ((T_{min} - T_{STC}) \times V_{oc}T) \quad (3)$$

სადაც V_{oc} არის გახსნილი წრედის ძაბვა; T_{min} - პანელის უჯრედის მინიმალური ტემპერატურა; T_{STC} - პანელის უჯრედის ტემპერატურა სტანდარტულ გამოსაცდელ პირობებში (25°); $V_{oc}T$ - გახსნილი წრედის ძაბვის ტემპერატურის კოეფიციენტი.

ამის შემდეგ, მიმდებრობით შერთებული მოდულების მაქსიმალური რაოდენობა შემდეგი ფორმულით უნდა გამოითვალოს:

$$N_{max} \leq \frac{V_{dc-max}}{V_{oc-max}} \quad (4)$$

V_{dc-max} არის ინვერტორში შემავალი მაქსიმალური მუდმივი ძაბვა.

ინვერტორიდან გამომავალი მაქსიმალური სიმძლავრის მინიმალური ძაბვის გამოთვალაც არის აუცილებელი:

$$V_{mp-max} = V_{mpp} + ((T_{rise} + T_{max} - T_{STC}) \times V_{mpp}T) \quad (5)$$

V_{mpp} არის მაქსიმალური სიმძლავრის ძაბვა; T_{rise} - გაზრდილი ტემპერატურა; T_{max} - პანელის უჯრედის მაქსიმალური ტემპერატურა; $V_{mpp}T$ - მაქსიმალური სიმძლავრის ძაბვის ტემპერატურის კოეფიციენტი.

მზის პანელის მიმდებრობით შერთებული მოდულების მაქსიმალური რაოდენობის დადგენის შემდეგ, მინიმალური რაოდენობის დადგენაც არის შესაძლებელი:

$$N_{min} \geq \frac{V_{dc-min}}{V_{oc-max}} \quad (6)$$

V_{dc-min} არის ინვერტორში შემავალი მინიმალური მუდმივი ძაბვა.

ზემოთ არსებული ანგარიშების ჩატარების შემდეგ, მზის პანელის პარალელურად შეერთებული მოდულების მაქსიმალური რაოდენობა შემდეგი ფორმულის გამოყენებით უნდა დაზუსტდეს:

$$N_{max} \leq \frac{I_{max}}{I_{max-STC}} \quad (7)$$

I_{max} არის ინვერტორში შემავალი მაქსიმალური დენი, ხოლო $I_{max-STC}$ - მაქსიმალური დენი სტანდარტულ გამოსაცდელ პირობებში.

მზის პანელის პარალელურად შეერთებული მოდულების მინიმალური რაოდენობა შემდეგი ფორმულის გამოყენებით იანგარიშება:

$$N_{min} \geq \frac{I_{pv}}{I_{sc}} \quad (8)$$

სადაც, I_{pv} არის მზის პანელის ნომინალური დენი სტანდარტულ გამოსაცდელ პირობებში, რომელიც შემდეგნაირად გამოითვლება:

$$I_{pv} = \frac{24I_L}{PSH} \quad (9)$$

I_L არის მაქსიმალური სიმძლავრის დენი, ხოლო PSH - მზის პიკური საათები.

მიმდევრობით და პარალელურად შეერთებული მზის პანელების მოდულების მაქსიმალური და მინიმალური რაოდენობების დადგენის შემდეგ, მზის ელექტროსადგურის მინიმალური ფართობი მიმდევრობით და პარალელურად შეერთებული მოდულების მინიმალური რაოდენობების მეშვეობით შეიძლება დადგინდეს:

$$A = (N_{s-min} + N_{p-min}) \times A_m \quad (10)$$

სადაც A_m არის ერთი მოდულის ფართობია.

მზის ელექტრო სადგურის მიერ გამომუშავებული ელექტრული ენერჯის რაოდენობა შემდეგი ფორმულით უნდა გამოითვალოს:

$$E_A = \eta_A \times A \times H_T \quad (11)$$

η_A არის მზის სადგურის ეფექტურობის კოეფიციენტი, რომელიც ჩვენს შემთხვევაში მზის პანელის ეფექტურობის ტოლი იქნება, რადგან მზის პანელის კაბელების შეერთების და გაგრილების სისტემის სიმძლავრეების დანაკარგები უგულვებელყოფილი გვაქვს. H_T არის მზის ელექტრო სადგურის სამონტაჟო ზედაპირზე მზის გამოსხივების საშუალო სიდიდე.

ინვერტორიდან გამომავალი მზის ელექტრო სადგურის მიერ გამომუშავებული ელექტრო ენერჯის სიდიდე შემდეგნაირად გამოითვლება:

$$E_{Inv} = E_A \times \eta_{Inv} \quad (12)$$

სადაც, η_{Inv} ინვერტორის ეფექტურობის კოეფიციენტია.

მათემატიკური მოდელის შედეგები

სოფელ კობამეებში არსებული სახლის დახრილ სახურავზე მზის ელექტრო სადგურის პროექტირების ყველა ანგარიში „Microsoft Excel“ კომპიუტერულ პროგრამაში შესრულდა. საორიენტაციოდ აღებულ იქნა ყოველი თვის 25 რიცხვი და მზის ელექტრო სადგურის მიერ გამომუშავებული ელექტრო ენერჯის რაოდენობის დასადგენი გამოთვლები შესრულდა. შედეგები იხილეთ ცხრ. 2-ში.

შედარება და განხილვა

„Microsoft Excel“ კომპიუტერულ პროგრამაში შესრულებული მათემატიკური მოდელის შედეგები ყოველი თვის საანგარიშო დღისთვის შეჯამდა და „PVsyst software“ კომპიუტერული პროგრამიდან მიღებულ შედეგებს შედარდა. შედარების მიზანი იყო, რომ მათემატიკური მოდელის გამოთვლების პრინციპების მართებულობა დამტკიცებულიყო. შედარებამ აჩვენა, რომ ამ ორი სხვადასხვა წყაროდან მიღებული შედეგები ერთმანეთისგან მცირედით განსხვავდება, რაც შემდეგი ფაქტორით შეიძლება იყოს განპირობებული: 1) „Microsoft Excel“-ში ანგარიშების ჩატარების დროს

კონკრეტული ტიპის მონოკრისტალური მზის პანელის ტექნიკური მონაცემები იქნა გამოყენებული, ხოლო „PVsyst software“-ში მუშაობის დროს, ჩვენს მიერ არჩეული მონოკრისტალური მზის პანელის იდენტური ვარიანტი ვერ მოიძებნა. შესაბამისად, მიახლოებული ტექნიკური მონაცემების მქონე მონოკრისტალური მზის პანელი შეირჩა. აღნიშნული განსხვავება საბოლოო შედეგებზე გავლენას აუცილებლად მოახდენდა.

ცხრილი 2.

მზის ელექტრო სადგურის მიერ გამომუშავებული ელექტროენერჯის რაოდენობა საათების და თვეების მიხედვით

მზის ელექტრო სადგურის მიერ გამომუშავებული ელექტრო ენერჯის რაოდენობა საათების და თვეების მიხედვით																									
თვე	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00	
	ვატი	ვატი	ვატი	ვატი	ვატი	ვატი	ვატი	ვატი	ვატი	ვატი	ვატი	ვატი	ვატი	ვატი	ვატი	ვატი	ვატი	ვატი	ვატი	ვატი	ვატი	ვატი	ვატი	ვატი	ვატი
25-იან							0.1	165.7	341.2	533.3	749.7	886.8	946.8	931.5	840.3	671.1	505.2								
25-თებ							0.1	304.9	475.7	685.9	893.5	1033.7	1106.0	1107.7	1033.6	877.1	613.9	558.1							
25-მარ					0.1	249.3	452.5	628.6	889.6	1077.9	1195.4	1245.6	1230.9	1150.5	1001.1	779.6	486.6	470.2							
25-აპრ					0.2	396.4	585.1	799.9	1032.7	1200.0	1303.6	1347.0	1332.5	1259.1	1123.8	923.5	658.5	438.3							
25-მაი				0.5	285.7	487.2	664.0	902.9	1121.1	1277.9	1375.4	1416.9	1404.7	1338.1	1214.1	1029.3	783.7	484.0	489						
25-ივნ				0.2	321.9	521.3	696.1	957.1	1184.2	1347.3	1449.5	1495.6	1488.5	1427.9	1309.9	1129.8	885.8	582.7	410						
25-ივლ				0.1	271.6	477.5	658.0	901.1	1130.7	1295.6	1398.5	1443.6	1433.8	1368.3	1243.5	1055.4	802.8	491.7	458						
25-აგვ					0.2	368.5	562.6	774.5	1022.3	1200.5	1311.5	1359.5	1347.3	1274.1	1136.2	929.7	654.0	454.5							
25-სექ						0.1	209.0	415.6	583.1	851.1	1047.5	1170.5	1223.9	1210.3	1128.9	976.4	488.1								
25-ოქტ						0.3	254.3	424.9	641.1	844.6	1039.3	1027.8	1011.6	923.5	761.3	523.3	472.4								
25-ნოვ							0.3	297.4	468.5	670.6	798.3	852.6	834.3	743.2	578.1	432.1									
25-დეკ							0.2	259.8	416.3	613.6	738.1	790.0	770.2	678.3	513.5	412.1									
ჯამი	0	0	0	0	0.8	880	2501	4552.5	7178.7	9708.7	12022.4	13577.4	14201.9	14116.9	13247.1	11558.5	9310.3	5790.1	2921.3	1356	0	0	0	0	

გამოყენება მზის ელექტრო სადგურების პროექტირებისთვის მიზანშეწონილია.

„Microsoft Excel“ და „PVSyst software“ კომპიუტერული პროგრამების შედეგების შედარება იხილეთ ცხრ. 3-ში.

ცხრილი 3.

„Microsoft Excel“ და „PVSyst software“ შედეგების შედარება

დასკვნა

ამ ნამუშევრის მთავარი მიზანი იყო, რომ შემუშავებულიყო ისეთი მათემატიკური მოდელი, რომელიც წინასწარ მოცემული სახლის დახრილ სახურავზე მზის ელექტრო სადგურის პროექტირებას შესაძლებელს გახდიდა. მათემატიკური მოდელის ანგარიშები „Microsoft Excel“ კომპიუტერულ პროგრამაში განხორციელდა და შედეგები „PVSyst software“ კომპიუტერულ პროგრამიდან მიღებულ შედეგებს შედარდა.

ცხრ. 3-დან ჩანს, რომ სხვაობა უმნიშვნელოა, რაზე დაყრდნობითაც შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ ამ ნაშრომში წარმოდგენილი მათემატიკური მოდელის პრინციპები სწორია და მათი

#	თვე	Microsoft Excel	PVSyst software	ცდომილება
		ვატი	ვატი	
1	იან	6572	6279	4.7%
2	თებ	8690	8510	2.1%
3	მარ	10858	11254	-3.5%
4	აპრ	12400	13080	-5.2%
5	მაი	14274	14560	-2.0%
6	ივნ	15207	14500	4.9%
7	ივლ	14430	13007	10.9%
8	აგვ	12395	11587	7.0%
9	სექ	9305	9455	-1.6%
10	ოქტ	7924	8006	-1.0%
11	ნოვ	5675	5507	3.1%
12	დეკ	5192	4997	3.9%

ლიტერატურა

1. Figen Balo, L. Ş. (2016). The selection of the best solar panel for the photovoltaic system. *Energy Procedia* , 4.
2. Jayanta Deb Mondol, Y. G. (2006). Optimal sizing of array and inverter for grid-connected photovoltaic systems. *Solar Energy*, 24.
3. PARITOSH SHARMA, B. M. (2015). DESIGN PARAMETERS OF 10KW. *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology (IARJSET)*, 5.
4. Quaschnig, V. (2005). Understanding Renewable Energy Systems. *Understanding Renewable Energy Systems*.
5. R. Ahshan, R. A.-A.-Z.-s. (2020). Design and Economic Analysis of a Solar Photovoltaic System for a Campus Sports Complex. *INTERNATIONAL JOURNAL of RENEWABLE*
6. Wong, S. M. (2012). Environmental Initiative and the Role of the USPTO'S Green Technology Pilot Program. *Marquette Intellectual Property Law Review*, 25.

References.

1. Figen Balo, L. Ş. (2016). The selection of the best solar panel for the photovoltaic system. *Energy Procedia* , 4.
2. Jayanta Deb Mondol, Y. G. (2006). Optimal sizing of array and inverter for grid-connected photovoltaic systems. *Solar Energy*, 24.
3. PARITOSH SHARMA, B. M. (2015). DESIGN PARAMETERS OF 10KW. *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology (IARJSET)*, 5.
4. Quaschnig, V. (2005). Understanding Renewable Energy Systems. *Understanding Renewable Energy Systems*.
5. R. Ahshan, R. A.-A.-Z.-s. (2020). Design and Economic Analysis of a Solar Photovoltaic System for a Campus Sports Complex. *INTERNATIONAL JOURNAL of RENEWABLE*
6. Wong, S. M. (2012). Environmental Initiative and the Role of the USPTO'S Green Technology Pilot Program. *Marquette Intellectual Property Law Review*, 25.

გარემოსდაცვითი წყლის ხარჯის შეფასება ექსპლუატაციაში მყოფი ჰესებისათვის

მარგალიტა მარდალეიშვილი, დოქტორანტი

საქ. ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი, საქართველო, e-mail: m.mardaleishvili@gtu.ge

ანოტაცია. გაანგარიშებები შესრულებულია ზემო ავჭალაში მდებარე ზაჰესის სადერივაციო არხის უბნის შესაბამის მდ. მტკვრის მონაკვეთისათვის ქვემო ბიეფში ცოცხალი ორგანიზმების სასიცოცხლო პირობების შენარჩუნების უზრუნველყოფის და მდინარის დაბინძურების დასაშვები კონცენტრაციის ფარგლებში დარჩენის გათვალისწინებით. კვლევების შედეგად დადგინდა, რომ საკვლევ უბანზე ამჟამად არსებული მიდგომებით განსაზღვრული გარემოსდაცვითი წყლის ხარჯის გატარებისას წყლის ქიმიური მაჩვენებლები მოქმედი ნორმის ფარგლებშია და დაკმაყოფილებულია ცოცხალი ორგანიზმების სასიცოცხლო პირობები.

საკვანძო სიტყვები: გარემოსდაცვითი, წყლის ხარჯი, ჰესი, მდინარე, წყალგაშება.

Assessment of Environmental Protection Water Costs for Currently Operating Hydroelectric Stations

Margalita Mardaleishvili, doctoral student,

Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, e-mail: m.mardaleishvili@gtu.ge

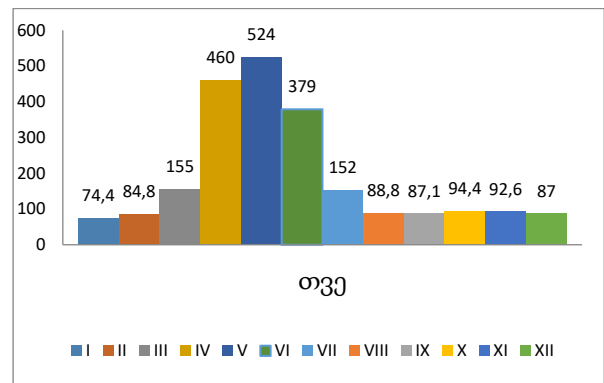
Annotation. Calculation are completed for the section of the River "Mtkvari" corresponding to derivational channel located in Upper Avchala taking into consideration to maintain living conditions for alive organisms in tail-water and keep allowable concentration of contamination for the river. Based on the study results it has been determined that on the investigational area, chemical characteristics of water by incurring environmental protection water costs defined under the existing approaches are within normal limits and living conditions for live organisms are satisfied.

Key words: Environmental protection, water costs, hydroelectric station, river, water pas.

შესავალი. გარემოსდაცვითი წყლის ხარჯის სიდიდის შეფასება ჩვენს მიერ შემოთავაზებული მეთოდის [1] შესაბამისად განვიხილოთ ზაჰესის მაგალითზე.

მდინარე მტკვარზე მდებარე ზემო ავჭალის ჰიდროელექტროსადგური (ზაჰესი) წარმოადგენს ღია არხიან დერივაციული ტიპის ჰესს, რომლის წყალმიმღების გასწორში მდინარე მტკვრის საშუალო მრავალწლიური წყლის ხარჯი შეადგენს 191 მ³/წმ, ხოლო საშუალო წლიური ხარჯის ჰიდროგრაფი მოყვანილია ნახ. 1-ზე [2].

მხედველობაში უნდა მივიღოთ ის გარემოება, რომ საქართველოს საპროექტო პრაქტიკაში არსებული მიდგომით (რომელიც არ არის ასახული ნორმატიულ დოკუმენტებში) კაშხლის ქვედა ბიეფში, წყალმიმღებსა და ჰესის შენობას შორის მდებარე მდ. მტკვრის მონაკვეთზე უნდა იყოს უზრუნველყოფილი გარემოსდაცვითი წყლის ხარჯი საშუალო მრავალწლიური წყლის ხარჯის 10%-ის ოდენობით ე. ი. 19,0 მ³/წმ.



ნახ. 1. მდ. მტკვრის საშუალო მრავალწლიური წყლის ხარჯის ჰიდროგრაფი (ჰ/ს ზაჰესის კვეთი)

სამუშაოს მიზანი. მდ. მტკვრის ხსენებული უბნიდან არ ხორციელდება წყალაღება სამრეწველო, სასოფლო-სამეურნეო და საყოფაცხოვრებო მიზნით. წყალმიმღებსა და ზაჰესის შენობას შორის მდ. მტკვრის უბანზე გასატარებელი გარემოსდაცვითი წყლის ხარჯი უნდა შეფასდეს არსებული თევზების გადასაადგილებლად აუცილებელი და მასში მავნე ნივთიერებათა კონცენტრაციის დაბინძურების დასაშვები ნორმების ფარგლებში

დარჩენის პირობიდან გამომდინარე. განვიხილოთ მითითებული წყლის ხარჯები ცალ-ცალკე.

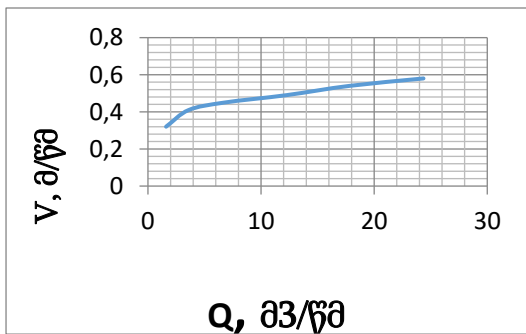
მდ. მტკვრის საკვლევ უბანზე მოზინადრე თევზებისათვის [3] ნაკადის გადასალახი ზღვრული სიჩქარეები მოყვანილია ცხრ. 1-ში [4]. ამ უბანზე გარემოსდაცვითი წყლის ხარჯის შესაბამისი ნაკადის სიჩქარე უნდა იყოს მინიმალური (ცხრ. 1-ის მიხედვით 0,6 მ/წმ), რომ მისი გადალახვა და ჰესის ზემო ბიეფში მოხვედრა ტოფობის პერიოდში შეძლოს აქ მოზინადრე ყველა სახეობის თევზმა.

ცხრილი 1

წყლის ნაკადის სიჩქარეები, რომელთა გადალახვაც შეუძლიათ თევზებს	
თევზის სახეობა	ნაკადის მოძრაობის სიჩქარეები, მ/წმ.
კალმახი, ჭერები	2,3—3,5
წვერა	1,8—2,3
ქაშაპი	1,5—1,8
ქორჭილა, ნაფოტა	1,2—1,5
ჭანარი	0,6—1,2

წყლის ხარჯის დასადგენად ვისარგებლოთ [5]-ში მოცემული რეკომენდაციებით ღია კალაპოტებისათვის, ამასთან განსახილველ უბანზე მდ. მტკვრის კვეთი შეიძლება მიღებული იქნეს პარაბოლურად, მდინარის კალაპოტის სიმქისის კოეფიციენტი, $n=0,04$, ხოლო ფსკერის ქანობი $i=0,0024$. ანგარიშის შედეგები მოცემულია ცხრილში 2.

ცხრ. 2-ის მონაცემების მიხედვით აიგება დამოკიდებულება $Q = f(v)$ (იხ. ნახ. 2), საიდანაც ჩანს, რომ 19,0 მ³/წმ წყლის ხარჯის დროს ნაკადის საშუალო სიჩქარე ტოლია 0,55 მ/წმ, რაც საშუალებას მისცემს თევზებს გადაადგილდეს მდინარის დინების საწინააღმდეგოდ



ნახ. 2. დამოკიდებულება $Q = f(v)$

ამას გარდა, უნდა იქნეს გათვალისწინებული წყალაღების კვეთსა და ჰესის შენობას შორის მდინარის წყლის ჩამდინარე წყლებით დაბინძურების მაჩვენებლის ზღვრულად დასაშვებ ნორმაზე დაბალი მაჩვენებლის შენარჩუნება, რაც ამ უბანზე უნდა იყოს უზრუნველყოფილი შესაბამისი სიდიდის წყალგაშვებით.

ცხრილი 2

რიგითი №	$h, მ$	$b, მ$	$\omega, მ^2$	$R, მ$	γ	$C, მ^{0,5}/წმ$	$v = C\sqrt{Ri}, მ/წმ$	$Q = \omega \times v, მ^3/წმ$
1	0,3	25,0	5,0	0,2	0,336	14,56	0,32	1,6
2	0,4	33,0	8,8	0,27	0,33	16,23	0,41	3,61
3	0,45	50,0	15,0	0,3	0,329	16,82	0,45	6,75
4	0,5	80,0	26,67	0,33	0,327	17,40	0,49	13,07
5	0,55	95,0	34,83	0,37	0,324	18,11	0,54	18,81
6	0,6	105,0	42,0	0,4	0,323	18,60	0,58	24,36

მდ. მტკვრის ხსენებული მონაკვეთის მარჯვენა ნაპირზე განლაგებულია კვების ობიექტები, საიდანაც მდინარის კალაპოტში ნაწილობრივ ხვდება ჩამდინარე წყლები, მათ შორის, ფეკალური წყლების სახით.

დამაბინძურებელ ნივთიერებათა კონცენტრაციის დადგენის მიზნით მდ. მტკვრის საკვლევ უბანზე წყლის სინჯების აღება განხორციელდა შემდეგ კვეთებში (ნახ. 3) [6]:

1) ზაჰესის კაშხლის ზედა ბიეფში (წყალსაცავში), კაშხლის მიმდებარედ (კვეთი I-I);

2) ზაჰესის კაშხლიდან მდინარის დინების მიმართულებით 2200 მ მანძილზე (კვეთი II-II). მდინარის ამ მონაკვეთის გასწვრივ (მარჯვენა ნაპირზე) არის განლაგებული საზოგადოებრივი კვების ობიექტების უმრავლესობა;

3) ზაჰესის კაშხლიდან მდინარის დინების მიმართულებით 3400 მ მანძილზე (კვეთი III-III)

საზოგადოებრივი კვების ობიექტების და რკინა ბეტონის ნაკეთობათა საამქროს განლაგების ზონაში;

4) ზაჰესის შენობის ქვედა ბიეფში მდ. მტკვრის კალაპოტში.

სინჯის ასაღები კვეთების განლაგება დაინიშნა იმ მოსაზრებით, რომ ზუსტად აღრიცხულიყო ჩამდინარე წყლებში არსებული დამაზინძურებელი ნივთიერებების კონცენტრაციის შესაბამისობა სათანადო ნორმებით და წესებით მოთხოვნილ ზღვრულად დასაშვებ მნიშვნელობებთან.



ნახ. 3. მდ. მტკვრის საკვლევ მონაკვეთზე წყლის სინჯების აღების კვეთები

ჩვენი მონაწილეობით, „დჯ კონსალტინგის“ სპეციალისტების მიერ ადგილზე გაიზომა წყალბადის ინდექსი pH, წყლის მინერალიზაცია, გახსნილი ჟანგბადი, ტემპერატურა, ხოლო ლაბორატორიული კვლევისთვის აღებულ იქნა წყლის ნიმუშები. ლაბორატორიული ქიმიური კვლევა მოიცავდა ჟანგბადის ქიმიური და ბიოლოგიური მოხმარების, ბუნებრივ წყლებში აზოტნაერთების (ნიტრიტი — NO₂, ნიტრატი — NO₃ და ამონიუმი — NH₃), შეტივანარებული ნაწილაკების განსაზღვრას.

ქვემოთ, ცხრ. 3-ში, შესაბამისად I-I, II-II, III-III, IV-IV კვეთებისათვის, მოგვყავს წყლის ნიმუშებში ზემოთ ხსენებული მახასიათებლების ქიმიური კვლევის შედეგად მიღებული მონაცემები და შესაბამისი ნორმებით და წესებით დადგენილი ამ მაჩვენებლების ზღვრულად დასაშვები მნიშვნელობები, რომლებიც მიიღება [7], [8]-ის მიხედვით.

მოყვანილი ცხრილიდან (იხ. ცხრ. 3) ჩანს, რომ მდ. მტკვრის ზაჰესის კაშხალსა და ჰესის შენობას შორის უბანზე ამჟამად არსებული მიდგომებით დადგენილი გარემოსდაცვითი წყლის ხარჯის გატარებისას წყლის ქიმიური მაჩვენებლები მოქმედი ნორმის ფარგლებშია.

ცხრილი 3

ქიმიური მაჩვენებლის დასახელება	ქიმიური მაჩვენებლის სიდიდე				ქიმიური მაჩვენებლის ზღვრულად დასაშვები სიდიდე
	I-I	II-II	III-III	IV-IV	
1	3	4	5	6	7
ტემპერატურა	7	7	6,8	6	-
pH	8,26	8,52	8,56	8,36	6,5 – 8,5
მინერალიზაცია მგ/ლ	316	326	325	320	1000 მგ/ლ
გახსნილი ჟანგბადი მგ/ლ O ₂	7,76	8,06	7,85	7,88	≥ 6 მგ/ლ
ნიტრატი (NO ₃) მგ/ლ	3,03	3,04	3,16	3,21	40 მგ/ლ
ნიტრიტი (NO ₂) მგ/ლ	0,05	0,05	0,05	0,05	0,08 მგ/ლ
ამონიუმი (NH ₃) მგ/ლ	0,2	0,2	0,2	0,2	0,39 მგ/ლ
ჟანგბადის ბიოლოგიური მოხმარება მგ/ლ O ₂	<3	<3	<3	<3	6 მგ/ლ
ჟანგბადის ქიმიური მოხმარება მგ/ლ O ₂	21,33	17,5	18,33	20,0	30 მგ/ლ
შეტივანარებული ნაწილაკები მგ/ლ	<2	<2	<2	<2	30 მგ/ლ

დავადგინოთ სხვადასხვა უზრუნველყოფის მინიმალური წყლის ხარჯები იმ მიზნით, რომ განვსაზღვროთ მათი შესაბამისობა თევზის გადაადგილებისათვის და მდინარის დაზინძურების დასაშვები კონცენტრაციის ფარგლებში დარჩენისათვის აუცილებელ გარემოსდაცვით წყლის ხარჯთან მიმართებაში.

გავიანგარიშოთ მინიმალური წყლის ხარჯები ზაფხულ-შემოდგომისა და ზამთრის პერიოდებისათვის ზაჰესის წყალმიმღების გასწორის კვეთში [9]-ში მოყვანილი მეთოდოლოგიის მიხედვით. წყალშემკრები აუზის ფართობი $F = 20800$ კმ²; წყალშემკრები აუზის საშუალო სიმაღლე 1200 მ. სხვადასხვა უზრუნველყოფის მინიმალური დღეღამური და 30 დღიანი წყლის ხარჯები მოცემულია ცხრ. 4 და 5-ში.

ცხრილი 4

სხვადასხვა უზრუნველყოფის (p, %) მინიმალური წყლის ხარჯები ზაფხულ-შემოდგომის პერიოდისათვის							
p, %	75	80	85	90	95	97	99
დღე-ღამური	35,1	33,0	31,6	28,8	26,7	24,6	22,7
10 დღიანი	38,2	35,9	34,4	31,3	29,0	26,7	24,7
30 დღიანი	42,0	40,2	38,5	35,0	32,5	29,9	27,3

ცხრილი 5

სხვადასხვა უზრუნველყოფის (p %) მინიმალური წყლის ხარჯები ზამთრის პერიოდისათვის							
p, %	75	80	85	90	95	97	99
დღე-ღამური	32,8	31,1	30,2	28,8	27,5	24,9	22,3
10 დღიანი	36,4	34,6	33,5	32,0	30,6	27,7	24,8
30 დღიანი	39,3	37,4	36,2	34,6	33,0	29,9	27,8

ცხრ. 4 და 5-ში მოცემული სხვადასხვა უზრუნველყოფის ზაფხულ-შემოდგომისა და ზამთრის მინიმალური წყლის ხარჯები მეტია საშუალო მრავალწლიური წყლის ხარჯის 10%-ზე, ანუ შესაძლებელია გარემოსდაცვითი წყალგაშვების პირობის დაკმაყოფილება წყალმცირობის პერიოდში.

დასკვნა. კვლევების შედეგად დადგინდა, რომ საკვლევ უბანზე ამჟამად არსებული მიდგომებით განსაზღვრული გარემოსდაცვითი წყლის ხარჯის გატარებისას წყლის ქიმიური მაჩვენებლები მოქმედი ნორმის ფარგლებშია და

დაკმაყოფილებულია ცოცხალი ორგანიზმების სასიცოცხლო პირობები.

ლიტერატურა

1. ხელიძე გ., მარდალეიშვილი მ. გარემოსდაცვითი წყლის ხარჯის შეფასება საქართველოს განსხვავებული წყლიანობის რეჟიმის მდინარეებისათვის/ენერგია.#1(89), თბილისი, 2019. გვ. 61-70.
2. Многолетные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши., т.VI., Груз.ССР. Л.: Гидрометеоиздат. 1987.
3. <https://sportfishing.ge/forum/index.php?/topic/274-%E1%83%A1%E1%83%90%E1%83%A5%E1%83%90%E1%83%A0%E1%83%97%E1%83%95%E1%83%94%E1%83%9A%E1%83%9D%E1%83%9E%E1%83%9B%E1%83%93%E1%83%98%E1%83%9C%E1%83%90%E1%83%A0%E1%83%94%E1%83%94%E1%83%91%E1%83%98%E1%83%A1-%E1%83%93%E1%83%90-%E1%83%A2%E1%83%91%E1%83%94/>; უკანასკნელად ნანახია 26.05.2021.
4. Гидротехнические сооружения /Г.В. Железняков, Ю.А. Ибад-заде, П.Л. Иванов и др.//Под общ. ред. В.П. Недриги. М.: Стройиздат. 1983. 543 с. (Справочник проектировщика).
5. Справочник по гидравлическим расчетам//Под ред. П. Г. Киселева. Изд. 5-е. М.: Энергия. 1974, 312 с.
6. <http://mygeorgia.ge/#13/41.7300/44.7800>; უკანასკნელად ნანახია 26.05.2021.
7. საქართველოს მთავრობის დადგენილება №425 (2013 წლის 31 დეკემბერი) „საქართველოს ზედაპირული წყლების დაბინძურებისაგან დაცვის ტექნიკური რეგლამენტის დამტკიცების თაობაზე“.
8. საქართველოს მთავრობის დადგენილება №17 (2014 წლის 3 იანვარი) „გარემოსდაცვითი ტექნიკური რეგლამენტების დამტკიცების თაობაზე“.
9. Ресурсы поверхностных вод СССР., Основные гидрологические характеристики. Т.9, Вып. 1. П.: Гидрометеоиздат. 1978.

References

1. Khelidze G., Mardaleishvili M. Assessment of environmental protection water costs for rivers of different water contents regimens. “Energy”, engineering -technical magazine №1(89), Tbilisi 2019 Year., page 61-70.

2. Long-term data on the mode and resources of surface water of the land. Vol. VI, Georgian SSR, L., Gidrometeoizdat, 1987.
3. <https://sportfishing.ge/forum/index.php?topic/274-%E1%83%A1%E1%83%90%E1%83%A5%E1%83%90%E1%83%A0%E1%83%97%E1%83%95%E1%83%94%E1%83%9A%E1%83%9D%E1%83%A1-%E1%83%9B%E1%83%93%E1%83%98%E1%83%9C%E1%83%90%E1%83%A0%E1%83%94%E1%83%94%E1%83%91%E1%83%98%E1%83%A1-%E1%83%93%E1%83%90-%E1%83%A2%E1%83%91%E1%83%94/>; last seen 26.05.2021.
4. Hydraulic engineering structures. /G. V. Zheleznyakov, J. A. Ibad-Zade, P.L. Ivanov and etc.; under general editorship of V. P. Nedriga, M., Stroyizdat, 1983 - p. 543 (Designer reference).
5. Hydraulic Design Manual. Under editorship of P. G. Kiselev, edition 5, M., Energia, 1974, p. 312.
6. <http://mygeorgia.ge/#13/41.7300/44.7800>; last seen 26.05.2021.
7. #425 Decree of the Government of Georgia (13 December, 2013) "on approval of technical regulations for protection of surface water from contamination"
8. #17 Decree of the Government of Georgia (3 January, 2014) "on approval of environmental protection technical regulations"
9. *Surface-water resources* of the USSR. Basic hydrologic characteristics. Vol. 9, Issue 1, P., Gidrometeoizdat. 1978.

პოლიმერული თერმომდგრადი კომპოზიცია ჰიბრიდული ინტეგრალური სქემებისათვის

ნარგიზა ორმოცაძე, აკადემ. დოქტორი, ასოცირებული პროფესორი

აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, ქუთაისი, საქართველო, e-mail: : nargiza40@mail.ru

დენიტა ბიბილეიშვილი, აკად. დოქტორი, პროფესორი საქ. ტექნიკ. უნივერსიტეტი, ქ. თბილისი, საქართველო, e-mail: d.Bibileishvili@gtu.ge

მარიამი მესხიშვილი, სტუდენტი, აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, ქუთაისი, საქართველო, e-mail: meskhishvili.mariami@atsu.edu.ge

ანოტაცია. სამუშაოში განხილულია პოლინაფთოილენბენზიმიდაზოლების საფუძველზე ორშრიანი ტექნოლოგიით ჰიბრიდული ინტეგრალური სქემების შესაქმნელად ფოტოლიტოგრაფიის სრული პროცესის ეტაპობრივად წარმართვა, მაღალი თერმომდგრადობის 500-520 °C ტემპერატურისადმი გამძლე ფენათაშორისო ელექტროსაიზოლაციო თვისებების მქონე რელიეფის მისაღებად. ასევე ჩატარებულია მოლეკულათშორისი ურთიერთქმედებების კვლევა ფიზიკურ-ქიმიური ანალიზის სხვადასხვა მეთოდების გამოყენებით.

საკვანძო სიტყვები: პოლინაფთოილენბენზიმიდაზოლები, ფოტოლიტოგრაფია, მაგნიტური რეზონანსი, ქრომატოგრაფია, ინტეგრალური სქემები.

Polymeric thermoset composition for hybrid integrated circuits

Nargiza Ormotsadze, Associate Professor,

Akaki Tsereteli State University, Kutaisi, Georgia, e-mail: : nargiza40@mail.ru

Denita Bibileishvili Professor,

Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, e-mail: d.bibileishvili@gtu.ge

Mariam Meskhishvili, student.

Akaki Tsereteli State University, Kutaisi, Georgia, e-mail: meskhishvili.mariami@atsu.edu.ge

Summary. The work discusses the step-by-step conduct of the complete process of photolithography for the creation of hybrid integrated circuits based on polynaphthylene benzimidazoles with two-layer technology, in order to obtain relief with high thermal resistance at a temperature resistant to 500-520 °C. The study of intermolecular interactions has also been conducted using various methods of physico-chemical analysis

Keywords: Polynaphthylenebenzimidazoles, photolithography, magnetic resonance, chromatography, integrated circuits

შესავალი. ფოტოლიტოგრაფია ამ ნაშრომში დაფუძნებულია ფოტომგრძობიარე პოლიმერული მასალის - პოლინაფთოილენ-ბენზიმიდაზოლების (პნბი) გამოყენებაზე, რომლებსაც შესწევთ უნარი შევიდნენ სხვადასხვა ქიმიურ თუ ფოტოქიმიურ გარდაქმნებში, ასევე ჩატარებულია მოლეკულათშორისი ურთიერთქმედებების კვლევა ფიზიკურ-ქიმიური ანალიზის სხვადასხვა მეთოდების გამოყენებით და მიღებული შედეგები განხილულია [1-6] შრომებში. ახალი ფუნქციური ჯგუფების შემცველი პოლიმერების სინთეზის მეთოდების დამუშავება და მათი ფიზიკურ-ქიმიური

თვისებების გამოკვლევა და შესაბამისად ახალი მეთოდიკების შემუშავება ისეთი თანამედროვე მეთოდების გამოყენებით, როგორცაა ^{13}C - $\{^1\text{H}\}$ ბირთვულ მაგნიტური რეზონანსის (ბმრ) სპექტროგრაფიის, გაზური ქრომატოგრაფიის, ინფრაწითელი და ულტრაიისფერი სპექტროსკოპიის, ელექტრონულ რასტრული მიკროსკოპიის თერმოგრაფიამეტრიული და სხვა მეთოდები.

სამუშაოს მიზანი. სამუშაოს მიზანს წარმოადგენდა ფოტომგრძობიარე პოლიმერული მასალის -პოლინაფთოილენ-ბენზიმიდაზოლების (პნბი) გამოყენება

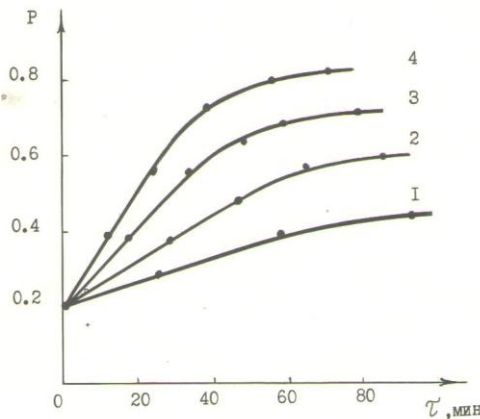
ორშრიანი ტექნოლოგიით ჰიბრიდული ინტეგრალური სქემების შესაქმნელად. ამ კომპოზიციის გამოყენება ფოტოლიტოგრაფიის სრული პროცესის ეტაპობრივი წარმართვით, მაღალი თერმომდგრადობის, გამძლე, ფენათაშორისო ელექტროსაიზოლაციო თვისებების მქონე რელიეფის მისაღებად.

$^{13}\text{C}-\{^1\text{H}\}$ ბმრ სპექტროსკოპიული მეთოდის გამოყენებით შესაძლებელი გახდა არა მარტო პნზი-ს სტრუქტურის შესწავლა, არამედ შემუშავებული მეთოდებისა და სპექტრების ინტეგრალური ინტენსივობების გამოყენებით, მასში შემავალი სხვადასხვა რგოლიანი პოლიმერების რაოდენობრივი განსაზღვრაც თერმული პოლიციკლოკონდენსაციის პროცესის კინეტიკის შესწავლის გზით. რამაც დიდად შეუწყო ხელი პრაქტიკულად ფოტოლიტოგრაფიის პროცესის ოპტიმალურად სწორ პირობებში განხორციელებას. რისი დასტურიც ამ პოლიმერისაგან მიღებული მაღალი თერმომდგრადობის ელექტროსაიზოლაციო აფსკების თვისებებია.

