

# საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

გიორგი ხურცილავა

ენერგოეფექტური ტექნოლოგიები წარმოებაში

სადოქტორო პროგრამა: „ენერგეტიკა და ელექტროინჟინერია“

შიფრი: 0713

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად  
წარდგენილი დისერტაციის

**ა ვ ტ ო რ ე ფ ე რ ა ტ ი**

თბილისი

2022 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში  
ენერგეტიკის ფაკულტეტი  
თბოენერგეტიკისა და ენერგოეფექტურობის დეპარტამენტი

ხელმძღვანელი: პროფესორი ო. კილურაძე

რეცენზენტები:

დაცვა შედგება 2022 წლის "-----" "-----" "-----" საათზე  
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკის ფაკულტეტის  
სადისერტაციო ნაშრომის დაცვის კოლეგიის სხდომაზე, კორპუსი VIII,  
სხდომათა დარბაზი.

მისამართი: 0160, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ის ბიბლიოთეკაში,  
ხოლო ავტორეფერატისა - ფაკულტეტის ვებგვერდზე

ფაკულტეტის სწავლული მდივანი,  
პროფესორი

გ. გიგინეიშვილი

## ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

**თემის აქტუალურობა.** ტექნიკური პროგრესის ზრდასთან ერთად განუხრელად იზრდება ენერჯის ერთ-ერთ ძირითად წყაროდ გამოყენებული ელექტრო ენერჯის მოხმარებაც. საქართველოში ჯერ კიდევ უმრავლეს საწარმოში ტექნოლოგიური პროცესები ხორციელდება, როგორც ტექნიკურად, ასევე მორალურად მოძველებული დანადგარებითა და აპარატურით, რაც ნეგატიურად აისახება განხორციელებული პროცესების ეკონომიკურ მაჩვენებლებზე და აგრეთვე გარკვეულწილად გარემოს ეკოლოგიურ მდგომარეობაზეც. ეს მნიშვნელოვნად ესება ისეთ კომპანიებს, როგორებიცაა ელექტროენერჯის მსხვილი მომხმარებლები და უმეტესწილად ელექტრო ტრანსპორტი-საქართველოს რკინიგზა, მეტროპოლიტენი, ვიწროლიანდაგიანი რკინიგზა. ასეთ კომპანიებში განსაკუთრებით მაღალია ენერჯის დაზოგვის პოტენციალი, რომელიც მიიღება: მოძველებული ტექნიკური საშუალებების შეცვლით თანამედროვე-ენერგოეფექტური დანადგარებით და პროცესების მართვის უახლესი მეთოდების დანერგვით. ასევე, ენერჯის დაზოგვა შესაძლებელია საექსპლუატაციო მაჩვენებლების ხარისხის გაუმჯობესებით (ინვესტიციის გარეშე).

შესაბამისად ენერჯის მსხვილმომხმარებელ კომპანიებში გასატარებელი ენერგოეფექტური ღონისძიებების შესწავლა-გამოკვლევა, ინსტალაცია და მონიტორინგი აქტუალური საკითხებია.

### **მეცნიერული სიახლე.**

- პირველად არის შემოთავაზებული და დანერგილი ბორჯომ-ბაკურიანის ვიწროლიანდაგიანი მატარებლის ელმავლის მოძველებული რელე-კონტაქტორული მართვის მეთოდის შეცვლა თანამედროვე ელექტრონულ-იმპულსური მართვის პრინციპით, რაც ელექტროენერჯის მოხმარებას ამცირებს დაახლოებით ორჯერ. ანალოგიური ეფექტი გააჩნია მართვის თანამედროვე სისტემის გამოყენებას საქართველოს რკინიგზაზე- თბილისი-ბათუმის ელექტრომატარებლის შემთხვევაშიც. მოხმარებული ენერჯის

დაზოგვა დადებითად აისახება ეკოლოგიური მდგომარეობის გაჯანსაღებაზე.

- დაპროექტებულია და პირველად შექმნილია სიჩქარის, დენის და ძაბვის მაკონტროლებელი მოწყობილობა, რომელიც ერთ მილიწამში ერთხელ იღებს და იმახსოვრებს განხილული სიდიდეების მყისა მნიშვნელობებს, დამუშავებულია სათანადო პროგრამული უზრუნველყოფა, რომლის საფუძველზეც მიიღება გრაფიკული და ცხრილური მეთოდით, ქვემოთ ჩამოთვლილი ფუნქციები: გავლილი მანძილის და სიჩქარის დამოკიდებულება დროსა და კოორდინატზე; დენის, ძაბვის, სიმძლავრის და მოხმარებული ელ.ენერჯის დამოკიდებულება დროსა და კოორდინატზე;
- განხილული ფუნქციების დახმარებით შესაძლებელია, ჩატარდეს ელმავლის მოძრაობის სრულყოფილი ანალიზი, განისაზღვროს სამუხრუჭო მანძილები და შეფასდეს დაცვის სისტემის მუშაობის სიზუსტე;
- გაანგარიშებულია ელექტრო-დინამიური დამუხრუჭების სისტემის ახალი ვარიანტი დასაბუთებულია, რომ სამუხრუჭე რეზისტორის ორ ნაწილად გაყოფით დამუხრუჭება უფრო ეფექტურია და სამუხრუჭე დენის რეგულირებად ნაწილში შესაძლებელია გამოვიყენოთ დაბალი სიმძლავრის ტრანზისტორები;

**სამუშაოს მიზანი.** სამუშაოს მიზანია: ენერჯის მოხმარების მსხვილ კომპანიებში მოხმარებული ელექტროენერჯის სისტემური ანალიზი, ენერჯის კარგების აღმოჩენა, ენერგოეფექტური ღონისძიებების დამუშავება და ტექნიკურ-ეკონომიკური მიზანშეწონილობის დადგენა პროექტის შემდგომი ინსტალაციისათვის. ინოვაციური ენერგოეფექტური ღონისძიების- ელმავლის მართვის მოძველებული სისტემის ნაცვლად (სრულად შეცვლა) თანამედროვე ელექტრონულ-იმპულსური მეთოდის დანერგვა და მონიტორინგი.

**კვლევის ობიექტი და მეთოდები.** კვლევის ობიექტს წარმოადგენს ისეთ კომპანიები, როგორებიცაა: საქართველოს რკინიგზა, მეტროპოლიტენი, ბორჯომ-

ბაკურიანის ვიწროლიანდაგიანი რკინიგზა. ელექტროენერჯის მოხმარების ანალიზს საფუძვლად უდევს კომპანიების მიერ მოხმარებული ელექტროენერჯის ნედლი მონაცემების დამუშავების კორელაციურ-რეგრესიული სტატისტიკური მეთოდი და მახასიათებელი პარამეტრების გაზომვის უტყუარობის შესაფასებლად გამოყენებული დღეისათვის მრავალ უცხოეთის ქვეყნებში უკანასკნელ წლებში დანერგილი შეფასების „განუსაზღვრელობის“ ინტერვალური მეთოდი, ნაცვლად გაზომვის შედეგის ტრადიციული ერთმაჩვენებლიანი ცდომილებისა.

**კვლევის ძირითადი შედეგები და შედეგების გამოყენების სფერო.** ელტროენერჯის მსხვილმომხმარებელ კომპანიებში მოხმარებული ელექტროენერჯის მონაცემების საფუძველზე სტატისტიკური კორელაცია-რეგრესიული ანალიზის მეთოდით გამოვლენილია ენერჯის დანაკარგების წყაროები და შემუშავებულია ენერჯის დაზოგვის ღონისძიებები როგორებიცაა: ელექტრომატარებლებისმართვის სისტემის მოდერნიზაცია; რეაქტიული ენერჯის კომპენსაცია; საკონტაქტო რელსის მოდერნიზაცია; სიხშირული გარდამქმნელების დანერგვა; სხვადასხვა პარამეტრების გაზომვის უტყუარობის შეფასებაში დღეისათვის უცხოეთში ფართოდ აღიარებული გაზომვის „განუსაზღვრელობის“ ცნების ინტერვალური მეთოდის გამოყენება და სხვა. მიღებული მიდგომები და მთოდები შეიძლება გამოყენებული იყოს აგრეთვე ენერჯის შედარებით მცირე მოხმარების საწარმოებშიც.

**ნაშრომის აპრობაცია.** ნაშრომის ძირითადი შედეგები მოსმენილი იქნა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკის ფაკულტეტის, თბოენერგეტიკული დანადგარებისა და ენერგოეფექტურობის დეპარტამენტის I, II და III კოლოქვიუმებზე და დისერტაციის წინასწარ დაცვაზე. ასევე, დისერტაციის ძირითადი შედეგები - 4 მოხსენებით წარდგენილი იყო 3 საერთაშორისო კონფერენციაზე (თითო მოხსენება ქუთაისის აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტის 2016 წლის IV და 2018 წლის V საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციებზე - „ენერგეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“ და ორი მოხსენება თბილისის 2021 წლის III საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკურ კონფერენციაზე - „ენერგეტიკის თანამედროვე პრობლემები და მათი გადაწყვეტის გზები“).

დისერტაციის თემაზე გამოქვეყნებულია 6 სამეცნიერო სტატია, სადისერტაციო საბჭოს მიერ რეკომენდებულ გამოცემებში.

**ნაშრომის მოცულობა და სტრუქტურა.** სადისერტაციო ნაშრომი მოიცავს 119 გვერდს, მათშორის 41 ცხრილსა და 23 ნახაზს. შეიცავს შესავალს, ოთხ თავს, დასკვნასა და გამოყენებული ლიტერატურის სიას.