სპექტრებს ვიღებდით 30°C ტემპერატურაზე ბმრ "BRUKER" HX-90, სამუშაო სიხშირე ~ 22.635 მგპ, შიგა ეტალონი CH_2Cl_2 N-მეთილ-2-პიროლიდონში (N-MP) ($d = 54,02$ მ.ნ.); ყველა შემთხვევაში ვიკვლევდით ნივთიერებათა 10%-იან ხსნარებს 96%-იან გოგირდმჟავაში ან N-MP -ში. ამისათვის იზომებოდა ინტეგრალური ინტენსიობა ამ ნივთიერებებისათვის დამახასიათებელი სიგნალებისა და წინასწარ იყო აგებული საკალიბრო მრუდი ინტეგრალური ინტენსივობის დამოკიდებულებისა სპეციალურად მომზადებული მოდელოური ნაერთებისათვის [1], რაც ჩვენი კვლევის ერთ-ერთ უმნიშვნელოვანეს ეტაპს წარმოადგენდა სტრუქტურისა და თერმული პოლიციკლიზაციის კინეტიკის შესწავლა უშუალოდ პოლიმერისაგან მიღებულ აფსკებში იმ მიზნით, რომ გავგვადვილებინა მისი ნაწარმში გადამუშავება- სხვადასხვა დანიშნულების ვიდეო და ციფრული აპარატურის მრავალშრიანი მიკროსქემებისათვის მაღალი საექსპლოატაციო თვისებების მქონე ახალი კლასის საიზოლაციო აფსკების მისაღებად, რაც საკმაოდ გაძნელებული იყო პოლიმერის სხვადასხვა რგოლიანობის გამო. ამისათვის შესწავლილი იქნა ფორპოლიმერის შემადგენლობა და სტრუქტურა, ხოლო მისი მაკრომოლეკულების გარდაქმნის კვლევა

თერმული ზემოქმედების პირობებში წარმოებდა უშუალოდ ფორპოლიმერისაგან მიღებულ აფსკებში $^{13}\text{C}-\{^1\text{H}\}$ ბმრ-ის სპექტროსკოპიით. - ჩვენს მიერ შემუშავებული მეთოდის [1] გამოყენებით, რომელიც სხვადასხვა რგოლიანი აგებულების პოლიმერის მაკრომოლეკულებში არა მარტო თითოეული ტიპის რგოლის იდენტიფიკაციის, არამედ მისი რაოდენობრივად განსაზღვრის საშუალებასაც იძლევა. ხოლო ასეთი სხვადასხვა რგოლიანი აგებულების პოლიმერების თერმული დეჰიდრატაციის პროცესის კინეტიკური კვლევა კი ჩვენს მიერ ჩატარებული იქნა ისეთი მაღალმგრძობიარე მეთოდების გამოყენებით, როგორცაა მაგალითად რეაქციული აირქრომატოგრაფია, იზოთერმული თერმოგრაფიმეტრია და $^{13}\text{C}-\{^1\text{H}\}$ ბმრ სპექტროსკოპია. ფოტოლიტოგრაფიის პროცესში ჩრდილების ამოჭმის (ამოწამლვა) დროის სწორად განსაზღვრისათვის და შესაბამისად სასურველი შედეგების მისაღებად მნიშვნელოვანია მოლეკულაში ნაფთოილენ-ბენზიმიდაზოლური ფრაგმენტების შემცველობისა და მათი იმ ოპტიმალური რაოდენობის ცოდნა, რომლის დროსაც აფსკი საკმარისი სიჩქარით იხსნება გამხსნელში. საჭირო შედეგების მისაღებად მნიშვნელოვანია მაკრომოლეკულაში ნაფთოილენ-ბენზიმიდაზოლური ფრაგმენტების შემცველობის ცოდნა და მათი ოპტიმალური რაოდენობის მოძებნა, რომლის დროსაც პოლიმერული აფსკი გაიხსნება გამხსნელში საკმარისი სიჩქარით. ასეთი შეფასებისათვის გამოყენებული იქნა $^{13}\text{C}-\{^1\text{H}\}$ ბმრ-ის სპექტროსკოპიული მეთოდი (ნახ.1), რომელიც ერთმნიშვნელოვნად იძლევა ნახშირბად კარბონილების სხვადასხვა ტიპის ატომების (0-ამინო)ფენილნაფთალიმიდური და ნაფთოილენ-ბენზიმიდაზოლური ფრაგმენტების იდენტიფიკაციის საშუალებას.

პნზი ის აფსკის ფორმირების პროცესს ვაკვირდებოდით და ვსწავლობდით აგრეთვე ელექტრონულ რასტრული მიკროსკოპული მეთოდის გამოყენებით. ელექტრომიკროსკოპიული მიკროფოტოსურათები მიღებული იქნა სკანირებულ ელექტრონულ მიკროსკოპზე jed-ISM-35 (იაპონია). პოლიმერული ნიმუშებს



ნახ. 1. ნაფთალიმიდური და ნაფთოილენბენზიმიდაზოლური ფრაგმენტების შემცველი ანუ სხვადასხვა რგოლიანი პოლიმერისაგან (ნაფთოილენბენზიმიდაზოლური ფრაგმენტების შემცველობა -0.2) მიღებულ აფსკებში მიმდინარე თერმული შიდამოლეკულური პოლიციკლიზაციის მრუდები. რეაქციის ტემპერატურა: 1-200, 2-220, 3-240 и 4-260 °C (^{13}C - ^1H)ბმრ-ის მონაცემებით)

ვამაგრებდით მიკროსკოპის ობიექტის დამჭერზე ტოლოლოში გახსნილი პოლიბენზოზოლუთილენის წებო ხსნარით. სტატკური ელექტრობის მოსახსნელად ნიმუშის ზედაპირზე ოქროს ფხვნილის დაფრქვევა ხდებოდა. ობიექტების ზედაპირის შესწავლას ვაწარმოებდით 10-დან 25 კვტ-მდე დაჩქარების პოტენციალით.

ფოტორეზისტის ლოკალური დასხივება და ინტეგრალური მაგნიტური სქემის ტოპოლოგიის დიდი სიზუსტით გადატანა ფირფიტის ზედაპირზე ფოტოშაბლონით ხდება და ეს პროცესი სამ ეტაპიანია: 1) ფოტოშაბლონით, ფოტორეზისტის ექსპონირება, ანუ დასხივება; 2) სურათის გამჟღავნება და გამაგრება, ანუ ლოკალურად დამცველი ნიღბის შექმნა და 3) ფირფიტის დაუცველ არეებში მისი ზედაპირის მოწამვლა. ყოველი ამ ეტაპის პროცესში მოქმედი ზოგიერთი ფაქტორი, იწვევს სურათის ელემენტების ზომების ცვლილებას, ხოლო გამჟღავნების და გამაგრების პროცესში შეიძლება მოხდეს თვით ფოტორეზისტის გაბერვა, გაჟღენთა და შესაბამისად სურათის ზომების ცვლილება. ასევე ფირფიტის ზედაპირის მოწამვლისას გამხსნელი შეიძლება შევიდეს ფოტორეზისტის ქვეშ და ასევე გამოიწვიოს სურათის დამახინჯება.

ფოტოლიტოგრაფიის პროცესის ეტაპობრივად წარმართვას ასე ვაწარმოებდით: სილიციუმისაგან დამზადებულ დიელექტრიკული ფუძე შრის ზედაპირს ვასუფთავებდით ქიმიურად და შემდეგ ვახდენდით მის გაცხიმვას ფოტორეზისტის ადგეზისთვის. ჰეტეროციკლიზაციის პირველ საფეხურზე მიღებულ ამინოიმიდური ტიპის პოლიმერს პოლი(0-ამინო)ფენილნაფთალიმიდის ხსნარს N-მეთილ-2-პიროლიდონში, რომლის სიბლანტე ვისკოზიმეტრული მეთოდით ვზომავდით, ვფილტრავდით 1-მკ ფორების მქონე -ფილტრში, და ცენტრიფუგირების მეთოდით დაგვექონდა Si-ის ან Al-ის ფუძემრეზე.

ნაფთალიმიდური და ნაფთოილენბენზიმიდაზოლური ფრაგმენტების შემცველი ანუ სხვადასხვა რგოლიანი პოლიმერის ნიმუშებიდან მიღებული იქნა 1.5 მკმ სისქის აფსკები სილიციუმის ფუძე შრეზე და კონტროლირდებოდა ჩრდილების ამოჭმის დრო. ამოჭმისათვის გამოიყენებოდა ხსნარი შემდეგი შემადგენლობით: პირიდინი - 40 მოცულობითი ნაწილი, დიმეთილსულფოქსიდი - 10 მოც. ნაწილი, ტეტრაეთილ-ამონიუმის ჰიდროქსიდი - 20 მოც. ნაწილი. დადგენილი იქნა 1.5მკმ სისქის აფსკების ამოჭმა; ზემოთ აღნიშნული ხსნარით მიმდინარეობდა 30-45 წმ-ის განმავლობაში, თუ პოლიმერში ნაფთოილენბენზიმიდაზოლური ფრაგმენტების რაოდენობა 25%-ს არ აღემატება, ხოლო თუ ამ ფრაგმენტების რაოდენობა 25%-ს აღემატება, მაშინ აფსკის ამოჭმა 60 წმ-ს აღემატება, ამასთანავე მიმდინარეობს აფსკის აბერვა, ნაწილობრივი აშრევება და რჩება ჩრდილები, რაც იწვევს კონტაქტის დარღვევას ამ ფანჯრებში მეტალის შემდეგი დაფრქვევისას.

ფუძემრეზე დატანილ აფსკს ვაშრობდით, შრობის რეჟიმები: დრო და ტემპერატურა შერჩეული იყო პოლიმერის სარეაქციო ხსნარში ^{13}C - ^1H ბირთვულ მაგნიტური რეზონანსის (ბმრ) სპექტროსკოპიული მეთოდის გამოყენებით განსაზღვრული პოლიმერის სხვადასხვა რგოლიანობით გამოწვეული მოლეკულაში ნაფთალიმიდური და ნაფთოილენბენზიმიდაზოლური ფრაგმენტების შემცველობის გასაზღვრით ჩვენს მიერ შემუშავებული მეთოდის გამოყენებითა და გათვალისწინებით. აფსკის გაშრობის შემდეგ ცენტრიფუგირების მეთოდით დაგვექონდა მასზე 1-1,2 მკმ სისქის ნეგატიური ფოტორეზისტი - რომლის ექსპონირება ხდებოდა საშუალო წნევის

ვერცხლისწყლიანი ნათურით, შაბლონის გამოყენებით. ლიტოგრაფიის პროცესში შაბლონიდან დიდი სიზუსტით ხდებოდა სურათის გადატანა ფირფიტის ზედაპირზე ანუ ხდება რელიეფის ფორმირება. შედეგები მოცემულია ცხრილში.

ცხრილი

ნაფთალმიდური ფრაგმენტების შემცველობა % მასის	ჰნბი-ის ფრაგმენტების შემცველობა % მასის	შრობის ტემპერატურა °C დრო წთ	თერმომოლეკულაციის ტემპერატურა °C დრო წთ	ამოქმედის დრო, წმ	ხილვის არსებობა	ფორმების რაოდენობა 1სმ²
95	5	95/15	350/30	30	არ არის	10
92	8	95/15	350/30	32	არ არის	5-7
90	10	95/15	350/30	35	არ არის	2,5-3
85	15	95/15	350/30	40	არ არის	2,5-3
80	20	95/15	350/30	40	არ არის	2-2,5
75	25	95/15	350/30	45	არ არის	2
70	30	95/15	350/30	60	სუსტი	2
50	50	95/15	350/30	180	ძლიერი	1-2
25	25	95/15	350/30	პრაქტიკულად ამოქმედა არ ხდება		1-2

ჰნბი-ის საფუძველზე ორშრიანი ტექნოლოგიით ჰიბრიდული ინტეგრალური სქემების შესაქმნელად ფოტოლიტოგრაფიის პროცესის ეტაპობრივად წარმართვის პარალელურად მიმდინარეობდა მიღებული აფსკების ფიზიკო-ქიმიური თვისებების შესწავლა, მაღალი თერმომდგრადობის 500-520 °C ტემპერატურისადმი გამძლე ფენათაშორისო საიზოლაციო თვისებების მქონე რელიეფის მისაღებად.

დასკვნები

1. დასაბუთებულია, რომ ჰნბი-ის საფუძველზე ორშრიანი ტექნოლოგიით შესაძლებელია ჰიბრიდული ინტეგრალური სქემებისათვის ფენათაშორისო ელექტრო-საიზოლაციო მასალის მიღება.
2. ფოტოლიტოგრაფიის პროცესის ეტაპობრივად (ორ ეტაპად) წარმართვით მიიღება მაღალი თერმომდგრადობის 500-520 °C ემპერატურისადმი

გამძლე ფენათაშორისო ელექტროსაიზოლაციო თვისებების მქონე რელიეფი.

ლიტერატურა

1. Коршак В.В ., Берестнева Г Л., Петровский П.В., Ормоцадзе Н.Ш., Русанов А,И, Берлин А.М., Адирхаева Ф.И., Исспедование постадийного синтеза полонифтоиленбензимидазолов, Высокомолекулярные Соединения. т.23. №8. 1981, 1730-1735.
2. ორმოცაძე ნ., ბიბილეიშვილი დ, ლომია ჰ., ფილია რ., ჭედიია ვ. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია „ენერგეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“ პოლინაფთოილენბენზიმიდაზოლების ფორპოლიმერის საფუძველზე აფსკების მიღება და კვლევა. ქუთაისი. 2010. გვ. 126-129.
3. ორმოცაძე ნ., ბიბილეიშვილი დ. მაღალმოლეკულური ნაერთების ექსპერტიზა ¹³C-¹H ბირთვულ მაგნიტური რეზონანსის გამოყენებით, საქართველოს საინჟინრო სიახლენი, No. 2 (vol.86), 2018, გვ.68-70.
4. ბიბილეიშვილი დ., ორმოცაძე ნ. მაღალმოლეკულური ნაერთების კვლევა ფიზიკურ ქიმიური ანალიზის მეთოდების გამოყენებით, აკადემიკოს გივი ცინცაძის დაბადებიდან 85 წლისადმი მიძღვნილი საერთაშორისო სამეცნიერო -მეთოდური კონფერენცია „ქიმია მიღწევები და პერსპექტივები“, თბილისი, 19-20 ოქტომბერი, 2018, გვ.44-46.
5. Ormotsadze N., Meskhishvili M., Bibileishvili D. Preparation of insulting films of niu class on the basis of polynaphtoilenbenzimidazoles 8th Internanational Conference “biomaterials and nanobiomaterials: Recent Advances Safety-Toxicology and ecology Isssues”, Including Russian –Hellenic Workshop and School of Young Scientists, , AGAPI BEACH, HERAKLION, CRETE - GREECE www bionanotox. 2017, 07-14 May, P 24.
6. ორმოცაძე ნ., მესხიშვილი მ., ბიბილეიშვილი დ. პოლინაფთოილენბენზიმიდაზოლების ფორპოლიმერის იზოთერმული თერმო-გრავიმეტრიული პროცესის კვლევა ღრმა ვაკუუმში, საქართველოს საინჟინრო სიახლენი. საქართველოს საინჟინრო აკადემია, თბილისი, N2, vol. 91, 2020, გვ.79-83.

References (transliterated)

1. Korshak V.V., Berestneva G.L., Petrovskyy P.V., Ormotsadze N.Sh., Rusanov A. L., Berlin A.M., Adirkhaeva F.I., Study of the stepwise synthesis of polonaphthoylenebenzimidazoles, Polymer Science v. 23, No. 8, 1981, pp. 1730-1735.
2. Ormotsadze N., Bibileishvili D., Lomia H., Filia R., Chedia V. International Scientific Conference "Energy: Regional Problems and Development Perspectives" Preparation and study of films based on prepolymers of polynaphthoylenebenzimidazoles, Kutaisi 2010 pp. 126-129.
3. Ormotsadze N., Bibileishvili D. Examination of high molecular weight compounds using ^{13}C - $\{^1\text{H}\}$ nuclear magnetic resonance, Georgian Engineering News, N2, vol. 86, 2018, pp. 68-70.
4. Ormotsadze N., Meskhishvili M., Bibileishvili D. Study of High Molecular Compounds Using Physical Chemical Analysis Methods, International Scientific-Methodological Conference "Chemistry Achievements and Perspectives" Dedicated to the 85th Birthday of Academician Givi Tsintsadze, Tbilisi, October 19-20, 2018, pp.44-46.
5. Ormotsadze N., Meskhishvili M., Bibileishvili D. Preparation of insulting films of niu class on the basis of polynaphthoilenbenzimidazoles, 8th International Conference "biomaterials and nanobiomaterials: Recent Advances Safety-Toxicology and ecology Issues", Including Russian –Hellenic Workshop and School of Young Scientists, AGAPI BEACH, HERAKLION, CRETE - GREECE www.bionanotox. 2017, 07-14 May, P 24.
6. Ormotsadze N., Meskhishvili M., Bibileishvili D. Research of isothermal thermogravimetric process of the prerolymer of polynaphthoylenebenzimidazoles in high vacuum, Georgian Engineering News, N2, , vol. 91, 2020, pp. 79-83.

ვიწროლიანდაგიანი „ბორჯომ-ბაკურიანის“ მატარებლის ელმავლის ენერგოეფექტური ელექტროკვების და საინფორმაციო დანიშნულების ელექტრონული კომპონენტების დამუშავება და ინსტალაცია

გიორგი ხურცილავა, დოქტორანტი

საქ. ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი, საქართველო, e-mail: gialo2407@yahoo.com

შოთა ხურცილავა, ინჟინერი

ს/ს „საქართველოს რკინიგზა“, თბილისი, საქართველო, e-mail: shota070@yahoo.com

ომარ კიგურაძე, ტ.მ.დ. პროფესორი

საქ. ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი, საქართველო, e-mail: kiguradzeomar@gmail.com

ანოტაცია. ჩატარებულია ვიწროლიანდაგიანი „ბორჯომ-ბაკურიანი“-ს მატარებლის ელმავლის ელექტროკვებისა და საინფორმაციო დანიშნულების ელექტრონული კომპონენტების დამუშავება, მოდერნიზაცია და ინსტალაცია.

მოდრობის უსაფრთხოების მიზნით განხორციელებულია ვიდეო თვალთვალის 4 არხიანი სისტემა.

I, II, III და IV არხი ემსახურება ელმავლის „წინა“ და „უკანა“ უბნების ხედვას და ელმავალზე მიბმული ვაგონების „მარცხენა“ და „მარჯვენა“ უბნის ხედვას შესაბამისად.

შესრულებულია წვევის ძრავების მოდერნიზაციის სამუშაოები.

მოდერნიზაციის შედეგად ელექტროენერგიის წლიურმა დანაზოგმა შეადგინა 270690 კვტ.სთ/წ, ანუ 49,2%.

საკვანძო სიტყვები: ვიწროლიანდაგიანი მატარებელი. ელმავალი. მართვა. მოდერნიზაცია.

Development and installation of “Borjom-Bakuriani” narrow-gauge locomotive power supply and electronic components for information purposes

Giorgi Khurtsilava, doctoral student

Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, e-mail: gialo2407@yahoo.com

Shota Khurtsilava, Engineer

„Georgian railway“ , Tbilisi, Georgia, e-mail: shota070@yahoo.com

Omar Kighuradze Doctor of Science. Professor

Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, e-mail: kiguradzeomar@gmail.com

Annotation. Implementation of events have been carried out at Borjomi-Bakuriani ‘Narrow Standard Railway’ such as:

Modernization and installation of locomotive power source and electronic components providing information transfer.

Modernization of traction systems and loops. Based on improvement of safe movement of train is installed four channel video surveillance system providing front and back view of Locomotive and left and right view of wagons.

As a result of modernization, the annual electricity savings amounted to 270,690 kWh, or 49.2%.

Keywords: Narrow-gauge train. Locomotive. Management. Modernization.

შესავალი

„ბორჯომ-ბაკურიანის“ ვიწროლიანდაგიანი მა-ტაბელი რამდენიმე ათეული წლის განმავლობაში ემსახურება მგზავრების გადაყვანას ბორჯომიდან საკურორტო ზონაში (ცემი, ლივანი, წაღვერი, ბაკურიანი) ადრეულ წლებში ჯერ ორთქლმავლის, ხოლო შემდეგ წლებში ჩეხური წარმოების ელმავლის გამოყენებით (სურ.1,2).



სურ. 1. ელმავლის ტექნიკური მახასიათებლები

1966 წლის ელმავლის მოდელი (სურ.2) როგორც წვევის აგრეგატების, ასევე მართვის და მოძრაობის უსაფრთხოების სისტემებით მოძველებულია და ხასიათდება ელექტროენერჯის დიდი მოხმარებით.(დღეში ორი რეისის განხორციელების შემთხვევაში წელიწადში მოხმარებული ელექტ-როენერჯია 550 მგვტ.სთ-ს შეადგენს).



სურ. 2. ვიწროლიანდაგიანი მატარებლის ელმავალი მოდერნიზაციამდე

ელექტრომატარებლის და ელმავლის მოდერნიზაცია

ვიწროლიანდაგიანი მატარებლის ელმავლის ელექტროკვების და საინფორმაციო დანიშნულების ელექტრონული კომპონენტების დამუშავება და ინსტალაცია განხორციელდა ვიწროლიანდაგიანი "ბორჯომ-ბაკურიანი"-ს მატარებლის ელმავლის სიჩქარის, დენის ძალის და ძაბვის შემდეგი ძირითადი საწყისი მონაცემების მიხედვით: კვების ძაბვის სიდიდე- მუდმივი ... 5 ვ; სიჩქარის ცვლილების დიაპაზონი..0 -30კმ/სთ;



სურ. 3. ელმავალი მოდერნიზაციის შემდეგ [2,3]



სურ. 4. მართვის პულტი მოდერნიზაციის შემდეგ [2,3]

ძაბვის ცვლილების დიაპაზონი ... 0-200 ვ; დენის ძალის ცვლილების დიაპაზონი ... 0-30 ა; გადამწოდებიდან მიღებული ანალოგური სიგნალის მაქსიმალური დასაშვები მნიშვნელობა 3 ვ.

ანათვლების აღება განხორციელდა სიჩქარის, ძაბვის, დენის ძალის შესაბამისი ანალოგური სიგნალებიდან 1 მლნ. წმ-ში ერთხელ.

დამუშავდა შესაბამისი პროგრამული უზრუნველყოფა, ჩაწერილი და დამახსოვრებული სიგნალებიდან, შემდეგ ინფორმაციების მიღებისთვის:

კოორდინატის, სიჩქარის, მოხმარებული დენის და ქსელის ძაბვის დროზე დამოკიდებულებების შესახებ.

განისაზღვრა იგივე სიდიეების დამოკიდებულება კოორდინატის მიხედვით; აღნიშნულის საშუალებას იძლევა შექმნილი იმიტატორი, სადაც ხელოვნურად შეიყვანება დენის ძალის, ძაბვის და სიჩქარის შესაბამისი სიგნალები.

მოძრაობის უსაფრთხოების მიზნით განხორციელებულია ვიდეო თვალთვალის ოთხ არხიანი სისტემა. კვების ძაბვის ნომინალური მნიშვნელობა შეადგენს AC220V ან DC12V. ვიდეოთვალთვალის არხების ფუნქციონალური დანიშნულებაა:

I, II, III და IV არხი ემსახურება ელმავლის „წინა“ და „უკანა“ უბნების ხედვას და ელმავალზე მიბმული ვაგონების „მარცხენა“ და „მარჯვენა“ უბნის ხედვას შესაბამისად.

ვიდეოთვალთვალის სისტემა განხორციელებულია სერიული წარმოების ბლოკური შესრულებით რომლის ძირითადი ბლოკი განთავსებულია მემანქანის კაბინაში, ხოლო ვიდეო კამერები სპეციალურად გამოყოფილ ადგილებში ელმავლის: „წინ“, „უკან“, „მარჯვნივ“, „მარცხნივ“; ვიდეოთვალთვალის სისტემა უზრუნველყოფს, მონიტორის ეკრანზე ყველა უბნის შესაბამისი გამოსახულებების ხარისხიან ჩვენ-

ბას, გააჩნია ერთი ან რამდენიმე გამოსახულებების ჩვენების შესაძლებლობები.

ვიდეოთვალთვალის სისტემა ითვალისწინებს მიღებული ინფორმაციის დამახორებას ერთი რეისის შესაბამისი დროის ფარგლებში (5სთ).

ელმავალი აღჭურვილია ანალოგური და ციფრული სიგნალების კონტროლის ინდიკაციის და მახორების მოწყობილობებით, რომელთა ფუნქციონალური დანიშნულებაა: ელმავლის ყველა სიგნალის დონის კონტროლი და შესაბამისი ინფორმაციის გამოტანა მონიტორის ეკრანზე რომლის სტრუქტურაში შედის მინიკომპიუტერი, სიგნალების მიმღები და პროცესორის პლატა.

კონტროლს ექვემდებარება შემდეგი სიგნალები:

ქსელის ძაბვა; საერთო მოხმარებული შესასვლელი დენი; წვეის ძრავების დენები, ურიკა-1 და ურიკა-2; დამხმარე მანქანების დენები სულ 5 ერთეული; გათბობის სისტემის დენები- ელმავლის კაბინის გათბობა და ვაგონების გათბობა; საერთო გამოსასვლელი დენი; ურიკების წვეის ძრავებიდან მიღებული ინფორმაცია, ძაბვის შესახებ, მოცურების შეფასებისთვის - ორი ერთეული. დამხმარე მანქანებისა და გათბობის სისტემის კონტაქტორებზე მიწოდებული დაბალი ძაბვის (48V) კონტროლი - სულ 7 ერთეული;

მონიტორის ეკრანზე გამოტანილია შემდეგი ინფორმაცია [1]:

„ელმავლის ურიკა -1 და ურიკა -2-ის წვეის ძრავების დენები“, ასევე რეჟიმები „წვეის რეჟიმი“ და „დამუხრუჭების რეჟიმი“; სიგნალი- დამხმარე მანქანები და გათბობის კონტაქტორები „ჩართულია და არის ნორმალური მდგომარეობა“; რომელიმე დამხმარე მანქანა „გამორთო ავარიულად და აღინიშნება გამორთვის მიზეზი „გადატვირთვა“; „მოკლე მითითებანი ავარიული რეჟიმის შესახებ და მოძრაობის გაგრძელების რეკომენდაციებზე“. საჭიროების შემთხვევაში „თითოეული მართვის და კონტროლის პლატების სქემები“, მოკლე „საექსპლუატაციო ინსტრუქციები“, „მალური სქემები წვეისა და დამუხრუჭების რეჟიმებისთვის“ და სხვა. მთავარი ავარიული სიგნალის „Stop-ს“ ჩვენება განსაკუთრებულ შემთხვევებში:- „მაღალი ძაბვა მეტია დასაშვებ მნიშვნელობაზე ($U > U_{max}$)“; - „მაღალი ძაბვა ნაკლებია მის დასაშვებ მინიმალურ მნიშვნელობაზე ($U < U_{min}$)“; - მოხდა დენური გადატვირთვა; - აღიძვრა მოცურების

რეჟიმი“; - „საერთო შესასვლელი დენი განსხვავდება საერთო გამოსასვლელი დენისგან“, „იმოქმედა დიფერენციალურმა დაცვამ“;- მოხდა დენური გადატვირთვა წვეის ძრავების წრედებში, რაც თავის მხრივ გამოიწვევს საერთო დენურ გადატვირთვას (სურ. 4).

ელმავლის მართვის პანელი მანიპულატორთან ერთად შეიცავს შემდეგ მოწყობილობებს:

- მთავარი ჩამრთველი ღილაკი, გასაღებით; ჯოისტიკი (მანიპულატორი) სტანდარტული ტიპი Sj 100; რევერსორის მართვის ღილაკი სამპოზიციანი „0“, „წინ“, „უკან“;
- საყვირისა და სატენის მართვის ღილაკები ორი ცალი;
- სიფხიზლის ღილაკი და ავარიული გაჩერების ღილაკი;
- სიგნალების შემკრები პლატა, სათანადო გასართებით მართვის სისტემაში ჩასართველად და ადგილობრივი კონტროლისთვის.

მართვის პანელის მექანიკური და ელექტრული პარამეტრები:

- მართვის პანელის ზომები 200x500 მმ;
- ჯოისტიკის პარამეტრები:
 - მუშაობის ტემპერატურული დიაპაზონი (- 25 + 180°C);
 - დაცვის ხარისხი IP 65 ; -დასაშვები ვიბრაციის დონე 3 ჰგ; - მოზრუნების კუთხე 120 გრად. ;
 - მუშაობის რესურსი 5 000 000 ციკლი ;
 - კვების ძაბვა DC 24V ;
 - მოხმარებული დენი არაუმეტეს 20 მა; - გამოსასვლელი ძაბვა DC10 ვ;
- მართვის ღილაკების დასაშვები დენი არანაკლები 10 A;

ელმავლის მართვისთვის გათვალისწინებულია ორი მართვის პულტი.

მართვის პულტის დანიშნულებაა:

- ყველა სახის საკომუნიკაციო მოწყობილობების მართვა, როგორც დამხმარე ისე ძირითადი ელ.მოწყობილობებისთვის;
- მინის მწმენდავების მართვა ორივე მხრისთვის;
- განათების ფარების მართვა ორივე მხარისთვის;
- პროექტორების მართვა;
- განათების ფარების მართვა: კაბინაში, პულტის შიგნით, ურიკებთან ქვემოთ, სასიგნალო დანიშნულებით(წითელი შუქები);
- დამხმარე მანქანების მართვა : ვენტოლატორი 2ც , კომპრესორი 2ც , დინამო 1ც , კაბინის გათბობა , ვაგონების გათბობა . ჩამოთვლილ მოწყობილობებს ემსახურება ცალკეული

კონტაქტორები (სულ7ც), რომელთა კოჭის წრედებშიც ჩართულია მართვის დილაკები

- სწრაფმომქმედი ამომრთველი;
- პანტოგრაფის საწყისი აწვეისთვის მიკროკომპრესორების მართვა;
- ქვიშის მიწოდების მართვა სავალ რელსზე მოცურების დროს ;
- რაც შეეხება სხვა მოწყობილობებს , მათი მართვა განხორციელებულია მართვის პანელებიდან (ხაზური კონტაქტორი ,რევერსორი, დამუხრუჭების კონტაქტ-ორი).

• ყველა სახის სიგნალიზაცია შუქდიოდით-ანი ნათურებით, ასევე მონიტორის ეკრანზე წვეის წრედების დენების ინდიკაცია ურიკა-1 და ურიკა-2 ორივე რეჟიმში (წვეა,დამუხრუჭება);

• მართვის პულტი განთავსებულია დახრილად მემანქანის მაგიდაზე, ისე , რომ , მემანქანის მიერ თითოეული მართვის კლავიშის წვდომა არის ადვილად შესაძლებელი, ასევე კარგად ჩანს სასიგნალო ნათურები. პულტი აღჭურვილია სიგნალიზაციის ელექტრონული პლატებით ჩამრთველ- ამომრთველების კლავიშებიანი სისტემით, სათანადო წარწერებით, არის ადვილად მოხსნადი და სისტემასთან დაკავშირებული სათანადო გასართებით.

ელმავლის მართვის სისტემაში ჩართულია ელექტრონული პლატები რომელთა ფუნქციონალური დანიშნულება შემდეგია:

პლატა-1 „ ძირითადი კვანძები, "დაცვის სისტემები და სენსორები“ მისი ფუნქციონალური დანიშნულებაა: ქსელი ძაბვის , შესასვლელი და გამოსასვლელი დენების კონტროლი, სიჩქარის კონტროლი, ურიკების დენების კონტროლი და ამ სიგნალების მიხედვით „Stopსა“ სიგნალის გამომუშავება ავარიულ სიტუაციებში , რომელიც თავის მხრივ მოიცავს რეჟიმებს :

- ქსელის ძაბვა მეტია მის დასაშვებ მნიშვნელობაზე ;
- ქსელის ძაბვა ნაკლებია მის დასაშვებ მნიშვნელობაზე ;
- შესასვლელი დენი მეტია მის დასაშვებ მნიშვნელობაზე ;
- შესასვლელი და გამოსასვლელი დენები ერთმანეთისგან განსხვავებულია (დიფერენციალური დაცვა);
- ურიკის დენები მეტია მათ დასაშვებ მნიშვნელობაზე : (წვეის წრედების დენური დაცვა);

• „Stop სა“ ნიშნავს სწრაფმომქმედი ამომრთველის ამორთვას ზემოთ ჩამოთვ-ლილი ავარიული რეჟიმების წარმოშობის დროს.

პლატა-2 „დამხმარე მანქანების მართვისა და კონტროლის პლატა“ ამ პლატის დანიშ-ნულებაა დამხმარე მანქანების (ვენტილა-ტორების, კომპრესორების, დინამომანქანის, გათ-ბობის სისტემის) ჩართვა-გამორთვა და მათი კონტროლი მუშაობის პროცესში. კონტროლი ნიშნავს მათ მიერ მოხმარებული დენის გაზომვას და საჭიროების შემთხვევაში მათ ამორთვას მაღალი ძაბვის ქსელიდან სათანადო მიზეზის დაფიქსირებით.

პლატა-3 „დიაგნოსტიკის პლატა“, რომლის დანიშნულებაა ყველა სიგნალის დონის გაზომვა, მათი შედარება სასურველ ეტალონურ მნიშვნელობასთან და შესაბამისად საჭიროების შემთხვევაში ამორთვის სიგნალების ფორმირება. ამ პლატას სიგნალები მიეწოდებათ სათანადო სენსორებიდან, (სენსორების რაოდენობა 15), და მისი დანიშნულებაც არის დიაგნოსტიკის (შეფ-სების) სიგნალების ფორმირება და დამახსოვრება ხანგრძლივად, რაც საბოლოოდ აისახება მონი-ტორის ეკრანზე .

პლატა-4 „წვეისა და დამუხრუჭების რეჟიმების მართვის პლატა“ .მისი დანიშნულებაა:

• წვეის რეჟიმში აწარმოოს წვეის ძრავების დენის სტაბილიზაცია ჯოისტიკიდან მიღებ-ული შეკვეთის სიგნალის მიხედვით;

• ასევე შეასრულოს დენის შეზღუდვის ფუნქციაც, რაც იმას გულისხმობს, რომ ჯოი-სიკის სახელურის გადაწევით მაქსიმალურად მივიღებთ წვეის ძრავების დასაშვებ დენის მაქსიმალურ მნიშვნელობას ;

• მოძრაობის პროცესში მემანქანეს შეუძლია არეგულიროს წვეის დენი 0-დან მის მაქსიმალურ მნიშვნელობამდე ;

• მემანქანეს აქვს შესაძლებლობა ამორთოს წვეის ძრავები ქსელიდან ან ჩართოს და მდოვრედ გაზარდოს წვეის ძრავების დენი სასურველ მნიშვნელობამდე;

იგივე პლატა დადმართზე ჩამოსვლისას უზრუნველჰყოფს დამუხრუჭების რეჟიმის აღძვრას და მის რეგულირებას სასურველი კანონით კერძოდ:

• რელიეფის მიხედვით მემანქანეს შეუძლია დააყენოს სამუხრუჭე რეჟიმის შესაბამისი დენი ,რომელიც რეგულირდება ჯოისტიკის სახელუ-რის მოძრაობით.

ორივე შემთხვევაში ელექტრონული პლატა განახორციელებს ე.წ. განივ - იმპულსურ მოდულაციას 400 ჰც სიხშირით.

პლატა-5 „აკუმლატორების ბატარეის ავტომატური დამუხტვის პლატა“. მისი ფუნქციონალური დანიშნულებაა აკონტროლოს აკუმულატორის ბატარეის დამუხტვის დენი და ძაბვა, აწარმოოს ელმავლის ოპერატიული ძაბვის სტაბილიზაცია მოძრაობის მთელ დიაპაზონში მიუხედავად იმისა, თუ როგორი დატვირთვა ექნება ოპერატორულ ქსელს და რა სიდიდით იქნება გენერატორის (დინამოს) პირველადი ძრავის კვების ძაბვა, იგულისხმება რომ კვების ძაბვის სიდიდე დასაშვებ დიაპაზონზე (1200-1800). პლატა-5 ჩართულია გენერატორის აგზნების გრაგნილის წრედებში და ავტომატურად არეგულირებს მის დენს ისე, რომ აუმულატორის ბატარეის ძაბვის სტაბილიზაცია მოხდეს წინასწარი შეკვეთის მიხედვით, რაც თავის მხრივ განისაზღვრება აკუმულატორის ბატარეის ტიპის და მონაცემების მიხედვით.

ჩატარებულია შემდეგი ტიპის სამუშაოები [2,3]:

- დაამუშავებულია თითოეული ტიპის ელექტრონული პლატის პრინციპული და ნაბეჭდი სქემები;
- გაანგარიშებულია და შეირჩეულია თითოეული კომპონენტის პარამეტრები;
- დაამზადებულია ნაბეჭდი სქემების მიხედვით პლატები;
- ჩატარებულია სამონტაჟო და გამართვა-გაწყობის სამუშაოები ელმავალზე, მართვის პულტის შიგნით გამოყოფილ ადგილზე;

კვების ბლოკების სისტემა (5 კვების პლოკი) შეიცავს სერიული წარმოების კვების ბლოკებს. უწყვეტი მოქმედების კვების ბლოკები UPS-1 და UPS-2 მათი დანიშნულებაა, ელმავლის ოპერაციული ძაბვის ხარჯაზე მივიღოთ AC220V ძაბვა სხვადასხვა მოწყობილობების კვებისთვის.

UPS-1 განკუთვნილია ელმავლის საკუთარი მოხმარების წრედების კვებისთვის. მასზე მიერთებულია კბ-1 და კბ-2 კვების ბლოკები AC/DC ტიპის, რომლებიც გვაძლევს 12V მუდმივ ძაბვას არანაკლებ 30A დენს და განკუთვნილია:

- კბ-1 კვებავს ყველა სახის განათების მოწყობილობებს და შეიცავს იგივე პარამეტრების გარდამქმნელის AC220/DC12 დენი არანაკლებ 30A.

UPS-2 განკუთვნილია ყველა სახის ელექტრო-ნული მოწყობილობების კვებისთვის და შეიცავს კბ-3, კბ-4 და კბ-5 კვების ბლოკებს.

- კბ-3 კვების ბლოკი AC220/DC24 დენი არანაკლებ 5A განკუთვნილია ჯოისტიკების კვებისთვის.

- კბ-4, სტანდარტული კვების ბლოკი AC220/DC 12, +5 გამოყენებულია ელექტრო-ნული პლატების კვებისთვის, კვების ბლოკი ტოპია ATX... და იგი წარმოადგენს სტანდარტულ სერიული წარმოების ბლოკს კომპიუტერული სისტემისთვის.

- კბ-5 AC220v/DC12V დენი არანაკლებ 12A ემსახურება ძალოვანი ტრანზისტორების დრაივერების კვებას.

კვების ბლოკების სისტემა განლაგებულია მართვის პულტის შიგნით, ელექტრონული პლატების გასწვრივ. რაც შეეხება კბ-5 ბლოკს იგი განთავსებულია დრაივერებთან ახლოს ძალური მოდულის კომპლექტში.

დამხმარე მანქანების ძალური პანელი

ეს პანელი შეიცავს 7 კონტაქტორს:

- ვენტილატორი -1 -ის კონტაქტორი;
- ვენტილატორი-2-ის კონტაქტორი;
- კომპრესორი-1-ის კონტაქტორი;
- კომპრესორი -2-ის კონტაქტორი;
- დინამოს კონტაქტორი;
- კაბინის გათბობის კონტაქტორი;
- ვაგონების გათბობის კონტაქტორი.

თითოეული კონტაქტორის ძალურ წრედში ჩართულია დენის ტრანსფორმატორი და ძალური წრედებში 1500V ძაბვას ღებულობს დნობადი მაღალი ძაბვის მცველების გავლით.

ძალური პანელების შედგენილობაში შედის ასევე რეზისტორების პანელები :

- დემფერის რეზისტორების პანელი, რომელიც შეიცავს 20ც ძალურ რეზისტორს 120 ომი 200ვტ, ყველა რეზისტორი ჩართულია პარალელურად და მიიღება 6 ომი 4000ვტ პარამეტრების მქონე რეზისტორი.

- მოცურების საწინააღმდეგო კვანძის რეზისტორების პანელი, რომელიც შეიცავს ორ ძაბვის გადამწოდს და 4ცალ რეზისტორს. რეზისტორებითა და ძალოვანი ძრავებით უნდა შეიქმნას ბოგირული სქემა რომლის ერთ-ერთ მხარში ჩართულია ძაბვის გადამწოდი. ორივე ურიკისთვის აღნიშნული სქემები იდენტურია. მოცურების შემთხვევაში ერთ-ერთი ძრავაზე მოსული ძაბვა 0-ის ტოლია ირღვევა ბოგირის

წონასწორული მდგომარეობა რის გამოც ძაბვის გადამწოდი გვადმწოდებს სიგნალს.

- ფილტრის კონდენსატორის საწყისი დამუხტვის რეზისტორების პანელი, რომელიც შეიცავს 6 ცალ 200ვტ-იან რეზისტორს, რომლებიც ჩართულნი არიან პარალელურად. სწრაფმომქმედი ამომრთველის აღდგენისთანავე ფილტრის კონდენსატორი იწყებს დამუხტვას და ბაზური კონტაქტორის ჩართვისას დამუხტულია სრულყოფილად. ეს იცავს მის კონტაქტებს დაზიანებისგან.

- რეზისტორების პანელი ფილტრის კონდენსატორის პარალელურად 2ც 20 ომი 200 ვტ, მისი დანიშნულებაა განმუხტოს ფილტრის კონდენსატორი ძალოვანი წრედის გამორთვის შემდეგ. რეზისტორების პანელები შედის გადამწოდებისა და ძალური პანელების მნიშვნელობაში.

გადამწოდების სისტემა მოიცავს ყველა სენსორს (15 ცალი) და იმ პანელებს, რომლებზეც განლაგებულია აღნიშნული სენსორები:

- დენის გადამწოდები დამხმარე მანქანების წრედებისთვის, გამოყენებულია 7 ცალი 50 ამპერიანი დენის გადამწოდი; ძაბვის გადამწოდები მოცურების საწინააღმდეგო სისტემისთვის 2 ცალი ქსელის ძაბვის კონტროლი 1 ც სულ 4 ც. ტიპი LV100-4000/SP6;

- დენის გადამწოდები ძალოვანი წრედებისთვის: შესასვლელი დენის სენსორი (200 ამპერიანი მაღალი ძაბვის), გამოსასვლელი დენის სენსორი, იგივე 1 ც, ურიკის დენებისთვის იგივე ტიპის 2 ც სულ 4 ც.

დასკვნა. განხილულია ელექტრომატარებლის და ელმავლის მართვის ტრადიციული მეთოდი და დასაბუთებულია და განხორციელებულია წევრზე დახარჯული ელექტროენერჯის ეკონომიის მიზნით, გარდა-მავალ პერიოდში, წევის ამპრავის მოდე-რნიზაციის მიზანშეწონილობა ელექტრონიკის თანამედროვე მიღწევების გამოყენებით.