## ნაშრომის ძირითადი შინაარსი

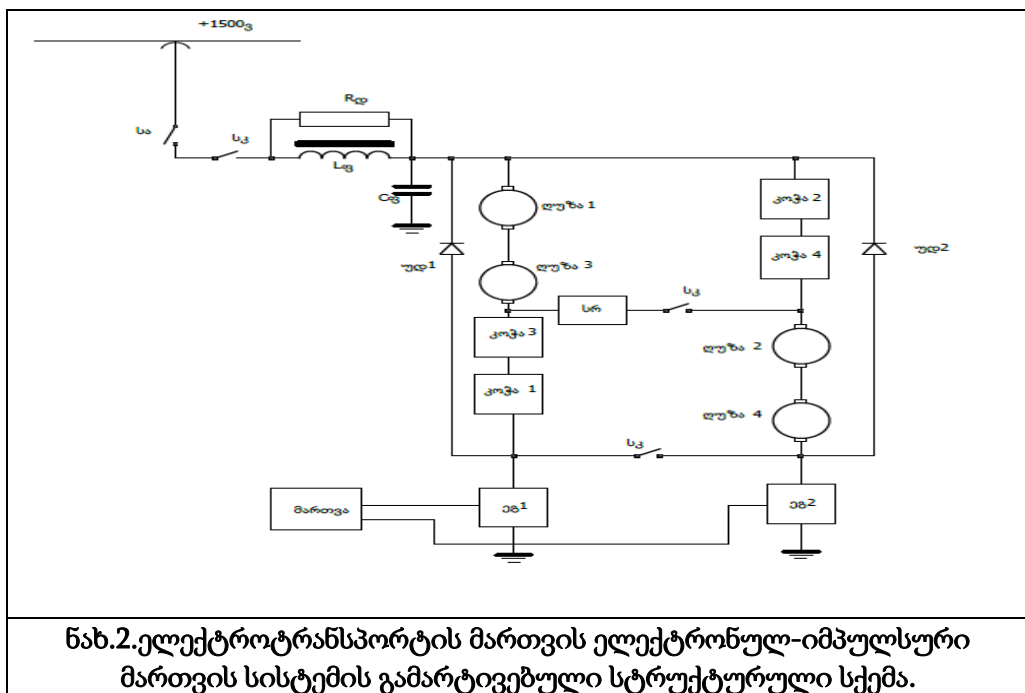
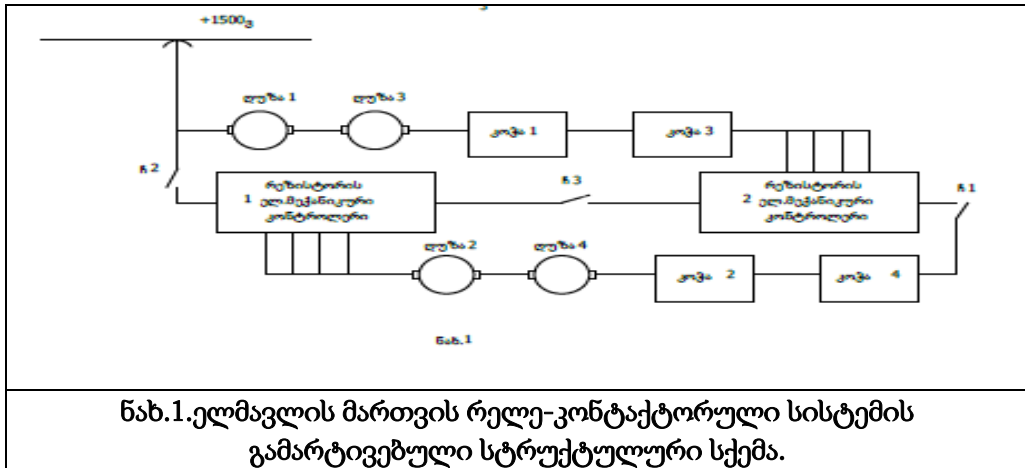
შესავალში დასაბუთებულია თემის აქტუალურობა და მეცნიერული სიახლე. ჩამოყალიბებულია ენერგოეფექტურობისა და ენერგოდაზოგვისამოცანა, დასახულია სამუშაოს მიზანი და განსაზღვრულია კვლევის ობიექტი და ანალიზისა და შესწავლის მეთოდები.

ითავში მოხმარებული ელექტროენერჯის დაზოგვის კვლევის ობიექტებად აღებულია საქართველოში ელექტროენერჯის მსხვილი მომხმარებლები (საქართველოს რკინიგზა, თბილისის მეტროპოლიტენი, ვიწროლიანდაგიანი ბორჯომ-ბაკურიანის რკინიგზა). ეს კომპანიები ჯერ კიდევ იყენებს, როგორც ტექნიკურად ასევე, მორალურად მოძველებულ მოწყობილობა-დანადგარებსა და პროცესების მართვის საშუალებებს, რაც ენერჯის წყაროს მაღალი მოთხოვნილებების პირობებში ენერჯის დიდ დანაკარგებს იწვევს.

ჩატარებულია ელექტროტრანსპორტზე სხვადასხვა მართვის სისტემების კრიტიკული ანალიზი; განხილულია რეაქტიული ენერჯის კომპენსაციის მეთოდები კომპანია “ELSPEC” -ის მიერ შექმნილი „ექვალიზერი“-ს გამოყენებით; მოხმარებული ელექტროენერჯის სისტემური ანალიზის ჩასატარებლად გამოყენებულია კორელაცია-რეგრესიული მეთოდი;

განხილულია ისეთი ღონისძიებებიც, როცა ენერჯის დაზოგვა მიიღება საექსპლუატაციო პირობების გაუმჯობესებით (მიიღწევა ინვესტიციების გარეშე); კომპანიებში გაანალიზებულია ენერგოეფექტურობის და ენერგოდაზოგვის მაღალი შესაძლებლობები.