ლიტერატურა

1. Розенфельд В.Е. и др. „Теория электрической тяги“ М. Транспорт 1983.
2. Кereselidze A.E. и др. „Электронные промышленные устройства. Тбилиси:Ганатлеба 1990.
3. Семенов Б.Ю „Силовая электроника“ . Солон-Р М. 2001.

Referens (transliter)

1. Rosenfeld V.E. et al. "Theory of Electric Traction" M.:Transport. 1983.
2. Kereselidze A.E. et al. "Electronic products mouse devices "Ganatileba, Tbilisi. 1990.
3. Semenov B.Yu "Power electronics" Solon-R M.2001.

მეტროპოლიტენის მატარებლების საკონტაქტო რელსის მოდერნიზაცია

გიორგი ხურცილავა, დოქტორანტი

საქ. ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი, საქართველო, e-mail: gialo2407@yahoo.com

შოთა ხურცილავა, ინჟინერი

ს/ს „საქართველოს რკინიგზა“, თბილისი, საქართველო, e-mail: shota070@yahoo.com

ომარ კიგურაძე, ტ.მ.დ. პროფესორი

საქ. ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი, საქართველო, e-mail: kiguradzeomar@gmail.com

ანოტაცია. თბილისის მეტროპოლიტენი ელექტროენერჯის ერთ-ერთი მსხვილი მომხმარებელია -15 მგვტ (დადგმული სიმძლავრით დაახლოებით 140 მეგავატი). შესაბამისად აქტუალურია ენერჯის დამზოგავი ღონისძიებების გატარება, რომელიც იმავდროულად შეამცირებს გარემოში ნახშირორჟანგის ემისიას და აამაღლებს მოძრაობის უსართხოებას.

განხილულია ენერჯის დაზოგვის ერთ-ერთი ღონისძიება-მეტროპოლიტენის მატარებლების საკონტაქტო რელსის მოდერნიზაციის საკითხი: არსებული ფოლადის საკონტაქტო რელსის შეცვლა თანამედროვე REHAU-ს ბიმეტალური საკონტაქტო რელსით.

ბიმეტალურ რელსის ხვედრითი ელექტროწინაღობა დაახლოებით 2,8 -ჯერ ნაკლებია ფოლადის რელსთან შედარებით, რაც გამოიწვევს მეტროპოლიტენის მასშტაბით ელექტროენერჯის წლიური მოხმარების შემცირებას 49775634კვტ.სთ/წ- ით და ინვესტიციის გათვალისწინებით მარტივი უკუგება ტოლი იქნება 3,3 წელი.

საკვანძო სიტყვები: მიწისქვეშა ელექტროტრანსპორტი, მატარებელი, მესამე რელსი, მოდერნიზაცია, საკონტაქტო რელსი, ბიმეტალური რელსი.

Modernization of metro train contact rails

Giorgi Khurtsilava, doctoral student

Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, e-mail: gialo2407@yahoo.com

Shota Khurtsilava, Engineer

„Georgian railway“, Tbilisi, Georgia, e-mail: shota070@yahoo.com

Omar Kighuradze Doctor of Science. Professor

Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, e-mail: kiguradzeomar@gmail.com

Annotation. Tbilisi Metro is one of the largest consumers of electricity - 15 MW (with an installed capacity of about 140 MW). Therefore, it is important to take energy-saving measures, which at the same time will reduce the emission of carbon dioxide in the environment and increase the safety of traffic. One of the energy saving measures is discussed - the issue of modernization of the contact rail of metro trains: Replacement of existing steel contact rail with modern REHAU bimetallic contact rail. The specific electrical resistance of a bimetallic rail is about 2.8 times less than that of a steel rail, which will result in a reduction in annual electricity consumption across the metro by 49775634 kWh and a simple return on investment of 3.3 years.

Keywords. Underground electric transport. Train. Third Rail. Modernization. Contact rail. Bimetallic rail.

შესავალი

თბილისის მეტროპოლიტენი ელექტრო-ენერჯის ერთ-ერთი მსხვილი მომხმარებელია 15 მგვტ (დადგმული სიმძლავრით დაახლოებით 140 მგვტ). ელექტრომომხმარების ძირითადი წილი (65-70%) მოდის წვევის აგრეგატებზე, ხოლო დანარჩენი მოხმარება ნაწილდება: ესკალატორების, წყლის საქაჩი ტუმბოების, ვენტლატორების, განათების და სხვა საკუთარი მოხმარების აგრეგატების ელამძრავებზე.

მატარებლების წვევის აგრეგატებთან დე-ნის მიყვანა ხორციელდება საკონტაქტო რელსის (მესამე რელსი) საშუალებით (ნახ. 1.)



ნახ. 1. მეტროპოლიტენის მესამე რელსი

ადრეულ პერიოდიდან დაწყებული და დღესაც საკონტაქტო რელსის მასალად მრავალ ქვეყანაში გამოყენებულია ფოლადი [1].

კონტაქტური ქსელი მოიცავს კაბელებს, კონსტრუქციებს და მოწყობილობას, რომელთა დანიშნულებაა ელექტროენერჯის მიწოდება დენის მიმღებიდან ელექტრომატარებლის ვაგონების ძალოვან ძრავებზე [3].

კონტაქტური ქსელის მნიშვნელოვანი ნაწილი- კონტაქტური რელსი წარმოადგენს მყარ კონტაქტურ სადენს რომელიც მოძრავი შემადგენლობის დენმიმცვანთან მოსრიალე კონტაქტით დენს აწოდებს წევის აგრეგატებს.

რელსი მზადდება რბილი ლითონისაგან. მისი ფორმა და განივი ზომები მსგავსია ჩვეულებრივი რელსის ფორმისა და ზომის. რელსი მაგრდება იზოლატორების საშუალებით კრონშტეინზე, რომელიც თავის მხრივ მონტაჟდება სავალი რელსების შპალებზე.

კონტაქტური რელსები ძირითადად გამოიყენება მეტროპოლიტენებში. იგი თავსდება გზის ახლოს მატარებლის მოძრაობის მიმართ უმეტესად გზის მარცხენა მხარეს.

ხშირ შემთხვევაში საკონტაქტო ნაწილი მოქცეულია კონტაქტური რელსის ქვედა მხარეს.

კონტაქტური რელსის მასალად გამოყენებული მარტენის ფოლადი ხასიათდება ნახშირბადის მინიმალური შემცველობით (0,06%), რაც განპირობებულია იმით, რომ ნახშირბადი მნიშვნელოვნად ზრდის ფოლადის ელექტროწინაღობას და ზრდის მასში ენერჯის დანაკარგებს [2].

ბიმეტალური კონტაქტური რელსი მიიღება მეტალურგიული მეთოდით, მაგალი-თად, ჩვეულებრივი ან უქანგავი ფოლადის და ალუმინის ერთობლივი გლინვით და დაწნეხვით. ასეთი რელსების უპირატესობა არის ცვეთა-მედეგობა და ალუმინის მაღალი ელექტროგამტარობა.

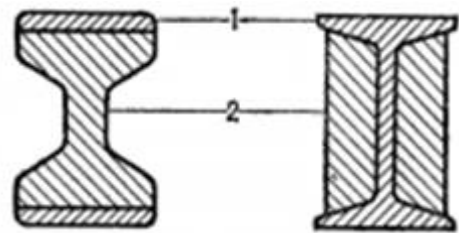
ელექტრომატარებლის საკონტაქტო რელსის მოდერნიზაცია

დღეისათვის უკვე მსოფლიოს ბევრ განვითარებულ ქვეყანაში მეტალის საკონტაქტო რელსი შეცვლილია REHAU-ს ბიმეტალური მასალით დამზადებული რელსით [1] (ნახ.2), რაც სხვადასხვა დადებით თვისებებთან ერთად ამცირებს რელსში ელექტროენერჯის კარგ-ვებსაც.

ენერგოეფექტური ღონისძიების შესაბამისად, თბილისის მეტროპოლიტენის გარკვეულ

უბანზე საპილოტე პროექტის სახით არსებული ფოლადის საკონტაქტო რელსი შეიცვლება

REHAU-ს ბიმეტალური მასალით დამზადებული რელსით. ენერჯის დაზოგვა მიიღწევა საკონტაქტო რელსში ელექტროენერჯის დანაკარგების შემცირებით, რადგან ბიმეტალური რელსის ელექტრული წინაღობა ნაკლებია ფოლადის რელსის ელექტროწინაღობაზე.



ნახ. 2. ბიმეტალური კონტაქტური რელსი: 1- ფოლადი; 2 - ალუმინი

ეკონომიკურ ეფექტთან ერთად არანაკლებ მნიშვნელოვანია მატარებლების მოძრაობის უსაფრთხოების სკითხი- რელსი ნაკლებად გაცხელდება და ამასთან ერთად რელსის ბიმეტალური მასალა მედეგია ზეთების, ბენზინის, სარეცხი საშუალებების და სხვა, რაც გამოყენებულია მეტროპოლიტენში სანიტარულ-ჰიგიენური მიზნით. პროექტის განხორციელება აგრეთვე გამოიწვევს მოძრაობის საიმედოობის ამაღლებას.

ენერგოეფექტური ღონისძიების წინასწარი გაანგარიშება

საწყისი ძირითადი მონაცემები:

მეტროპოლიტენში საკონტაქტო რელსის ჯამური სიგრძე შეადგენს 69 კმ-ს; საკონტაქტო ხაზზე საშუალო დატვირთვა ტოლია 3000 ა; ფოლადის რელსის ელექტრული წინაღობაა 19 მკომი/მ, ხოლო ბიმეტალური რელსის 6,5მკომი/მ; ფოლადის და ბიმეტალური რელსის ელექტროწინაღობების ფარდობა ტოლია 2,79; საკონტაქტო რელსი დატვირთვის ქვეშაა 18 თ/დდ-დ; ელექტროენერჯის ტარიფი 0,3 ლარი/კვტ.სთ.

გაანგარიშება:

საანგარიშო ფორმულის $p = i^2 \cdot R$

შესაბამისად p -არის დანაკარგების სიმძლავრე (კვტ); i -დენის ძალის საშუალო მნიშვნელობა (ა); R -რელსის ელექტრული წინაღობა (ომი).

სიმძლავრის დანაკარგები ფოლადის რელსის 1 გრძელ მეტრზე ტოლია 171 ვტ/მ, ხოლო ბიმეტალური რელსის შემთხვევაში - 61,2 ვტ/მ. სიმძლავრის დანაკარგების სხვაობა ფოლადის და ბიმეტალური რელსის ყოველ 1 კმ-ზე ტოლია 109,8 კვტ/კმ. წელიწადში დაზოგილი ენერგია კონტაქტური ხაზის ერთ კილომეტრზე შეადგენს 721,39 კვტ.სთ/კმ/წ.

მთლიანად მეტროპოლიტენის მასშტაბით წელიწადში დაიზოგება 49775634 კვტ.სთ/წ, ხოლო დაზოგილი თანხა კი - შეადგენს 14932690 ლ/წ (4525058 \$/year); ინვესტიციის 15 მლნ. \$-ის შემთხვევაში მარტივი უკუგება ტოლი იქნება 3,3 წელი; .

ბიმეტალური რელსის შემთხვევაში რელსის საექსპლუატაციო ხარჯები მნიშვნელოვნად დაბალია ვიდრე ფოლადის რელსის შემთხვევაში, რის გამოც პროექტის უკუგების მაჩვენებელი ასევე შემცირდება.

დასკვნა

1. ბიმეტალური რელსის სამონტაჟო სამუშაოების სიმარტივიდან გამომდინარე შესაძლებელია მოძრაობის შეუფერხებლად ეტაპობრივად დამის საათებში რელსის შეცვლის სამუშაოების ჩატარება.

2. პროექტი შესაძლებელია განხორციელდეს ეტაპობრივად დაწყებული საპი-ლოტე პროექტით და დაზოგილი თანხები მიმართული იქნას პროექტის განვითარებისათვის მეტროპოლიტენის სხვა უზნებზეც ენერგო-ეფექტური ღონისძიებების ჩასატარებლად.

3. მეტროპოლიტენის მასშტაბით ენერგო-ეფექტური ღონისძიების გატრებით წელიწადში დაიზოგება 49775634 კვტ.სთ/წ ელექტროენერგია, ხოლო დაზოგილი თანხა კი - შეადგენს 14932690 ლ/წ (4525058 \$/year); ინვესტიციის 15 მლნ. \$-ის შემთხვევაში მარტივი უკუგება ტოლი იქნება 3,3 წელი.

ლიერატურა

1. Пронтарский А.Ф. „Системы и устройства электроснабжения“. М.: Транспорт. 1974.
2. Федоров Г.В. „Подвижной состав метрополитена“. М. Транспорт. 1968.
3. Марквардт К.Г. Электроснабжение Электрических железных дорог. М.: Транспорт. 1965.

ქარის ტურბინები და ფრინველების ულტრაბგერითი მოსაგერიებელი მოწყობილობის მონტაჟის ეფექტურობა

სიმონ ნემსაძე, ტექნიკურ მეცნიერებათა კანდიდატი, პროფესორი
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი, საქართველო, s.nemsadze@yahoo.com
გიორგი გელაშვილი, დოქტორანტი,
ჰაიდელბერგცემენტ ჯორჯია, ინჟინერ-ინსპექტორი (ელექტრო დარგში). საქართველო, კასპი, georgegelashvili5@gmail.com

ანოტაცია. კვლევაში განხილულია ქარის ტურბინების დადებითი და უარყოფითი მხარეები, მათი გავლენა გარემოზე და გამოვლენილი პრობლემა რომელიც პირდაპირკავშირშია უშუალოდ ფრინველებთან, ასევე განხილულია აღნიშნული პრობლემის პრევენციული ზომები შემდეგი სახით: ფრინველების ულტრაბგერითი მოსაგერიებელი მოწყობილობის მონტაჟის ეფექტურობა და მისი გამოყენებისთვის საჭირო ნაბიჯების სისრულეში მოყვანა.

საკვანძო სიტყვები: ულტრაბგერითი, ტურბინა

Wind Turbines and effectivity of Installation of an ultrasonic repellent device for birds

Simon Nemsadze, Candidate of Technical Sciences, Professor
Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, e-mail: s.nemsadze@yahoo.com
Giorgi Gelashvili, doctoral student
Heidelberg Cement Georgia, engineer-inspector (electrical field). Georgia, Kaspi,
e-mail: georgegelashvili5@gmail.com

Summary. *The study discusses the pros and cons of wind turbines, their impact on the environment and the identified problem that is directly related to birds. It also discusses the preventive measures for this problem as follows: The efficiency of the installation of an ultrasonic repellent device for birds and the completion of the steps required for its use.*

Keywords: *Ultrasonic, Turbine.*

ქარის ენერჯია წარმოადგენს მნიშვნელოვან განახლებად ენერჯიის წყაროს, რომელსაც გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს, რომ ჩანაცვლოს წიაღისეული საწვავები, როგორცაა ნახშირი, ნავთობი და ბუნებრივი აირი. ქარის ენერჯია ბევრ უპირატესობას გვთავაზობს, რაც განმარტავს, თუ რატომ არის ის ერთ-ერთი ყველაზე სწრაფად მზარდი ენერჯიის წყარო მსოფლიოში. დადებითი მხარეების მხრივ, ქარის ენერჯია არაერთი დადებითი თვისებით გამოირჩევა. ქარი სუფთა, განახლებადი ენერჯიის წყაროა და ელექტროენერჯიის მისაღებად, ერთ-ერთი ყველაზე ეფექტური გზაა, უფრო დეტალურად, ქარის დადებით მხარეებად შეიძლება მივიჩნიოთ:

ქარის ენერჯია სუფთა და განახლებადია

ქვანახშირის, ბუნებრივი აირის ან ნავთობისგან განსხვავებით, ქარისგან ელექტროენერჯიის გამომუშავება არ იწვევს სათბურის გაზების გამოყოფას. მიუხედავად იმისა, რომ არსებობს გარემოსდაცვითი

მოსაზრებები დიდი ქარის სადგურების მშენებლობასთან დაკავშირებით, ექსპლუატაციაში შესვლის შემდეგ, ქარის ტურბინები არ საჭიროებენ წიაღისეული საწვავის გამოყენებას ოპერირებისთვის. გარდა ამისა, ქარის ენერჯია მთლიანად განახლებადია და არასოდეს ამოიწურება. წიაღისეული საწვავის ტრადიციული რესურსებისგან განსხვავებით, რომლების განახლებაც ძალიან ნელა ხდება, ხოლო როგორც მოგეხსენებათ, ჩვენს ატმოსფეროში ქარი ბუნებრივად გვხვდება და სამომავლოდ მომარაგების საკითხებზე და მის მარაგზე ფიქრი არ დაგჭირდება.

ქარის ენერჯიას აქვს დაბალი ოპერირების ხარჯები

რაც შეეხება წინასწარ ღირებულებას, ქარის ელექტროსადგურების ან ინდივიდუალური ტურბინების მონტაჟი შეიძლება სიძვირით გამოირჩეოდეს, თუმცა მუშაობის დაწყებისთანავე, ოპერირების ხარჯები შედარებით დაბალია, მათი საწვავი (ქარი) უფასოა, ხოლო ტურბინები არ საჭიროებს ძალიან

დიდ სარემონტო სამუშაოებს მისი ექსპლუატაციის პერიოდში.

ქარის ტურბინები სივრცისადმი ეფექტურობით გამოირჩევა

ქარის ელექტროსადგურებს შეუძლიათ დაიკავონ ბევრი მიწის ფართი, თუმცა უშუალოდ ტურბინები და აღჭურვილობა არ იყენებენ ბევრ უძრავ ქონებას. ეს ნიშნავს, რომ ქარის ტურბინებისთვის გამოყენებული მიწა ხშირად შეიძლება გამოყენებული იქნას სხვა მიზნებისთვისაც.

უარყოფითი მხარეების მხრივ, ქარის ტურბინები შეიძლება იყოს ხმაურიანი და ესთეტიკურად შეუხედავი და ზოგჯერ შეიძლება უარყოფითად იმოქმედოს მათ გარშემო არსებულ ფიზიკურ გარემოზე. მიუხედავად იმისა, რომ ქარის ენერჯის გამოყენებას არაერთი სარგებელი მოაქვს, ასევე არსებობს ის უარყოფითი მხარეები, რომლებიც, რაღა თქმა უნდა, არ უნდა დავაიგნოროთ, ერთ-ერთ გავრცელებულ პრობლემად გვევლინება შემდეგი ტიპის საკითხი:

ქარის ტურბინებს აქვთ უარყოფითი გავლენა მათ გარემოზე

ქარის ტურბინის პირები საკმარისად დიდია და საკმარისად დიდი სიჩქარედ ბრუნავს, იმისათვის, რომ ზიანი მიაყენოს იმ ფრინველებს რომლებიც მათში შეფრინდებიან, როგორცაა მაგალითად ჩიტები. პრობლემების გარკვეულწილად მოგვარება შესაძლებელია სწორად განლაგებული ქარის ელექტროსადგურების საშუალებით, თუმცა არის სიტუაციები სადაც ხდება მეტი ან თუნდაც მცირე რაოდენობის ფრინველების გადაფრენა ქარის ტურბინების გავლით, აღნიშნული კვლევა კი მოიცავს სწორედ ამ პრობლემის პრევენციას და შესაბამისი ტექნოლოგიის გამოყენებას, რათა ფრინველებმა გვერდი აუარონ მუშა ტურბინას.

ფრინველისთვის სმენა მხედველობის შემდგომ, მეორე ყველაზე მნიშვნელოვანი რამაა გარშემომყოფი სამყაროს მონიტორინგისთვის და არსებობისთვის, ჩვენს კონკრეტულ შემთხვევაში თუ განვიხილავთ ჩიტებს, ჩიტების სმენის დიაპაზონი ყველაზე მგრძობიარეა 1 კჰც-დან 4 კჰც-მდე, მაგრამ მათი სმენის სრული დიაპაზონი დაახლოებით, რომ ვთქვათ უთანაბრდება ადამიანის სმენის დიაპაზონს, უფრო მაღალი ან ქვედა ზღვრები დამოკიდებულია უშუალოდ ფრინველის სახეობებზე, მაგალითად:

- „ვეროპული შოშია“ – 700-15,000 ჰც
- “კანარები” – 1100-10,000 ჰც

ასევე მაღალი სმენის დიაპაზონით გამოირჩევიან ღამურები, ღამურებს სმენა ძალიან კარგად აქვთ განვითარებული, იქედან გამომდინარე, რომ ძირითადად სიბნელეში უწევთ ცხოვრება და გადაადგილება. მათი სმენის დიაპაზონი იცვლება სახეობების მიხედვით, ყველაზე დაბალზე ეს შეიძლება იყოს 1 კჰც, ხოლო ზოგი სახეობისთვის ყველაზე მაღალმა შეიძლება მიაღწიოს 200 კჰც-მდე. აღნიშნული სტატისტიკებიდან გამომდინარე კი საჭიროა მოხდეს ისეთი ულტრაბგერითი მოსაგერიებელი მოწყობილობის მონტაჟი ფრინველებისთვის, რომელიც სხვადასხვა ტიპის ფრინველების სმენის დიაპაზონს და ტიპს შეესაბამება და შესაბამისობაში მოვა ოპერირების დროს. ასევე საჭიროა აღნიშნული გამოცემული სიგნალი ვრცელდებოდეს ისეთ მანძილზე, რომ ფრინველებმა ვერ შეძლონ გადაადგილება ქარის ტურბინასთან და მიახლოება მასთან, რაღა თქმა უნდა ყველა მიმართულებით. შემდეგი სამი პირობა აუცილებლად უნდა იქნეს გათვალისწინებული იმისათვის, რომ აღნიშნულმა მოწყობილობამ სწორად შეძლოს ფუნქციონირება: შემჩნევადი, მკაფიოდ გასაგები, შესაფერისი, ეს პირობები საკმაოდ გამოსადეგია მოწყობილობის საწყისი შეფასებისთვის, თუკი პირველი ორი პირობა არ აკმაყოფილებს მოთხოვნილებებს, ჩიტები ვერ შეძლებენ მიწოდებული სიგნალის გაგებას და აღქმას, ხოლო თუკი მესამე პირობა არ აკმაყოფილებს მოთხოვნილებებს, მაშინ ჩიტებმა შეიძლება უბრალოდ დააიგნორონ მიწოდებული სიგნალი. ასეთი ტიპის სამუშაოს შესრულებისთვის ძალიან კარგ ვარიანტადაა მიჩნეული ფრინველების ულტრაბგერითი მოსაგერიებელი მოწყობილობის მონტაჟი, ასეთი ტიპის მოწყობილობები უნდა შეირჩეს იმ პირობიდან გამომდინარე თუ რა ტიპის ფრინველების მოგერიებაც უნდა მოხდეს კონკრეტული არეიდან, ასევე რა მანძილზე ვრცელდება დაგენერირებული სიგნალი და რა სიხშირით და სიძლიერით ხდება ამ სიგნალის გენერირება, ესენი ის ძირითადი ნაბიჯებია რალებიც უნდა იქნეს გათვალისწინებული სხვა დანარჩენ მოთხოვნილებებთან ერთად. ჩვენს კონკრეტულ შემთხვევაში მიმართულია კონკრეტული სახეობის ჩიტებისკენ და

დამურებისკენ ე.წ ფრინველების ბგერითი და ულტრაბგერითი მოსაგერიებელი მოწყობილობა (4 განზომილებიანი) (BB PRO), აღნიშნული მოწყობილობა გამოირჩევა:

დიდი არეალის დაფარვით. აღნიშნული მოწყობილობის სიგნალი, ულტრაბგერითზე ვრცელდება დაახლოებით 340 მ²-ზე, ხოლო ბგერითზე დაახლოებით 24 300 მ²-ზე.

იყენებს ბგერით და ულტრაბგერით ტექნოლოგიას. ბგერითი და ულტრაბგერითი ტექნოლოგია ერთ-ერთ მთავარ და გადამწყვეტ როლს თამაშობს მიმდინარე კვლევაში, გამოყენების დიაპაზონებია:

- ბგერითი 3000-5000 ჰც-მდე
- ულტრაბგერითი 15000-25000 ჰც-მდე
- ულტრაბგერითი ხმის სიძლიერე 95-102 დბ
- ბგერითი ხმის სიძლიერე 105-110 დბ

გამოირჩევა ნებისმიერი ტიპის ამინდის რეზისტენტულობით, დამცავი ყუთი შექმნილია

იმისათვის, რომ გაუძლოს გარე გამოყენებას. რაღათქმუნდა ძალიან მნიშვნელოვანია მოწყობილობამ უპრობლემოდ განაგრძოს მუშაობა ამინდის ცვლილების მიუხედავად.

შესაბამისად, აღნიშნული პირობების გათვალისწინებით და მონაცემების გამოყენებით, ბგერითი და ულტრაბგერითი სიგნალები შესაფერისი და ეფექტური საშუალებაა იმისათვის რომ მოხდეს კონკრეტული სახეობის ფრინველების მოგერიება (გარკვეული რაოდენობით), შემდგომ კი მათი გაგზავნა სხვა, უსაფრთხო მიმართულებით.

ლიტერატურა

1. <https://escholarship.org/uc/item/1kp2r437>
შემოწმებულია 06/06/2021.
2. <https://justenergy.com/blog/everything-you-need-to-know-about-wind-energy/>
შემოწმებულია 05/06/2021.

ენერჯეტიკის ეკონომიკა, მენეჯმენტი, მართვა, რეგულირება
Power engineering economics, management, administration, regulation

ახალი ბიზნეს მოდელები ენერგოსექტორში

არჩილ სამადაშვილი პროფესორი,

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, ქ. თბილისი, საქართველო,

e-mail: samadarch@hotmail.com

ქეთევან ილურიძე ასისტენტი, დოქტორანტი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, ქ. თბილისი, საქართველო, e-mail: ke.iluridze@gtu.ge

ანოტაცია. რიგი მიზეზების გამო, მომავლის ენერჯეტიკული ინფრასტრუქტურა განსხვავებული იქნება დღევანდელისგან. კერძოდ, Industry 4.0 ტექნოლოგიური პლატფორმის საყოველთაო გავრცელებასთან ერთად, გამოჩნდება ახალი მოთამაშეები, ახალი პროდუქტები და შეიცვლება მომხმარებელთა შეხედულებები. აღნიშნულს უკავშირდება ენერგოსექტორში რიგი ახალი სერვისების განვითარება და მათ მიწოდებასთან დაკავშირებული კომპანიების გამოჩენა, აღნიშნულ კონტექსტში განსაკუთრებით მნიშვნელოვნად გვეჩვენება ინოვაციური ახალი ბიზნეს მოდელის „ენერჯია, როგორც მომსახურება“ (Energy as a Service, EaaS) დამკვიდრება საქართველოს მცირე მეწარმეობაში.

EaaS-მომსახურებით დაკავებული კომპანიები მიიღებენ ინფორმაციას ენერჯიის მიწოდების, მოთხოვნისა და ფასების შესახებ. ეს ინფორმაცია გაერთიანებული იქნება სხვა სახის მონაცემებთან (მაგ. ამინდის პროგნოზი, გზებისა და შენობების დატვირთულობა და ა. შ.) იმისთვის, რომ განხორციელდეს საწარმოების და ქალაქების ე.წ. "ჭკვიანი უბნების" ენერგომომხმარებლის მართვა დინამიურად ცვლადი მონაცემების გარკვეულ დიაპაზონებში.

წინამდებარე მოხსენება განიხილავს EaaS-ბიზნეს საქმიანობის ძირითად მიმართულებებს და მათ მიმზიდველობას ახლადშექმნილი კომპანიებისთვის (სტარტაპებისთვის). ფორმულირებულია დასკვნა, რომ მათი განვითარებისა და ხელშეწყობის მიზნით სასურველია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში სპეციალიზებული ბიზნეს-ინკუბატორის შექმნა, რომელიც სათანადო მომსახურებას გაუწევს EaaS-მომსახურებით დაკავებულ ახალბედა კომპანიებს.

საკვანძო სიტყვები: ბიზნეს-ინკუბატორი, ელექტროსექტორი, ბიზნეს მოდელები

New business models in the energy sector

Archil Samadashvili, Doctor of Science, Professor,

Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, e-mail: samadarch@hotmail.com

Ketevan Iluridze, doctoral student, Assistant,

Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, e-mail: ke.iluridze@gtu.ge

Annotation. In the future, energy infrastructure will differ from today's for a number of reasons. In particular, with the widespread release of Industry 4.0 platform new players and new products will appear and user views will change. This is related to the development of a number of new services in the energy sector and the emergence of supply-related companies. For that reason, the establishment of an innovative business model EaaS - "Energy as a Service" in small businesses in Georgia is especially important.

EaaS service providers will receive information on energy supply, demand and prices. This information will be combined with other types of data (weather forecast, road and building loads) to manage enterprises and smart neighborhoods within dynamic data.

This report discusses the main activities of EaaS and their role for start-ups. We believe, that in order to develop and promote start-ups, it is desirable to create a specialized business incubator in GTU, which will provide appropriate services to new companies engaged in "EaaS".

Keywords: business incubator, energy service, business model

შესავალი. დღეს იგივე ტენდეციები ენერგეტიკულ ბაზარზეც შემოდის, რომლებმაც შეცვალეს საცალო ვაჭრობის, სატრანსპორტო მომსახურების და სამომხმარებლო ელექტრონიკის წარმოება უახლოეს წარსულში. მათ შორისაა ციფრული ტექნოლოგიების დანერგვა, რომელიც უზრუნველყოფს შუამავლების გამორიცხვას P2P (peer-to-peer) პრინციპით მომუშავე ე.წ. "ერთნაირი" ბაზრებზე, სადაც ოპერაციები თანასწორ მონაწილეებს შორის ხორციელდება.

დღეს უკლებლივ ყველა დარგის კომპანიამ უნდა გაითავისოს, თუ რა შესაძლებლობების გამოყენებაა შესაძლებელი, რა კომპეტენციების განვითარებაა საჭირო და ბაზრის რომელი სეგმენტია უფრო პერსპექტიული მათი შემდგომი ზრდისთვის. ციფრული პლატფორმები ასევე ენერგეტიკულ ბაზრებზეც დამკვიდრდება, რისი შედეგი იქნება დიდი რაოდენობით იმ პროდუქტების და მომსახურებების გაჩენა, რომლებიც შემუშავებულია მონაცემთა ანალიზის უახლესი ტექნოლოგიების მეშვეობით და პროცესების ეფექტურობას აუმჯობესებენ.

ენერჯის საბოლოო მომხმარებლებს დასჭირდებათ ე.წ. „აგრეგირების აგენტები“ რომლებიც როგორც შემაკავშირებელი რგოლი, უზრუნველყოფენ მათი მოთხოვნილებების დაკმაყოფილებას. ეს, თავის მხრივ, ახალ შესაძლებლობებს შეუქმნის მიმწოდებელ კომპანიებს, რომლებიც ყოველთვიური გადასახადის სანაცვლოდ, შესძლებენ მომხმარებლებისთვის ოპტიმიზირებული და ეფექტური გადაწყვეტილებების შეთავაზებას.

ენერჯის სისტემა შესაფერისი პლატფორმაა ამ ახალი სამეწარმეო იდეოლოგიის დამკვიდრებისთვის. სისტემის რთული სტრუქტურის გათვალისწინებით, რომელსაც მოუწევს ენერჯის სულ უფრო მზარდი მოცულობის გადაცემა და განაწილება, რაც თავის მხრივ, ხელს შეუწყობს მრავალკომპონენტური საცალო ბაზრების განვითარებას, აუცილებელი გახდება შესაბამისი სამუშაოების შესრულების კოორდინირების დაკისრება კომპანიებისთვის. ქსელის დონეზე, ეს ფუნქციები შეიძლება განხორციელდეს ნეიტრალური შუამავლის მიერ,

რომლის მეშვეობით ღია კონკურენტული ბაზრის მონაწილეებს შეუძლიათ შეიძინონ/გაყიდონ ელექტროენერჯია სისტემაში. საერთო კოორდინაცია სამომხმარებლო დონეზე, შეიძლება სათანადო მომსახურების მიმწოდებლის მიერ განხორციელდეს, რომელიც ფიქსირებული ყოველთვიური გადასახადის სანაცვლოდ, დაეხმარება საკუთარ კომერციულ თუ ინდუსტრიულ მომხმარებლებს მიაღწიონ დასახულ მიზნებს ენერგომომარაგების სრულყოფის, ენერგოეფექტურობის და სარეზერვო სიმძლავრის მდგრადობის ზრდის, ასევე განახლებადი ენერჯის წყაროების გამოყენების გაუმჯობესების და ნახშირბადის ემისიის შემცირების მიმართულებით.

ბიზნესის ახალი მოდელები ენერჯო-ბაზარზე ახალი ტიპის ენერგომომხმარებლების გამოჩენასაც ითვალისწინებენ. ესენია ე.წ. "პროდუცერები", (ე.ი. produce+consume, ანუ აწარმოე+მოიხმარე), რომლებსაც შეუძლიათ გამოიმუშაონ, მოითხოვონ, შეინახონ ან მიაწოდონ ენერჯია სხვა მომხმარებლებს.

ყველა ზემოხსენებული და რიგ სხვა გარემოებებით ენერჯოსექტორში გაჩენილ ახალ ბიზნეს მოდელებს შორისაა EaaS - ინოვაციური ბიზნეს მოდელი, რომელიც ე.წ. პაკეტური მომსახურების მიწოდებას ითვალისწინებს ენერგომომარაგების სფეროსთვის, ტექნოლოგიური და ფინანსური ახალი დამუშავებების დახმარებით. სარგებელი კი როგორც მიმწოდებლისა, ისე მომხმარებლებისთვის მომსახურების ტრადიციულად ცალ-ცალკე ელემენტების ერთიან პაკეტში მიწოდებით იქმნება.

EaaS კონცეფციის ფარგლებში გამოიყენება ხელშეკრულებების, როგორც ტრადიციული EPC (ენერგოეფექტურობის) და ESC (ენერჯო-მიწოდების), ისე PPA¹ (ელექტროენერჯის შესყიდვის) ფორმატები, ასევე ახალი ალტერნატიული მოდელები.

EaaS-ბიზნეს მოდელის ჩამოყალიბება თანმიმდევრული ევოლუციური პროცესის შედეგად მიმდინარეობდა. ბოლო წლებში ენერგოეფექტურობისკენ მისწრაფების ფონზე, ESC-ს ბაზარზე შეიქმნა ე.წ. ESKO-ს მოდელი,

1 EPC (Energy Performance Contracting) და ESC (Energy Supply Contracting) - ენერგოეფექტურობის ფინანსირების მექანიზმებია; PPA (Power Purchase Agreement) - საკონტრაქტო ხელშეკრულებაა

განახლებადი ენერჯის მწარმოებელსა და შემსყიდველს შორის

რომლის მეშვეობითაც ენერგომომსახურების კომპანიას (Energy Service Company, ESCO) შეუძლია მომხმარებლებისთვის ისეთი გადაწყვეტილებების შეთავაზება, რომელთა მეშვეობით იმართება როგორც ელექტრო-ენერჯის მიწოდება, ასევე მოთხოვნა. ამასთან, ძირითადი მიზანია ენერჯის ხარჯების შემცირება ისეთი ღონისძიებების გატარებით, როგორცაა ენერგოაუდიტი, მიზნობრივი პროექტების შემუშავება და განხორციელება, ტექნიკური მომსახურება, კაპიტალური რემონტი, ენერგოეფექტურობის გაუმჯობესება, ენერჯის დაზოგვის მონიტორინგი და შეფასება.

ამ მოდელში მომსახურება მიწოდებულია EPC ენერგოეფექტურობის ხელშეკრულების საფუძველზე, რომელიც უზრუნველყოფს ხარჯების დაზოგვას მატერიალური ბაზის გამოყენების გაუმჯობესების და ენერჯის მოხმარების ოპტიმიზაციის მეშვეობით. როგორც სპეციალიზებული მიმწოდებელი, ESKO-კომპანია ახორციელებს საგანგებო პროექტს, რომლის ნებისმიერი ხარჯიც ანაზღაურდება ენერჯის დაზოგვით, ან მისი გამომუშავების შემცირებით მიღებული შემოსავლიდან. მომსახურება ხორციელდება ენერგო-ეფექტურობის ხელშეკრულების საფუძველზე (EPC), რომელიც უზრუნველყოფს ხარჯების დაზოგვას, აქტივების გამოყენებისა და ენერჯის მოხმარების ოპტიმიზაციისთვის. ESKO-კომპანია არ იღებს ანაზღაურებას, თუ პროექტმა ვერ მიაღწია ენერგოდაზოგვის მოსალოდნელ დონეს, ან შეთანხმებული მომსახურება არ იქნება გაწეული. ამასთან, ნებისმიერი შეძენილი მოწყობილობა და აღჭურვილობა მომხმარებლის საკუთრებაში რჩება.

EaaS მოდელის გადაწყვეტილებები კი რამდენიმე თვალსაზრისით განსხვავდება ESKO-ს მოდელის გადაწყვეტილებებისგან. მომსახურების მიმწოდებელი პასუხისმგებელია პროექტში განხორციელებულ ყველა კაპიტალურ ინვესტიციაზე და თავად ფლობს აღჭურვილობას, რომლის მუშაობას კლიენტის სახელით მართავს. EaaS-ის თანახმად, მომხმარებლები არ არიან "მიზმული" კონკრეტულ კომპონენტსა ან ტექნოლოგიის ტიპზე, ვინაიდან მათ ყველა განახლებას კონტრაქტის მოქმედების განმავლობაში მიმწოდებელი აფინანსებს. გარდა ამისა, მიმწოდებელი უზრუნველყოფს შესყიდვების სტრატეგიულ მომსახურებასაც.

EaaS გადაწყვეტილებები საშუალებას გვაძლევს ვმართოთ ენერჯის მოხმარება და გავაუმჯობესოთ ენერგოეფექტურობა, დავნერგოთ განახლებადი ენერჯის წყაროები, ასევე დავარეგულიროთ ბალანსი ენერჯის მოხმარებასა და ენერჯის მიწოდებას შორის. EaaS სერვისები შეიძლება ითვალისწინებდნენ ობიექტების ელექტრომომარაგების (PPA-კონტრაქტების ჩათვლით), ასევე ენერჯის შენახვისა და მართვისთვის განკუთვნილ ღონისძიებების გატარებას. ამისთვის, საჭირო ხდება ციფრული ტექნოლოგიებისა და მონაცემთა ანალიზის ინსტრუმენტების განვითარების და ფლობის უფრო მაღალი დონე, ვიდრე ESKO-სთან შეთანხმება ითვალისწინებს. აღნიშნულს ისიც ემატება, რომ ხშირად მომხმარებელს არ გააჩნია მათი გამოყენებისთვის საჭირო უნარები.

განახლებადი ენერჯის წყაროების გაჩენისა და ენერგოეფექტური გადაწყვეტილებების გამოყენებასთან ერთად, გაჩნდა მრავალი სპეციალიზებული ფინანსური პროდუქტი და ინვესტორი, რომლებიც ამ მზარდ ბაზარს ემსახურებიან. ენერგეტიკული ბაზრის განვითარების კვალდაკვალ, EaaS კონცეფცია უკვე მოიცავს სავაჭრო P2P პლატფორმებს, საბითუმო-სავაჭრო ხელშეკრულებების დადებას, განახლებადი ენერჯის სერთიფიკატების მიკვლევას და გადასახადების ინტეგრირებულ მართვას. EaaS მოდელის მთავარი სარგებელი მომხმარებლისთვის სწორედ იმას მოაქვს, რომ მიუხედავად სერვისის მზარდი მრავალფეროვნებისა, მომსახურების პაკეტით სარგებლობა მისთვის მარტივდება.

მრავალ ორგანიზაცია - ენერგო მომხმარებლისთვის, ენერჯის მართვა არ არის ძირითადი კომპენტენცია. გარდა ამისა, მიკროქსელების და განაწილებული ენერჯის მართვის მაღალტექნოლოგიური საშუალებები ძვირად ღირებულია, ხოლო მათი გამოყენება კი რთული. ბევრ კომპანიას, რომლებსაც იზიდავს ასეთი აღჭურვილობით მართვა, სულაც არ სურთ თავად ფლობდნენ მას. EaaS-კონტრაქტის დადების მეშვეობით, მომხმარებელს შეუძლია თავი აარიდოს ინოვაციური ტექნოლოგიების ავანგარდში ყოფნის აუცილებლობას, გადასცეს შესაბამისი პასუხისმგებლობა სერვისის მიმწოდებელს, რომელიც უზრუნველყოფს მის მომსახურებას შესაბამისი აღჭურვილობის მეშვეობით.

საბოლოოდ შეიძლება ითქვას, რომ EaaS-ბაზარი ESKO-ს სერვისების საფუძველზე ფუნქციონირებს, მაგრამ ამასთან ენერგომომარაგების სხვადასხვა ვარიანტების ინტეგრირების საფუძველზე, გვთავაზობს ენერჯის მოხმარების უფრო მეტ ვარიანტებს გვთავაზობს. სავარაუდოა, რომ ამ ბაზარს კომერციული და სამრეწველო სექტორები უფრო ადრე მიმართავენ, ვიდრე სხვები, ხოლო 2026 წლისთვის მისი საერთო ღირებულება 221 მილიარდი დოლარი იქნება.