მრავალ კომპანიაში ელექტროტრანსპორტის მართვისათვის ჯერ კიდევ გამიყენება სამოციან წლებში დანერგილი როგორც, ტექნიკურად ასევე, მორალურად მოძველებული მართვის რელე-კონტაქტორული სისტემა. როგორც მოძრაობის უსაფრთხოების, საიმედოობის და ენერგომომხმარების მხრივ მართვის ასეთი სისტემა ვერ პასუხობს დღევანდელ მაღალ მოთხოვნებს და საჭიროებს მოდერნიზაციას. ნახ.1 და 2-ზე (შესაბამისად) ნაჩვენებია წევის ამძრავის რელე-კონტაქტორული და ელექტრონულ-იმპულსური მართვის სისტემების გამარტივებული სტრუქტურული სქემები.



ნახ.2-ზე ნაჩვენებ მართვის სისტემის მოდერნიზებულ სქემაში, არ მონაწილეობს ე.წ. გამშვები რეზისტორები განსხვავებით ნახ.1-ისა, რაც იმას ნიშნავს, რომ ელენერგის დანაკარგები მნიშვნელოვნად არის შემცირებული. მართვის ამ სქემის წარმატებით გამოყენება შესაძლებელია ელმავლის მართვის სქემის მოდერნიზაციის შემთხვევაში.

ენერგის დაზოგვის კუთხით მნიშვნელოვანია რეაქტიული ენერგის კომპენსაციის ინოვაციური ტექნოლოგიების გამოყენება. ობიექტზე რეაქტიული ენერგის მოხმარების შესახებ ჩანაწერების შესაბამისად აირჩევა კონდესატორის



ბატარეის საფეხურების რაოდენობა და კომპენსატორების მუშაობის ყოველ საფეხურზე ჩაირთვება მსგავსი კონფიგურაციის მოდულები.

რეაქტიული ენერჯის კომპენსაციის თანამედროვე სისტემაში გამოყენებულია კომპანია “ELSPEC” -ის მიერ შექმნილი „ექვალიზერი“. მისი კონტროლერი იყენებს ფურიეს სწრაფ გარდაქმნას, რისთვისაც სამივე ფაზაში ჩართული გადამწოდებიდან მიღებული ინფორმაციების საფუძველზე თითოეული ციკლის (პერიოდის) განმავლობაში ახდენს მათ შეფასებას.

აღნიშნულ სისტემაში ელექტრონული კომუნიკაციის და სწრაფი გაზომვების საფუძველზე განისაზღვრება დროის მოცემულ მომენტში რეაქტიული ენერჯის მოხმარება და რა ტევადობაა საჭირო მისი კომპენსაციისათვის და საკმარისად სწრაფად ( $0,25 \div 1$ ) ციკლის შესაბამისი დროის განმავლობაში ჩაირთვება კომპენსაციის ძალოვანი მოდული.

ამრიგად თანამედროვე ტექნოლოგიებით აღჭურვილი სისტემა „ექვალიზერი“ სიმძლავრის კოეფიციენტის გაუმჯობესების მიზნით, უზრუნველყოფს სიმძლავრის კოეფიციენტის უწყვეტ კონტროლს და იგი ძირეულად განსხვავდება ადრინდელი სისტემისაგან, სადაც ფაქტიურად წარმოებს რეაქტიული ენერჯის კომპენსაცია საშუალო დატვირთვის მიხედვით, და შესაბამისად განსხვავებულ პირობებში ადგილი აქვს რეაქტიული ენერჯის არასრულყოფილ კომპენსაციას.

თბილისის მეტროპოლიტენის საგვირაბო ესკალატორების (62ერთეული) მართვისა და კონტროლის სისტემები (გარდა 3 ერთეულისა), ასევე მოძველებულია და საჭიროებს მოდერნიზაციას პროცესების მართვის ელექტრონულ-იმპულსური მეთოდის გამოყენებით.

ინოვაციური ენერგოეფექტური ღონისძიებების შესამუშავებლად ხდება ობიექტის არსებული ტექნიკური მდგომარეობის შესწავლა ენერგოაუდიტის ჩატარების გზით და მონაცემების ანალიზისათვის გამოიყენება კორელაციურ-რეგრესიული სტატისტიკური მეთოდი.

**II თავი** ეხება “ბორჯომ-ბაკურიანის” ვიწროლიანდაგიანი მატარებლის ელმავლის მართვის სქემის მოდერნიზაციას. “ბორჯომ-ბაკურიანის” მატარებელი რამდენიმე ათეული წელია ემსახურება მგზავრების გადაყვანას ბორჯომიდან

საკურორტო ზონაში (ცემი, ლიკანი, წადვერი, ბაკურიანი) ადრეულ წლებში ჯერ ორთქლმავლის, ხოლო შემდეგ წლებში ჩეხური წარმოების ელმავლის გამოყენებით.

1966 წლის ელმავლის მოდელი როგორც წვეის აგრეგატების, ასევე მართვის და მოძრაობის უსაფრთხოების სისტემებით მოძველებულია და ხასიათდება ელექტროენერჯის მაღალი მოხმარებით.

გაანალიზებულია „ბორჯომ-ბაკურიანის“ ვიწროლიანდაგიანი ელექტრომატარებლის ელმავლის მართვის ძველი, ჯერ კიდევ შემორჩენილი, ტრადიციული მეთოდი და წევაზე დახარჯული ელექტროენერჯის ეკონომიის მიზნით, დასაბუთებულია ელმავლის ამძრავის მოდერნიზაციის მიზანშეწონილობა მართვის თანამედროვე მიღწევების გამოყენებით. პირველ თავში მოყვანილი ელექტროტრანსპორტის მართვის თანამედროვე ელექტრონული-იმპულსური მართვის სისტემის სტრუქტურული სქემის შესაბამისად დამუშავებულია მართვის დაწვრილებითი მუშა სქემები და დამზადებულია შესაბამისი მართვის პლატები. დამზადებულია და ელმავალზე (სურ.1) დამონტაჟებულია თანამედროვე ელექტრომოწყობილობებით აღჭურვილი მართვის ახალი პულტი (სურ.2.).



სურ.1. ელმავალი მოდერნიზაციის შემდეგ.



სურ.2. მართვის პულტი მოდერნიზაციის შემდეგ.

მატარებლის ელმავლის ძირითადი პარამეტრების ანათვლების აღება ხორციელდება სიჩქარის, ძაბვის, დენის ძალის შესაბამისი ანალოგური სიგნალებიდან 1 მლწმ-ში ერთხელ.

დამუშავდა შესაბამისი პროგრამული უზრუნველყოფა, ჩაწერილი დამახსოვრებული სიგნალებიდან, შემდეგი ინფორმაციების მიღებისთვის:

კოორდინატის, სიჩქარის, მოხმარებული დენის და ქსელის ძაბვის დროზე დამოკიდებულებების შესახებ.

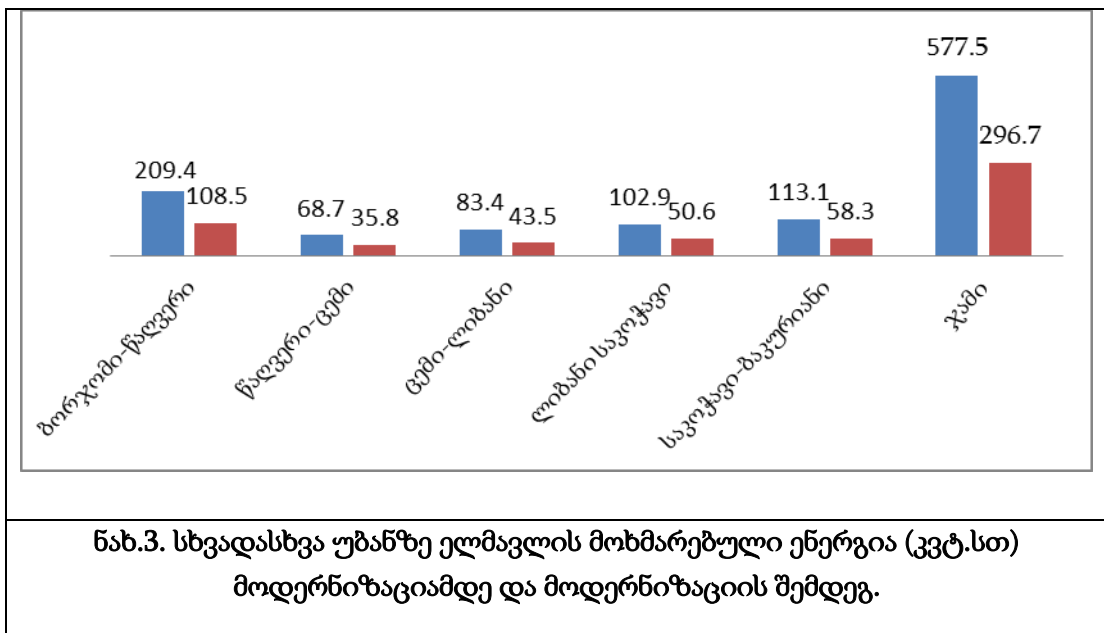
მოდრაობის უსაფრთხოების მიზნით განხორციელებულია ვიდეო თვალთვალის ოთხარხიანი სისტემა, რომელიც შესრულებულია სერიული წარმოების ბლოკური მოდულებით. ძირითადი ბლოკი განთავსებულია მემანქანის კაბინაში. ელმავალი მოდერნიზაციის შემდეგ ახალი მართვის პულტით აღჭურვილია ანალოგური და ციფრული სიგნალების კონტროლის ინდიკაციის და მახსოვრობის მოწყობილობებით, რომელთა ფუნქციონალური დანიშნულებაა: ელმავლის ყველა სიგნალის დონის კონტროლი და შესაბამისი ინფორმაციის გამოტანა მონიტორის ეკრანზე რომლის სტრუქტურაში შედის მინიკომპიუტერი, სიგნალების მიმღები და პროცესორის პლატა.