EaaS-ბაზრის ამოქმედებისთვის საჭიროა გარკვეული მატერიალური, ციფრული და საკომუნიკაციო ინფრასტრუქტურა და მათი გამოყენების გამოცდილება. ეს კი ქმნის ახალ შესაძლებლობებს კომპეტენციების სათანადო ფართო სპექტრის მქონე კომპანიებისთვის. ამ ბაზარზე ოპერირების მიზნით, მისმა მიმწოდებლებმა ენერგეტიკულ სისტემებში საჭირო ტექნოლოგიები და მონაცემები უნდა შემოიტანონ, შექმნან სადენიანი და უსადენო კომუნიკაციის ინფრასტრუქტურა, ათვისონ შესრულებაზე დაფუძნებული ანაზღაურებადი ხელშეკრულებების, ან ვალდებულებების სწორად რეალიზების პრინციპები. გარდა ამისა, ბაზარი განვითარების საწყისი ეტაპზეა და შესაბამისად კომპანიებს, რომელთაც სურთ EaaS-ის სფეროში გადაწყვეტილებების მიღება და გატარება, ესაჭიროებათ ურთიერთ-პარტნიორობის დამყარება და ძალების გაერთიანება, რათა უზრუნველყონ მომხმარებლები მომსახურების სრული სპექტრით. თუ გავითვალისწინებთ, რომ მოვლენათა დასაწყისში ისინი დამწყები ახალბედა კომპანიები იქნებიან, ვთვლით, რომ EaaS-ბაზრის განვითარებაში მნიშვნელოვანი როლის შესრულება ბიზნეს-ინკუბატორს შეუძლია.

რასაკვირველია, იმის გასარკვევად, თუ რა კომპეტენციებს უნდა ფლობდნენ ასეთი კომპანიები, უპირველეს ყოვლისა უნდა წარმოვიდგინოთ თუ ვინ იქნებიან მათი სავარაუდო მომხმარებლები და რა სერვისებზე ექნებათ მოთხოვნილება. ასეთებს შორის უპირველეს ყოვლისა უნდა დასახელდნენ კომუნალური კომპანიები. დღეს კომუნალური კომპანიები, რომლებსაც აქვთ აქტივების ფლობისა და ექსპლუატაციის გამოცდილება, ამ სფეროში ციფრული ტექნოლოგიების შექმნისა და ენერგომომარაგების უფრო ეკოლოგიური

ვარიანტების გამოყენების აუცილებლობის წინაშე დგებიან. აღნიშნული უბიძგებთ მათ, რათა ითანამშრომლონ შესაბამისი კომპეტენციების მქონე პარტნიორებთან იმ მიზნით, რომ შეიმუშაონ და შესთავაზონ მომგებიანი გადაწყვეტილებები საკუთარ მომხმარებლებს.

ახალი სამუშაო მოდელები მათგან მოქნილ და ინოვაციურ მიდგომების გამოყენებას მოითხოვს. ციფრული ტექნოლოგიების ან განაწილებული ენერგორესურსების გამოყენების უუნარობამ და ენერჯის მომხმარებლებთან სათანადო ურთიერთობების დამყარების შეუძლებლობამ, შესაძლოა დროთა განმავლობაში ძირი გამოუთხაროს მათ უპირატესობას, რადგან ბაზარზე ახალი, უფრო მოქნილი კონკურენტები შემოვლენ. სწორედ ეს გარემოება აქცევთ კომუნალური კომპანიებს EaaS-სერვისების პოტენციურ მომხმარებლად.

მსხვილი სამრეწველო კომპანიები, რომელთაც გააჩნიათ ძლიერი პოზიციები ძალური ელექტრონიკის, ელექტროენერჯის წარმოების და განაწილების მართვის მოწყობილობების და სისტემების სფეროებში, განსაკუთრებით "ჰკვიანი" აღრიცხვის აპარატურის წარმოებაში, აგრეთვე ენერჯის დაგროვების და შენახვის მიმართულებით, ასევე შეიძლება გახდნენ EaaS-ის ბაზრის მონაწილეები. ასეთების მაგალითია ფრანგული კომპანია Schneider Electric — ენერგომომარაგების და ენერგეტიკის ავტომატიზაციის მსოფლიო ბაზრის ერთ-ერთი ლიდერი. მისი ქართველი პარტნიორის - კომპანია "მონტაჟ-ჯორჯია"-ს მონაწილეობით, განიხილება დღეს საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში სპეციალიზებული ბიზნეს-ინკუბატორის შექმნის შესაძლებლობას, რომელიც განვითარებისთვის ხელშემწყობი გარემო უნდა გახდეს EaaS-სერვისების მიწოდებით დასაქმებულ ახალბედა კომპანიებისთვის.

ამ ინკუბატორის კომპანიები შეიძლება გახდნენ ლოკალურ ენერჯის სისტემებში ენერჯის მოხმარების მონიტორინგის და კონტროლის მოწყობილობათა მწარმოებლები, გადაწყვეტილებების მიმწოდებელი "ჰკვიანი" გამრიცხველიანებისა და ენერჯის მენეჯმენტის სფეროში, მონაცემთა საკუთარი ანალიტიკის განმავითარებლები. მნიშვნელოვანი იქნება სათანადო სპეციალიზაციის მქონე კავშირგაბმულობის მცირე კომპანიების

ჩართულობა ინკუბატორის მუშაობაში, რომელთა დახმარებით შესაძლებელი იქნება EaaS-კომპანიების დისკრეტული სისტემების ერთმანეთთან დაკავშირება ავტომატიზაციის გზით, რაც განსაკუთრებით მოთხოვნადი გახდება ე.წ. მე-4 ტექნოლოგიური რევოლუციის (Industry 4.0) კონტექსტში დაწყებულ სამრეწველო ტოტალური გადაიარაღების მსვლელობაში.

დასკვნა

„EaaS“-ზე წარმატებით გადასვლისთვის აუცილებელია ციფრული პროცესების შედეგად წარმოქმნილი მონაცემების დამუშავება და გაანალიზება. რაც შეეხება საცალო კლიენტებთან მუშაობას, მთავარი წარმატების ფაქტორია EaaS კომპანიის შესაძლებლობა, უზრუნველყოს სრულყოფილი სერვისები, კერძოდ, აუდიტი, მონიტორინგი, მომხმარებელთა ქცევის წესების ანალიზი და ენერჯის მოხმარების დინამიკა დროთა განმავლობაში. შემდეგ ეტაპზე გადასვლისთვის კომპანიებმა უნდა გადახედონ

თავიანთ საქმიანობას ბაზარზე, ისწავლონ მონაცემთა სწრაფად დამუშავება და გამოყენება. შემდეგი ნაბიჯები უნდა იყოს მომსახურების სპექტრის გაფართოება, რომელსაც კომპანია სთავაზობს თავის სეგმენტში. იმის გათვალისწინებით, რომ ყურადღება გამახვილებულია ცენტრალიზებულ წარმოებასა და ენერჯის მომარაგება/განაწილებაზე, საჭიროა ციფრული პლატფორმების შექმნა, რაც ხელს შეუწყობს გასანაწილებელი ენერჯორესურსების მზარდი მოცულობის ინტეგრირებას ელექტრო ქსელში.

ლიტერატურა

1. <https://www.itron.com/it/solutions/who-we-serve/electricity>
2. European Union, (2017). Energy Service Companies in the EU - Status review and recommendations for further market development with a focus on Energy Performance Contracting.
3. <https://www.navigantresearch.com/reports/energy-as-a-service>

ენერგომომსახურებაზე სპეციალიზებული
ბიზნეს-ინკუბატორი

ქეთევან ილურიძე ასისტენტი, დოქტორანტი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, ქ. თბილისი, საქართველო, e-mail: ke.iluridze@gtu.ge

ანოტაცია. კომპანიები, რომლებსაც შესაბამისი აქტივების ფლობისა და ექსპლუატაციის გამოცდილება გააჩნიათ, საკუთარ სფეროში ციფრული ტექნოლოგიების და ენერგომომარაგების უფრო ეკოლოგიური ვარიანტების გამოყენების აუცილებლობის წინაშე დგებიან. ისინი ვერ უზრუნველყოფენ იმ ინოვაციათა სწრაფ დანერგვას, რომლებიც ხელს შეუწყობს ბიზნესის მიმართულების „ენერჯია, როგორც მომსახურება“ დროულ და ეფექტურ განვითარებას. ამ მოთხოვნის დაკმაყოფილებისთვის, სწორ ნაბიჯად მიჩნეულია მცირე ბიზნესის სპეციალიზებული ბიზნეს-ინკუბატორის ჩამოყალიბება, რომლის შესაძლო ორგანიზაციული მოდელი აღწერილია სტატიაში.

ყურადღება გამახვილებულია საყოველთაო დიჯიტალიზაციაზე, რომელიც კომპანიებს აიძულებს დამატებული ღირებულების შექმნის ჯაჭვიებიდან გადავიდნენ ეკოსისტემის ბიზნეს-მოდელზე, რომელიც უზრუნველყოფს დააკმაყოფილოს მომხმარებელთა ფართო სპექტრის მოლოდინები.

საკვანძო სიტყვები: ბიზნეს-ინკუბატორი, ეკოსისტემა, დიჯიტალიზაცია.

Business incubator specializing in energy services

Ketevan Iluridze., doctoral student, Assistant,

Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, e-mail: ke.iluridze@gtu.ge

Annotation. Companies with experience in owning and operating relevant assets are faced with the need to use more environmentally friendly digital technologies and energy supplies in their field. They fail to ensure the rapid implementation of innovations that will contribute to the timely and effective development of the "energy as a service" direction of the business. To meet this demand, the right step is to establish a specialized small business incubator, the possible organizational model of which is described in this paper.

The focus is on global digitalization, forcing companies to move from value-added chains to ecosystem business models that ensure they meet the expectations of a wide range of consumers.

Keywords: business incubator, ecosystem, digitalization.

ენერგოეფექტურობის უზრუნველყოფით დასაქმებულ ახალბედა კომპანიების გამაერთიანებელი ბიზნეს-ინკუბატორის¹ ორგანიზაციული დაგეგმარებისთვის და იმის გასარკვევად, თუ რა კომპეტენციებს უნდა ფლობდნენ მისი "ბინადარი" ბიზნესები, უპირველეს ყოვლისა უნდა წარმოვიდგინოთ, თუ ვინ იქნებიან ამ კომპანიების სავარაუდო მომხმარებლები და რა პროდუქტებზე/სერვისებზე ექნებათ მათ მოთხოვნილება. ასეთებს შორის უპირველეს ყოვლისა კომუნალური კომპანიები² უნდა დასახელდნენ.

დღეს კომუნალური კომპანიები, რომლებსაც შესაბამისი აქტივების ფლობის და

ექსპლუატაციის გამოცდილება გააჩნიათ, საკუთარ სფეროში ციფრული ტექნოლოგიების და ენერგომომარაგების უფრო ეკოლოგიური ვარიანტების გამოყენების აუცილებლობის წინაშე დგებიან. აღნიშნული სათანადო კომპეტენციების მქონე პარტნიორებთან თანამშრომლობისკენ უბიძგებს მათ, რათა ერთობლივად შეიმუშაონ და საკუთარ მომხმარებლებს შესთავაზონ ახალი, მათთვის უფრო მომგებიანი და ენერგოეფექტური გადაწყვეტილებები.

საკუთარი საქმიანობის შესაბამისი ახალი მოდელები, მოქნილი და ინოვაციური მიდგომების გამოყენებას მოითხოვენ

¹დამწყები მეწარმეების მხარდაჭერით დაკავებული ორგანიზაცია, რომელიც ხელს უწყობს მათი სამეწარმეო ჩანაფიქრის რეალიზებას

² კომუნალური ინფრასტრუქტურების სისტემების ექსპლუატაციით დაკავებული ორგანიზაციები,

რომლებიც უზრუნველყოფენ შენობების და უძრავი ქონების სხვა ობიექტების ელექტრო-, თბო-, წყალმომარაგებას და ნარჩენებისგან განთავისუფლებას

კომუნალური კომპანიებისგან. ციფრულ ტექნოლოგიებთან მუშაობის გამოცდილების და სათანადო უნარების არქონამ, ან ენერჯის მომხმარებლებთან შესაბამისი ურთიერთობების დამყარების შეუძლებლობამ, დროთა განმავლობაში შეიძლება ძირი გამოუთხაროს მათ კონკურენტულ უპირატესობებს, როდესაც ბაზარზე ახალი, უფრო მოქნილი კონკურენტები მოიკიდებენ ფეხს. სწორედ ეს გარემოება აქცევთ მათ EaaS³-კომპანიების სერვისების პოტენციურ მომხმარებლად.

მსხვილი სამრეწველო კომპანიები, განსაკუთრებით ისეთები, რომლებსაც გააჩნიათ ძლიერი პოზიციები ელექტრონიკის, ელექტროენერჯის წარმოების და განაწილების მართვის სისტემების და ენერჯის მარაგების შენახვის სფეროებში, ასევე შეიძლება გახდნენ EaaS-კომპანიების მომხმარებლები. ლოკალური ქსელების მონიტორინგის და ენერჯომომხმარების მოწყობილობების მიწოდების მეშვეობით, ეს უკანასკნელნი შეიძლება "ჰკვიანი" გამრიცხველიანების და ენერჯომენეჯმენტის ეფექტური გადაწყვეტილებების შემუშავების წყაროებად გადაიქცნენ მსხვილი სამრეწველო კომპანიებისთვის და დაეხმარონ მათ საკუთარი ენერჯომომხმარების მონაცემების გაანალიზებაში. ხოლო Industry 4.0⁴-ის კონტექსტში, EaaS-კომპანიების ის უნარი, რომ დისკრეტული სისტემების ავტომატიზაციის გზით დაუკავშირდნენ ერთმანეთს, მძლავრ კონკურენტულ უპირატესობას შესძენს მათ მომხმარებელ სამრეწველო კომპანიებს.

საკომუნიკაციო და ინფორმაციული ტექნოლოგიებით სარგებლობის საკუთარი გამოცდილების ხარჯზე, აგრეთვე სიახლეებზე სწრაფი რეაგირების უნარისა და კარგი გადახდიანობის გამო, მრავალი *მალატექნოლოგიური კომპანია* ასევე შეიძლება მოგვევლინოს EaaS-ის სერვისების როგორც პოტენციურ მომხმარებლად, ასევე მათ მიმწოდებლადაც. შესაბამისი სპეციალიზაციის

სხვადასხვა კომპანიებთან თანამშრომლობის გზით, მათ მომხმარებლისთვის უფრო ფართო სპექტრის მომსახურების შეთავაზების შესაძლებლობა ექნებათ. კერძოდ, ეს შეიძლება იყოს ბაზრის იმ სეგმენტებში შესვლა, რომლებშიც წარმოდგენილია ე.წ. „ჰკვიანი“ სახლების დაცვის და ენერჯომომარაგების ისეთი მოწყობილობები, როგორცაა თერმოსტატები, კვამლის დეტექტორები, უსაფრთხოების სისტემები და ა.შ.

EaaS-კომპანიების ალიანსებით *არატრადიციულ ენერჯომომწოდებლებთან*, შესაძლებელი გახდება ქარის ელექტროსადგურებიდან ენერჯის მიწოდების ოპტიმიზაცია, ხოლო მზის ენერჯის სფეროში კი პროდუქციის და მომსახურების ოპტიმიზებული პაკეტების შეთავაზება როგორც საცალო, ისე კორპორატიული კლიენტებისთვის.

გასათვალისწინებელია, რომ დროთა განმავლობაში განაწილებული ენერჯორესურსები⁵ იმდენად გავრცელდება, რომ ჩვეულებრივ პროდუქტად იქცევა. ამ პირობებში, ენერჯოაქტივების მესაკუთრეთა უფლებები განაწილდება ენერჯომომხმარებლებსა, კომპანიათა და ადგილობრივ თემებს შორის. ამასთან, ცალკეული ტექნოლოგიების (მზის პანელები სახურავებზე, ენერჯოსაცავები და ა.შ.) გამოყენების მომგებიანობა შემცირდება და შესაბამისად, სტაბილური ბიზნესის განვითარება უფრო ადვილი გახდება მსხვილი კომპანიებისთვის, რომლებსაც საქმიანობის ფართო სპექტრი გააჩნიათ. ეს კი განსაკუთრებულად ხელშემწყობ ვითარებას შეუქმნის EaaS-სერვისების იმ მიმწოდებლებს, რომლებიც შესძლებენ საკმარისად მასშტაბური პროექტების შეთავაზებას სათანადო მომხმარებლებისთვის.

რასაკვირველია, საკონტროლო ადჭურვილობის მწარმოებელი მსხვილი საერთაშორისო კომპანიები, მაგალითად Shneider Electric⁶, ისევე როგორც მთავარი

³ EaaS (Energy as a Service) - ინოვაციური ბიზნეს-მოდელია ენერჯომომარაგებაში, რომელშიც მიმწოდებელი სხვადასხვა ენერჯოსერვისებით უზრუნველყოფს მომხმარებელს და არა მხოლოდ ელექტროენერჯით

⁴ Industry 4.0 - ე.წ. "მე-4 სამრეწველო რევოლუციის" წამყვანი ტრენდია, რომლის საფუძველშია პროცესების რეალურ დროში მართვის და გარე პირობების ცვლილებებზე ადექვატური რეაგირების უნარის

მქონე სრულიად ავტომატიზებულ საწარმოთა გამოყენება

⁵ მომხმარებლების კუთვნილებაში მყოფი მცირე სიმძლავრის ენერჯოწყაროები, რომელთაც შეუძლიათ წარმოებული ენერჯის ნაჯერი რაოდენობის კომერციული მიწოდება საერთო ქსელისთვის

⁶ ენერჯომომწოდების ეფექტურობის და მდგრადობის უზრუნველყოფელი მოწყობილობების, სისტემების და ციფრული გადაწყვეტილებების მწარმოებელი ევროპული მრავალეროვნული კომპანიაა

ენერგომომწოდებლები, უკვე ანვითარებენ საკუთარ EaaS-სერვისებს. მაგრამ მსხვილი ბიზნესისთვის დამახასიათებელი მოუქნელობისა და ინერტულობის გამო, ისინი ვერ უზრუნველყოფენ იმ ინოვაციათა სწრაფ დანერგვას, რომლებიც ხელშემწყობია ბიზნესის მიმართულების „ენერჯია, როგორც მომსახურება“ დროული და ეფექტური განვითარებისთვის. ამიტომ ეს სფერო მეტად მიმზიდველი რჩება ე.წ. სტარტაპებისთვის - დამწყები მცირე კომპანიებისთვის.

ასეთი კომპანიების მოქმედების ერთ-ერთი შესაძლო მიმართულება შეიძლება ე.წ. მააგრეგირებელი პლატფორმები გახდეს, რომლებიც არა მხოლოდ აგროვებენ მონაცემებს ელექტროენერჯიის განაწილებული მიწოდების უამრავ ე.წ. პროსიუმერებისგან⁷ (prosumers), არამედ კიდევაც უწყობენ ხელს ქსელის დატვირთვის დაბალანსებას, აკონტროლებენ ძაბვებსა და სიხშირულ მახასიათებლებს. შესაბამისი ტექნოლოგიების განვითარების კვალდაკვალ, მრავალი ამ წარმატებული სტარტაპებიდან მიმზიდველ ობიექტებად გადაიქცევა შესაძენად მსხვილი კომპანიების მიერ.

შეიძლება ითქვას, რომ ბაზრის თითქმის ყველა სეგმენტზე ის სტარტაპები დაიკავებენ წამყვან პოზიციებს, რომლებიც შესძლებენ საკუთარი პოტენციალის განვითარებას ყველა საჭირო დანიშნულების ციფრული ტექნოლოგიების (დრუბლოვანი მომსახურება, ხელოვნური ინტელექტი, მონაცემთა ანალიზი, ბლოკჩეინი და ა.შ.) გამოყენებაში. ამ პოტენციალის ხარჯზე, ისინი ინდივიდუალურ საჭიროებებზე მორგებულ მოქნილი გადაწყვეტილებების ფართო სპექტრს შესთავაზებენ მომხმარებლებს და დაადგენენ პროდუქტების ინტეგრირების სტანდარტებს მათი სხვადასხვა კატეგორიებისთვის (სამრეწველო და კომერციული საწარმოები, საცხოვრებელი სახლები, სატრანსპორტო კომპანიები და ა.შ.). მომხმარებელთა მოთხოვნებისა და მათი ენერგოპორტფელის დეტალური გაცნობიერება, შესაძლებლობას

მისცემს ამ კომპანიებს შესთავაზონ მომხმარებელს მის სურვილებზე მორგებული მრავალი დამატებითი მომსახურება.

შექმნილ რეალობასთან შესაბამისობის მისაღწევად, ენერგეტიკული ბაზრის ახალ მოთამაშეებს შეცვლილი ბიზნესმოდელები დასჭირდებათ, რომლებიც მცირე ინოვაციური ბიზნესის დინამიურობას და მოქნილობას გააერთიანებენ EaaS-ს მიმართულების ტექნოლოგიურ შესაძლებლობებთან. ამ ზოგადი მოთხოვნის დასაკმაყოფილებლად, სწორ ნაბიჯად მცირე ბიზნესის სპეციალიზებული ბიზნეს-ინკუბატორის ჩამოყალიბება მიგვაჩნია, რომლის შესაძლო ორგანიზაციულ მოდელს მოკლედ აღვწერთ ქვემოთ.

მსოფლიოში არსებული პრაქტიკა ბიზნეს-ინკუბატორების ორ სახეობას იცნობს: არამომგებიანს და მოგებაზე ორიენტირებულს. ჩვენი ჩანაფიქრით, ინკუბატორი ისევე უნდა იყოს ორიენტირებული მოგების მიღებაზე, როგორც მისი "ბინადარი" ახალბედა კომპანიები. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, ინკუბატორი თავადაც უნდა წარმოადგენდეს სამეწარმეო წამოწყებას და იმართებოდეს როგორც ბიზნესი. ხოლო ბაზრის ურთიერდაკავშირებულ სეგმენტებზე მოქმედ მის "ბინადარ" კომპანიებს იგი საერთო პლატფორმას⁸ უნდა სთავაზობდეს, რომლის გამოყენებით შესაძლებელი გახდება მათი ძალისხმევის გაერთიანება ინკუბატორისთვის მოგების მომტან მსხვილი პროექტების რეალიზებისთვის.

მიგვაჩნია, რომ ასეთი პლატფორმის საფუძველი ტექნიკური სისტემების და წარმოების დღეს დაწყებული საყოველთაო დიჯიტალიზაცია (გაციფრულება) უნდა გახდეს. თავის მხრივ, დიჯიტალიზაცია კომპანიებს აიძულებს დამატებული ღირებულების შექმნის ჯაჭვებიდან გადავიდნენ ეკოსისტემის⁹ ბიზნეს-მოდელებზე, რომლებიც საბოლოო მომხმარებელთა მოთხოვნილებებში და უფრო სიღრმისეულ გარკვევას უზრუნველყოფენ (<https://morethandigital.info/ru/author/ben/>).

დამატებული ღირებულების შექმნის ჯაჭვები კომპანიის წამყვანი პროდუქტების და

⁷ ინდივიდუალები, რომლებიც რაიმე პროდუქტის ერთდროულად მწარმოებლებიც არიან და მომხმარებლებიც

⁸ მრავალმხრივი პლატფორმები (multi-sided platforms) ის ტექნოლოგიები, ნაწარმი ან სერვისებია, რომლებიც ღირებულებას ქმნიან ძირითადად მომხმარებელთა

ორი, ან მეტ ჯგუფს შორის პირდაპირი ურთიერთობის უზრუნველყოფის შედეგად

⁹ ბიზნესის ეკოსისტემა არის იმ ორგანიზაციათა ქსელი, რომლებიც გარკვეული პროდუქტის, ან სერვისის ერთობლივ მიწოდებაში ჩართულნი არიან როგორც პარტნიორები, ან თუნდაც კონკურენტები

სერვისების ირგვლივ ორგანიზდება. ეკოსისტემა კი, რომელიც მოწოდებულია დააკმაყოფილოს მოხმარებელთა მოლოდინების გაცილებით უფრო ფართო სპექტრი, ვიდრე ცალკეულ პროდუქტებს შეუძლიათ, პარტნიორებთან, მომწოდებლებთან, დისტრიბუტორებთან, კლიენტებთან და ა.შ., ქსელური ურთიერთობების დამყარებით იქმნება.

სავარაუდოა, რომ ენერგეტიკულ ბაზარზეც დამატებული ღირებულების შექმნის ჯაჭვის ბიზნეს-მოდელს სათანადო ეკოსისტემებში მოქმედებები ჩაანაცვლებენ, რომელთა შესრულებისთვის ციფრული და საკომუნიკაციო ტექნოლოგიების გამოყენების გამოცდილება იქნება საჭირო. სწორედ ამიტომ ვფიქრობთ, რომ ციფრული ეკოსისტემის ბიზნესმოდელი მაქსიმალურად შესატყვისი იქნება ჩაფიქრებული ბიზნეს-ინკუბატორის დანიშნულებისთვის: ხელშეწყობა ენერგოეფექტურობის, კერძოდ კი EaaS-ის მიმართულებით მოქმედი სტარტაპების განვითარებისთვის.

ციფრული ეკოსისტემები უკვე მრავალფეროვანია და ინდუსტრიის სხვადასხვა დარგებში ვრცელდებიან. ციფრული ეკოსისტემა ორიენტირებულია მომხმარებლებისთვის დამატებითი ღირებულების შექმნაზე მონაცემების დამუშავების და ოპერაციული პროცესების ოპტიმიზაციით. მან უნდა მოხსნას მომხმარებლებისთვის ბარიერები, რათა ეკოსისტემის თითოეულ წევრმა გამოიყენოს თანამედროვე ტექნოლოგიები და სისტემები ინდივიდუალური საჭიროებების დასაკმაყოფილებლად.

კლიენტორიენტირებულობა - ციფრული ეკოსისტემების მთავარი თვისებაა, რომელიც როგორც მის შიდა, ისე გარე ურთიერთობების ერთიანი ინფორმაციული პლატფორმის საფუძველზე აგებით მიიღწევა. მომხმარებელზე ფოკუსირება მოიცავს როგორც ოპერაციულ საქმიანობას მთლიანად, ისე თანამშრომლობას ეკოსისტემის ნაწილებს შორის და მაქსიმალურ ინტეგრირებას პროდუქტების/მომსახურების მომხმარებლებთან. ამისთვის, ეკოსისტემა უნდა სთავაზობდეს მომხმარებელს ადვილად გამოსაყენებელ ერთიანი ინფორმაციული სისტემას, რომელიც უზრუნველყოფს ინდივიდუალიზებულ ღირებულების შექმნას, სხვადასხვა მომსახურების, პროდუქტებისა და ცოდნის კომბინაციის მისთვის მიწოდების მეშვეობით.

ეკოსისტემის ძირითადი ცნებებია [2] :

- იყენებს ერთი ფანჯრის პრინციპს, რომელიც მუშაობს ერთიანი ინფორმაციულ გარემოცვაში;

- მონაცემთა რაოდენობის ზრდასთან ერთად, ხდება მათი ადაპტირება კლიენტის მოთხოვნებთან შემდეგის მეშვეობით:

- ერთიანი პროფილის მომხმარებლის ფორმირებით,

- ეკოსისტემაში შენაძენების შეჯამება-განზოგადებით,

- მომხმარებლისთვის მიზნობრივი შეთავაზების ფორმირებით

- ხსნის ბიზნესის განვითარების შეზღუდვებს პროდუქციის და მომსახურების მცირე და საშუალო მწარმოებელთათვის.

მეწარმეთა ურთიერთქმედების ჩვეულებრივი სისტემების მსგავსად, ეკოსისტემებიც საჭიროებენ რეგულირებას, რაც ჩვენი ინკუბატორის ერთ-ერთი მთავარი ფუნქცია იქნება. აღნიშნულის უზრუნველსაყოფად მას შესაბამისი სტრუქტურა უნდა გააჩნდეს, რომლის ძირითადი ელემენტებია:

- სპეციალიზაცია, ანუ სტრუქტურირება მომხმარებელთა ერთი ან რამდენიმე ძირითადი ურთიერთდაკავშირებული საჭიროების გარშემო;

- სხვადასხვა პროდუქტებსა და მომსახურებების მიწოდების ერთობლიობა, აგებული საერთო პლატფორმაზე;

- ონლაინ და ოფლაინ სერვისების ხელმისაწვდომობა.

ჩვენი წინადადების შესაბამისი ეკოსისტემის ბიზნეს-მოდელის შექმნამდე, უნდა განისაზღვროს თუ რა როლს შეასრულებენ მასში როგორც "ბინადარი" სტარტაპ-კომპანიები, ისე თავად ინკუბატორი. ზოგადად, ასეთი შეიძლება იყოს ორი როლი: მოდულური მწარმოებლის და ეკოსისტემის დრაივერის.

მოდულური მწარმოებლები. კომპანიები, რომლებიც ბაზარს ისეთი მზა პროდუქტით, ან მომსახურებით ამარაგებენ, რომელიც შეიძლება ტრანსფორმირდეს ცალკეული კლიენტის ინდივიდუალური მოთხოვნების მიხედვით, მოდულური მწარმოებლები არიან. სწორედ ასეთები იქნება ინკუბატორის "ბინადარი" კომპანიების უმრავლესობა. კონკურენტულობისთვის ისინი უნდა გამორჩეულნი იყვნენ თავიანთ ძირითად საქმიანობაში, ხოლო განვითარებისა და წინსვლისთვის - მუდმივად

ნერგავდნენ ინოვაციებს საკუთარ პროდუქტებსა და მომსახურებებში. ისინი უნდა უზრუნველყოფდნენ ისეთ ხარისხს, რომლის გამო მათი შეთავაზებები საუკეთესოა შორია საუკეთესო და ამავდროულად ფასით ადექვატური იქნება. აღნიშნულის მიღწევაში კი მათ ინკუბატორი უნდა ეხმარებოდეს.

ეკოსისტემის დრაივერები. ეს ის კომპანიებია, რომლებიც დამატებითი მომსახურების მიმწოდებელ პარტნიორებთან, ზოგჯერ კი კონკურენტებთანაც ურთიერთობის გაღრმავების გზით, აშენებენ მომხმარებლის უკეთეს დაკმაყოფილებაზე მიმართულ ეკოსისტემას. სწორედ ეკოსისტემის დრაივერის მოდელი გვესახება ყველაზე საინტერესოდ თავად ბიზნეს-ინკუბატორის ორგანიზებისთვის, როგორც სამეწარმეო წამოწყების.

ეკოსისტემის დრაივერად გადაქცევის გამოწვევა, კომპანიას აიძულებს განავითაროს საკუთარ თავში სხვებთან კოორდინირებული მუშაობისთვის საჭირო უნარ-ჩვევები და მეთოდები. ამისთვის კი საჭიროა, რომ ეკოსისტემის დრაივერმა ჩვენს შემთხვევაში ინკუბატორმა, შექმნას პლატფორმა, რომელშიც სხვებს მოუწოდებთ გაწევრიანება, ფლობდეს მონაცემების მდიდარ ბაზას და ახორციელებდეს ინოვაციების ნაკადის მუდმივ მხარდაჭერას. რადგან ეს მოდელი მრავალ ნაწილს მოიცავს, რომლებიც ერთად უნდა მუშაობდნენ, კომპანია-დრაივერს მძლავრი ციფრული მმართველობა დასჭირდება, რაც მუდმივად გააძლიერებს პლატფორმას და არ გამოიწვევს მის ფრაგმენტაციას (S. L. Woerner and P. Weill, "Digital Ecosystem Models" [3]).

საკუთარი და პარტნიორების შესაძლებლობების გამოყენებით, ეკოსისტემის დრაივერები მომსახურების სრულ სპექტრს სთავაზობენ მომხმარებელთა ქვეჯგუფებს. შესაბამის გადასახადს დრაივერები ეკოსისტემის წევრებისგან, მომხმარებლებისგან, ასევე სხვა მომსახურების მიმწოდებლებისგან იღებენ. ხოლო ეკოსისტემის წევრებს, ჩვენს შემთხვევაში ინკუბატორის "ბინადრებს", იზიდავთ ეკოსისტემის შემქმნელი ბრენდის სიძლიერე და მომხმარებელთა რეიტინგები, რაც მათაც აძლევთ შესაძლებლობას გაზარდონ საკუთარი რეპუტაცია და გააფართოვონ ბიზნეს პრაქტიკა.

ეკოსისტემების დრაივერები მუდმივი კონტაქტისკენ მიისწრაფვიან მათი მომხმარებლების შესაბამის ქვეჯგუფებთან. მაგალითად, Schneider Electric-ს სურს, რომ

მომხმარებლებს, რომლებიც ენერგო-მომარაგებასა და ავტომატიზაციაზე ფიქრობენ, პირველ რიგში ახსენდებოდეთ ეს კომპანია. ამიტომ ინკუბატორის ჩანაფიქრი, რომ გახდეს შესაბამისი ეკოსისტემის დრაივერი, სათანადო მსხვილ პარტნიორთან თანამშრომლობით უნდა რეალიზდებოდეს. ასეთი შეიძლება გახდეს კომპანია "მონტაჟ-ჯორჯია", რომელიც თავის მხრივ, Schneider Electric-ს ავტორიზებული წარმომადგენელია ჩვენს რეგიონში.

დასკვნა. ბაზრის თითქმის ყველა სეგმენტზე ის სტარტაპები დაიკავებენ წამყვან პოზიციებს, რომლებიც შეძლებენ საკუთარი პოტენციალის განვითარებას ყველა საჭირო დანიშნულების ციფრული ტექნოლოგიების (დრუბლოვანი მომსახურება, ხელოვნური ინტელექტი, მონაცემთა ანალიზი, ბლოკჩეინი და ა.შ.) გამოყენებაში. სწორედ ამ რეალობის მისაღწევად ენერგეტიკული ბაზრის ახალ მოთამაშეებს შეეცვლილი ბიზნესმოდელები დასჭირდებათ, რომლებიც მცირე ინოვაციური ბიზნესის დინამიურობას და მოქნილობას გააერთიანებს. ამისათვის კი საჭიროა, ეკოსისტემის დრაივერმა შექმნას პლატფორმა- ინკუბატორი, რომელიც ფლობს მონაცემებს და ახორციელებს ინოვაციების მუდმივ მხარდაჭერას. ამიტომ ინკუბატორის ჩანაფიქრი, რომ გახდეს შესაბამისი ეკოსისტემის დრაივერი, სათანადო მსხვილ პარტნიორთან თანამშრომლობით უნდა რეალიზდებოდეს. ასეთი შეიძლება გახდეს კომპანია "მონტაჟ-ჯორჯია", რომელიც თავის მხრივ, Schneider Electric-ს ავტორიზებული წარმომადგენელია ჩვენს რეგიონში.

ლიტერატურა

1. <https://morehandigital.info/ru/author/ben/>
2. <https://neftegaz.ru/tech-library/menedzhment/147972-ekosistema/>
3. <https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/xx/pdf/2017/07/harvey-nash-kpmg-cio-survey-2017.pdf>

საქართველოს მცირე სიმძლავრის ჰიდროელექტროსადგურებისთვის დამაგროვებლების გამოყენების ეფექტიანობის შეფასება და დანერგვა ელექტროსისტემაში

დავით ჯაფარიძე, ტექნ. მეცნ. დოქტორი, პროფესორი

საქ. ტექნიკ. უნივერსიტეტი, ქ. თბილისი, საქართველო, e-mail: japaridze.d55@gmail.com

გიორგი ლუდუმიძე, დოქტორანტი

საქ. ტექნიკ. უნივერსიტეტი, თბილისი, საქართველო, e-mail: g.gudumidze95@gmail.com

ანოტაცია. ელექტროენერჯის დამაგროვებელი სისტემების ელექტროენერგეტიკაში გამოყენების მსოფლიო გამოცდილების სიღრმისეული მეცნიერული ანალიზის საფუძველზე შერჩეულია საქართველოს მცირეელექტროსადგურებში ამ სისტემების დანერგვის ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების მიხედვით ყველაზე ეფექტური დამაგროვებლის ტიპები. შემუშავებულია ელექტროენერჯის დამაგროვებლების მცირე ჰიდროელექტროსადგურებში დანერგვის ეფექტიანობის ეკონომეტრიკული მოდელი. დადგენილია ენერგო-პრო ჯორჯიას საკუთრებაში არსებულ ხუთი მცირე ჰიდროელექტროსადგურში დამაგროვებელი ელექტროსადგურების დანერგვის ეფექტიანობა. მიღებული შედეგების ანალიზით განსაზღვრულია საქართველოს ელექტროსისტემაში შერჩეული ელექტროენერჯის დამაგროვებლების დანერგვის პერსპექტივები. ჩატარებული კვლევებით დადასტურებულია ქვეყნის ელექტროენერგეტიკაში დამაგროვებლების საყოველთაო დანერგვის მიზანშეწონილობა. რეკომენდებულია, შეიქმნას ცნობილ მეცნიერ-ენერგეტიკოსთა ჯგუფი, გამოიკვლიოს ქვეყანაში მოქმედი ყველა სადგურის დატვირთვის რეჟიმები, გამოიმუშავდეს არსებული რეზერვები და მიღებულ შედეგებიდან გამომდინარე შემუშავდეს საქართველოს ენერგოსისტემაში ელექტროდამაგროვებელი სადგურების დანერგვის სტრატეგიული გეგმა და მისი განხორციელების პროგრამა.

საკვანძო სიტყვები: ელექტროენერჯის დამაგროვებლები, მცირე სიმძლავრის

ჰიდროელექტროსადგურები, ეფექტიანობა, ეკონომეტრიკული მოდელი, ანალიზი, პერსპექტივები.

Evaluating the efficiency of using energy storages for small capacity hydropower plants in Georgia and introducing them in the electricity system

David Japaridze, Doctor of Technical Science, Professor

Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, e-mail: japaridze.d55@gmail.com

Giorgi Ghudumidze, Doctoral Student

Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, e-mail: g.gudumidze95@gmail.com

Annotation. Based on a deep scientific analysis of the world experience in the field of storage systems for electricity in the electric power industry, the types of the most efficient collectors were selected in accordance with the technical and economic indicators of the efficiency of implementation at small power plants in Georgia. An econometric model of the efficiency of the introduction of electricity collectors at small hydroelectric power plants has been developed. The effectiveness of its implementation at five small hydroelectric power plants owned by the company "Energo-Pro Georgia" has been established. Based on the analysis of the results obtained, the prospects for the introduction of individual electric collectors into the power system of Georgia have been determined. Studies have shown that, taking into account world experience, it is advisable to introduce batteries into the country's electricity. In this direction, a group of well-known energy scientists has to be created, which will study the loading modes of all stations operating in the country, existing production reserves and, on the basis of the results obtained, will develop a strategic development plan for the

Keywords: Electricity storage systems, small capacity hydropower plants, efficiency, econometric model, analysis, implementation, prospects

შესავალი. თანამედროვე მსოფლიოში განსაკუთრებული ყურადღება ექცევა ელექტროენერჯის დამაგროვებელი სისტემების შექმნას, ტექნოლოგიურ სრულყოფასა და მის გამოყენებას ელექტროენერჯის მდგრადობისა და საიმედოობის ამაღლებაში. ელექტროენერჯის

დამაგროვებელი სადგურების სახით აქტიურად არის გავრცელებული მსოფლიოს მრავალ ქვეყანაში და მნიშვნელოვან როლს ასრულებს ქვეყანაში ელექტროენერჯის რეზერვის შექმნაში, სისტემისთვის მის მიწოდებასა და ქსელში სიხშირის დაბალანსებაში. [1,2,3,4]

სწორედ ამიტომ ელექტრომომარაგებაში დამაგროვებელი სადგურების გამოყენების საკითხი მრავალი ცნობილი მეცნიერის ყურადღების ცენტრშია მოქცეული. [1, 3, 5, 7,8]

მეცნიერთა ძალისხმევა მიმართულია ელექტროენერჯის დამაგროვებელი სადგურების დანერგვის ეფექტიანობის შეფასების სრულყოფილი მეთოდის შესამუშავებლად. ელექტროენერჯის შემნახველი სადგური არის ელექტროსადგურის ის ტიპი, რომელიც იყენებს ბატარეების ჯგუფს ელექტროენერჯის შესანახად. ბატარეის (აკუმულატორის) მეხსიერება ქსელში ელექტროენერჯის ყველაზე სწრაფი რეაგირების წყაროა და გამოიყენება ქსელის მუშაობის სტაბილურობისთვის. მისი სრული ნომინალური სიმძავრე ძირითადად შექმნილია ერთიდან რამდენიმე საათამდე. დამაგროვებელი ელექტროსადგურები გამოიყენება მოკლევადიანი პიკური მოხმარების დასაბალანსებლად და დამხმარე მომსახურებისთვის, ოპერატიული რეზერვის, სიხშირის კონტროლის უზრუნველსაყოფად და ელექტროენერჯის მიწოდების წყვეტების შესამცირებლად. აღსანიშნავია, რომ 2019 წლის მდგომარეობით მსოფლიოში დამაგროვებლების ჯამურმა სიმძლავრემ 365 გვტს-ს მიაღწია. ამ მხრივ ელექტროენერჯის შენახვა უკანასკნელ წლებში ორჯერ გაიზარდა. [6, 9, 10]

მსოფლიო გამოცდილების მეცნიერული ანალიზის საფუძველზე ელექტროენერჯის თანამედროვე ტექნოლოგიების გამოყენებით შექმნილი ელექტროდამაგროვებელი სისტემების დანერგვა განსაკუთრებით აქტუალურია საქართველოსთვის, სადაც ელექტროენერჯის დაახლოებით 20% იწარმოება სეზონურ ჰიდროენერჯეტიკულად. [11].

პერსპექტივაში გათვალისწინებულია მზისა და ქარის სადგურების მშენებლობა. საზოგადოების მხრივ დიდი წინააღმდეგობის გამო ვერ ხერხდება მაღალი ტემპით ათვისება და მსხვილი მარეგულირებელი სადგურების მშენებლობა. ამის გათვალისწინებით სეზონული ჰესების, ქარისა და მზის ელექტროსადგურებისთვის დამაგროვებელი სისტემების დანერგვით შესაძლებელია ელექტროენერჯის მნიშვნელოვანი მოცულობის შენახვა და მისი საშუალებით ოპერატიული რეზერვის შექმნა.

ძირითადი ნაწილი. დასმული ამოცანის გადაწყვეტის მიზნით გაანალიზდა მსოფლიოს

განვითარებულ ქვეყნებში ელექტროენერჯის დამაგროვებელი სადგურების წარმოებისა და ენერგეტიკაში დანერგვის უკანასკნელი 10 წლის გამოცდილება. [1,2,3,4,5,6,7,8,9].

კვლევამ აჩვენა, რომ ბოლო წლებში ამ მიმართულებით მნიშვნელოვანი შედეგებია მიღწეული. შექმნილია მსხილი სხვადასხვა სიმძლავრის ელექტროენერჯის დამაგროვებლები, გაუმჯობესებულია ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლები, გაფართოვდა გამოყენების არეალი. ყოველწლიურად კლებით ხასიათდება წარმოების ღირებულება და იზრდება ეფექტიანობა. განვითარებულ ქვეყნებში მიღწეული შედეგებისა და საქართველოში ელექტროენერჯის წარმოების სეზონურობისა და მოქმედი მცირე სიმძლავრის ჰიდროენერგეტიკული მახასიათებლების გათვალისწინებით, შერჩეულია ელექტროენერჯის დამაგროვებლების ხუთი სხვადასხვა ტიპი, 15 მგვტ და ნაკლები სიმძლავრის ჰიდროენერჯეტიკულად დანერგვის ეფექტიანობის შესაფასებლად შედგენილია ელექტროენერჯის დამაგროვებლების ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების კრებითი (ცხრ.1).

ცხრ. 1-ში არსებული ელექტროენერჯის დამაგროვებელი ტიპების ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების შედარებითი ანალიზით გამოირკვა, რომ მოცემული ელექტროენერჯის დამაგროვებელი ტიპებიდან, როგორც ტექნიკური, ისე ეკონომიკური მაჩვენებლებით ყველაზე ეფექტურია ლითიუმ-იონის ტიპის ელექტროენერჯის დამაგროვებლის გამოყენება. საქართველოს მცირე ჰიდროენერგეტიკაში დამაგროვებლის მითითებული ტიპი სრულად აკმაყოფილებს მოთხოვნებსა და მისი პრაქტიკაში დანერგვა რეალური დადებითი შედეგის მომტანი იქნება. ამ ტიპის დამაგროვებლის საინვესტიციო ღირებულება 2020 წელს შეადგენდა 385\$-ს და 2030 წლისთვის \$ 270-მდე შემცირდება. [4]. ასევე საკმაოდ ეფექტურია მისი სისტემასთან ინტეგრაცია და სრული დატვირთვით სისტემისთვის მიწოდების დრო, რომელიც მერყეობს 1-დან 4 წმ-მდე. მცირეა საექსპლუატაციო ხარჯები. 2020 წლის

III საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენცია "ენერგეტიკის თანამედროვე პრობლემები და მათი გადაწყვეტის გზები", თბილისი, საქართველო, 2021 წლის 7-10 ივნისი
III International Scientific and Technological Conference "Modern problem of power engineering and ways of solving them", Tbilisi, Georgia, June 7-10, 2021

მონაცემებით საექსპლუატაციო ფიქსირებული ხარჯი წელიწადში 1 კვტ-ზე \$ 3.79-ს შეადგენს, ხოლო ცვლადი ხარჯი \$ 0.5125-ს 1 მგვტ.სთ-ზე. ეფექტიანობის შესაფასებლად მსოფლიოში სხვადასხვა მეთოდებია გამოყენებული [1,2,3,4,5,6,7,8,9,10, 11].

ამ მეთოდებში ნაკლებად ან საერთოდ არ არის გათვალისწინებული პრობლემის გადაწყვეტილებისადმი კომპლექსური მიდგომა და მრავალფაქტორიანი გადაწყვეტილება, რაც მიუთითებს იმაზე, რომ ელექტროენერჯის დამაგროვებელი სისტემის ეფექტიანობის შეფასება უნდა განხორციელდეს ახლებული მეთოდებით. ამ პრობლემის გადასაჭრელად აუცილებელია ეფექტიანობის შეფასების ისეთი კრიტერიუმების შემოღება, რომლებშიც გათვალისწინებული იქნება მასზე მოქმედი

ყველა შესაძლო ფაქტორი და უზრუნველყოფილი იქნება ელექტროენერჯის ისეთი დამაგროვებლების შერჩევა, რომლის ტექნიკურ-ეკონომიკური მახასიათებლები სრულად დააკმაყოფილებს მისი გამოყენების ეფექტიანობას. ანალიზმა აჩვენა, რომ ელექტროენერჯის დამაგროვებლების სისტემის გამოყენების ეფექტიანობა ყველაზე სრულყოფილად შეიძლება შეფასდეს წმინდა დისკონტირებული შემოსავლის კრიტერიუმით, იმ პირობით, რომ დამაგროვებლის ტექნიკური მახასიათებლები დააკმაყოფილებს ყველა მოთხოვნას. ეს კრიტერიუმი იძლევა საშუალებას ობიექტურად შეფასდეს დამაგროვებელი სისტემის დანერგვისთვის გაწეული ხარჯები და მისგან მიღებული ეფექტი.

ცხრილი 1

	პარამეტრი	განზომილება	ნატრიუმ-გოგირდის ბატარეა		ლითიუმ-იონის ბატარეა		ტყვიის მჟავა		ნატრიუმ ლითონის პალიდი		თუთია-ჰიბრიდული კათოდი	
			2020	2030	2020	2030	2020	2030	2020	2030	2020	2030
ექსპლუატაციაში შესასვლელი ხარჯები	შენახვის ბლოკი	\$/კვტსთ	661	465	165	99	260	220	700	482	265	192
	სასისტემო ბალანსი	\$/კვტსთ	100	95	38	27	100	95	100	95	150	91
	აღჭურვილობა	\$/კვტ	133	127	63	54	176	167	115	110	173	164
	კონტროლი და კომუნიკაცია	\$/კვტ	7	6	2	1	4	3	5	4	4	3
	სისტემასთან ინტეგრაცია	\$/კვტსთ	100	95	44	31	62	54	59	53	55	47
	შესყიდვები, ინჟინერია და მშენებლობა	\$/კვტსთ	64	61	53	43	54	50	53	48	51	46
	პროექტის განვითარება	\$/კვტსთ	102	97	63	52	84	81	82	77	81	75
	ქსელში ინტეგრაცია	\$/კვტ	48	45	20	16	27	26	26	24	25	23
	მთლიანი ღირებულება (მშენებლობა და ექსპლუატაციაში შესვლა)	\$/კვტ	3626	2674	1541	1081	2194	1854	3710	2674	2202	1730
მთლიანი ღირებულება (მშენებლობა და ექსპლუატაციაში შესვლა)	\$/კვტსთ	907	669	385	270	549	464	928	669	551	433	
საოპერაციო ხარჯები	ფიქსირებული	\$/კვტ - წელი	11.5	10.3	3.79	3.1	7.61	6.98	7.87	7.11	6.67	6.31
	ცვლადი	\$/მგვტსთ	1.12		0.5125		0.99		1.1		0.87	
	სასისტემო დანაკარგი	\$/კვტსთ	0.032	0.027	0.005	0.004	0.03	0.024	0.031	0.027	0.03	0.026
აღწერა	ეფექტიანობა	%	75%	76%	86%	88%	78%	79%	79%	81%	79%	82%
	რეაგირების დრო	წმ	11-13		1-4		9-11		10-11		8-9	
	ციკლის სიგოცხლის ხანგრძლივობა	#	1200	1250	2000	2100	1350	1470	1390	1510	1415	1550
	ხანგრძლივობა	წელი	10		10		10		10		10	
	საშუალო ხანგრძლივობა	წელი	3.5	3.6	5.77	6.06	3.89	4.24	4.01015	4.35635	4.082275	4.47175

სადაც

ზოგადად ელექტროენერჯის დამაგროვებელი სისტემების დანერგვის ეფექტიანობა შეიძლება შეფასდეს შემდეგი ფორმულით: [11]

P_n – არის ანგარიში n -ბიჯზე მიღწეული შედეგი;
 E_n – დანახარჯები, ანგარიშის n ბიჯზე n - ბიჯის ნომერი;

$$\sum_{n=1}^T \beta^n \cdot \sum_{n=1}^T x(P_n \times E_n) \times \alpha_n > 0 \rightarrow \max (1)$$

III საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენცია "ენერგეტიკის თანამედროვე პრობლემები და მათი გადაწყვეტის გზები", თბილისი, საქართველო, 2021 წლის 7-10 ივნისი
III International Scientific and Technological Conference "Modern problem of power engineering and ways of solving them", Tbilisi, Georgia, June 7-10, 2021

α_n - დისკონტირების კოეფიციენტი, რომელიც ტოლია $\frac{1}{(1+E_{mi})}$;
 E_{mi} - დისკონტირების ნორმა.

$$\sum_{n=1}^T \text{წდშ} = \frac{\sum_{n=1}^T (N_i \times W_i (T_{რეზ} - T_{შეს}) + A_j N_j - (N_j K_j I_{ობ} + N S t))}{(1+E_n)^t} > 0 \rightarrow \max \quad (2)$$

სადაც m -არის ბიჯის ნომერი;
 T - არის დამაგროვებელი სისტემის ექსპლუატაციის ვადა, (წლებში);
 W_i - ელექტროენერგიის დამაგროვებლებში შენახული ელექტროენერგიის მოცულობა, (კვტსთ);
 $T_{რეზ}$ - სარეზერვო ელექტროენერგიის ტარიფი (თეთრი/კვტ.სთ);
 $T_{შეს}$ - გენერაციის ობიექტის მიერ გამომუშავებული ელექტროენერგიის ტარიფი (თეთრი/კვტ.სთ);
 A_{mi} - i დამაგროვებლის საამორტიზაციო ხარჯების სიდიდე, ათასი ლარი/წელიწადში;
 K_i - ელექტროენერგიის დამაგროვებლის დანერგვისთვის აუცილებელი საინვესტიციო ხარჯები, ათასი ლარი;
 I_{ni} - ინვესტიციების შემოსავლიანობის კოეფიციენტი;

ელექტროენერგიის დამაგროვებლების დანერგვის ეფექტიანობაზე მოქმედი ფაქტორებისა და დადგენილი კრიტერიუმების გათვალისწინებით, ფორმულა (1)-ის ეფექტიანობის შეფასების ეკონომეტრიკული მოდელი მიიღებს შემდეგ სახეს:

S_i - დამაგროვებლის საექსპლუატაციო ხარჯები ლარი/წელიწადში;
 E_{ni} - დისკონტირების კოეფიციენტი;

ელექტროენერგიის დამაგროვებელი სისტემის დანერგვის ეფექტიანობის შეფასების მათემატიკური მოდელი აპრობირებულია ენერგო-პრო ჯორჯიაში მოქმედი მცირე სიმძლავრის 5 ელექტროსადგურის მაგალითზე. ამ მიზნით შესწავლილია მითითებული ელექტროსადგურების ექსპლუატაციის რეჟიმები, დადგენილია წლიური გამომუშავების მოცულობა, შეფასებულია რეზერვად მათი გამოყენების პერსპექტივა, დადგმული სიმძლავრის გამოყენების კოეფიციენტი, ჰიდრორესურსის სეზონურობის თვისებურება, ამ რესურსის გამოყენების მაქსიმალური შესაძლებლობა და მისი ათვისების მდგომარეობა. აღნიშნული მონაცემები შეტანილია ცხრ. 2-ში.

ცხრილი 2

სადგურის დასახელება	სიმძლავრე (მგვტ)	2020 წლის გამომუშავებული ელ. ენერჯია (მგვტ სთ)	მარტივი ქმედების კოეფიციენტი	წლის სეზონურობის %	წლის რესურსის სრულად ათვისების დროს ელ. ენერჯიის დაახლოებითი გამომუშავებული რაოდენობა (მგვტ სთ)	სხვაობა
სიონპესი	9	10748.6	0.87	73%	13220.83	2472.19
მარტყოფესი	3.9	693.2	0.8	75%	824.88	131.70
ჩხოროწყუპესი	6	17803.4	0.89	71%	22788.38	4984.96
კინკიბაპესი	0.864	1900.2	0.78	77%	2223.29	323.04
საცხენპესი	14	8907.9	0.8	67%	10244.03	1336.18

ცხრ. 1,2-ის და ფორმულა (2)-ის გათვალისწინებით შეფასდა ენერგო-პრო ჯორჯიას საკუთრებაში არსებულ ხუთ მცირე ჰიდროელექტროსადგურზე დამაგროვებლების დანერგვის ეფექტიანობა. განისაზღვრა დამაგროვებელი სადგურის სიცოცხლის საშუალო ხანგრძლივობა და წმინდა დისკონტირებული შემოსავლების

გათვალისწინებით შეფასდა მისი მომგებიანობა. განხილულია ელექტროენერგიის დამაგროვებლის ენერგო-პრო ჯორჯიას ხუთ მცირე ჰიდროელექტროსადგურზე გამოყენების ორი ვარიანტი.

I ვარიანტი: როდესაც ჰიდრო-ელექტროსადგურის მიერ გამომუშავებული

III საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენცია "ენერგეტიკის თანამედროვე პრობლემები და მათი გადაწყვეტის გზები", თბილისი, საქართველო, 2021 წლის 7-10 ივნისი
III International Scientific and Technological Conference "Modern problem of power engineering and ways of solving them", Tbilisi, Georgia, June 7-10, 2021

სრული ელექტროენერგია რეზერვში გადაგვყავს დამაგროვებლის მეშვეობით.

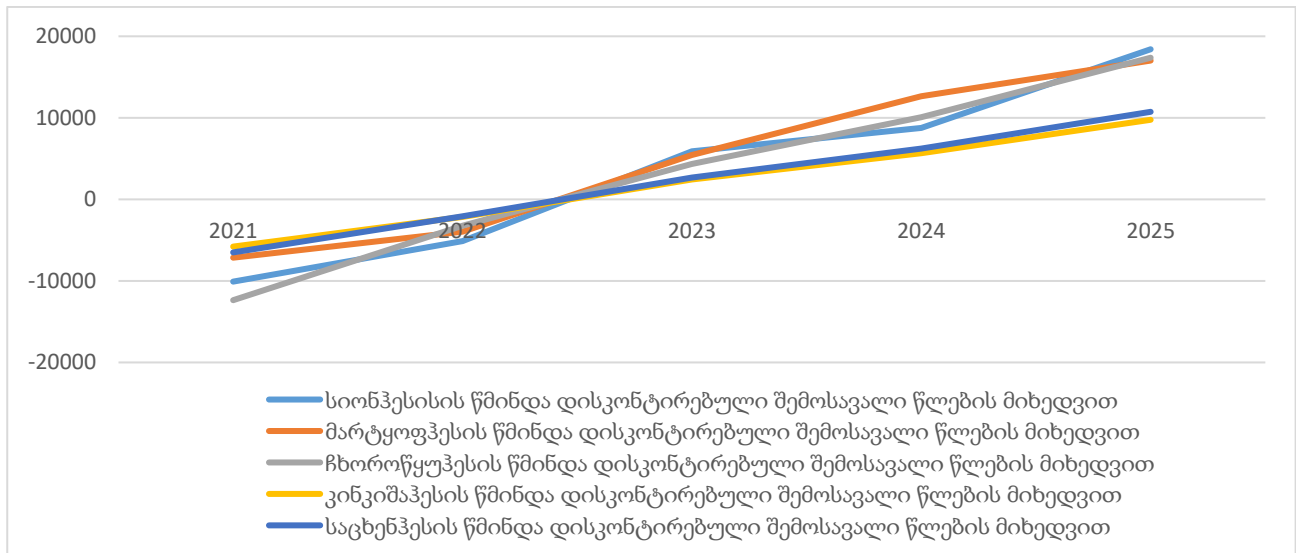
II ვარიანტი: ელექტროსადგურში მაქსიმალურად არის ათვისებული ჰიდრორესურსი და სადგურის მიერ გამომუშავებული ელექტროენერგია დამაგროვებლის საშუალებით რეზერვირებულია.

შემოთავაზებული ვარიანტების მიხედვით ცხრ. 2-ის მონაცემებისა და ეკონომეტრიკული

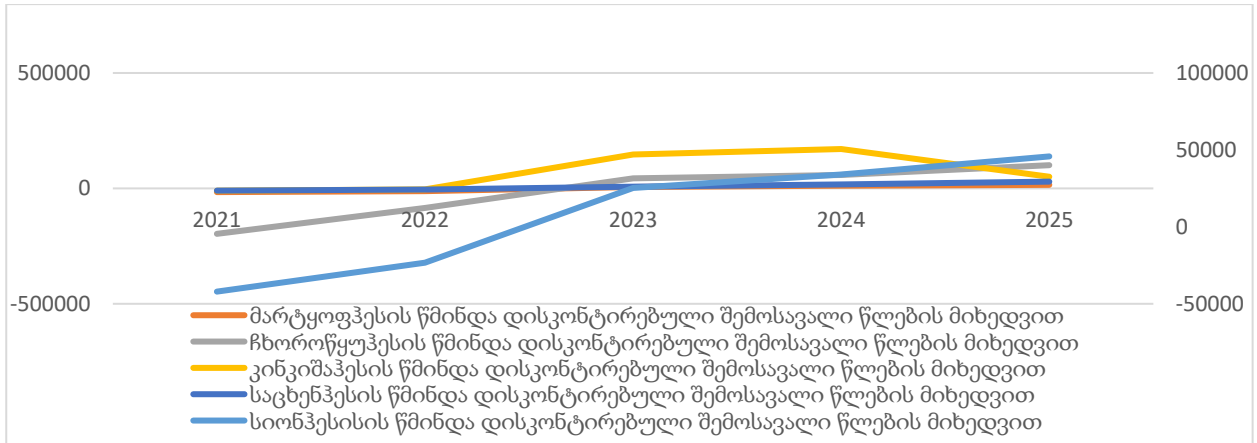
მოდელით შეფასებულია მითითებულ მცირე სიმძლავრის ჰიდროელექტროსადგურებში ელექტროენერგიის დამაგროვებლის დანერგვის ეფექტიანობა. ანგარიშის შედეგები მოცემულია ცხრ. 3-ში. თვალსაჩინოებისთვის აღნიშნული შედეგები წარმოდგენილია გრაფიკის სახით ნახ. 1 და 2.

ცხრილი 3

პერიოდი	სიონჯესის წმინდა დისკონტირებული შემოსავალი წლების მიხედვით		მარტყოფკესის წმინდა დისკონტირებული შემოსავალი წლების მიხედვით		ჩხოროწყესის წმინდა დისკონტირებული შემოსავალი წლების მიხედვით		კინკიშაპესის წმინდა დისკონტირებული შემოსავალი წლების მიხედვით		საცხენჯესის წმინდა დისკონტირებული შემოსავალი წლების მიხედვით	
	სრულად დარეზერვების შემთხვევაში	მხოლოდ დამატებით გამომუშავებული ელექტროენერგიის დარეზერვება	სრულად დარეზერვების შემთხვევაში	მხოლოდ დამატებით გამომუშავებული ელექტროენერგიის დარეზერვება	სრულად დარეზერვების შემთხვევაში	მხოლოდ დამატებით გამომუშავებული ელექტროენერგიის დარეზერვება	სრულად დარეზერვების შემთხვევაში	მხოლოდ დამატებით გამომუშავებული ელექტროენერგიის დარეზერვება	სრულად დარეზერვების შემთხვევაში	მხოლოდ დამატებით გამომუშავებული ელექტროენერგიის დარეზერვება
2021	-10088.36207	-42084.18353	-7151.361146	-16076.24469	-12363.57413	-196833.4532	-5791.998763	-10116.78721	-6505.863566	-9687.890502
2022	-5108.183347	-23242.71992	-3949.633099	-11947.26865	-3225.991032	-84842.00568	-2152.199303	-4360.684144	-2084.015708	-4843.945251
2023	5897.542147	25290.73403	5453.178064	6292.385472	4343.116165	43334.73788	2440.006015	147038.2429	2684.968109	7333.965461
2024	8765.669065	34031.21171	12651.37311	11393.2408	10076.0295	58311.22329	5660.813954	170564.3617	6229.126012	17014.79987
2025	18410.89989	45792.39847	17023.68765	15330.74483	17372.46466	100536.5919	9760.024058	50268.29594	10739.87244	29335.86184



ნახ. 1. წდშ-ის ცვალებადობის დინამიკა, I ვარიანტი



ნახ. 2. წდმ-ის ცვალებადობის დინამიკა, II ვარიანტი

დღეის მდგომარეობით ესკოს ოფიციალური მონაცემებით საქართველოში არსებობს 73 მცირე სიმძლავრის ჰიდროელექტროსადგური. მათი ჯამური დადგმული სიმძლავრე არის 274 მგვტ და შეიძლება ითქვას, რომ მათ მიერ გამოიმუშავებული ელექტროენერგია აღემატება 1 მლრდ. კვტ.სთ-ს წელიწადში. საჭიროა ჩატარდეს ფარტომამუშაბიანი კვლევა. შეიძლება ითქვას, რომ არსებული მეთდიკის გამოყენებით საქართველოში მოქმედ მცირე ჰიდროელექტროსადგურებში დამაგროვებელი სისტემების დანერგვა 1 მლრდ. კვტ.სთ-ზე მეტი ელექტროენერგიის რეზერვების შესაძლებლობას იძლევა.

დასკვნები და რეკომენდაციები

1. ელექტროენერგეტიკაში ელექტრო-ენერგიის დამაგროვებლების მსოფლიო გამოცდილების სიღრმისეული შესწავლის საფუძველზე შერჩეულია საქართველოს მცირე ელექტროსადგურების ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების მიხედვით ყველაზე ეფექტური ელექტროენერგიის დამაგროვებლების ტიპები.

2. ინვესტიციების ეფექტიანობის შეფასების არსებული მეთოდების მეცნიერული შესწავლით შერჩეულია მცირე ჰიდროელექტროსადგურებში დამაგროვებლების გამოყენების ეფექტიანობის განსაზღვრის კრიტერიუმი და შემუშავებულია ელექტროენერგიის დამაგროვებლის დანერგვის ეფექტიანობის შეფასების ეკონომეტრიკული მოდელი.

3. ელექტროენერგიის დამაგროვებლის დანერგვის ეფექტიანობის შეფასების ეკონომეტრიკული მოდელი აპრობირებულია ენერგო-პრო ჯორჯიას კუთვნილ 5 მცირე ჰიდროელექტროსადგურის მაგალითზე, სადაც ჩატარდა შეფასების ეკონომეტრიკული მოდელირება და მიღებული შედეგებით დადგინდა დანერგვის ეფექტიანობა.

4. ჩამოყალიბებულია მცირე სიმძლავრის ჰიდროელექტროსადგურებში ელექტრო-ენერგიის დამაგროვებლების დანერგვის ეფექტიანობის შეფასების ერთიანი მეთოდოლოგია, რომელიც ატარებს უნივერსალურ ხასიათსა და მისი გამოყენება შესაძლებელია ნებისმიერი სიმძლავრის ელექტროენერგიის დამაგროვებელი სადგურების დანერგვის მიზანშეწონილობის შესაფასებლად.

5. ჩატარებული კვლევებით დასტურდება, რომ დამაგროვებელი სისტემების საყოველთაო დანერგვა მიზანშეწონილია განხორციელდეს ქვეყნის ელექტროენერგეტიკაში.

6. ელექტროენერგიის დამაგროვებელი სისტემების საქართველოს ელექტრო-ენერგეტიკაში დანერგვის ტექნიკურ-ეკონომიკური ეფექტიანობის გათვალისწინებით უნდა შეიქმნას ცნობილ მეცნიერ-ენერგეტიკოსთა ჯგუფი, რომლებიც გამოიკვლივენ ქვეყანაში მოქმედი ყველა სადგურის დატვირთვის რეჟიმებს, გამოიმუშავებს არსებული რეზერვებსა და მიღებული შედეგებიდან გამომდინარე შეიმუშავენ საქართველოს ენერგოსისტემაში ელექტროდამაგროვებელი სადგურების დანერგვის სტრატეგიული გეგმასა და მისი განხორციელების პროგრამას;

ლიტერატურა

1. <https://energy.hse.ru/accenergy>
2. https://www.meruspower.fi/products/ess/?ppc_keyword=energy%20storage%20companies&gclid=Cj0KCQjw19GCBhDvARIsAFunhsksfQijrXHnENus1UNiGPyNGgb_jfAh5V4zFCvPp7MFaWORVcQcg_oaAu_CEALw_wcB
3. Energy storage system, merus power. 2018
https://www.meruspower.fi/wp-content/uploads/2018/04/MP_Brochure_ESS_EN.pdf
4. Energy storage system, Wheeler, A., McKenna, B., Madell, D., Harrison, J., Prebble, K. et al. 2015
<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:642696/FULLTEXT02.pdf>
5. Digital in the Future of Energy
<https://www.world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/electricity-and-energy-storage.aspx>
6. https://en.m.wikipedia.org/wiki/Grid_energy_storage
7. https://www.irena.org/publications/2020/Jun/Renewable-Power-Costs-in-2019?fbclid=IwAR1LhdmcJfDdHMDg4W_5XSI30kblJpNvpYQVQFi01ftYbY5ho8-4DuB5us8
8. Energy Storage Technology Comparison, Johanna Gustavsson. 2016
<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:953046/FULLTEXT01.pdf>
9. https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_energy_storage_power_plants
10. <https://www.world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/electricity-and-energy-storage.aspx>
11. ელექტროენერგეტიკული სისტემის კომერციული ოპერატორი. ენერგობალანსი 2010-2020 <https://esco.ge/ka/kvalifitsiuri-satsarmoebi/small-power-plants>
12. М.Н.Пумер, А.А. КасаТоВ, Н.Н МаTueНКО, екоНотическая оценКА йнВестийций. 2007

საქართველოს მსხვილი ელექტროენერგეტიკული კომპანიების მართვის ეფექტიანობის პროგნოზული ანალიზი, პრობლემები და მათი გადაწყვეტის გზები

დავით ჯაფარიძე, ტექნ. მეცნ. დოქტორი, პროფესორი

საქ. ტექნიკ. უნივერსიტეტი, ქ. თბილისი, საქართველო, e-mail: d.japaridze@gtu.ge

გიგა ჯოჯუა, დოქტორანტი

საქ. ტექნიკ. უნივერსიტეტი, თბილისი, საქართველო, e-mail: giga260780@gmail.com

ანოტაცია. გაანალიზებულია მსხვილი ელექტროენერგეტიკული კომპანიების მართვის ეფექტიანობის შეფასების მსოფლიო პრაქტიკა, მართვის ეფექტიანობის არსებული მეთოდების სიღრმისეული მეცნიერული ანალიზის საფუძველზე შემუშავებულია საქართველოს მსხვილი ელექტროენერგეტიკული კომპანიების მართვის ეფექტიანობის პროგნოზული ანალიზის მათემატიკური მოდელი, აღნიშნული მოდელი ფორმირებულია პრობლემის გადაწყვეტისადმი კომპლექსური მიდგომით. პროგნოზული ანალიზი შესრულებულია მრავალფაქტორიანობის საფუძველზე ფელიქს-რიგის ტრანსფორმირებული მეთოდით. პროგნოზირების მაღალი სიზუსტის უზრუნველსაყოფად ხელოვნური ნეირონული ქსელებით განხორციელებულია საქართველოს „სახელმწიფო ელექტროსისტემის“ და სს„თელასის“ მართვის ეფექტიანობის საშუალოვადიანი პროგნოზი. მიღებული შედეგების მიხედვით დადგენილია ამ კომპანიების მართვაში არსებული პრობლემები და ნაჩვენებია მათი გადაწყვეტის გზები. პროგნოზული ანალიზის შემოთავაზებული მეთოდიკა უნივერსალურ ხასიათს ატარებს და მისი გამოყენება შეიძლება ნებისმიერი მასშტაბის მსხვილი ელექტროენერგეტიკული კომპანიის მართვის ეფექტიანობის ობიექტურად შეფასებაში.

საკვანძო სიტყვები : პროგნოზირება, ეფექტიანობა, ელექტროენერგეტიკა, მართვა, მოდელი.

Predictive analysis of management efficiency of large electricity companies in Georgia, problems and solutions

David Japaridze, Doctor of Science, Professor,

Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, e-mail: d.japaridze@gtu.ge

Giga Jojua, doctoral student,

Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, e-mail: giga260780@gmail.com

Annotation. Global practice for assessment of management efficiency of the large power companies is analyzed, a mathematical model of predictive analysis of management efficiency of large power companies of Georgia is developed on the basis of in-depth scientific analysis of existing management efficiency methods, this model is formed with a complex approach to problem solution. Predictive analysis was performed on a multifactorial basis using the Felix-Riggs transformed method. The medium-term forecast of management efficiency of "Georgian State Electrosystem" (GSE) and JSC "Telasi" was performed with artificial neural networks in order to ensure high accuracy of forecasting. According to the obtained results, the problems in management of these companies are identified and the ways of their solution are shown. The proposed method of predictive analysis is universal in nature and can be used to objectively assess the management efficiency of a large power company of any scale.

Keywords: Forecasting, efficiency, electricity, management, model.

შესავალი. დასმული პრობლემის მეცნიერულად შესწავლის და თანამედროვე მოთხოვნების შესაბამისად გადაწყვეტის აქტუალობიდან გამომდინარე, მსოფლიოს წამყვანი მეცნიერები დიდ ყურადღებას უთმობენ მსხვილ ელექტროენერგეტიკულ კომპანიებში მართვის ეფექტიანობის შეფასებაში თანამედროვე მეთოდების დანერგვას [4,5,7] მსხვილ ელექტროენერგეტიკულ კომპანიებში მართვის სრულყოფისადმი მიძღვნილი

მეცნიერული შრომების ანალიზი [4,6,8] გვიჩვენებს, რომ კვლევებში ძირითადი აქცენტები გადატანილია ცალკეული პრობლემების შესწავლა-გადაწყვეტაზე, არ არის გათვალისწინებული კომპლექსური მიდგომა. პროგნოზული ანალიზის საფუძველზე არ ხდება მართვის ეფექტიანობის შეფასების თანამედროვე მეთოდების გამოყენება და ოპერატიული მმართველობითი გადაწყვეტილებების მიღება. ამ მხრივ საქართველოში შექმნილი მდგომარეობა

სერიოზულ მეცნიერულ კვლევას საჭიროებს, შეიძლება ითქვას, რომ ქვეყნის არც ერთ მსხვილ ელექტროენერგეტიკულ საწარმოში არ არის დანერგილი მართვის ეფექტიანობის შეფასების ერთიანი კომპლექსური სისტემა და არ არის დანერგილი ციფრული ეკონომიკის ელემენტები. ამჟამად მოქმედი მართვის სისტემები არ იძლევა საშუალებას ობიექტურად შეაფასო და განჭვრიტო სამომავლოდ გადასაწყვეტი ამოცანები, მათ გადასაჭრელად მიიღო სწორი და ეფექტური გადაწყვეტილებები. ამიტომ განსაკუთრებულ აქტუალობას იძენს საქართველოში მსხვილი ელექტროენერგეტიკული კომპანიების მართვის ეფექტიანობის შეფასებისადმი კომპლექსური მიდგომით, პრონოზული ანალიზი, მისი მათემატიკური მოდელის შემუშავება და კომპიუტერული პროგრამის გამოყენებით მართვაში არსებული პრობლემების გამოვლენა და სამომავლოდ მათი გადაჭრის მეცნიერულად დასაბუთებული გზების დასახვა.

ძირითადი ნაწილი. მსხვილი ელექტროენერგეტიკული კომპანიების მართვის ეფექტიანობის შეფასებაში მსოფლიოში გამოყენებული მეთოდების და ამ მიმართულებით ჩატარებული კვლევების შედეგების [4,5,7] ანალიზის და პრობლემის გადაწყვეტისადმი კომპლექსური მიდგომის საფუძველზე, შემუშავებულია საქართველოს მსხვილი ელექტროენერგეტიკული კომპანიების მართვის ეფექტიანობის პროგნოზული ანალიზის მათემატიკური მოდელი, რომელიც ითვალისწინებს საკითხის რამოდენიმე ეტაპად გადაწყვეტას:

I ეტაპზე; ექსპერტული შეფასებით კომპანიის მართვის ეფექტიანობაზე მოქმედი სავარაუდო ფაქტორების განსაზღვრა, კომპანიების სს. „თელასის“ და საქართველოს „სახელმწიფო ელექტროსისტემის“ წინა 10 წლიანი მუშაობის ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების მოძიება-ანალიზის და ფელიქს-რისის მეთოდით, [9] მართვის ეფექტიანობის საერთო ინდექსის საბაზისო სიდიდეების დადგენა.

II ეტაპზე; საქართველოში მოქმედი, კომპანიების სს.„თელასის“ და საქართველოს „სახელმწიფო ელექტროსისტემის“ მუშაობის ბოლო 10 წლის ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების სტატისტიკური ინფორმაციის და

მართვის ეფექტიანობის საბაზისო ინდექსის მიხედვით კორელაციური ანალიზით მართვის ეფექტიანობაზე მოქმედი ფაქტორების დადგენა და ექსტრაპოლაციის მეთოდით [1,11] ამ ფაქტორების საშუალოვადიანი პრონოზი, ზედა და ქვედა ზღვრების ჩვენებით.

III ეტაპი ითვალისწინებს პროგნოზირებაში მაღალი სიზუსტის, მართვის ეფექტიანობაზე მოქმედი ფაქტორების და მისი საერთო ინდექსის სიდიდის ობიექტურად დადგენის მიზნით, ხელოვნური ნეირონული ქსელების გამოყენებით მართვის ეფექტიანობის საერთო ინდექსის საშუალოვადიან პროგნოზირებას.

IV ეტაპზე; კომპანიების სს.„თელასის“ და საქართველოს „სახელმწიფო ელექტრო-სისტემის“ მართვის ეფექტიანობის შეფასების პროგნოზულ ანალიზის მათემატიკური მოდელით მიღებული კვლევის შედეგების შეფასება, მართვაში არსებული პრობლემების დადგენა და მათი გადაჭრის მეცნიერულად დასაბუთებული გზების დასახვა;

წარმოდგენილი მეთოდით, საქართველოში მოქმედი კომპანიების სს. „თელასის“ და საქართველოს „სახელმწიფო ელექტროსისტემის“ მართვის ეფექტიანობის პროგნოზულად შეფასების მიზნით მოძიებული იქნა, (2010-2019) წწ. მუშაობის ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების შესახებ სტატისტიკური ინფორმაცია [2,3], რომელიც ასახულია ცხრ. 1-ში.

ექსპერტულად შერჩეულია კომპანიების სს.„თელასის“ და საქართველოს „სახელმწიფო ელექტროსისტემის“ მართვის ეფექტიანობაზე სავარაუდო მოქმედი ფაქტორები მათ შორის: ელექტროენერჯის მოცულობა, წმიდა მოგება, თვითღირებულება, შრომისნაყოფიერების ზრდის ტემპი, ფონდუკუგება, მმართველი რგოლის ხარჯების წილი საერთო ხარჯებში. ამ ფაქტორების გათვალისწინებით ფელიქსრისის მეთოდით [8] დადგინდა მართვის ეფექტიანობის საერთო ინდექსის საბაზისო სიდიდეები, ანგარიშის შედეგები შეტანილია ცხრ. 2-ში.

ცხრ. 2-ის მონაცემების მიხედვით კორელაციური ანალიზით, [1,10] გამოთვლილია მართვის ეფექტიანობის ბაზისურ ინდექსზე მოქმედების და ფაქტორების გავლენის ამსახველი სიდიდეები და კორელაციური მატრიცის სახით ასახულია ცხრ. 3-ში.

III საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენცია "ენერგეტიკის თანამედროვე პრობლემები და მათი გადაწყვეტის გზები", თბილისი, საქართველო, 2021 წლის 7-10 ივნისი
III International Scientific and Technological Conference "Modern problem of power engineering and ways of solving them", Tbilisi, Georgia, June 7-10, 2021

ცხრილი 1

სს. „თელასის“ და საქართველოს „სახელმწიფო ელექტროსისტემის ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების სტატისტიკური მონაცემები (2010-2019)წწ.