მონიტორის ეკრანზე გამოტანილია შემდეგი ინფორმაცია: „ელმავლის ურიკა -1 და ურიკა -2-ის წევის ძრავების დენები“, ასევე რეჟიმები „წევის რეჟიმი“ და „დამუხრუჭების რეჟიმი“; სიგნალი-დამხმარე მანქანები და გათბობის კონტაქტორები „ჩართულია და არის ნორმალური მდგომარეობა“; რომელიმე დამხმარე მანქანა „გამოერთო 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“, „ძალური სქემები წევისა და დამუხრუჭების რეჟიმებისთვის“ დასხვა.

ელმავლის მართვის მოდერნიზაციის ეფექტის შესამოწმებლად ჩატარებულია ელმავლის საველე გამოცდა ორი შემთხვევისათვის ელმავლის გარბენები მოდერნიზაციამდე და მოდერნიზაციის შემდეგ რკინიგზის 5 უბანზე: ბორჯომი -წაღვერი; წაღვერი- ცემი; ცემი- ლიბანი; ლიბანი- საკოჭავი და საკოჭავი- ბაკურიანი. გამოკვლევის მაჯამებელი შედეგები მოცემულია ნახ.3.

ნახ.3-დან ჩანს, რომ ელმავლის მოძველებული რელე-კონტაქტორული მართვის სქემის ნაცვლად, თანამედროვე ელექტრონულ-იმპულსური მართვის სქემის დანერგვით, ერთიდაიმავე პირობებში მოძრაობისას, ერთ რეისზე ელმავალი ტრასაზე- ბორჯომი-ბაკურიანი მოიხმარს მნიშვნელოვნად ნაკლებ

ელექტროენერჯის და ენერჯის დანაზოგი შეადგენს 577.5კვტ.სთ - 296.7 კვტ.სთ =280.8კვტ.სთ.



დადგენილია პროექტის ძირითადი ეკონომიკური მაჩვენებლები: მარტივი უკუგება  $PB=1,6წ$ ; წმინდა ეკონომია  $NPV=116627$  ლ და ფარდობა-ეკონომია/ინვესტიცია  $NPV/Q= 3.1$ .

ელმავალზე დანერგილი მართვის ინოვაციური ენერგოეფექტური ღონისძიება წარმატებით შეიძლება გამოყენებული იქნას მეტროს ესკალატორების მართვისთვისაც, რაც მოხმარებული ენერჯის დაზოგვასთან ერთად მნიშვნელოვნად აამაღლებს მოძრაობის უსაფრთხოებას. ამდენად აღნიშნული პროექტის განვითარებას აქვს როგორც თეორიული ასევე, დიდი პრაქტიკული ღირებულება ანალოგიური ტექნიკური ამოცანების ენერგო-ეფექტურად გადასაწყვეტად.

ამავე II თავში განხილული ელმავლის მაღალი ძაბვის (1500ვ) კაბელის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი პარამეტრის- იზოლაციის წინააღობის, მაღალი სიზუსტით გაზომვა და დასაშვებ ნორმებში შენარჩუნება. ამდენად კაბელის იზოლაციის პერიოდული კონტროლი მნიშვნელოვანი საექსპლუატაციო ამოცანაა.

გაზომვის შედეგის უტყუარობის (სიზუსტის) შესაფასებლად გამოყენებულია ახალი მიდგომა -„განუსაზღვრელობის“ კონცეფციის

გამოყენებით. საწყისი მონაცემების სამოდელო ფუნქციად აღებულია  $\bar{R} = \bar{V} / \bar{I}$ , სადაც  $\bar{R}$  - არის იზოლაციის წინაღობა (მგომი);  $\bar{V}$  - ძაბვის (ვ) და  $\bar{I}$  - დენის ძალის (მიკროამპერი) განმეორებითი გაზომვების საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობები შესაბამისად; გამოსასვლელი სიდიდეა - კაბელის იზოლაციის წინაღობა  $R$ .

ძაბვის წყაროდ გამოყენებულია ლაბორატორიული ავტოტრანსფორმატორი და ამამაღლებელი ტრანსფორმატორი გამმართველთან და ფილტრთან ერთად. გაზომვები შესრულებულია საზომი ხელსაწყოს- PEAKMETER PM890 C/D საშუალებით გაზომვის ირიბი მეთოდის გამოყენებით.