ფუნქციონირების მონაცემები	ელექტროენერჯის მოცულობა მლნ.კვტსით		შემოსავლები ათასი ლარი		დანახარჯები ათასი ლარი		მირითადი ფონდების საშუალო წლიური ღირებულება ათასი ლარი		სახელმწიფო სარგებლობა ათასი ლარი		წმინდა მოგება ათასი ლარი		თანამშრომელთა რაოდენობა		მმართველობითი ხარჯები ათასი ლარი	
	სს. „თელასი“	საქართველოს ელექტროსისტემა	სს. „თელასი“	საქართველოს ელექტროსისტემა	სს. „თელასი“	საქართველოს ელექტროსისტემა	სს. „თელასი“	საქართველოს ელექტროსისტემა	სს. „თელასი“	საქართველოს ელექტროსისტემა	სს. „თელასი“	საქართველოს ელექტროსისტემა	სს. „თელასი“	საქართველოს ელექტროსისტემა	სს. „თელასი“	საქართველოს ელექტროსისტემა
2010 წ.	1645	7288	278634	62097	212098	58421	166129	355927	42100	14552	48356	114424	2210	1119	4210	1168
2011 წ.	1746	9244	247782	54952	202909	59227	179978	471750	49837	15155	30119	19423	2268	1090	4983	1212
2012 წ.	1816	9165	269312	54154	227469	63084	161021	730389	52238	16542	24958	-10862	2248	1100	5247	1328
2013 წ.	1907	9132	261753	61337	295312	74483	151681	892805	51579	18810	-37883	-63035	2076	1169	5146	1443
2014 წ.	2115	9717	287764	86210	251956	93870	174545	924463	56120	20994	27911	3572	2082	1245	5612	1558
2015 წ.	2273	10089	327918	104341	311906	95525	195432	976004	52063	23023	6571	-113332	2050	1315	5206	1674
2016 წ.	2629	10412	412623	120159	376158	107844	222036	1091217	52687	24461	38720	-79737	2047	1356	5268	1789
2017 წ.	2773	11438	439176	133370	439445	361675	252047	1086266	56219	26051	22187	-320364	2058	1368	5622	1852
2018 წ.	2819	13184	479900	227050	427618	171072	234158	993025	57711	27565	27254	46743	2066	1410	5771	2099
2019 წ.	2747	13071	482817	235010	461655	145656	278415	997502	58327	31089	14286	30432	2012	1469	5832	1747

ცხრილი 2

სს. „თელასის“ და საქართველოს „სახელმწიფო ელექტროსისტემის“ მართვის ეფექტიანობის საერთო ინდექსის საბაზისო მაჩვენებლები

საქართველოს სახელმწიფო ელექტროსისტემა							სს. თელასი									
ფუნქციონირების მონაცემები	სს. „თელასი“	საქართველოს ელექტროსისტემა	სს. „თელასი“	საქართველოს ელექტროსისტემა	სს. „თელასი“	საქართველოს ელექტროსისტემა	სს. „თელასი“	საქართველოს ელექტროსისტემა	სს. „თელასი“	საქართველოს ელექტროსისტემა	სს. „თელასი“	საქართველოს ელექტროსისტემა	სს. „თელასი“	საქართველოს ელექტროსისტემა	სს. „თელასი“	საქართველოს ელექტროსისტემა
2010 წ.	7288	114424	0.8	0.92	0.17	0.05	1645	48356	0.128	1.045	1.67	0.02				
2011 წ.	9244	19423	0.64	1.3	0.11	0.02	1746	30119	0.116	1.03	1.37	0.024				
2012 წ.	9165	-10862	0.69	0.98	0.075	0.021	1816	24958	0.122	1.07	1.69	0.023				
2013 წ.	9132	-63035	0.78	0.93	0.07	0.019	1907	-37883	0.154	1.13	1.72	0.017				
2014 წ.	9717	3572	0.97	0.99	0.095	0.016	2115	27911	0.119	1.105	1.64	0.022				
2015 წ.	10089	-113332	0.95	0.98	0.107	0.017	2273	6571	0.137	1.09	1.68	0.016				
2016 წ.	10412	-79737	1.04	1.01	0.11	0.016	2629	38720	0.143	1.16	1.85	0.014				
2017 წ.	11438	-320364	3.1	1.01	0.122	0.005	2773	22187	0.158	1.05	1.74	0.01				
2018 წ.	13184	46743	1.3	1.12	0.22	0.012	2819	27254	0.151	1.01	2.05	0.013				
2019 წ.	13071	30432	1.1	0.95	0.23	0.015	2747	14286	0.168	1.001	1.73	0.012				
რიგბ													ბიჯი 5			
2010 წ.	0	9	6	0	7	0	0	9	6	3	2	3	რიგბA			
2011 წ.	3	6	9	9	4	2	1	7	9	2	0	0				
2012 წ.	2	4	8	3	1	1	2	4	7	5	4	1				
2013 წ.	1	3	7	1	0	3	3	0	2	8	5	4				
2014 წ.	4	5	4	5	2	5	4	6	8	7	1	2				
2015 წ.	5	1	5	3	3	4	5	1	5	6	3	5				
2016 წ.	6	2	3	6	4	5	6	8	4	9	8	6				
2017 წ.	7	0	0	6	6	9	8	3	1	4	7	9				
2018 წ.	9	8	1	8	8	8	9	5	3	1	9	7				
2019 წ.	8	7	2	2	9	7	7	2	0	0	6	8				
წონები	15	25	20	12	18	10	15	25	20	12	18	10				
რიგბC													ქულები			
2010 წ.	0	225	120	0	126	0	0	471	120	36	36	30	447			
2011 წ.	45	150	180	108	72	20	15	175	180	24	0	0	394			
2012 წ.	30	100	160	36	18	10	30	100	140	60	72	10	412			
2013 წ.	15	75	140	12	0	30	45	0	40	96	90	40	311			
2014 წ.	60	125	80	60	36	50	60	150	160	84	18	20	492			
2015 წ.	75	25	100	36	54	40	330	75	25	100	72	50	376			
2016 წ.	90	50	60	72	72	50	394	90	200	80	108	144	60	682		
2017 წ.	105	0	0	72	108	90	375	120	75	20	48	126	90	479		
2018 წ.	135	200	20	96	144	80	675	135	125	60	12	162	70	564		
2019 წ.	120	175	40	24	162	70	591	105	50	0	0	108	80	343		

III საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენცია "ენერგეტიკის თანამედროვე პრობლემები და მათი გადაწყვეტის გზები", თბილისი, საქართველო, 2021 წლის 7-10 ივნისი
III International Scientific and Technological Conference "Modern problem of power engineering and ways of solving them", Tbilisi, Georgia, June 7-10, 2021

ცხრილი 3

სს „თელასის“ და საქართველოს „სახელმწიფო ელექტროსისტემის“ მართვის ეფექტიანობის საერთო ინდექსისა და მართვის ეფექტიანობაზე მოქმედი ფაქტორების კორელაციური მატრიცა

სს „თელასი“ სახელმწიფო ელექტროსისტემა

დასახელება	მართვის ეფექტიანობის საერთო ინდექსი	ელ. ენერჯის მოცულობა	წმინდა მოგება	თვითღირებულება	შრომის მწარმოებლობის ზრდის ტემპი	ფონდუკუგება	მმართველი რგოლის ხარჯების წილი მთლიან ხარჯებში
ეფექტიანობის საერთო	1	0.518476893	0.514526692	-0.52555	0.547823845	0.822740796	0.001829706
ელ. ენერჯის მოცულობა	0.899542326	1	-0.212698578	0.436193	0.140302361	0.621396051	-0.727530955
წმინდა მოგება	0.964632378	0.908503575	1	-0.795824	0.087731493	0.373611585	0.636983788
თვითღირებულება	0.830386853	0.661568688	0.657762754	1	-0.05831228	0.13593823	-0.514173496
შრომის მწარმოებლობის ზრდის ტემპი	0.585919182	0.595882963	0.400954133	0.7840332	1	0.039044272	-0.247832786
ფონდუკუგება	-0.95197955	-0.8572819	-0.84527145	-0.94983	-0.74983264	1	0.0668897
მმართველი რგოლის ხარჯების წილი მთლიან ხარჯებში	-0.772816816	-0.54642731	-0.587283246	-0.949376	-0.82140941	0.875912315	1

ცხრ. 3-ის მონაცემების ანალიზით ირკვევა, რომ ექსპერტული შეფასებით განსაზღვრული ფაქტორებიდან მართვის ეფექტიანობის საერთო ინდექსზე თითქმის არ ახდენს გავლენას მნიშვნელობაზე. კვლევით დაზუსტებული ფაქტორების საშუალოვადიანი პროგნოზი განხორციელებულია ექსტრაპოლაციის

კომპანია საქართველოს „სახელმწიფო ელექტროსისტემის“ მმართველი რგოლის ხარჯების წილი საერთო ხარჯებში, დანარჩენი ფაქტორები არსებითად მოქმედებენ მის მეთოდით [1,10] და ანგარიშის შედეგები მოცემულია ცხრ. 4-ში.

ცხრილი 4

სს „თელასის“ და საქართველოს „სახელმწიფო ელექტროსისტემის“ მართვის ეფექტიანობაზე მოქმედი ფაქტორების პროგნოზული მაჩვენებლები.

დასახელება	ელ. ენერჯის მოცულობა მლნ. კვტ.სთ						
	სს. თელასი			სახელმწიფო ელექტროსისტემა			
კომპანია	ზღვარი	ზედა	საბაზისო	ქვედა	ზედა	საბაზისო	ქვედა
2020 წ.	2600	2476	2352	12547	12301	12055	
2021 წ.	2827	2667	2507	13256	12870	12484	
2022 წ.	2825	2640	2455	13822	13291	12759	
2023 წ.	3008	2785	2562	13615	12967	12578	
2024 წ.	3039	2814	2589	13752	12973	12714	
	წმინდა მოგება ათასი ლარი წლიწადში						
2020 წ.	-67110	-72946	-78782	49822	47507	45132	
2021 წ.	-18110	-19473	-20836	-15015	-16321	-17626	
2022 წ.	7279	6933	6586	52383	49888	47394	
2023 წ.	8717	8223	7730	35089	33103	31116	
2024 წ.	21284	19891	18499	36501	34435	32369	
	თვითღირებულება ლარი კვტ.სთ						
2020 წ.	0.195	0.186	0.176	1.310	1.285	1.259	
2021 წ.	0.193	0.183	0.172	1.577	1.502	1.427	
2022 წ.	0.198	0.189	0.179	1.753	1.654	1.555	
2023 წ.	0.202	0.192	0.183	1.884	1.745	1.605	
2024 წ.	0.208	0.195	0.186	1.908	1.792	1.667	
	შრომის მწარმოებლობის ზრდის ტემპი						
2020 წ.	1.04	0.99	0.94	0.917	0.899	0.881	
2021 წ.	1.038	0.988	0.993	1.082	1.050	1.010	
2022 წ.	1.045	0.985	0.926	1.355	1.290	1.226	
2023 წ.	1.064	0.994	0.923	1.290	1.217	1.144	
2024 წ.	1.062	1.002	0.941	1.299	1.225	1.152	
	ფონდუკუგება						
2020 წ.	1.439	1.37	1.302	0.236	0.232	0.227	
2021 წ.	1.448	1.366	1.284	0.158	0.150	0.143	
2022 წ.	1.427	1.346	1.265	0.08	0.075	0.071	
2023 წ.	1.408	1.328	1.248	0.068	0.065	0.061	
2024 წ.	1.398	1.318	1.239	0.055	0.053	0.051	
	მმართველი რგოლის სახელფასო ხარჯების წილი მთლიან ხარჯებში						
2020 წ.	0.011	0.010	0.009	-	-	-	
2021 წ.	0.012	0.011	0.010	-	-	-	
2022 წ.	0.0105	0.010	0.009	-	-	-	
2023 წ.	0.0104	0.009	0.008	-	-	-	
2024 წ.	0.0083	0.008	0.007	-	-	-	

ცხრ. 4-ში მოცემული სს. „თელასის“ და საქართველოს „სახელმწიფო ელექტროსისტემის“ მართვის ეფექტიანობაზე მოქმედი ფაქტორების პროგნოზული მაჩვენებლების დინამიკა გრაფიკის სახით ნაჩვენებია ნახ. 1-ზე.

მსხვილი ელექტროენერგეტიკული კომპანიების მართვის ეფექტიანობის საერთო ინდექსის საშუალოვადიანი პროგნოზირება განხორციელებულია ხელოვნური ნეირონული ქსელებით. [1,12] ანგარიშებში გამოყენებულია პირდაპირი გავრცელების ქსელების არქიტექტურა, რომელიც მოცემულია ნახ. 2-ზე.

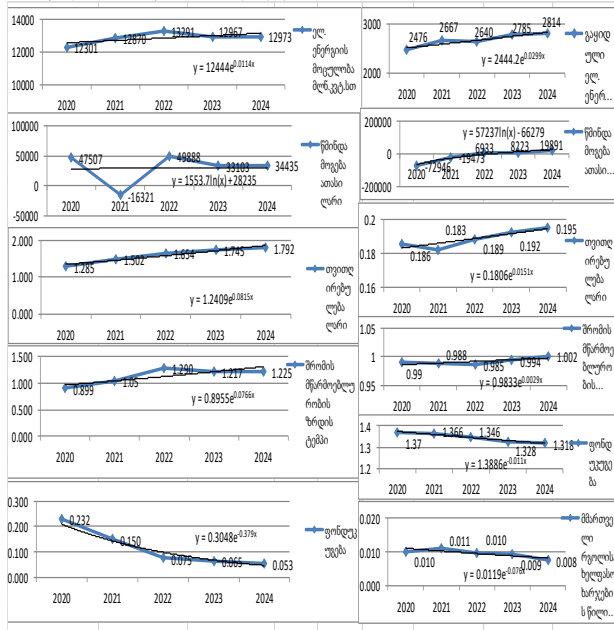
ხელოვნური ნეირონული ქსელების აქტივაციის ფუნქციების სახით გამოყენებულია: ლოგისტიკურ სიმიოდური:

$$f(x) = \frac{1}{1+e^{-x}} \quad (1)$$

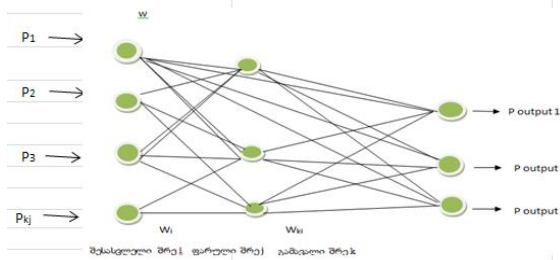
ჰიპერბოლური ტანგენსი :

$$f(x) = \tanh(x) = \frac{2}{1+e^{-2x}} - 1 \quad (2)$$

სადაც x - დროის ფაქტორია.

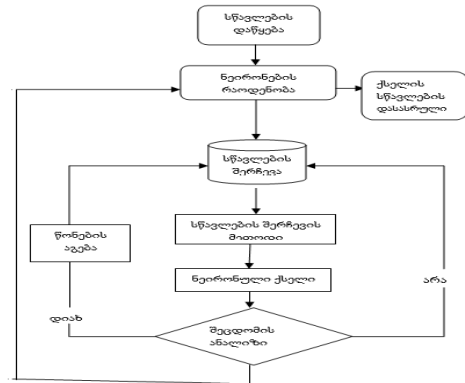


ნახ. 1. სს. „თელასის“ და საქართველოს „სახელმწიფო ელექტროსისტემის“ მართვის ეფექტიანობაზე მოქმედი ფაქტორების პროგნოზული მაჩვენებლების დინამიკა



ნახ. 2. პირდაპირი გავრცელების ქსელების არქიტექტურა

ხელოვნური ნეირონული ქსელების პირველადი სწავლება წარმოებს შეცდომების უკუგავრცელების ალგორითმის შესაბამისად და ნაჩვენებია ნახ. 3-ზე შეცდომების ბლოკ-სქემის სახით:



ნახ. 3. ხელოვნური ნეირონული ქსელების შეცდომების უკუგავრცელების სწავლების ალგორითმის ბლოკ-სქემა

ხელოვნური ნეირონული ქსელების შემდგომი ოპტიმიზაცია ხდება მოდელიდან გამომავალი ცვლადის მნიშვნელობის მინიმიზაციით ფაქტორების სხვადასხვა წონის გათვალისწინებით, ამ წონების ცვალებადობის ფორმულას აქვს შემდეგი სახე:

$$\Delta w_{kj} = \eta e_k(n) x_j(n) \quad (3)$$

სადაც η - შესწორების კოეფიციენტი, $x_j - j$ ფაქტორი.

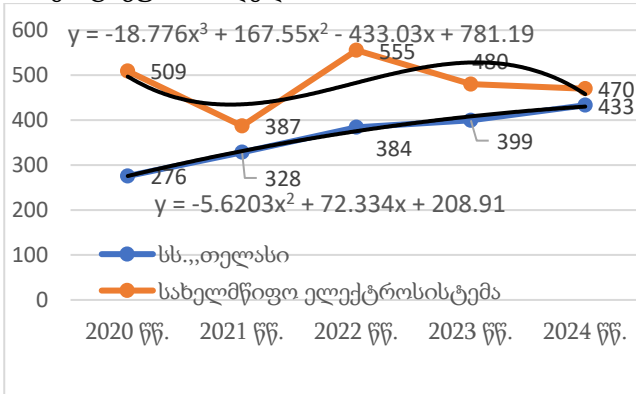
ცხრ. 1,2 და 3-ის მონაცემებით და პროგნოზირების ზემოთ ჩამოყალიბებული ხელოვნური ნეირონული ქსელებით, მართვის ეფექტიანობაზე მოქმედი მეცნიერულად დასაბუთებული ფაქტორების გათვალისწინებით, კომპიუტერული პროგრამა Neural Network XL [12] მეშვეობით, შესრულებულია მართვის ეფექტიანობის საერთო ინდექსის საშუალოვადიანი პროგნოზი. პროგნოზირების შედეგები ასახულია ცხრილ 5-ში და გრაფიკის სახით წარმოდგენილია ნახ. 3-ზე.

ცხრილი 5

სს. „თელასის“ და საქართველოს „სახელმწიფო ელექტროსისტემის“ მართვის ეფექტიანობის საერთო ინდექსის პროგნოზული მაჩვენებლები (2020-2024) წწ.

საერთო ინდექსი		
კომპანია	სს. „თელასი“	სახელმწიფო ელექტროსისტემა
2020 წწ.	276	509
2021 წწ.	328	387
2022 წწ.	384	555
2023 წწ.	399	480
2024 წწ.	433	470

ცხრ. 5-ში ასახული მონაცემების საფუძველზე კომპიუტერული პროგრამა Excel -ით მიღებულია სს. „თელასის“ და საქართველოს „სახელმწიფო ელექტროსისტემის“ მართვის ეფექტიანობის საერთო ინდექსის საშუალოვადიანი პროგნოზირების გრაფიკული გამოსახულება და მათემატიკური მოდელი:



ნახ. 4. სს.„თელასის“ და საქართველოს „სახელმწიფო ელექტროსისტემის“ მართვის ეფექტიანობის საერთო ინდექსის საშუალოვადიანი პროგნოზის გრაფიკი

ზემოთ მოყვანილი კვლევის შედეგების კომპლექსური ანალიზით ირკვევა, რომ საქართველოს „სახელმწიფო ელექტროსისტემის“ და სს.„თელასის“ მართვაში ადგილი აქვს მთელ რიგ პრობლემებს. კომპანიებში კლების ტენდენციით ხასიათდება მართვის ეფექტიანობის განმსაზღვრელი ისეთი ფაქტორები, როგორებიცაა წმინდა მოგება და ფონდუკუგება, საშუალოვადიან პერიოდში ზრდის ტენდენციას ინარჩუნებს წარმოების თვითღირებულების მაჩვენებელი. აღნიშნული მიუთითებს იმაზე, რომ წმინდა მოგების, ფონდუკუგების და თვითღირებულების მართვას არ აქვს მიცემული სისტემური ხასიათი, სათანადო ეფექტიანობით არ ხორციელდება საინვესტიციო პოლიტიკა.

დასკვნები და რეკომენდაციები

1. მსხვილი ელექტროენერგეტიკული კომპანიის მართვის ეფექტიანობის შეფასების არსებული მეთოდების სიღრმისეული მეცნიერული ანალიზის საფუძველზე პრობლემის გადაწყვეტისადმი კომპლექსური მიდგომით შემუშავებულია მართვის ეფექტიანობის შეფასების პროგნოზული ანალიზის მათემატიკური მოდელი.

2. სს. „თელასის“ და საქართველოს „სახელმწიფო ელექტროსისტემის“ ბოლო 10 წლის მუშაობის, ტექნიკურ-ეკონომიკური

მაჩვენებლების შესახებ სტატისტიკური ინფორმაციის მიხედვით განსაზღვრულია მართვის ეფექტიანობის შეფასების საერთო ინდექსის საბაზისო სიდიდეები, კორელაციური ანალიზით მეცნიერულად დადგენილია ის ფაქტორები, რომლებიც არსებით გავლენას ახდენენ მართვის ეფექტიანობაზე. შესაბამისად ექსტაპოლაციის მეთოდით შესრულებულია ამ ფაქტორების საშუალოვადიანი პროგნოზი, ზედა და ქვედა ზღვრების ჩვენებით.

3. პროგნოზირების მაღალი სიზუსტით და მართვის ეფექტიანობის შეფასების საერთო ინდექსის ობიექტურად განსაზღვრის მიზნით, ხელოვნური ნეირონული ქსელებით შესრულებულია კომპანიების, სს. „თელასის“ და საქართველოს „სახელმწიფო ელექტროსისტემის“ მართვის ეფექტიანობის საერთო ინდექსის საშუალოვადიანი პროგნოზი.

4. საქართველოს „სახელმწიფო ელექტროსისტემის“ და სს.„თელასის“ მართვის ეფექტიანობის შეფასების საერთო ინდექსის საშუალოვადიანი პროგნოზის საფუძველზე დადგენილია, ამ კომპანიების მართვაში არსებული პრობლემები, სადაც კლების ტენდენციით ხასიათდება მართვის ეფექტიანობის განმსაზღვრელი ისეთი ფაქტორები როგორებიცაა წმინდა მოგება და ფონდუკუგება. საშუალოვადიან პერიოდში ზრდის ტენდენციას ინარჩუნებს წარმოების თვითღირებულების მაჩვენებელი.

5. მთლიანობაში, ჩამოყალიბებულია მსხვილი ელექტროენერგეტიკული კომპანიების მართვის ეფექტიანობის პროგნოზული ანალიზის ერთიანი მეთოდიკა. შემოთავაზებული მეთოდიკა წარმატებით შეიძლება გამოყენებული იქნას ნებისმიერი მასშტაბის ელექტროენერგეტიკული კომპანიის მართვის ეფექტიანობის შეფასებაში.

6. საქართველოს „სახელმწიფო ელექტროსისტემის“ და სს.„თელასის“ მართვის ეფექტიანობაში პროგნოზული ანალიზის შედეგად გამოვლენილი პრობლემების გადასაწყვეტად აუცილებელია ამ კომპანიებში დაინერგოს ციფრული ეკონომიკის პრინციპებზე დაფუძნებული მართვის ეფექტიანობის შეფასების, კომპიუტერული პროგრამით უზრუნველყოფილი, ერთიანი კომპლექსური სისტემა, რაც საშუალებას მისცემს ორგანიზაციის მმართველობით სტრუქტურებს ოპერატიულად შეაფასოს მუშაობის ეფექტიანობა, გამოავლინოს

პრობლემები და მიიღოს ქმედითი ზომები ნაკლოვანებების აღმოსაფხვრელად.

ლიტერატურა

1. დავით ჯაფარიძე, ნინო გიორგიშვილი, „საქართველოს ენერგეტიკული ბალანსის სამულოვადიანი პროგნოზირება და დაგეგმვა“. თბილისი. 2017.
2. საქართველოს „სახელმწიფო ელექტროსისტემის“ წლიური აუდიტის ანგარიშები 2010-2019 წლები <http://www.gse.com.ge/new/?cat=7>
3. სს. „თელასის“ წლიური აუდიტის ანგარიშები (2010-2019) წლები <http://www.telasi.ge/ge/shareholders/accounting>
4. Боргардт Е.А. Современные подходы к классификации резервов повышения эффективности деятельности предприятия / Е.А. Боргардт//Азимут научных исследований: экономика и управление. 2017. Т. 6. № 1 (18). С. 130-134.
5. Жердева О.Ю. Влияние рисков на эффективность управления производственной деятельностью / О.Ю. Жердева // Синергия Наук. 2017. № 15.
6. Цыбатов В.А. Важенина Л.В. Методические подходы к анализу и прогнозированию развития топливно-энергетического комплекса в регионе//Экономика региона. №4. 2014.
7. Ратнер, С.В. Управление инновационными проектами в электросетевых компаниях: теоретические аспекты [Текст] / С.В. Ратнер, А.А. Сальникова // Инновации. 2017. № 7
8. Степанов, А.С. Методика и критерии оценки эффективности управления хозяйственной деятельностью производственной организации/ А.С. Степанов //Вестник Поволжской академии государственной службы. 2015. № 3.
9. Felix G., Riggs J. Productivity measurement by Objectives-National Productivity Review, Vol.2 No 4, 1983.Riggs J. Felix G. Productivity by objectives.- Prentice Hall, 1983.
10. Прогнозирование и планирование экономики Г.А.Кандауров, В. И. Борисев.Минск. 2005. В. N 4.
11. Методы прогнозной экстраполяции. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.studfiles.ru/preview/5275512/page:7> /. (дата обращения 23.09.2016).
12. <http://neuroxl.com/products/excel-forecasting-software/neuroxl-predictor.htm>.

ელექტრომოწყობილობების გეგმიური სარემონტო სამუშაოების ხარჯთაღრიცხვის თეორია და პრაქტიკა

ლალი ბოჭორიშვილი, ეკონომიკის მეცნიერებათა კანდიდატი, აკადემიური დოქტორი, საქ. ტექნიკური უნივერსიტეტი, ქ.თბილისი, საქართველო, e-mail: Lalibochorischvili@yahoo.com.
თათა ფილიპიდის, აკადემიური დოქტორი, ასისტ. პროფესორი, საქ. ტექნიკური უნივერსიტეტი, ქ.თბილისი, საქართველო, t.filippidis@gtu.ge
მანანა თოფურია, ეკონომიკის მეცნიერებათა კანდიდატი, აკადემიური დოქტორი, საქ. ტექნიკური უნივერსიტეტი, ქ.თბილისი, საქართველო, e-mail: mananatopuria19@gmail.com.

ანოტაცია. მოცემულია სარემონტო სამუშაოების მმართველობითი აღრიცხვის, დანახარჯთა მართვის არსი, მიზანი და თავისებურებები. განხილულია საწარმოს ელექტრომოწყობილობის სარემონტო სამუშაოს კლასიფიკაციის კონცეფციები, დანახარჯების ფუნქცია, ასევე ამ მომსახურების ერთეულის თვითღირებულების კალკულაციის მეთოდები, პრინციპები და ტექნიკა, რომელიც საერთაშორისო პრაქტიკაში წარმატებით გამოიყენება.

საკვანძო სიტყვები: ელექტრომოწყობილობა, ძირითადი საშუალებები, ცვეთა, დაგეგმვა, რემონტი, ხარჯთაღრიცხვა.

Theory and practice of electrical equipment repair cost planning

Lali Bochorishvili, Dec., Professor. GTU, Tbilisi, Georgia. e-mail: Lalibochorischvili@yahoo.com.
Tata Filippidis, PhD, Professor. GTU, Tbilisi, Georgia. t.filippidis@gtu.ge
Manana Topuria, CeC, PhD. GTU, Tbilisi, Georgia. e-mail: mananatopuria19@gmail.com

Annotation. The article gives the essence, purpose and features of management accounting of repair works, cost management. Concepts of classification of electrical equipment repair work of the enterprise, cost function, as well as methods, principles and techniques for calculating the cost of this service unit, which are successfully used in international practice, are discussed.

Keywords: Electrical equipment, fixed assets, depreciation, planning. Repair, cost estimate.

შესავალი

აღრიცხვის თანამედროვე თეორია და პრაქტიკა განასხვავებს ორ ქვესისტემას: მმართველობითი და ფინანსური აღრიცხვას. ისინი იზოლირებულად არ არსებობენ, მაგრამ ერთმანეთისაგან მიზნებითა და ინფორმაციის განზოგადების ხარისხით განსხვავდებიან. ფინანსური აღრიცხვა - ანგარიშგებას მთლიანად საწარმოს მასშტაბით გასასაჯაროებლად ამზადებს, ხოლო მმართველობითი აღრიცხვა კი ანგარიშგებას საწარმოს ცალკეული განყოფილებების, პროდუქციის სახეობების და სხვა ნებისმიერი დეტალიზაციის მიზნით იმგვარად, როგორც ეს მენეჯმენტს მართვისა და დაგეგმვის მიზნებისათვის სჭირდება. **ხარჯთაღრიცხვა** ეს არის მომავალში (თვეში და ა.შ.) გასაწევი ხარჯების გაანგარიშება (დაგეგმვა). ხარჯთაღრიცხვის ობიექტი შეიძლება იყოს საწარმო, კომპანია, პროექტი ან საქმიანობა, მაგალითად: მშენებლობა, რემონტი და ა.შ.

ელექტრომოწყობილობების მუშაობის პროცესში მიმდინარეობს მისი მუდმივი ცვეთა.

გამოყოფენ ფიზიკურ - მექანიკურ, ელექტრულ და მორალურ ცვეთებს.

მექანიკური ცვეთა წარმოადგენს ხანგრძლივი, ცვლადი ან მუდმივი ზემოქმედების შედეგს, ცვეთადი ობიექტის ცალკეულ ნაწილებსა და კვანძებს. ცვეთის შედეგად იცვლება მათი პირვანდელი ფორმა და შესაბამისად, უარესდება მოწყობილობის ხარისხი. ფიზიკური ცვეთა იწვევს ტექნიკური ობიექტის ზომების, ფორმების, მასის ცვლილებას, ან მისი ზედაპირული მდგომარეობის გაუარესებას, რაც გამოისახება მუდმივად მოქმედი დატვირთვის შედეგად მიღებული ნარჩენი დეფორმაციით.

ელექტრული ცვეთა - ეს არის ელექტრომოწყობილობაზე ელექტროიზოლაციის დაკარგვა, რის შედეგადაც იცვლება იზოლაციის თვისებები. მაგალითად,

ელექტრულად ცვდება ელ. მანქანების სალტების, სადენების იზოლაცია და ა.შ. ელექტრული ცვეთა ყველაზე ხშირად წარმოიქმნება ელექტრომოწილობების ხანგრძლივი ექსპლუატაციის, ქიმიურად აქტიური ნივთიერებების ზემოქმედების ან იზოლაციაზე მაღალი ტემპერატურის შედეგად.

მორალური ცვეთა - ეს არის ელექტრო-მოწილობების მოძველება, რომელთა შემდგომი საექსპლუატაციო გამოყენება აღარ არის მიზანშეწონილი და გონივრული. ვინაიდან იქმნება უფრო ახალი, ანალოგიური მოწილობების ტექნიკურად ბევრად სრულყოფილი მოდელი. ხანდახან მორალურად გაცვეთილი მოწილობების გამოყენება შესაძლოა იყოს გამართლებული, თუ მისი მოდერნიზაცია ხორციელდება კაპიტალური რემონტის შედეგად.

სამუშაოს მიზანი. შესრულებული სამუშაოს მიზანია დაეხმაროს მეწარმეს და ყველა დაინტერესებულ პირს გაეცნოს სარემონტო სამუშაოებზე გაწეული დანახარჯების ქცევის პრინციპებს, ელექტრომოწილობის რემონტის კალკულაციის მეთოდებს, გამოავლინოს სარემონტო დანახარჯების მუხლების მიხედვით წარმოქმნილი გადახრების გამომწვევი მიზეზები, მათი იდენტიფიკაცია და ანალიზი, მიიღოს მონაწილეობა საჭირო ინფორმაციის მოძიებაში და დამუშავებაში, რათა უზრუნველყოფს დანახარჯთა დაგეგმვის სათანადო ხარისხი და აღასრულოს სრულყოფილი ფინანსური კონტროლი სარემონტო სამუშაოებზე, როგორც გასაწევ ასევე გაწეულ დანახარჯებზე.

1. ელექტრომოწილობების რემონტის სისტემა

ელექტროტექნიკური მოწილობის გამართულად მუშაობას ემსახურება - გეგმიურ-გამაფრთხილებელი რემონტის სისტემა. ეს უკავშირდება იმას, რომ ელმოწილობის ცალკეული ნაწილებისა და დეტალების დროზე ადრე გაცვეთამ, დასაშვებ ზღვარზე ზევით, შეიძლება მიგვიყვანოს ნორმალური მუშა მდგომარეობიდან ავარიულ რეჟიმში.

გეგმიურ-გამაფრთხილებელი სარემონტო სამუშაოები ელმოწილობებში მოიცავს ორი სახის სამუშაოს: რემონტათმორის მომსახურებას და პერიოდულ გეგმიურ სარემონტო

სამუშაოების ჩატარებას. გეგმიური რემონტი შედგება მიმდინარე და კაპიტალური რემონტისაგან.

რემონტათმორისი მომსახურება მოიცავს შემდეგ ძირითად ოპერაციებს: მოწილობის სისტემატიური დათვალიერება, მუშაობის რეჟიმების კონტროლი. რემონტათმორისი მომსახურებას გააჩნია პროფილაქტიკური ანუ წინასწარ განსაზღვრული დანიშნულება. მისი მიზანია - გამოავლინოს მოწილობა, რომელზეც აუცილებელია დაუყოვნებელი მიმდინარე სარემონტო სამუშაოების ჩატარება, რაც დასკვნის სახით გადაეცემა სპეციალურ სარემონტო სამუშაოების ჯგუფს. ამ მომსახურების ხარჯებს ბასს 16 თანახმად უწოდებენ **შემდგომ დანახარჯებს**. ამ დანახარჯების აღიარება ხდება საწარმოს მოგება-ზარალში. აღვნიშნოთ, რომ აღიარების პრინციპის მიხედვით [1]. საწარმო არ აღიარებს ძირითადი საშუალების საბალანსო ღირებულებაში მისი ყოველდღიური მომსახურების დანახარჯებს. ეს დანახარჯები აღიარდება მოგებაში ან ზარალში. ყოველდღიური მომსახურების დანახარჯები, ძირითადად, მოიცავს შრომითი და სხვა რესურსების დანახარჯებს, ასევე მასში შეიძლება შედიოდეს მცირეფასიანი ნაწილების ღირებულება. ეს დანახარჯები ხშირად აისახება როგორც ძირითადი საშუალებების რემონტი და მომსახურება.

მიმდინარე რემონტი წარმოადგენს მინიმალურ სამუშაოს, თავისი მოცულობიდან გამომდინარე, რაც შემოიფარგლება ელმოწილობის დაშლა-აწყობით. მიმდინარე რემონტის დროს მოწილობას ასუფთავებენ მტვრისგან და ჭუჭყისგან, ცვლიან ან აღადგენენ ცალკეულ დეტალებსა და მექანიზმების ნაწილებს, რაც შესაბამისად ზრდის მოწილობის საიმედოობას. საწარმო აღიარებს ძირითადი საშუალების საბალანსო ღირებულებაში შემცველი ნაწილების ღირებულებას, თუ იგი აკმაყოფილებს აღიარების კრიტერიუმებს. შემცველი ნაწილების საბალანსო ღირებულების აღიარება წყდება ამ სტანდარტის აღიარების შეწყვეტის მოთხოვნების შესაბამისად [1]. მიმდინარე რემონტი ტარდება შემდეგი დოკუმენტაციის მიხედვით:

ა) ტექნიკური მომსახურების და სამონტაჟო სამუშაოების აღწერილობა და ინსტრუქცია;

ბ) მანქანა-დანადგარების აღრიცხვის ბარათი, სადაც ჩაიწერება მათი ტექნიკური მდგომარეობა და საექსპლუატაციო მონაცემები;

გ) ელექტრომოწყობილობის პასპორტი, ტექნიკური მონაცემები საგარანტიო მომსახურების გათვალისწინებით;

დ) სათადარიგო ნაწილების, ხელსაწყოების, მასალების ჩამონათვალი.

კაპიტალური რემონტი წარმოადგენს აუცილებელ სამუშაოს, როდესაც მოწყობილობამ ამოწურა საგარანტიო სერტიფიკატში მითითებული გამოყენების ვადა ან განიცადა სერიოზული ავარია ამ შემთხვევაში ახდენენ ელექტრომოწყობილობის სრულ დაშლას, ცვლიან მის გაცვეთილ ნაწილებს, ახდენენ ცალკეული ელემენტების მოდერნიზირებას და სხვა.

ელმოწყობილობის კაპიტალურ რემონტს აწარმოებენ სპეციალურად შედგენილი ტექნიკური დოკუმენტაციის მიხედვით, რომელიც მოიცავს: სარემონტო სამუშაოს ნორმატივებს.

კაპიტალური რემონტის დამთავრება ფორმდება სპეციალური, პროტოკოლით გაწერილი მიღება-ჩაბარების აქტით [1].

2. კალკულაციის სიტემები

მმართველობითი აღრიცხვის თეორია განიხილავს ხარჯთაღრიცხვის სხვადასხვა მიდგომებს [2,3,4].

1. დანახარჯთა აღრიცხვა შეკვეთების მიხედვით. კალკულაციის ეს მეთოდი გამოიყენება იმ შემთხვევებში, როდესაც საწარმო დამკვეთისათვის ასრულებს გარკვეულ შეკვეთას.

საწარმოები, რომელთა საწარმოო პროცესი მცირე სერიულია ან სულაც ინდივიდუალურია, აწარმოებენ ან არემონტებენ განსაკუთრებული არასტანდარტული ხასიათის ნაკეთობებს, ხელსაწყოებს, მაკომპლექტებელ დეტალებს და სხვა. დანახარჯთა აღრიცხვისას, შეიძლება გამოყენებული იქნეს, როგორც თვითღირებულების კალკულაცია ზღვრული დანახარჯებით, ასევე თვითღირებულების კალკულაცია დანახარჯების სრული განაწილებით. აღრიცხვაში, მატერიალური მარაგების შეფასების მიზნით მიღებულია თვითღირებულების კალკულაცია დანახარჯთა სრული განაწილებით. ამ მეთოდის გამოყენება

მიზანშეწონილია თვითღირებულების კალკულაციის ყველა შემთხვევაში და ითვალისწინებს ზედნადები დანახარჯების მიკუთვნებას წინასწარ განსაზღვრული განაკვეთებით. იმ შემთხვევაში თუ გამოიყენება თვითღირებულების კალკულაცია ზღვრული დანახარჯებით, პროდუქციის ერთეულის თვითღირებულებაში ჩაირთვება მხოლოდ ცვლადი ზედნადები დანახარჯები. სხვა დანახარჯების დარიცხვა კი ხდება დროის შესაბამისად.

შეკვეთასა და სამუშაოთა სახეობებზე დანახარჯთა კალკულაციის უწყისში (ბარათი) რეგისტრირდება დანახარჯთა ერთი ერთეულის წარმოებაზე გაწეული ყველა დანახარჯი.

თითოეული დამკვეთის შეკვეთაზე დგება ერთი უწყისი. მასში ნაჩვენებია: 1) სპეციალურად შეკვეთის შესასრულებლად შეძენილი მასალები; 2) საწყობიდან მიღებული მასალები; 3) პირდაპირი ხელფასი (სამუშაო დროის ტაბელის ან შეკვეთების საღრიცხვო ბარათის შესაბამისად); 4) პირდაპირი დანახარჯები (ანგარიშ-ფაქტურების და ა.შ. შესაბამისად).

შეკვეთის შესრულების შემდეგ სააღრიცხვო ბარათში (უწყისი) შეიტანება პირდაპირი დანახარჯების ჯამი, ხოლო ზედნადები დანახარჯები შეიძლება გაანგარიშებული და დარიცხული იქნეს ერთ-ერთი მიღებული მეთოდის შესაბამისად. იმ შემთხვევაში, თუ შეკვეთა არ არის დამთავრებული საანგარიშო თარიღისათვის, სააღრიცხვო ბარათში შეტანილი დანახარჯები განიხილება როგორც დაუმთავრებელი. ფაქტიური და დაგეგმილი დანახარჯების სხვაობის ანალიზისათვის შეკვეთის თვითღირებულება შეიძლება შევადაროთ კალკულაციას. იმ შემთხვევებში, თუ პროდუქცია შეიცავს მრავალ შემადგენელ ნაწილს, რეკომენდებულია პერიოდული შემოწმება, რათა არ გამოვგრჩეს დანახარჯების რომელიმე კომპონენტი.

2. დანახარჯთა აღრიცხვა ნაკეთობათა პარტიის მიხედვით ფორმები, რომლებიც აწარმოებენ მრავალი დასახელების საქონელს, იყენებენ ნაკეთობათა პარტიის დამზადების დანახარჯთა კალკულაციას. ამ შემთხვევაში

გამოყენებული თვითღირებულების კალკულაციის სისტემა პრაქტიკულად იმ მეთოდის ანალოგურია, რომელიც გამოიყენება შეკვეთის დანახარჯების აღრიცხვისას. ერთადერთი განსხვავება არის ის, რომ დანახარჯების დარიცხვა ხდება არა პროდუქციის ერთეულზე (სარემონტო ერთეულზე), არამედ ერთ საწარმოო შეკვეთაზე, რომელიც შეიცავს პროდუქციის ერთეულზე გაწეულ ყველა დანახარჯს. შეკვეთის შესრულების შემდეგ ერთეულის თვითღირებულება იანგარიშება პარტიის თვითღირებულების შეფარდებით ნაკეთობათა რაოდენობაზე.

ნაკეთობათა პარტიის დამზადების დანახარჯების კალკულაცია გამოიყენება იმ შემთხვევაში როდესაც: ა) საწარმო აწარმოებს პროდუქციას ან ასრულებს სარემონტო სამუშაოს ტექნიკურ დავალებას; ბ) საწარმო ასრულებს დამკვეთის ტექნიკურ მოთხოვნას, ამზადებს ნაკეთობის ერთადერთ ეგზემპლარს.

3. დანახარჯთა აღრიცხვა კონტრაქტის შესრულების მიხედვით. კონტრაქტსა და შეკვეთას შორის განსხვავებას წარმოადგენს სამუშაოს მოცულობა და მისი შესრულების ხანგრძლივობა. კონტრაქტის შესრულების დანახარჯთა კალკულაციას საწარმო იყენებს, როდესაც დაიდება კონტრაქტი შენობის ან სხვა სამშენებლო ობიექტის მშენებლობაზე ან რემონტზე რომლისთვისაც საჭიროა თვეები.

თვითღირებულების კალკულაციის პრინციპები შეკვეთის, ნაკეთობათა პარტიის და კონტრაქტის შესრულებაზე დანახარჯთა აღრიცხვისას, შეიძლება გამოყენებული იქნეს, როგორც თვითღირებულების კალკულაცია ზღვრული დანახარჯებით, ასევე – თვითღირებულების კალკულაცია დანახარჯების სრული განაწილებით. აღრიცხვაში, მატერიალური მარაგების შეფასების მიზნით მიღებულია თვითღირებულების კალკულაცია დანახარჯთა სრული განაწილებით

ჩანაწერები კონტრაქტის წიგნში. კონტრაქტის შესრულებაზე დანახარჯების კალკულაციისას ყოველი კონტრაქტი განიხილება, როგორც დანახარჯთა ერთეული. დანახარჯები ცალკეულ კონტრაქტზე აისახება მთავარ წიგნში ცალკეულ ანგარიშზე.

დანახარჯთა ელემენტები შემდეგნაირად აღირიცხება:

ა) პირდაპირი მასალები. კონტრაქტის შესრულებისათვის დახარჯული მასალები შეიძლება იყოს როგორც სპეციალურად შესყიდული, ასევე საწყობში არსებული.

ბ) პირდაპირი ხელფასი. კონტრაქტზე დარიცხულ ხელფასში შეიძლება ჩაერთოს დაპროექტებასა და ნახაზების შედგენაზე, ქარხნის საწარმოო ოპერაციებზე და უბნებზე წარმოებულ სამუშაოზე გაწეული ანაზღაურება. ყოველი სამუშაო, რომელიც

გ) პირდაპირი დანახარჯები. მასალებისა და შრომის გარდა არსებობს სხვა მნიშვნელოვანი პირდაპირი დანახარჯებიც, როგორცაა მოწყობილობისა და ქვემოიჯარეთა სამუშაოები.

დ) არაპირდაპირი დანახარჯები. ხშირად ასეთი დანახარჯების სიდიდე იმდენად უმნიშვნელოა პირდაპირ დანახარჯებთან შედარებით, რომ საწარმო-შემსრულებლები არ ცდილობენ გაანაწილონ ისინი ცალკეული კონტრაქტების მიხედვით.

3. ნორმატიული კალკულაციის არსი და თავისებურება

ზემოთგანხილულ დანახარჯთა აღრიცხვის და მართვის მეთოდებში – შეკვეთის, ნაკეთობათა პარტიის და კონტრაქტების მიხედვით კალკულაციის შედგენა შეიძლება მოხდეს როგორც ნორმატიული (გეგმიური) ასევე რეალურად გაწეული დანახარჯების მიხედვით.

დანახარჯთა ნორმატიული კალკულაცია წარმოადგენს კონტროლის მეთოდს, რომელშიც ნორმატიული დანახარჯები და შემოსავლები შედარებულია ფაქტიურ შედეგებთან, რათა დადგინდეს გადახრები, რომელთა ანალიზის მეშვეობით ხდება საქმიანობის შედეგების გაუმჯობესება.

ნორმატიული დანახარჯი წარმოადგენს დანახარჯების დადგენილ რაოდენობას, ფულად ფორმაში. იგი ეფუძნება დანახარჯთა ელემენტების მიხედვით დადგენილ კონკრეტულ ნორმებს.

დანახარჯთა ნორმა არის ნატურალურ ერთეულებში დადგენილი ცალკეული სახის მასალის ან დროითი დანახარჯის დადგენილი სიდიდე პროდუქციის ერთეულზე. დანახარჯების აღრიცხვისა და პროდუქციის

თვითღირებულების კალკულაციის ნორმატიული მეთოდი თავდაპირველად ჩამოყალიბდა როგორც გეგმური კონტროლის პარალელური სისტემა.

დანახარჯთა ნორმატიული კალკულაცია ყველაზე ეფექტურია, მაშინ როცა წარმოება (სარემონტო სამუშაოები) არის ერთგვაროვანი და კონტროლირებადი. დანახარჯთა ნორმატიული კალკულაციის თავისებურება ისაა, რომ წარმოების მენეჯერები წინასწარ გეგმავენ ცალკეული სახის დანახარჯთა ნორმებს სარემონტო ერთეულზე. შემდეგ, დანახარჯების მართვა და კონტროლი ხორციელდება, გეგმური კონტროლი შეიძლება გამოყენებულ იქნას ორგანიზაციის შიგნით ნებისმიერი საქმიანობისა და პასუხისმგებლობის ცენტრების მიხედვით, სადაც კი შეიძლება ადგილი ქონდეს დანახარჯებს ან შემოსავლებს.

დანახარჯთა ნორმატიული კალკულაციის ზოგადი მეთოდიკა შემდეგია: ნორმატიული დანახარჯების დაგეგმვის შემდეგ, ფაქტიური საქმიანობის განხორციელების პროცესში, დამზადებული პროდუქციის ან შესრულებული მომსახურების ერთეულის თვითღირებულებაში შეიტანება ნორმატიული დანახარჯები, რომელიც გადაანგარიშებულია პროდუქტის ფაქტიურ მოცულობაზე. ამ მიზნით, პროდუქციის წარმოების ანგარიშის დებეტში ნორმატიული დანახარჯები აღირიცხება. თვის ბოლოს, როცა ფაქტიური ხარჯების სიდიდე გაირკვევა, გა-მოითვლება ფაქტიური თვითღირებულება და გამოვლენილი "გადახრები" ცალკე ანგარიშზე აღირიცხება. ანალიზის საფუძველზე გაიზომება "გადახრებზე" მოქმედ რაოდენობრივ და ხარისხობრივ ფაქტორთა გავლენა. ხარისხობრივი ფაქტორების გავლენა წარმოების ანგარიშზე, ხოლო რაოდენობრივი ფაქტორების გავლენა - მოგება -ზარალის ანგარიშზე გადაიტანება.

ხარისხობრივი ფაქტორი არის ცვლილების (გადახრის) ისეთი მიზეზი, რომელიც ამა თუ იმ საქმიანობის ეფექტიანობას ანუ მწარმოებლობას ანუ ძალისხმევას ასახავს. მაგალითად, ნედლეულის ხარჯვის დონე პროდუქციის ერთეულზე.

რაოდენობრივი ფაქტორი არის მოვლენის (გადახრის) ისეთი მიზეზი, რომლის სიდიდე საწარმოს პერსონალის მუშაობის ხარისხზე და ძალისხმევაზე არ არის დამოკიდებული. მაგალითად, ნედლეულის ფასები.

დანახარჯთა გადახრა წარმოადგენს სხვაობას ფაქტიურ დანახარჯებსა და დაგეგმილ ანუ ნორმატიულ დანახარჯებს შორის. დანახარჯებში წარმოქმნილი გადახრა შეიძლება იყოს ხელსაყრელი ან არახელსაყრელი. გადახრა ხელსაყრელია, თუ მის შედეგად მოგების ფაქტიური სიდიდე იზრდება და პირიქით, გადახრა არახელსაყრელია, თუ მის შედეგად ფაქტიური მოგება მცირდება. [3]

დასკვნა. რეალობა გვიჩვენებს, რომ ელექტრომოწყობილობის რემონტს უნდა მიექცეს სათანადო ყურადღება. პირველ რიგში, საწარმო, რომელიც აწარმოებს ან გადასცემს ელექტროენერჯიას, უნდა იყოს დაინტერესებული ელექტრომოწყობილობების დროული და ხარისხიანი სარემონტო სამუშაოების მოწესრიგებით. მოწყობილობის ხარისხიანი რემონტი იძლევა საშუალებას 30%-ამდე გაიზარდოს მისი მომსახურების ვადა და ამით გამონთავისუფლდეს საწარმოს სხვა მიზნებისათვის საჭირო საბრუნავი საშუალებები. არანაკლებ მნიშვნელოვანია სამუშაოების ჩატარება რემონტის კონტროლისა და დანახარჯთა გაანგარიშების ორგანიზაციის კუთხით.

სტატია მოიცავს ელექტრომოწყობილობების სარემონტო სამუშაოებზე გაწეული დანახარჯების აღრიცხვას. გამოყენებულია მმართველობითი აღრიცხვის თეორიის სხვადასხვა მიდგომა, თვითღირებულების თანამედროვე კალკულაციის სისტემა. დასახული მიზნის მიხედვით გეგმიური სარემონტო სამუშაოების ხარჯთაღრიცხვისათვის შევარჩიეთ და გავაანალიზეთ მსოფლიოში ყველაზე მეტად მიღებული დანახარჯთა აღრიცხვა შეკვეთის მიხედვით, ნაკეთობათა პარტიის მიხედვით და კონტრაქტთა შესრულების მიხედვით. აღსანიშნავია, რომ დანახარჯთა აღრიცხვის და მართვის მეთოდებში ზემოთჩამოთვლთა კალკულაცია შეიძლება მოხდეს ნორმატიული (გეგმიური) ან რეალურად გაწეული დანახარჯების მიხედვით. გამოტანილია

დასკვნა, რომ ყველა განხილული მეთოდი შეიძლება განვხორციელოთ ნორმატიული ან ფაქტიური დანახარჯთა მიდგომით. სამუშაო მოიცავს ნორმატიული კალკულაციის არსისა და თავისებურებების აღწერას. აქვე ნორმატიული დანახარჯები და შემოსავლები შედარებულია ფაქტიურ შედეგებთან, რითაც დგინდება გადახრები, რომელთა ანალიზის მეშვეობით ხდება საქმიანი შედეგების გაუმჯობესება [4,5].

როგორც ცნობილია, მოგება = შემოსავლები - ხარჯები

მამასადამე, ხარჯების ზრდა მოგებას ამცირებს და ხარჯების შემცირება მოგებას ზრდის. ამ კონცეფციის საფუძველზე გაირკვევა, ხარჯებში გამოვლენილი გადახრა მოგებაზე რო-გორ გავლენას ახდენს და შესაბამისად, განისაზღვრება, გამოვლენილი გადახრები ხელსაყრელია თუ არახელსაყრელი. თვითღირებულების ნორმატიული კალკულაციის მიზნებია:

1. მმართველთა საქმიანობის ეფექტიანობის შეფასება და დახმარების გაწევა ხარჯთაღრიცხვის შედგენაში.

2. კონტროლის უზრუნველყოფა, რაც მიიღწევა საქმიანობის იმ სახეების გამოვლენით, რომელთა დონე არ შეესაბამება გეგმას და იმ პირების გაფრთხილებით, რომლებიც პასუხისმგებლები არიან გადაწყვეტილებების მიღებაზე. საჭირო ღონისძიებების გარეშე, სიტუაცია შეიძლება უმართავი გახდეს.

3. მომავალი ხარჯების პროგნოზირება, რომლებიც შეიძლება გამოყენებულ იქნეს გადაწყვეტილებების მიღებისას.

4. ცალკეული სახის პროდუქციაზე დანახარჯების მიკუთვნების პროცედურის გამარტივება, რომელიც მარაგის შეფასებისათვის გამოიყენება.

5. მიზნების დასახვა, რომელთა მისაღწევადაც პერსონალი უნდა მიისწრაფვოდეს.

ნორმატიული თვითღირებულება შეიძლება გამოთვლილ იქნას როგორც ზღვრული დანახარჯებით (ანუ მხოლოდ ცვლადი დანახარჯების გათვალისწინებით), ისე დანახარჯთა სრული განაწილებით. მეორე შემთხვევაში, მუდმივი საწარმოს ზედნადები ხარჯები ნორმატიული განაკვეთების მეშვეობით ჩაირთვება თვითღირებულებაში.

ლიტერატურა

1. ბუღალტრული აღრიცხვის საერთაშორისო მე-16 სტანდარტი. უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული -17.07.2018. <https://saras.gov.ge/ka/Home/Councilhttps://>
2. კანონი ბუღალტრული აღრიცხვის, ანგარიშგებისა და აუდიტის შესახებ (08.06.2016). <https://matsne.gov.ge/ka/document/view/3311504>
3. ლ.ბოჭორიშვილი, ნ.ბებიანიშვილი: მენეჯერული ინფორმაცია. თბ., 2020 ISBN 99928-944-7-4.
4. ბოჭორიშვილი ლ., ჩხეიძე თ., მმართველობითი აღრიცხვის საფუძვლები. 2009 ISBN 978-9941-14-355-7 <http://www.gtu.ge/publishinghouse/>
5. აუდიტის საერთაშორისო სტანდარტები <https://www.saras.gov.ge/ka/Home/IsaL>

Used literature

1. International 16th standard for Accounting. It was last verified in 17.07.2018. <https://saras.gov.ge/ka/Home/Councilhttps://> {1}
2. The Law of Georgia on Accounting, Reporting and Auditing. (08.06.2016). <https://matsne.gov.ge/ka/document/view/331150>
3. L.Bochorishvili, N.Bebiashvili. Management Information. Tb2020. ISBN 99928-944-7-4
4. Bochorishvili.L, Chkheidze T. Fundamentals of Management Accounting. 2009. ISBN 978-9941-14-355-7 <http://www.gtu.ge/publishinghouse/>
5. Audit international standards. <https://www.saras.gov.ge/ka/Home/IsaList>

ენერგეტიკული საწარმოს ძირითადი საშუალებების აღრიცხვიანობისა და აუდიტის პროგრამა თანამედროვე მოთხოვნების გათვალისწინებით

ლალი ბოჩორივილი, ეკონომიკის მეცნიერებათა კანდიდატი, აკადემიური დოქტორი, საქ. ტექნიკური უნივერსიტეტი, ქ.თბილისი, საქართველო, e-mail: Lalibochorischvili@yahoo.com.
მანანა თოფურია, ეკონომიკის მეცნიერებათა კანდიდატი, აკადემიური დოქტორი, საქ. ტექნიკური უნივერსიტეტი, ქ.თბილისი, საქართველო, e-mail: mananatopuria19@gmail.com.

ანოტაცია. შესრულებულ სამუშაოში განხილული საკითხების აქტუალობა განპირობებულია ენერგეტიკის ადგილით ქვეყნის ეკონომიკაში, ბაზრის ყველა მონაწილეთა მჭიდრო კავშირით, საწარმოთა ბუღალტრული აღრისხვისა და ფინანსური კონტროლის სრულყოფის აუცილებლობით. სტატიაში მოცემულია კონკრეტული ენერგეტიკული საწარმოს ძირითადი საშუალებების აუდიტორული შემოწმების პროგრამა, რომელიც ითვალისწინებს მის აღიარებას, პერიოდულ შემოწმებასა და კონტროლს, შენახვას, მოძრაობას, ამორტიზაციის დარიცხვას, რომელიც დანახარჯთა აღრიცხვის ერთერთ ძირითად წონად სიდიდედ განიხილება, აუდიტის შედეგად მომზადებულია დასკვნები და რეკომენდაციები ხელმძღვანელობისთვის იმ დარღვევებისა და ნაკლოვანებების აღმოსაფხვრელად, რომლებიც გავლენას ახდენს ფინანსურ შედეგებზე და ფინანსური ანგარიშგების სანდოობასა და შესაბამისობაზე.

საკვანძო სიტყვები: აუდიტი, პროგრამა, ძირითადი საშუალებები, ცვეთა, ენერგეტიკა, ფინანსური ანგარიშგება.

The Program for Accounting and Auditing of Fixed Assets of an Energy Enterprise in Accordance with Modern Requirements

Lali Bochorivili, Candidate of Economic Sciences, Academic Doctor, Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, e-mail: Lalibochorischvili@yahoo.com.
Manana Topuria, Candidate of Economic Sciences, Academic Doctor, Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, e-mail: mananatopuria19@gmail.com.

Annotation. Actuality of the questions in the current work conditioned by the place of energetics in the country's economy, the close connection of all the participants of the market, the need to improve the accounting and financial control of enterprises. The article presents a program for auditing the fixed assets of a particular energy enterprise. The program includes fixed assets recognition, periodic verification and control, storage, movement, depreciation accrual, which is considered one of the main values of cost accounting, etc. The audit prepared conclusions and recommendations for management to address irregularities and deficiencies that affect financial results and the reliability and relevance of financial statements.

Keywords: audit, program, fixed assets, depreciation, energy, financial reporting.

შესავალი. ელექტროენერგეტიკის საწარმოებისათვის ძირითადი საშუალებების აღრიცხვა და ანგარიშგების აუდიტი წარმოადგენს უმნიშვნელოვანეს საკითხს, როგორც ფინანსური, ასევე ენერგეტიკული თვალსაზრისით. რამდენადაც ენერგეტიკაში, როგორც ცნობილია, ძირითადი საშუალებების ხვედრითი წილი აქტივების შემადგენლობაში საკმაოდ მაღალია. კერძოდ, ჩვენს მიერ შესწავლილ ქსელურ საწარმოში ძირითადი საშუალებების ხვედრითი წილი აღწევს 80 %-მდე [1]. გარდა ფინანსური ანგარიშგებისა ენერგეტიკის საწარმოებში ტარდება ძირითადი საშუალებების ენერგოაუდიტი, რომლის

ობიექტები შეიძლება იყოს ენერგოდანადგარები, შენობები, აგრეგატები, რომელიც გამოიმუშავებს ან მოიხმარს ელექტროენერგიას. ამ აუდიტის მიზანია დაეხმაროს ენერგოსაწარმოებს სამეურნეო საქმიანობის განხორციელებაში, ენერგომომხმარებლის ეფექტური მიმართულებების განსაზღვრაში [2].

მოცემული სტატიის მიზანს წარმოადგენს საწარმოს ძირითადი საშუალებების აღრიცხვისა და ფინანსური ანგარიშგების ანალიზი საერთაშორისო სტანდარტების შესაბამისად. აუდიტორული შემოწმების პროცესში გადაჭრილია შემდეგი ძირითადი ამოცანები: 1. შეფასებულია ბუღალტრული აღრიცხვის

ორგანიზაციისა და შიდა აუდიტის დონე; ბუღალტრული აღრიცხვის დოკუმენტების სისრულე და დამუშავების ხარისხი; ბუღალტრული ჩანაწერების კანონიერება და სისწორე; 2. გაცემულია რეკომენდაციები ადმინისტრაციისთვის იმ დარღვევებისა და ნაკლოვანებების აღმოსაფხვრელად, რომელიც გავლენას ახდენს ფინანსურ შედეგებზე და ფინანსური ანგარიშგების სანდოობასა და საიმედოობაზე.

თეორიულ კვლევის პროცესში შევადგინეთ ძირითადი საშუალებების აღრიცხვიანობის აუდიტის ჩატარების პროგრამა, რამელმაც მოიცვა შემდეგი ეტაპები: მოსამზადებელი სამუშაოების ჩატარება, გეგმის შედგენა, რისკების გათვალისწინება და საბოლოოდ, აუდიტის ჩატარება, ანგარიშის წარდგენა და დასკვნის მომზადება. პრაქტიკული ნაწილი მოიცავდა შემდეგ ძირითად საკითხებს: საწარმოს დახასიათებას და საქმიანობას, ძირითადი საშუალებების აღრიცხვიანობის მოსამზადებელ ეტაპს, აუდიტორული პროგრამის შედგენას და ბოლო ეტაპზე - ანგარიშს შესრულებული სამუშაოს შესახებ და აუდიტორულ დასკვნას. მუშაობის პროცესში ასევე განვსაზღვრეთ ჩვენს წინაშე არსებული რისკები. აუდიტორული კომპანიის შიდა კონტროლის სისტემა. აუდიტორული პროცედურების ჩატარების შემდეგ წარვადგინეთ შესაბამისი ანგარიში, გამოვყავით აღმოჩენილი ხარვეზები, გავეცით რეკომენდაციები და შევადგინეთ ნაშრომის ძირითადი დასკვნა.

სამუშაოს მიზანი. კონკრეტული ენერგეტიკული საწარმოს ძირითადი საშუალებების აუდიტის მიზანს წარმოადგენს სარწმუნო დასკვნის მიღება იმის შესახებ, რომ ფინანსურ ანგარიშგებაში წარმოდგენილი ინფორმაცია ძირითადი საშუალებების შესახებ და შესაბამისი განმარტებები სრულად ასახავს რეალურ ფინანსურ სურათს.

1. ძირითადი საშუალებების აუდიტის ეტაპები: ა) აუდიტის მოსამზადებელი (წინა) ეტაპი; ბ) აუდიტის დაგეგმვა; გ) აუდიტის შესრულება; დ) დასკვნითი ეტაპი (აუდიტორული დასკვნა) [2,3].

ა) აუდიტის მოსამზადებელი (წინა) ეტაპი. ამ ეტაპზე მოხდა პოტენციური კლიენტის - ელექტრიენერჯის განაწილების ლიცენზიატის,

გაცნობა, გაფორმდა შესაბამისი ხელშეკრულება საწარმოს ძირითადი საშუალებების აღრიცხვისა და ანგარიშგების აუდიტის ჩატარების შესახებ. გამანაწილებელი ქსელიდან არჩეულ იქნა კომპანიის რამდენიმე ობიექტი. შესწავლის შედეგად სტანდარტების გათვალისწინებითა და კანონის დაცვით გამოტანილი იქნა დასკვნები. ამ ყოველივეს საფუძვლად დაედო ბუღალტრული აღრიცხვის მე-16 და აუდიტის 805-ე საერთაშორისო სტანდარტები.

ამავე ეტაპზე შესწავლილი იქნა სამუშაოსთან დაკავშირებული აუდიტორული რისკები მათი შემადგენელი თითოეული კომპონენტის მიხედვით. კერძოდ, ჩვენი შეფასებით, შიდა (თანდაყოლილმა) რისკმა შეადგინა 80%, კონტროლის რისკმა - 60% და შეუმჩნეველობის რისკმა - 15%. ამ მნიშვნელობების საფუძველზე აუდიტორული რისკის დონე მიღებულია $0,8*0,6*0,15=7,2\%$.

ბ) უდიტის დაგეგმვა. აუდიტის დაგეგმვა ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი პროცესია და გულისხმობს აუდიტის ჩატარების ოპტიმალური სტრატეგიისა და ტაქტიკის შერჩევას თითოეული აუდიტორული პირის ინდივიდუალური მახასიათებლების გათვალისწინებით.

აუდიტორის მიერ შედგენილ გეგმაზე დამოკიდებულია აუდიტორული ფირმის შრომითი რესურსების გამოყენების რაციონალურობა, აუდიტის ხარჯებისა და დროის შემცირება, კლიენტის ფინანსურ ანგარიშგებაში მნიშვნელოვანი შეცდომების გამოვლენის რისკი. აუდიტორებს აქვთ უფლება დამოუკიდებლად შეარჩიონ მუშაობის მეთოდები და მიდგომები.

ამავე ეტაპზე აუდიტორმა უნდა გაარკვიოს რა მიზნებს ემსახურება აუდიტის ჩატარება და კლიენტისგან იღებს თანხმობას, რომ მას არ შეექმნება დაბრკოლება ინფორმაციის მიღებაზე. აუდიტორი ადგენს დოკუმენტს, რომელშიც განსაზღვრული იქნება აუდიტის პირობები, როგორცაა შესასრულებელი სამუშაოს მოცულობა, ღირებულება და ა.შ. მოლაპარაკების ეტაპზე მიღებული ინფორმაციით აუდიტორმა უნდა მიიღოს რწმუნება კლიენტის კეთილსინდისიერებასა და გადახდის-უნარიანობაზე, რითაც შეამცირებს აუდიტორულ რისკს.

ხელშეკრულების გაფორმების შემდეგ უნდა დაისახოს სამუშაო პროგრამა, რომლის

მიხედვითაც მოხდება აუდიტორული მომსახურება. ქვამოთ მოცემულია პროგრამით გათვალისწინებულ შესასრულებელი პროცედურების ჩამონათვალი და შესაბამისი ინფორმაციის წყაროები.

ძირითადი საშუალებების შემოწმების აუდიტორული პროგრამა [4].

პროცედურების ჩამონათვალი (1-7) და ინფორმაციის წყაროები:

1. ძირითადი საშუალებების სააღრიცხვო რეგისტრების დეტალური შემოწმება.

ინფორმაციის წყაროები: ძირითადი საშუალებების აღრიცხვის ელექტრონული უწყისები და ინვენტარული ბარათები.

2. საკონტროლო ობიექტების შერჩევა: ა) ინვენტარიზაციის მასალების შესწავლა; ბ) საკუთრების უფლებასთან დაკავშირებული დოკუმენტების შემოწმება.

ინფორმაციის წყაროები: მიმდინარე ინვენტარიზაციის შედეგები, შემოსავლის აქტები, გადაცემის აქტები, ხელშეკრულებები, ანგარიშ-ფაქტურები, სასაქონლო ზედნადები და სხვა.

3. ძირითადი საშუალებების მიღებისა და განაწილების სრული ჩამონათვალის მოძიება. ა) პასუხისმგებელ პირებთან ინტერვიუ; ბ) ძირითადი საშუალებების პირვანდელი (საწყისი) ღირებულებით ასახვა-აღარება.

ინფორმაციის წყაროები: ხელშეკრულებები, ანგარიშ- ფაქტურები, ზედნადები, საავანსო ანგარიშები, მ/შ აქტები, ჩამოწერის აქტები.

4. ძირითადი საშუალებების გაყიდვის, შეძენის და უსასყიდლოდ გადაცემის ოპერაციების შერჩევითი შემოწმება: ა) გაყიდვის და გასხვისების ოპერაციების გადასახდელი დღგ-ს დარიცხვის სისწორე; ბ) შეძენის ოპერაციებში გადახდილი დღგ-ს გამოყოფა ჩათვლაში მიკუთვნების მიზნით და სხვ.

ინფორმაციის წყაროები: ანგარიშ-ფაქტურები, სასაქონლო ზედნადები და სხვა, გადახდის და ანგარიშსწორების საბუთები.

5. ამორტიზაციის დარიცხვის სისწორის და ნორმებთან შესაბამისობის დადგენა.

ინფორმაციის წყაროები: ამორტიზაციის დარიცხვის უწყისები და ნორმატიული დოკუმენტები.

6. შესაბამის ბუღალტრულ ანგარიშებზე დარიცხული ამორტიზაციის სწორად ასახვა.

7. სარემონტო ხარჯების ასახვის შემოწმება შესაბამის ანგარიშებზე.

ინფორმაციის წყაროები: ხარჯთაღრიცხვის დოკუმენტაცია, მ/შ აქტები და პირვანდელი საბუთები.

პროგრამისა და აუდიტის საერთო გეგმის შემუშავების შემდეგ, რომელიც განსაზღვრავს სამუშაოს მოცულობას, უნდა ჩამოყალიბდეს და დამტკიცდეს აუდიტორების ჯგუფის შემადგენლობა. აუდიტის ჯგუფის შექმნისას, ყურადღება ექცევა მონაწილეთა რაოდენობას და კვალიფიკაციას. ჯგუფის თითოეულ წევრს პასუხისმგებლობა ეკისრება მისთვის მიწოდებულ მოვალეობებზე. ასევე უნდა იცნობდეს კლიენტის ფინანსურ და ეკონომიკურ საქმიანობას, აუდიტის საერთო გეგმას და აუდიტის პროგრამას. აუდიტის დაგეგმვის ბოლო ეტაპზე ზუსტდება შესაბამისი მოქმედებები და შემოწმების პროცედურები.

გ) **აუდიტის შესრულება [5].** ამ ეტაპზე პირველ რიგში განისაზღვრება ძირითადი საშუალებების აუდიტორული შემოწმების ჩატარების მექანიზმი. აუდიტის ჩატარების ინფორმაციის ძირითადი წყაროებია პირველადი დოკუმენტები: ძირითადი საშუალებების მიღებისა და გადაცემის აქტები, შიდა მოძრაობის ინვოისები და ა.შ. აუდიტით დგინდება ძირითად საშუალებებზე კონტროლის ხარისხი, მათი უსაფრთხოება, შეფასებისა და კლასიფიცირების სისწორე. ასევე საჭიროა ინვენტარიზაციის ჩატარება.

ძირითადი საშუალებების აუდიტის მიზანია ორგანიზაციაში გამოყენებული საბუღალტრო მეთოდების რეგულირება და კონტროლი. ამ მიზნების მისაღწევად აუდიტორი ატარებს შემდეგ პროცედურებს: სწავლობს და აფასებს აუდიტორული პირის შიდა კონტროლის სისტემას; ირჩევს შემოწმების მეთოდებს.

პრაქტიკა გვიჩვენებს, რომ შიდა კონტროლი ხშირად არ მოიცავს ყველა იმ საჭირო საკითხს, რომლებსაც მოითხოვს ძირითადი საშუალებების შემოწმება და რითიც მოწმდება მისი შედეგიანობა. აუდიტის დროს შიდა კონტროლის შემოწმება არჩევითი მეთოდით ამცირებს დანახარჯს, მაგრამ ზრდის აუდიტორულ რისკს და ამახინჯებს აუდიტის რეალურ შედეგებს. შიდა სისტემის ადეკვატური შეფასება აუდიტს მისცემს საშუალებას

გამოთქვას სრული და უტყუარი მოსაზრება შიდა კონტროლის შესახებ.

ძირითადი საშუალებების აუდიტში გამოყენებული საინფორმაციო წყაროების სახე დამოკიდებულია საწარმოს მიერ მიღებულ სააღრიცხვო პოლიტიკაზე, რაც გამოიხატება ამორტიზაციის ხარჯების გამოთვლის, ძირითადი საშუალებების ჩამოწერისა და სხვა მოქმედებების ჩატარების მეთოდის შერჩევაზე.

აუდიტის შესრულების მიმართულებები მოიცავს შემდეგ ეტაპებს: 1. ძირითადი საშუალებების სააღრიცხვო ჯგუფზე მიკუთვნება, რისთვისაც შესწავლილი უნდა იყოს ძირითადი საშუალებების სტრუქტურა. აუდიტის აღნიშნული პროცედურები აუცილებელია მონაცემების საიმედოობის შესაფასებლად, რაც გავლენას ახდენს ბუღალტრული ბალანსის სისწორეზე. 2. ძირითადი საშუალებების დოკუმენტური რეგისტრაციისა და აღრიცხვის შემოწმება. პირველადი დოკუმენტები, რის საფუძველზეც აისახება ძირითად საშუალებებთან დაკავშირებული გარიგებების სათანადოდ შესრულება. 3. საბუღალტრო მონაცემებისა და პირველადი საბუღალტრო დოკუმენტების საფუძველზე აქტივების აღრიცხვის დროულობის, ასევე არსებული აქტივების თავდაპირველი ღირებულების განსაზღვრის სისწორის დადგენა, მეთოდოლოგიის შესაბამისობის შემოწმება და გარკვევა. 4. დადგენა, თუ რომელ ანგარიშზე აისახება ფაქტობრივი ხარჯები 5. ძირითადი საშუალებებზე ამორტიზაციის დარიცხვის სისწორის შემოწმება. ამორტიზაციის დარიცხვის მეთოდი უნდა შეესაბამებოდეს ორგანიზაციის საბუღალტრო პოლიტიკას. 6. ძირითად საშუალებებთან დაკავშირებით არსებული საიჯარო და სხვა პირობებით დადებული შეთანხმებების შემოწმება. 7. ძირითადი საშუალებების განკარგვის ოპერაციების შემოწმება, როგორებიცაა: გაყიდვა, საკუთრებაში გადაცემა და სხვ. 8. აუდიტის შედეგების ანალიზი და შეჯამება.

აუდიტის აღწერილი ეტაპი ტარდება ორგანიზაციის სააღრიცხვო პოლიტიკის შესაბამისად. დასკვნა იწერება საბუღალტრო ანგარიშების, ინვენტარიზაციის პროცესის ჩატარების და სხვა მონაცემების შესწავლის საფუძველზე.

აუდიტის ეკონომიკური ეფექტიანობის თვალსაზრისით თითქმის ყველა გამოკვლევა ტარდება შერჩევითი მეთოდით, რადგან შეუძლებელია საანგარიშო პერიოდის განმავლობაში შესრულებული ყველა სამეურნეო-საფინანსო ოპერაციების, მთელი რიგი პირველადი დოკუმენტებისა და ბუღალტრულ რეგისტრებში ჩანაწერების შესწავლა.

აუდიტის საერთაშორისო სტანდარტებში აუდიტორული შერჩევითი ტექნიკის გამოყენების საკითხებს არეგულირებს ასს 530 – „აუდიტორული შერჩევა“. თითოეული აუდიტორული ფირმის წინაშე დგას შერჩევითი გამოკვლევების შიდასაფირმო მეთოდოლოგიის შემუშავებისა და დანერგვის ამოცანა.[6].

შერჩევითი შემოწმების დაგეგმვის სტადიაზე მნიშვნელოვანია ღირებულებისა და საკვანძო ელემენტების შერჩევა. საკვანძო ელემენტებისა და უდიდესი ღირებულების მქონე ელემენტების შერჩევის შემდეგ, აუდიტორმა დარჩენილი ერთობლიობიდან უნდა განსაზღვროს ელემენტების რიცხვი, რომელიც დაექვემდებარება შერჩევით შემოწმებას. შემოწმების შემდეგ ეტაპზე აუდიტორს გააჩნია ყველა საჭირო მონაცემი კონკრეტული აუდიტორული პროცედურების ჩასატარებლად. შერჩევითი შემოწმების ბოლო ეტაპია შერჩევითი გამოკვლევის შედეგების ანალიზი.

დ) დასკვნითი ეტაპი. (აუდიტორული დასკვნა)

დასკვნით ეტაპზე წინა ეტაპებზე ჩატარებული სამუშაოს შესრულების შედეგად მიღებული ინფორმაციის მიხედვით მზადდება აუდიტორული დასკვნა.

აუდიტორულ ფირმასთან გაფორმებული ხელშეკრულების პირობებით გათვალისწინებული ვალდებულებების მიხედვით, ჩავატარეთ საწარმოს ძირითადი საშუალებების აღრიცხვიანობის აუდიტი რისკებისა და საწარმოს საქმიანობის გათვალისწინებით. შეირჩა სრული მოცულობის 51,5%, რაც საკმარისად მივიჩნიეთ სრულფასოვანი დასკვნის გამოსატანად.

შევისწავლეთ საწარმოს შიდა კონტროლის სისტემა, ასევე ბალანსზე არსებული ძირითადი საშუალებების სტრუქტურა. სრულად შემოწმდება საწარმოს 2019 წლის ძირითადი საშუალებების მიღებაზე არსებული

დოკუმენტაცია, ცვეთის დარიცხვისათვის გამოყენებული მეთოდი და შესაბამისი ნორმები. შიდა კონტროლის შესწავლის და შეფასების შედეგად დადგინდა, რომ პრაქტიკულად, შიდა კონტროლი ატარებს ფორმალურ ხასიათს, რაც ქმნის რისკებს და ჩვენს შემთხვევაში, ზრდის აუდიტორულ რისკს. მიუხედავად იმისა, რომ ჩვენს წინაშე იდგა ძირითადი საშუალებების აღრიცხვიანობის შემოწმების ამოცანა, ასევე ჩვენს ხელთ არსებული დოკუმენტების დახმარებით გავაანალიზეთ ძირითადი საშუალებების მდგომარეობა მათი ექსპლუატაციის პერიოდის გათვალისწინებით. ვფიქრობთ, რომ ფინანსური აუდიტის გარდა საჭიროა ენერგოაუდიტის ჩატარება, რაც გულისხმობს შესაბამისი პროცედურების ჩატარებას ძირითადი საშუალებების ტექნიკური გამართულობის დასადგენად.

საწარმოში რემონტები ტარდება ხშირად. ძირითადი საშუალებები არის საკმაოდ მოძველებული, რამდენჯერმე გადაფასებული და როგორც წესი, შემოსავალში აღებულია გაწეული რემონტის ხარჯი.

საწარმო არის დღე-ს გადამხდელი. ძირითადი საშუალებების შეძენა ფიქსირდება მხოლოდ იურიდიული ან რეგისტრირებული ფიზიკური პირებისგან. შეძენის ოპერაციები დასტურდება შესაბამისი სასაქონლო ზედნადებით და/ან ანგარიშ-ფაქტურით. ძირითადი საშუალებების შეძენასთან დაკავშირებული ვადაგადაცილებული ვალდებულებები უმნიშვნელოა და ძირითადად, შესრულებულია დროულად.

ცვეთა ირიცხება ცენტრალიზებულად, ცვეთის დარიცხვის წრფივი მეთოდის გამოყენებით. ცვეთის დარიცხვა ხდება აღრიცხვაში აღებიდან შემდეგ თვეს, წელიწადში ერთხელ. ცვეთის დარიცხვისას გამოყენებულია სხვადასხვა ნორმები. ცვეთა ირიცხება მისი თავდაპირველი ღირებულების სრულ ამოწურვამდე [1,3].

დასკვნა

ჩატარებული აუდიტის პროცესში დადგინდა, რომ ძირითადი საშუალებების ანალიტიკური აღრიცხვა აგებულია თითოეული სააღრიცხვო ობიექტის მიხედვით, სადაც ობიექტს აქვს მიკუთვნებული შესაბამისი ინვენტარიზაციის ნომერი.

რაც შეეხება, ძირითადი საშუალებების მიღებისა და აღრიცხვაში ასახვის ოპერაციებს,

როგორც წესი, სწორად არის გაფორმებული და ასახული, მაგრამ გაგვაჩნია გარკვეული შენიშვნები ნულოვანი ნარჩენი ღირებულების მქონე სააღრიცხვო ობიექტების მეორადი შეფასებისა და ასახვის მიმართ.

ძირითადი საშუალებების აღრიცხვისას გათვალისწინებულია, როგორც ამორტიზაცია, ასევე რემონტის ხარჯი. რომელიც შესაბამისი საბუთებით ფორმდება და აისახება ბუღალტრულ აღრიცხვაში.

აუდიტის ჩატარება ითვალისწინებდა მტკიცებულებების მოპოვებას, რომელთა საფუძველზეც დადგინდა, რომ ძირითადი საშუალებების აღრიცხვასთან დაკავშირებული პირვანდელი დოკუმენტები არ შეიცავდა არსებით დამახინჯებას.

ძირითად საშუალებებში მიკუთვნებების სისწორის შემოწმებისას გამოვლინდა შემდეგი დარღვევები: ამორტიზირებადი ქონების შემადგენლობაში შეყვანილია და ამორტიზაცია ერიცხება 50 ლარამდე ღირებულების ძირითად საშუალებებს, რაც სააღრიცხვო პოლიტიკის თანახმად წარმოადგენს იმ ზღვარს, რომლის ქვემოთაც ძირითადი საშუალების ღირებულება ჩამოიწერება ხარჯებში.

ბუღალტრული ჩანაწერები (გატარებები) სწორად არის შესრულებული და არსებითი შენიშვნები ამ მხრივ არ გაგვაჩნია.

შემოწმებისას, გამოვიყენეთ ანალიტიკური შერჩევა და ყურადღება გავამახვილეთ ამორტიზაციის ნორმების სისწორეზე და ამორტიზაციასთან დაკავშირებული ჩანაწერების სრულყოფაზე. ინვენტარული ბარათები იწარმოება ელექტრონულად, ძირითად საშუალებებთან დაკავშირებული ოპერაციები დოკუმენტურად სწორადაა გაფორმებული.

ჩვენი აზრით, საწარმო , როგორც წესი, სწორად ასახავს ძირითადი საშუალებების მოძრაობის, შეფასებისა და ამორტიზაციის დარიცხვის ოპერაციებს, რაც ხელს უწყობს მოგება-ზარალისა და ბალანსის შედგენის პროცესს.

შემოწმების პროცესში განსაკუთრებული ყურადღება მიექცა შემდეგ ძირითად გარემოებებს:

1. ბალანსზე ირიცხება ისეთი ძირითადი საშუალებები, რომელთაც ცვეთა აღარ ერიცხებათ. ამის მიუხედავად, ისინი გამოიყენება საწარმოო პროცესში და თავდაპირველი ღირებულებით მთელი

ბალანსის 5%-ს შეადგენენ. რეკომენდაცია: უნდა მოხდეს ინვენტარიზაციისა და ენერგოაუდიტის ჩატარება მათი ტექნიკური მდგომარეობის დადგენის მიზნით და დადებითი პასუხის შემთხვევაში, ბალანსზე აღრიცხვა აღდგენითი ღირებულებით.

2. ძირითადი საშუალებების დიდი ნაწილი აფასებულია რამდენჯერმე, აღებულია შემოსავალში რემონტის ხარჯით, მინიჭებული აქვთ ცვეთის მაღალი ნორმები. რეკომენდაცია: შეფასებული უნდა იყოს საბაზრო ფასით და ტექნიკური მდგომარეობის გათვალისწინებით.

3. 2019 წელს მიღებული ძირითადი საშუალებების გარკვეული რაოდენობა აღრიცხულია არარეალური, პირობითი ღირებულებით. რეკომენდაცია: ეს ხარვეზი მოითხოვს შესწორებას.

4. გამოვლინდა უზუსტობები ცვეთის დარიცხვის ნორმებში. არ არის გამოყენებული ერთნაირი მიდგომა ერთნაირი ჯგუფის ძირითად საშუალებების ცვეთის ნორმების განსაზღვრისას. რეკომენდაცია: უნდა მოხდეს ცვეთის ერთგვაროვანი ნორმების დადგენა ერთიანი სააღრიცხვო და ცვეთის დარიცხვის პოლიტიკის გატარება.

5. შიდა კონტროლის სისტემა არ არის მაღალ დონეზე. რეკომენდაცია: საჭიროა შიდა კონტროლის სისტემის გამკაცრება არსებული უზუსტობების შემცირების მიზნით.

ჩვენი აზრით, ძირითადი საშუალებების აღრიცხვასთან დაკავშირებით წარმოდგენილი ინფორმაცია, ყველა არსებითი ასპექტის გათვალისწინებით, სამართლიანად ასახავს XXX კომპანიის 2019 წ. 31 დეკემბერს დასრულებული წლის ძირითადი საშუალებების მიღებას, გასვლას, გამოყენებას და სხვა ბუღალტრული აღრიცხვის იმ პრინციპების შესაბამისად, რომლებიც განხილულია შენიშვნებში.

ლიტერატურა

1. სს „თელასის“ 2019 წლის ფინანსური ანგარიშგება დამოუკიდებელი აუდიტორის დასკვნასთან ერთად <http://www.telasi.ge/>
2. აუდიტის საერთაშორისო სტანდარტები <https://www.saras.gov.ge/ka/Home/IsaList>.

3. კანონი ბუღალტრული აღრიცხვის, ანგარიშგებისა და აუდიტის შესახებ <https://matsne.gov.ge/ka/document/view/3311504>
4. HAT აუდიტის სახელმძღვანელო ადაპტირებული და გამოცემულია საქართველოს პროფესიონალ ბუღალტერთა და აუდიტორთა ფედერაციის მიერ ინგლისისა და უელსის ნაფიც ბუღალტერთა ინსტიტუტიდან მიღებული ლიცენზიის საფუძველზე, ლონდონი, ინგლისი. © იუნზი 2018 <http://gfpa.ge/site/files/gamocemebi/Guide1.pdf>.
5. აუდიტის საერთაშორისო სტანდარტების გამოყენების სახელმძღვანელო მცირე და საშუალო საწარმოთა აუდიტში, ტომი 1 International Federation of Accountants. <http://gfpa.ge/site/files/gamocemebi/Guide1.pdf>.
6. ბუღალტრული აღრიცხვის და ანგარიშგებისა და აუდიტის ზედამხედველობის სამსახური <https://saras.gov.ge/ka/Home/Council> ასს 530 „აუდიტორული შერჩევა“.