სიდიდე	მონაცემები
შესასვლელი სიდიდე- ძაბვა V, ვ	განუსაზღვრელობის ტიპი- A განაწილება- ნორმალური შეფასებული მნიშვნელობა- 506 მგრძნობიარობის კოეფიციენტი- 0,003254 სტანდარტული განუსაზღვრელობა- 3,71184
	განუსაზღვრელობის ტიპი- B განაწილება- თანაბარი შეფასებული მნიშვნელობა- 506 მგრძნობიარობის კოეფიციენტი- 3,71184 სტანდარტული განუსაზღვრელობა- 2,9059
შესასვლელი სიდიდე- დენის ძალა I, მკა	განუსაზღვრელობის ტიპი- A განაწილება- ნორმალური შეფასებული მნიშვნელობა- 307,3 მგრძნობიარობის კოეფიციენტი- 0,005411 სტანდარტული განუსაზღვრელობა- 2,5813
	განუსაზღვრელობის ტიპი- B განაწილება- თანაბარი შეფასებული მნიშვნელობა- 307,3 მგრძნობიარობის კოეფიციენტი- 0,005411 სტანდარტული განუსაზღვრელობა- 2,8639

**ცხრ. 1. შესასვლელი სიდიდეების კრებსითი მახასიათებლები.**

კაბელის ძაბვის და დენის ძალის პირდაპირი გაზომვების 12 სერიის ნედლი მონაცემების საფუძველზე შესრულდა კაბელის ელექტრული იზოლაციის წინაღობის ინტერვალური შეფასება „განუსაზღვრელობის“ კონცეფციის ბაზაზე ნაშრომში დამუშავებული 12 საფეხურიანი ავტომატური ალგორითმის გამოყენებით. გაზომვის სერიის დამუშავებით მიღებულია მონაცემების საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობები  $\bar{V}$  და  $\bar{I}$ . ძაბვის და დენის ძალის გაზომვის

ცალკეული შედეგების შემოწმება გაზომვის „უხეში“ ცდომილებების შესაძლო არსებობაზე შესრულდა სტიუდენტის სტატისტიკის მიხედვით. შესასვლელი სიდიდეების (ძაბვა და დენი) მახასიათებლები მიღებული „განუსაზღვრელობის“ მეთოდის შესაბამისად მოცემულია ცხრ. 1.-ში.

გასაზომი სიდიდის - მაღალი ძაბვის კაბელის ელექტრული წინააღობის R-ის გაანგარიშების ალგორითმის საფეხურები მოცემულია ცხრ.2.

R-ის სტანდარტული განუსაზღვრელობა, მდგენელით $U_A(\bar{V})$ , მგომი	$U_{AV}(R) = \frac{\partial R}{\partial V} \cdot U_A(\bar{V}) = 0.01208$
R-ის სტანდარტული განუსაზღვრელობა, მდგენელით $U_A(\bar{I})$ , მგომი	$U_{AI}(R) = \frac{\partial R}{\partial I} \cdot U_A(\bar{I}) = -0.01399$
A ტიპის მიხედვით გამოთვლილი ჯამური სტანდარტული განუსაზღვრელობა, მგომი	$U_A(R) = \sqrt{(U_{AV}(R))^2 + (U_{AI}(R))^2} = 0.01849$
R-ის სტანდარტული განუსაზღვრელობა, მდგენელით $U_B(\bar{V})$ , მგომი	$U_{BV}(R) = \frac{\partial R}{\partial V} \cdot U_B(\bar{V}) = 0.00946$
R-ის სტანდარტული განუსაზღვრელობა, მდგენელით $U_B(\bar{I})$ , მგომი	$U_{BI}(R) = \frac{\partial R}{\partial I} \cdot U_B(\bar{I}) = -0.015497$
B ტიპის მიხედვით გამოთვლილი ჯამური სტანდარტული განუსაზღვრელობა, მგომი	$U_B(R) = \sqrt{[U_{BV}(R)]^2 + [U_{BI}(R)]^2} = 0.01815$
ჯამური განუსაზღვრელობა A და B ტიპის მიხედვით, მგომი	$U_C(R) = \sqrt{[U_A(R)]^2 + [U_B(R)]^2} = 0.0259$
ფარდობითი განუსაზღვრელობა, %	$\hat{U}_C(R) = U_C(R) / \bar{R} \cdot 100 = 1.57\%$
V და I შორის კორელაციური ხარისხი	$r(V,I)=0.4942$
კომბინირებული განუსაზღვრელობის დისპერსია	$U_C^2(R) = C_V^2 \cdot U^2(\bar{V}) + C_I^2 \cdot U^2(\bar{I}) + 2C_V C_I r(\bar{V}, \bar{I}) U(\bar{V}) U(\bar{I}) = 0.0003547$
კომბინირებული განუსაზღვრელობის და-ზუსტებული მნიშვნელობა, მგომი	$U_C(R) = 0.0188$
იგივე, %	$\hat{U}_C(R) = U_C(R) / \bar{R} * 100 = 1.14$

თავიუფლების ხარისხთა ეფექტურობის რიცხვი	$v_{\text{ფ}} = (10-1) \cdot \left(1 + \frac{U_B^2(R)}{U_A^2(R)}\right)^2 = 34,73 = 34$
მოცვის კოეფიციენტი k, და სტიუდენტის განაწილების კოეფიციენტი	$k = t_p(v_{\text{ფ}}) = t_{0,95}(34) = 2.03$
გაფართოებული განუსაზღვრელობის შეფასება, მგომი (%)	$U(R) = k \cdot U_c(R) = 0.038 (2.3\%)$
R-ის გაზომვის განუსაზღვრელობის ინტერვალური შეფასება, მგომი; ალბათობით P = 0.95	$(1.609 \leq R \leq 1.685) \text{ მგომი, } P = 0.95$
<b>ცხრ.2. მაღალი ძაბვის კაბელის ელექტრული წინაღობის გაანგარიშების ალგორითმის საფეხურები.</b>	