Used literature

1. financial account of the Joint Stock Company “Telasi” for the year of 2019 along with the conclusion of the independent auditor. <http://www.telasi.ge/>
2. Audit international standards. <https://www.saras.gov.ge/ka/Home/IsaList>.
3. The Law of Georgia on Accounting, Reporting and Auditing. <https://matsne.gov.ge/ka/document/view/3311504>
4. HAT – Audit Manual adapted and issued by the Georgian Federation of Professional Accountants and Auditors on the basis of the license received from the The Institute of Chartered Accountants in England and Wales, London, England. იუნზი 2018 <http://gfpa.ge/site/files/gamocemebi/Guide1.pdf>
5. Manual of Using Audit international Standards in the small and medium scale enterprises. Volume 1. International Federation of Accountants. <https://saras.gov.ge/ka/Home/Council>
6. The Service for Accounting, Reporting and Auditing Supervision was last verified in 17.07.2018წ, <https://saras.gov.ge/ka/Home/Council>

მსხვილ ენერგომომხმარებლებში ჭკვიანი ქსელების დანერგვის ეფექტიანობის ანალიზი, პრობლემები და მათი გადაწყვეტის გზები

შოთა კოჩაძე, დოქტორანტი

საქ. ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი, საქართველო, e-mail: shota.kochadze@telasi.ge

ანოტაცია. ჩატარებული ექსპერიმენტული გამოკვლევებით მიღებული შედეგების საფუძველზე დასაბუთებულია, რომ ჭკვიანი ქსელების პროექტი უდავოდ ძალიან საინტერესოა, რადგან დიდი რაოდენობით ელექტროენერჯის დაზოგვის საშუალებას იძლევა, მაგრამ საქართველოში მისი განხორციელება სრულად 5 ან 10 წელიწადში შესაძლებელია. ამჟამად საქართველოში ჭკვიანი მრიცხველების მონტაჟი დაწყებულია სს „თელასის“ მიერ მხოლოდ სამფაზა აბონენტებთან (კომერციული მომხმარებლებთან), რომელიც აღრიცხავს მომხმარებლის მიერ მოხმარებულ ელექტროენერჯის სიმბალანსს, რაც უკვე წინ გადადგმულია ნაბიჯია ენერგეტიკის სფეროში ინოვაციისათვის.

საკვანძო სიტყვები: ჭკვიანი ქსელი, ჭკვიანი მრიცხველები, ჭკვიანი დისტრიბუცია, ახალი ტექნოლოგიები, დადებითი და უარყოფითი მხარეები.

Analysis of the effectiveness of the introduction of smart grids in large energy consumers, problems and ways to solve them

Shota Kochadze, doctoral student,

Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, e-mail: shota.kochadze@telasi.ge

Annotation. Based on the results of experimental studies, it is argued that the smart grid project is undoubtedly very interesting, as it allows to save a large amount of electricity, but in Georgia it can be fully implemented in 5 or 10 years. Currently, the installation of smart meters in Georgia has started by JSC "Telasi" only with three-phase customers (commercial customers), which records the amount of electricity consumed by the customer, which is already a step forward for innovation in the field of energy.

Keywords: Smart grid, smart counters, smart distribution, new technologies, pros and cons.

შესავალი. ჭკვიანი ქსელი ეროვნულ და საერთაშორისო დონეზე ენერჯის სისტემების გლობალური და ტექნოლოგიური განვითარების სახელწოდებას ქვეყნებისთვის, ქალაქებისთვის და ელექტროენერჯის ცალკეული მომხმარებლებისთვის.

ჭკვიანი ქსელი ელექტროენერჯის წარმოების, გადაცემისა და მოხმარების ავტომატურ ქსელს წარმოადგენს.

ჭკვიანი ქსელი „ჭკვიანი“ სისტემაა, რომელსაც შეუძლია თვითმონიტორინგის განხორციელება და ქსელის ნებისმიერი მონაწილის მსგავსად ანგარიშის წარდგენა, ასევე ეფექტურობის, დანაკარგებისა და ეკონომიკური სარგებლიანობის ნებისმიერი კუთხით ელექტროენერჯის წარმოებისა და გადაცემის შესახებ სრული ინფორმაციის მიწოდება.

ჭკვიან ქსელს შეუძლია ეფექტურად დაიცავს თავი და თავად აღდგეს სისტემის მამუტაბური გაუმართაობის და არამდგრადობის, ბუნებრივი კატასტროფებისა და გარე საფრთხეების დროს.

ჭკვიანი ქსელი კარგად უმკლავდება ელექტროენერჯის წარმოებაში დიდი მოცულობის განახლებადი ენერჯის წყაროების ინტეგრაციით (და არა მხოლოდ) გამოწვეულ ცვლილებებს. საჭიროა რომ გადამცემი სისტემა უფრო დაიხვეწოს.

„ჭკვიანი“ ქსელების კონცეფცია პირველად 10 წლის წინ იყო წარმოდგენილი და გამოჩენისთანავე დიდი მოწონება დაიმსახურა. ხალხის უმეტესობამ დაინახა, რომ ახალ ქსელები, ძველთან შედარებით მნიშვნელოვნად გაუმჯობესებულია.

ექსპერტები, თავიანთი შეფასებისას ამბობენ, რომ „ჭკვიან“ ტექნოლოგიებს საკმაოდ პერსპექტიული მომავალი აქვთ. დღეს, „ჭკვიანი“ ქსელების ბაზრის განვითარების პოტენციალი შეფასებულია 450 მლრდ. დოლარით, 2020 წლისთვის.

სამუშაოს მიზანი. სამუშაოს მიზანს წარმოადგენს მსხვილ ენერგომომხმარებლებში ჭკვიანი ქსელების დანერგვის ეფექტიანობის ანალიზი, პრობლემები და მათი გადაწყვეტის

გზები. ჭკვიანი ქსელების პროექტი უდავოდ ძალიან საინტერესოა, რადგან დიდი რაოდენობით ელექტროენერჯის დაზოგვის საშუალებას იძლევა, მაგრამ საქართველოში მისი განხორციელება სრულად 5 ან 10 წელიწადში შესაძლებელია. ამჟამად საქართველოში ჭკვიანი მრიცხველების მონტაჟი დაწყებულია სს „თელასის“ მიერ მხოლოდ სამფაზა აბონენტებთან (კომერციულ მომხმარებლებთან), რომელიც აღრიცხავს მომხმარებლის მიერ მოხმარებულ ელექტროენერჯის სიმძლავრეს, რაც უკვე წინ გადადგმულია ნაბიჯია ენერგეტიკის სფეროში ინოვაციისათვის. არ უნდა დაგვავიწყდეს რომ პროექტი ძალიან დიდ ხარჯებთანაა დაკავშირებული, რაც ტარიფის საგრძნობლად გაზრდას უზრუნველყოფს. ამ ყველაფრისთვის ჩვენი მოსახლეობა მზად არ არის. საჭიროა რომ გადაიდგას გააზრებული ნაბიჯები და შემუშავდეს პროექტების განხორციელების გეგმა. თავდაპირველად შეიძლება რომ ჭკვიანი ქსელის სისტემები მოეწყოს დიდ საწარმოებში, რომლებსაც დაუწყებდათ საათობრივი ტარიფები. ჭკვიანი ქსელის მოწყობა არ ნიშნავს მარტო ტარიფის გაზრდას და ჭკვიანი მრიცხველების დაყენებას, ამ დროს საჭიროა, რომ ოჯახებმა შეიძინონ ისეთი ელექტრომოწყობილობები რომლებიც ავტომატურად მუშაობის რეჟიმები გააჩნიათ და დაკავშირებულნი არიან ქსელთან. ასეთი ტექნიკა თვითონ ითვლის თუ როდისაა ქსელი ყველაზე ნაკლებად დატვირთული და სწორედ მაშინ იწყებს მუშაობას საჭიროებისამებრ. ამ ყველაფრით აღსაჭურვად დიდი თანხებია საჭირო, რისთვისაც მოსახლეობა მზად არ არის ქვეყანაში შექმნილი სოციალურ-ეკონომიკური ფაქტორიდან გამომდინარე.

ჩვენი ქვეყნის მთავრობის უმთავრესად ამოცანად უნდა იდგას მოსახლეობის სამსახურებით უზრუნველყოფა და რაც შეიძლება ნაკლები გაჭირვებული ქვეყანაში. როდესაც მოსახლეობა ფინანსურად მზად იქნება ენერჯო კომპანიებიც შეძლებენ გადადგან ისეთი ნაბიჯები, რომლებიც მიმართული იქნება ჭკვიანი ქსელის შესაქმნელად.

„ჭკვიანი“ მოწყობილობა შედგება ორი ნაწილისგან: პირდაპირ მრიცხველი და კონტროლერი, რომელიც პასუხისმგებელია ინფორმაციის გადაცემაზე მსოფლიო ქსელში. ეს ორი განსხვავებული მოწყობილობაა. კონტროლერის დაყენების რამდენიმე ვარიანტი

არსებობს. ერთი მადგანი არის გადამცემი ბლოკის დამონტაჟება უშუალოდ მრიცხველში. ეს ვარიანტი საკმაოდ ძვირია და არც ისე მოსახერხებელია, ამიტომ იგი ძალიან იშვიათად გამოიყენება. საქმე იმაშია, რომ სახლში შეიძლება იყოს რამოდენიმე მრიცხველი, მაგალითად, აკონტროლონ ელექტროენერჯის, წყლის და გაზის მოხმარებას. გარე მულტი შესასვლელ კონტროლერს რაც შეეხება, შეგიძლიათ დააკავშიროთ ყველა მრიცხველი ბინაში. მოწყობილობების მთავარი მოთხოვნა შემდეგია: ისინი უნდა იყოს აღჭურვილი იმპულსურ გამომავალით, რომლის მეშვეობითაც ხორციელდება მრიცხველის კონტროლერთან კავშირი. მომხმარებლის ჩვენებების შეგროვებისა და შენახვის სერვერები განლაგებულია მონაცემთა სპეციალურ ცენტრებში (დატა-ცენტრებში). მონაცემთა გადაცემის კონტროლერი გადასცემს მონაცემებს სადენიანი და უკაბელო ტექნოლოგიების გამოყენებით, ასევე კომბინირებული მეთოდით. მონაცემთა გადაცემის ყველაზე თანამედროვე, მარტივი და იაპი გზა არის უკაბელო კონტროლერი. პროცესი ხორციელდება შემდეგი ერთ - ერთი ტექნოლოგიის გამოყენებით:

1. GPRS – კავშირი ხორციელდება ჩვეულებრივი SIM ბარათის საშუალებით, რომელზეც მუდმივად უნდა ჩარიცხოთ ფული, მობილურივით. ამ შემთხვევაში, ინფორმაცია სერვერზე გადადის საზოგადოებრივ ფიჭური ქსელის საშუალებით. ამ ტექნოლოგიის არჩევის შემდეგ ძალიან მნიშვნელოვანია ქსელის ოპერატორის კომუნიკაციის ხარისხის გათვალისწინება (ახლაც კი არის ის ადგილები, სადაც მობილური ქსელი არ ხელმისაწვდომია).

2. LPWAN – ტექნოლოგია ძალიან წააგავს GPRS-ს, მაგრამ უპრო ნაკლებ ენერჯიას ხარჯავს. ამ ტექნოლოგიის გამოყენებით მონაცემების გადასაცემით, მიმწოდებელმა ამ რეგიონში უნდა დააყენოს საკუთარი სპეციალური ანტენა, რომელიც შექმნილია კონტროლერების სერვერთან დასაკავშირებლად, რაც საკმაოდ ძვირია. მაგრამ ეს ტექნოლოგია გვაძლევს საშუალებას 10-20 კმ რადიუსში საკმაოდ დიდი რაიონის დაფარვას. გარდა ამისა, ჩვეულებრივ ამ ტექნოლოგიას აყენებენ მთელი სახლისთვის,

მაგრამ რაც იმას ნიშნავს, რომ მომხმარებელს არჩევანი აღარ ექნება.

3. Wi-Fi-ის ტექნოლოგია აერთიანებს ორი წინა უპირატესობის უპირატესობას. დაბალი ენერჯის მოხმარების გამო, კონტროლერებს შეუძლიათ უსაპრობოდ იმუშაონ ბატარეის ენერჯიაზე 6-12 თვე. ტექნოლოგია იაფი, მოსახერხებელი და საიმედოა.



ნახ. 1. დისტანციურად ჩვენებების აღება მრიცხველებისგან

დასკვნები

დასაბუთებულია, რომ „ჭკვიანი“ ქსელი ვითარდება გარჩევების გარეშე, რადგან ის მოსწონს ყველა დაინტერესებულ მხარეს: მომწოდებელ კომპანიებს მოსწონთ ქსელის ფუნქციონირებისთვის საჭირო ხარჯების შემცირების და ენერგომომხმარებლის მართვის იდეა; ეკოლოგებს უნდათ განახლებადი ენერჯის ინტეგრირება ქსელში და ამით ენერგოეფექტურობის სტიმულირება; მწარმოებლებს უნდათ ხელსაწყოების გაყიდვა; ოპერატორებს უნდათ წინასწარ გაიგონ ხოლმე ელექტრული გათიშვების შესახებ, რომლებიც დიდი თანხა უჯდება სახელმწიფოს. ეს ენთუზიაზმი ფარავს იმ ფაქტს, რომ არც ერთი იდეოლოგია არ არის უკვე, რომ ეკოლოგიაზე არ საუბრობდეს. და სწორედ ეს არის პრობლემა: არავის შეუწუხებია თავი, გასაგებად აეხსნა, რომ რატომ არის ეს ყველაფერი კარგი თვითოეული ჩვენგანისთვის.

დღეს-დღეობით, მომწოდებელი კომპანიები გადადიან „რეალური დროის“ ტარიფებზე, რაც ნიშნავს იმას რომ მომხმარებლებს პიკის საათებში, მეტის გადახდა მოუწევთ. თეორიულად, მომხმარებლებს შეუძლიათ

ამ მოწყობილობებს აქვთ მაღალი ფასი: მთელ საქართველოს გამრიცხვიანობას სჭირდება წინასწარ გათვლით 100-120 მლნ დოლარი;

აუცილებელია მოწყობილობებზე წდომა ქონდეს მაკონტროლებელ მაღალკვალიფიციურ პერსონალს, რომელი აკონტროლებენ მოდემების მუშაობას;

აუცილებელია დიდი ტერიტორიების სტაბილური ინტერნეტით დაფარვა კონტროლერების საიმედო მუშაობისთვის;

რადგან IP- მისამართების რაოდენობა მნიშვნელოვნათ გაიზარდება, საჭიროებს რამდენიმე მძლავრ სერვერებს, რომ ინფორმაცია დაცული და უსაფრთხო იყოს;

იმის გამო, რომ მთელი ინფორმაცია იქნება on-line რეჟიმში, საჭირო გახდება ამ ინფორმაციის დაცვა ხაკერული შეტევებისგან.

რომ საქართველოში მოსახლეობისათვის დაიწყოს „ჭკვიანი“ მრიცხველების დაყენება საჭიროა რამოდენიმე პირობის შესრულება:

აუცილებელია სასწრაფოთ ახალი „ენერგეტიკის, წყალმომარაგების და განახლებადი ენერჯის“ კანონის მიღება, რომ სემეკმა, კანონიდან გამომდინარე, მიიღოს ნორმატიული აკტები.

დააყენონ ახალი მოწყობილობები ან გამოიყენონ ისინი დღის სხვა მონაკვეთში, მაგრამ ბევრს მათგან არ აქვს საშუალება ტექნიკის განახლებისა და ასევე მათი სხვა დროს გამოყენებისა.

საქართველოში, როგორც ენერგეტიკის სამინისტროს წარმომადგენელმა განაცხადა, „ჭკვიანი“ მრიცხველების დაყენება დაჯდება 100-120 მლნ. დოლარი, რაც ტარიფში ჩაიდება და მოსახლეობას მოუწევს მისი გადახდა.

თავიდან მრიცხველები დამონტაჟდება დიდ საწარმოებში, რაც საშუალებას მისცემს მათ მფლობელებს ღამით გადაიტანონ სამუშაო საათები. ეს ერთი მხრივ შედარებით დააბალანსებს ქსელს, მაგრამ მეორე მხრივ მომუშავე პერსონალს დაუმძიმდება შრომა, რადგან ღამით მოუწევთ მუშაობა. საბოლოო ჯამში, გამოდის რომ არჩევანი გვიწევს სისტემის მოქნილობასა და ჩვენს უსაფრთხოებას შორის.

ლიტერატურა

1. საქართველოს სახელმწიფო ელექტროსისტემა gse.com.ge
2. ესკო esco.ge
3. What role does the aggregator play in balancing the grid?

<https://www.theagilityeffect.com/en/article/role-aggregator-play-balancing-grid/>

4. The Value of Aggregators in Electricity Systems.

https://energy.mit.edu/wp-content/uploads/2016/01/CEEPR_WP_2016-001.pdf

5. AGGREGATORS INNOVATION LANDSCAPE BRIEF.

6. https://www.irena.org//media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Feb/IRENA_Landscape_Aggregators_2019.pdf?la=en&hash=388A36E4EB2723D2324C4B08329055F3121FD534

7. [Smart Grid Wide Area Monitoring, Protection and Control.](#)

References (transliterated)

1. Georgian State Electric System gse.com.ge.

2. ESco esco.ge

3. [What role does the aggregator play in balancing the grid?](#)

Smart Grid Technology: Application and Control

https://www.researchgate.net/publication/263661185.Smart_Grid_Technology_Application_and_Control.

<https://pdfs.semanticscholar.org/9d1f/b223c4b3dde238172331613cb717a63feaa2.pdf>

<https://www.theagilityeffect.com/en/article/role-aggregator-play-balancing-grid/>

4. [The Value of Aggregators in Electricity Systems.](#)

https://energy.mit.edu/wp-content/uploads/2016/01/CEEPR_WP_2016-001.pdf

5. AGGREGATORS INNOVATION LANDSCAPE BRIEF.

6. https://www.irena.org//media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Feb/IRENA_Landscape_Aggregators_2019.pdf?la=en&hash=388A36E4EB2723D2324C4B08329055F3121FD534

7. [Smart Grid Wide Area Monitoring, Protection and Control.](#)

<https://pdfs.semanticscholar.org/9d1f/b223c4b3dde238172331613cb717a63feaa2.pdf> Smart Grid Technology: Application and Control

https://www.researchgate.net/publication/263661185.Smart_Grid_Technology_Application_and_Control

**მიწისქვეშა გაზსაცავი - ქვეყნის სტრატეგიული ობიექტი
მიწისქვეშა გაზსაცავების ველში წნევის დადგენის მიახლოებითი მეთოდი**

დimitრი ნამგალაძე - ტექნიკურ მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, ქ. თბილისი, საქართველო,
Email: d.namgaladze@gmail.com

ქეთევან ბერიკაშვილი - დოქტორანტი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, ქ.თბილისი. საქართველო, Email k.berikashvili@gmail.com

ანოტაცია. საქართველოში დაიგეგმა ქ. თბილისთან ახლოს, გარდაბნის მუნიციპალიტეტში სამგორის სამხრეთი თაღის დაცლილ, დამუშავებულ ნავთობის საბადოზე გაზსაცავის მშენებლობა. მასში 300 მილიონ კუბურ მეტრამდე გაზის შენახვა იქნება შესაძლებელი. მიწისქვეშა გაზსაცავის აგებით ქვეყანა მიიღებს სტრატეგიული მნიშვნელობის ობიექტს, რომელიც უზრუნველყოფს ენერგეტიკულ უსაფრთხოებას. ნაშრომის მიზანს წარმოადგენს მიწისქვეშა გაზსაცავის ველში წნევის დადგენასა და მისი 0-თან მიახლოებითი მეთოდი. განხილულია მიწისქვეშა გაზსაცავის ერთ-ერთი პარამეტრი, კერძოდ გაზის კუმშვის ფაქტორი და მიახლოებითი საანგარიშო მეთოდით მიღებული შედეგი.

საკვანძო სიტყვები: მიწისქვეშა გაზსაცავი, ბუნებრივი გაზი, წნევა საცავის ველში, ოპტიმიზაცია

**Underground gas storage – a strategic object of the Country
The Approximate method for determining the pressure in the field of underground gas storage**

Dimitri Namgaladze Doctor of Science, Professor
Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, Email: d.namgaladze@gmail.com

Ketevan Berikashvili, doctoral student,
Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia Email k.berikashvili@gmail.com

Annotation. Georgia has a plan to construct a gas storage facility on an empty, refined oil field in the southern arch of municipality near Tbilisi, Capital of Georgia. It will be able to store up to 300 million cubic meters of gas. With the construction of an underground gas reservoir, the country will receive a strategic facility that provides energy security. The aim of the paper is to determine the pressure in the underground gas storage field and its method close to 0. One of the parameters of the underground gas reservoir is discussed, namely the gas compression factor and the result obtained by the approximate calculation method.

Keywords: underground gas storage, natural gas, pressure in the storage field, optimization.

შესავალი. მიწისქვეშა გაზსაცავი ყველა იმ ქვეყნისთვის, რომელიც მოიხმარს ბუნებრივ გაზს და განსაკუთრებით ისეთი ქვეყნისთვის, რომელიც ქვეყნის მოხმარების თითქმის 99%-ის დასაკმაყოფილებლად ბუნებრივი გაზის იმპორტს ახორციელებს - სასიცოცხლოდ მნიშვნელოვანია. საქართველოსათვის ყურადსაღებია ქვეყანაში განხორციელდეს გაზსაცავის პროექტი, რომელიც სხვადასხვა მიმართულებით გააძლიერებს ქვეყნის ეკონომიკურ სტატუსს. მიწისქვეშა გაზსაცავის აგებით ქვეყანა მიიღებს სტრატეგიული მნიშვნელობის ობიექტს, რომელიც უზრუნველყოფს ენერგეტიკულ უსაფრთხოებას, მოხმარებლისთვის გაზის უწყვეტ და საიმედო მიწოდებას, მოახდენს დივერსიფიცირებას

კრიტიკულ სიტუაციებში გაზის მიწოდების შეფერხების შემთხვევაში. გაზსაცავის საშუალებით შესაძლებელი იქნება დარეგულირდეს ბუნებრივი გაზის მიწოდებასა და მოხმარებას შორის არსებული სეზონური დისბალანსი. პროექტის განხორციელება ხელს შეუწყობს ახალი სამუშაო ადგილების გაჩენას, ადგილობრივი ბაზრის ინტეგრაციას ევროპულ ბაზართან [1-4].

საქართველოში მიწისქვეშა გაზსაცავის მშენებლობის ცდა იყო მეოცე საუკუნის დასაწყისში. საქართველოს ენერგეტიკის სამინისტრომ ათასწლეულის გამოწვევის ფონდთან ერთად (MCC) და Ramboll Oil & Gas (ROG)-ს მიაწვდინა უფლებამოსილება ჩაატაროს დაახლოებით 400 მილიონი მშ საპროექტო

საქართველოში მიწისქვეშა გაზსაცავის მშენებლობის ცდა იყო მეოცე საუკუნის დასაწყისში. საქართველოს ენერგეტიკის სამინისტრომ ათასწლეულის გამოწვევის ფონდთან ერთად (MCC) და Ramboll Oil & Gas (ROG)-ს მიანიჭა უფლებამოსილება ჩაატაროს დაახლოებით 400 მილიონი მშპ საპროექტო მოცულობის მიწისქვეშა გაზსაცავის წინა სამშენებლო საპროექტო სამუშაოები, სამხრეთ-აღმოსავლეთ საქართველოში, კერძოდ, ნინოწმინდაში. ცდა უშედეგო იყო.

შემდგომში, მიწისქვეშა გაზსაცავის მშენებლობის განხორციელება დაიგეგმა ქ. თბილისთან ახლოს, გარდაბნის მუნიციპალიტეტში სამგორის სამხრეთი თაღის დაცლილ, დამუშავებულ ნავთობის საბადოზე და მასში 300 მილიონ კუბურ მეტრამდე 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 - 200-300 მლნ. მ³ [5].

ამგვარად, საქართველოში მიწისქვეშა გაზსაცავის აგება მნიშვნელოვანია, მისი მოცულობა საკმარისია პიკური მიწოდების და უთანაბრობის დასაფარავად და მეტად აქტუალურია.

სამუშაოს მიზანი. სამუშაოს მიზანი წარმოადგენს მიწისქვეშა გაზსაცავის ველში წნევის დადგენას, მიახლოებითი მეთოდით.

გაზსაცავის ფენიდან გამოსვლისას ერთჯერადი აღების ხარჯის გამოსათვლელად, შეიძლება გამოყენებულ იქნეს შემდეგი განტოლება [6]:

$$Q = C(p_{SIS}^2 - p_{FS}^2)^n \quad (1)$$

სადაც **Q** არის აღების ხარჯი; **p_{SIS}** - ზედაპირული დახურვის წნევა; **p_{FS}** - ზედაპირული მოდინების წნევა; **C** და **n** არის ტესტირებით განსაზღვრული კოეფიციენტი.

საცავის ველის განვითარებისას, ხშირია ჭაბურღილების მცირე რაოდენობის (შესაძლოა ოთხი) გაბურღვა, იმის პროგნოზი, თუ რამდენი ჭაბურღილია საჭირო და როგორი იქნება ჭაბურღილის გამოცდა, რაც ჩვეული პრაქტიკაა ჭაბურღილის ტესტირების ჩატარება გაზის ჩაჭირხვნიტ და არა მისი აღებით. ამ შემთხვევაში განტოლება (1) მოდიფიცირდა

$$Q = C(p_{FS}^2 - p_{SIS}^2)^n \quad (2)$$

აღნიშვნები იგივეა, კოეფიციენტები განისაზღვრება ტესტირებიდან.

განვიხილოთ მიწისქვეშას ერთ ერთი პარამეტრი, კერძოდ გაზის კუმშვის ფაქტორი. ბოილისა და შარლის კანონები შეიძლება გაერთიანდეს ერთ განტოლებაში და გვექნება:

$$pV = nRT, \quad (3)$$

სადაც **p** არის წნევა; **V** - მოცულობა; **T** - აბსოლუტური ტემპერატურა; **n** - გაზის მოლეკულის რაოდენობა; **R** - გაზის უნივერსალური მუდმივა. გაზის მუდმივა არის რიცხვი, რომელიც გამოიყენება იმ სიდიდეების გასაანგარიშებლად, რომლებიც გამოიყენება **p**,

V, **T** და **n**. თუ განვიხილავთ **R** გაზის მუდმივის მნიშვნელობას, განზომილებიანი ერთეულების გაზის იდეალური კანონები მუშაობს შედარებით დაბალ წნევაზე და შედარებით მაღალ ტემპერატურაზე. როდესაც წნევა და ტემპერატურა გამოდის ამ ზღვრებიდან, შეიძლება წარმოიშვას გაზების იდეალური კანონებისა და გამოყენებისა მნიშვნელოვანი გადახრა, მაგალითად, მაღალი წნევისა და მცირე ტემპერატურაზე, გაზი დაიკავებს უფრო მცირე მოცულობას, ვიდრე პროგნოზირებულია გაზის იდეალური კანონით. ამ პრობლემის შესასწავლად, გაკეთდა მრავალი კვლევითი ნაშრომი. ამ კვლევითი სამუშაოების შედეგებს, წარმოადგენს კუმშვის ფაქტორს. მას ზოგჯერ ზე-კუმშვის ფაქტორს უწოდებენ. აღმოჩნდა, რომ ფაქტორებზე გავლენას ახდენს ტემპერატურა, წნევა, გაზის სიმკვრივე და გაზის შემადგენლობა.

ინფორმაცია მოცემულია ცხრილების სახით და გაზის ფაქტორების განტოლებების საანგარიშო მნიშვნელობები, გაზის თვისებებისა და პირობების საფუძველზე. როდესაც კუმშვის ფაქტორი შედის გაზის იდეალურ კანონში, მაშინ შედეგი შემდეგი ხდება [7-9]:

$$p_{GIP} = a + b \frac{p}{Z}, \quad (4)$$

სადაც **GIP**= gaz in place- გაზი საცავის ველში; **p** - წნევა; **Z** - კუმშვის ფაქტორი; **a** და **b** - მუდმივები.

ჩვენ ვიხილავთ **p_{GIP}**-ს განსაზღვრის მიახლოებითი მეთოდი.

კუმშვადობის ფაქტორი გაზს იანგარიშება მიახლოებითი მეთოდით, ზევით მოცემული შეზღუდვებისათვის, და შემდეგი განტოლებით:

$$Z = c + dp, \quad (5)$$

c და **d** - მუდმივები.

ამ ორი განტოლების კომბინაციით, საცავში არსებული სრული გაზი შეიძლება გამოითვალოს როგორც წნევის ფუნქცია. განტოლება შეიძლება გამოყენებულ იქნას

რამდენიმე ნაკრებისთვის, რომლისათვის აღებულია [*]-ის მონაცემები, კერძოდ AGA Report №3 92nd Edition, November 2003. ცხადია, რომ თუ აღნიშნული სიდიდეების განზომილებისათვის $[p]=10^6$ პა; $[V]=$ სტანდარტული მ³; $[T]=^{\circ}$ K; $[n]=$ გრამ·მოლი. მაშინ $R = 82,06$.

საცავში არსებული გაზის მოცულობა დასაშვები სიზუსტით შესაფასებლად. AGA REPORT №3 გვიჩვენებს, თუ როგორ უნდა შეფასდეს **a**, **b**, **c** და **d** მუდმივები კონკრეტული საცავისათვის. ხაზგასმით უნდა აღინიშნოს, რომ (4) და (5) განტოლებების გამოყენება შესაძლებელია მხოლოდ იქ, სადაც არსებობს წნევის, ტემპერატურისა და გაზის შემადგენლობის ცვლილების შეზღუდული დიაპაზონი.

ვთქვათ, რომ გაზსაცავი, რომლის მაქსიმალური მოცულობაა 27,0 Bcf სრული გაზი, რომელიც განიხილება გაზის შესანახად ან გაზის ასაღებდ. მოსალოდნელია, რომ ბუფერის გაზი მიახლოებით 12,5 Bcf-ია, ხოლო მუშა გაზის მოცულობა იქნება დაახლოებით 14,7 Bcf. ცხრილში მოყვანილია საცავის სამი წერტილის მნიშვნელობები კოლექტორში სხვადასხვა რაოდენობის გაზით. კუმშვადობის ფაქტორების მნიშვნელობები აღებულია AGA REPORT №3 [10]-დან განტოლებები, რომელთა კინსტანტების შეფასებას საჭიროებს (4) და (5). ორი განტოლებისთვის p_{GIP} და p/Z მნიშვნელობები (პირველი და მეორე წერტილები) [11,12].

ცხრილი

p, psi	Z, 110 ⁰ F	p/Z	V _{GIP} , Bcf
1 365	0,86 77	1 573,1	26,0
982	0,89 79	1 093,7	18,0
568	0,93 78	605, 7	10,0

გაზსაცავის მახასიათებლები (psi=ფუტი·ძალა/ინჩი²=6895 პა).=6895; Bcf=მლრდ. ფუტი³ (ფუტი=0,3048 მ); კავშირი ფარენგეიტსა და

ცელსიუსის ტემპერატურის შკალის შესაბამისად გვაქვს $t_c = \frac{5}{9}(t_F - 32)$

საბოლოოდ მივიღებთ:
 $a = -0,0177793$; $b = 0,0165391$. ანალოგიურად (5) განტოლებიდან საბოლოოდ მივიღებთ:
 $d = -0,000087955$; $c = 0,987759$. ეს მუდმივები შეიძლება გაერთიანდეს საბოლოო განტოლებაში:

$$V_{GIP} = -0,0177793 + \frac{0,0165392 p}{0,987759 - 0,000087955 p}$$
 (6)

ამ განტოლების შესამოწმებლად, შეიძლება გამოთვალოს V_{GIP} -ის ცხრილი მესამე წერტილისთვის, გვექნება:

$$V_{GIP} = -0,0177793 + \frac{0,0165392 \cdot 982}{0,987759 - 0,000087955 \cdot 982} = 18,001$$
 (7)

ამგვარად, V_{GIP} -ის მიახლოებითი საანგარიშო მეთოდით არის 18,001 Bcf, ხოლო რეალური მნიშვნელობა 18,001 Bcf. ცხადია, რომ შედეგი დამაკმაყოფილებელია.

ამგვარად, სიზუსტის ხარისხი, როგორც წესი, საკმარისია მიწისქვეშა გაზსაცავების საინჟინრო მუშაობის საჭიროება. მიღებული სიზუსტე ძალიან კარგია.

დასკვნები

1. ჩატარებულია მარტივი მიახლოებითი მეთოდი, რომლის საშუალებით, შესაძლოა, საცავის ველში წნევის განსაზღვრა, წინასწარი ჭაბურღილების მონაცემების მიხედვით.

2. მიღებული მეთოდი რეკომენდებულია ახალი ასაგები მიწისქვეშა გაზსაცავის ექსპლუატაციის ოპტიმალური რეჟიმების დასადგენად.

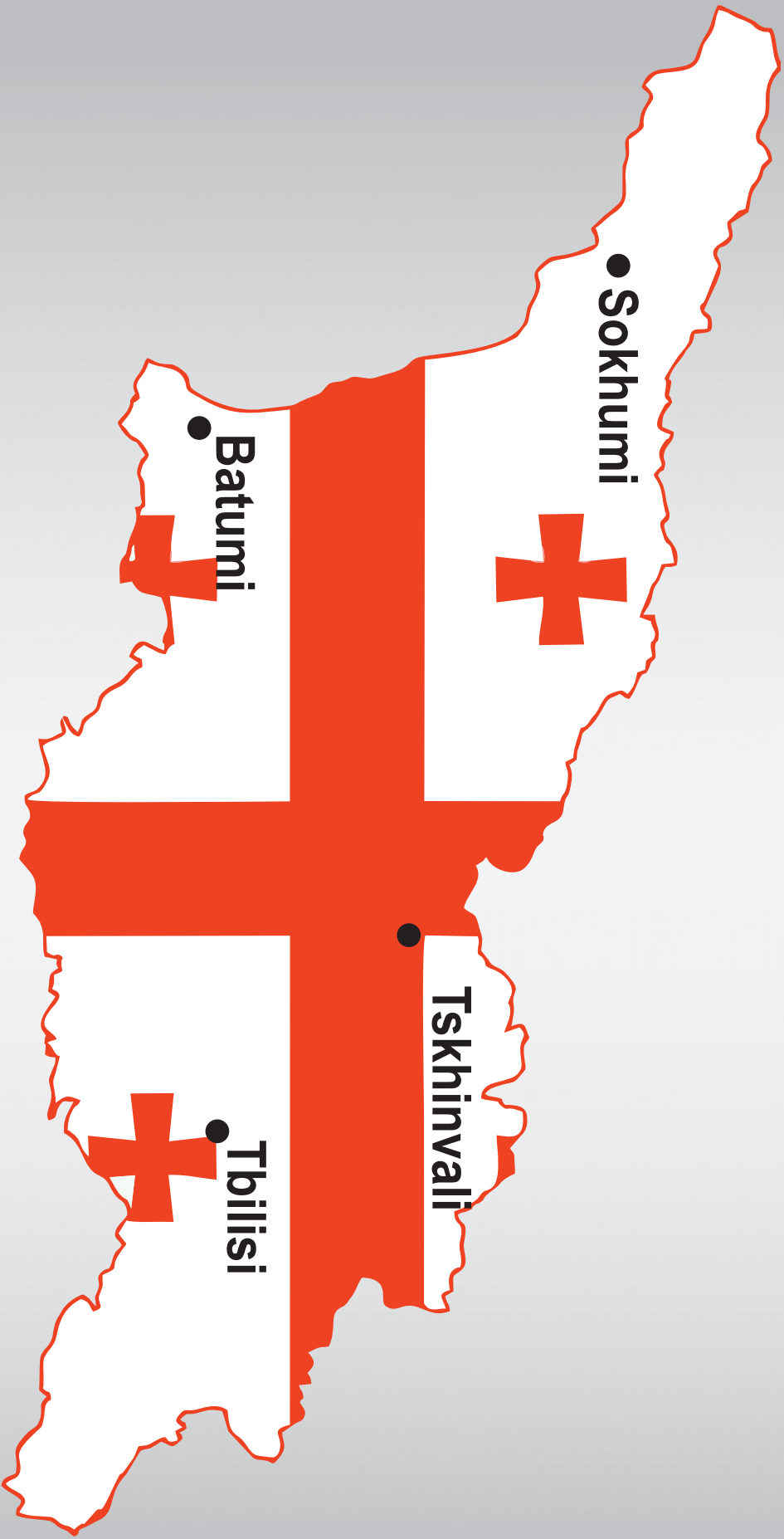
ლიტერატურა

1. Агадулин И.И., Игнатъев В.Н., Сухоруков Р.Ю. Экологические аспекты негерметичности заколонного пространства в скважинах различного назначения//Электронный научный журнал „Нефтегазовое дело“. 2011. №4. с 82-90.
2. Joffe S., Cook E., Cleary P., Clark J., Weeks J. Quality of Informed Consent: a New Measure of Understanding Among Research Subjects. JNCI: Journal of the National Cancer Institute, Volume 93, Issue 2, 17 January 2001, Pages 139–147, <https://doi.org/10.1093/jnci/93.2.139>.

3. Baker D., Persell D. Criteria for Waiver of Informed Consent for Quality Improvement Research JAMA Intern Med. 2015;175(1). p 142-143. <https://jamanetwork.com/journals/jamainternalmedicine/article-abstract/2085527>
4. Рогов Е.А. Метод оценки герметичности скважин на подземных хранилищах газа. Булатовские чтения. 2018. с 103-108.
5. სამგორის სამხრეთ თაღის მიწისქვეშა გაზსაცავის პროექტი https://drive.google.com/drive/folders/1TtAcgLOcTjOdkAHCAWOwCTw3trC_neF
6. Flanigan O. Underground gas storage facilities. design and implementation. Houston. 1995. p 179.
7. Лобанова А.Н. Геолого-технологические условия повышения эффективности создания и эксплуатации ПХГ. Автореферат. М. 2007. с 26.
8. Левыкин Е.В. Технологическое проектирование хранения газа в водоносных пластах. Москва. Недра. 2007.
9. Гришин Д.В. Комплексная технология повышения производительности скважин ПХГ в условиях разрушения пласта-коллектора. Уфа. 2019. с 153.
10. AGA REPORT #3 P3. 2013 Edition, November 2013. Complete Document. Orifice Metering of Natural Gas and Other Related Hydrocarbon Fluids - Concentric, Square-edged Orifice Meters Part 3: Natural Gas Applications. https://global.ihs.com/doc_detail.cfm?document_name=AGA%20REPORT%20%233%20P3&item_s_key=00119485
11. Агаев Н.Б., Гусейнов Т.А. Информационно-технологические модели регулирования неравномерности в системе „Добыча-трубопроводный транспорт-распределение природного газа“. Уфа. Нефтегазовое дело. №1. 2009. сс 1-14. <https://studylib.ru/doc/2647037/t---neftegazovoe-delo>
12. Tajdus K. and all. Surface Deformations Caused by the Convergence of Large Underground Gas Storage Facilities. <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/2/402/htm>
2. Joffe S., Cook E., Cleary P., Clark J., Weeks J. Quality of Informed Consent: a New Measure of Understanding Among Research Subjects. JNCI: Journal of the National Cancer Institute, Volume 93, Issue 2, 17 January 2001, Pages 139–147, <https://doi.org/10.1093/jnci/93.2.139>.
3. Baker D., Persell D. Criteria for Waiver of Informed Consent for Quality Improvement Research JAMA Intern Med. 2015;175(1). p 142-143. <https://jamanetwork.com/journals/jamainternalmedicine/article-abstract/2085527>
4. Rogov E.A. Method for assessing the tightness of wells in underground gas storage. Bulatov readings. 2018. From 103-108.
5. Samgori South Arch Underground Gas Reservoir Project https://drive.google.com/drive/folders/1TtAcgLOcTjOdkAHCAWOwCTw3trC_neF
6. Flanigan O. Underground gas storage facilities. design and implementation. Houston. 1995. p 179
7. Lobanova A.N. Geological and technological conditions for increasing the efficiency of creation and operation of UGS facilities. Abstract. Moscow. 2007 from 26.
8. Levykin E.V. Technological design for gas storage in aquifers. Moscow. Bosom. 2007.
9. Grishin D.V. Integrated technology for increasing the productivity of UGS wells in conditions of destruction of the reservoir. Ufa. 2019 from 153
10. AGA REPORT #3 P3. 2013 Edition, November 2013. Complete Document. Orifice Metering of Natural Gas and Other Related Hydrocarbon Fluids - Concentric, Square-edged Orifice Meters Part 3: Natural Gas Applications. https://global.ihs.com/doc_detail.cfm?document_name=AGA%20REPORT%20%233%20P3&item_s_key=00119485
11. Agaev N.B., Guseinov T.A. Information and technological models for the regulation of unevenness in the system "Production-pipeline transport-distribution of natural gas". Ufa. Oil and gas business. # 1. 2009.S. 1-14. <https://studylib.ru/doc/2647037/t---neftegazovoe-delo>
12. Tajdus K. and all. Surface Deformations Caused by the Convergence of Large Underground Gas Storage Facilities. <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/2/402/htm>

References (transliterated)

1. Agadulin I.I., Ignatiev V.N., Sukhorukov R.Yu. Ecological aspects of annular space leakage in wells for various purposes. Electronic scientific journal "Oil and Gas Business". 2011. No. 4. from 82-90.



● Sokhumi

● Batumi

● Tskhinvali

● Tbilisi