მაღალი ძაბვის კაბელის ელექტროიზოლაციის გაზომვის შედეგის შეფასებისათვის გამოყენებული, დღეისათვის უკვე საერთაშორისოდ ფართოდ აღიარებული „განუსაზღვრელობის“ მეთოდის საფუძველზე მიღებულია განუსაზღვრელობის ინტერვალი ( $1.609 \leq R \leq 1.685$ ) მგომი,  $P = 0.95$  ალბათობით.

**მესამე თავში** ჩატარებულია მეტროპოლიტენის ელექტროტრანსპორტის ენერგომოხმარების კორელაცია-რეგრესიული ანალიზი და მოხმარების მონიტორინგი ენერჯის დაზოგვის შესაფასებლად. კომპანიის ძირითადი ენერგეტიკული მოწყობილობა და, ელექტრომატარებლების მართვის სისტემა მოძველებულია, რაც განაპირობებს ენერჯის დიდ დანაკარგებს, შესაბამისად მაღალ ელექტრომოხმარებას და დაახლოებით ერთი რიგით დადგმული ელექტრული სიმძლავრის საჭიროებას. ამავე დროს განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ტრანსპორტის საიმედოობა და მგზავრების გადაყვანის კომფორტისამაღლება. **B**

მეტროპოლიტენში არის ენერჯის კარგვის მნიშვნელოვანი წყაროები, რაც დაკავშირებულია: ელექტრომატარებლების მართვის არსებული მოძველებულ-რელეკონტაქტორულ სისტემასთან; მესამე რელსის მოდერნიზაციასთან; ესკალატორების მოდერნიზაციასთან და სხვა გასატარებელ ენერგოეფექტურ ღონისძიებებთან.

კომპანიაში ჩატარებულია ფოკუსირებული ენერგოაუდიტი, რომლის მიზანია კორელაციური კავშირის დადგენა მოხმარებულ ელექტროენერგიასა და გადაყვანილ მგზავრების რაოდენობას შორის, რათა გაირკვეს წევის აგრეგატების და სხვა დამხმარე მოწყობილობა-აგრეგატების უფრო თანამედროვე დანადგარებით შეცვლისა, ან მათი მართვის გაუმჯობესებული პრინციპებით განხორციელების საინვესტიციო ეფექტიანობისა და რენტაბელობის საკითხი.

ელექტროენერგიის მოხმარების შეგროვებული მონაცემები-საბაზისო მონაცემები მოპოვებულია გაზომვის სტაციონარული მრიცხველების ჩვენებებით, რომლებიც მუდმივად- უწყვეტ რეჟიმში აღრიცხავს წევის აგრეგატების და კომპანიის ჯამური ელექტროენერგიების ხარჯებს და რაოდენობებს.

გადაყვანილ მგზავრების და მოხმარებულ ენერგიას შორის აღინიშნა სტატისტიკური დამოკიდებულება, როცა გადაყვანილ მგზავრის სიდიდის ცვლილება იწვევს მოხმარებულ ენერგიის საშუალო მნიშვნელობის ცვლილებას, ანუ ადგილი აქვს მათ შორის კორელაციას. დამოუკიდებელი ცვლადია გადაყვანილი მგზავრების რაოდენობა (პრედიქტორი), ხოლო დამოკიდებული ცვლადი-მოხმარებული ენერგია. მათ შორის დამოკიდებულება არის პირდაპირი, ე.ი. ადგილი აქვს დადებით კორელაციას-გადაყვანილი მგზავრების რაოდენობის გაზრდა იწვევს ენერგიის მოხმარების საშუალო მნიშვნელობის გაზრდას.

პრედიქტორსა და მოხმარებულ ენერგიას შორის მკაცრი კავშირის დადგენა შეუძლებელია, რადგან მოხმარებული ენერგიის მნიშვნელობა განისაზღვრება არამარტო კონკრეტული პრედიქტორის მნიშვნელობით, არამედ სხვა (გაუთვალისწინებელი ან არაკონტროლირებადი) ფაქტორებით, აგრეთვე იმით, რომ ცვლადების მნიშვნელობების გაზომვა უცილობლად „დამძიმებულია“ ზოგიერთი შემთხვევითი ხასიათის ცდომილებებით. რადგან ჩვენ შემთხვევაში განხილულია მხოლოდ ერთი პრედიქტორი ამიტომ ვიხილავთ წყვილი რეგრესიის შემთხვევას. რეგრესიის განტოლების შედგენა მოიცავს ორეტაპს:

1. დამოკიდებულების სახის დადგენა (სპეციფიკაციის ეტაპი);
2. რეგრესიის კოეფიციენტების განსაზღვრა (იდენტიფიკაციის ეტაპი).

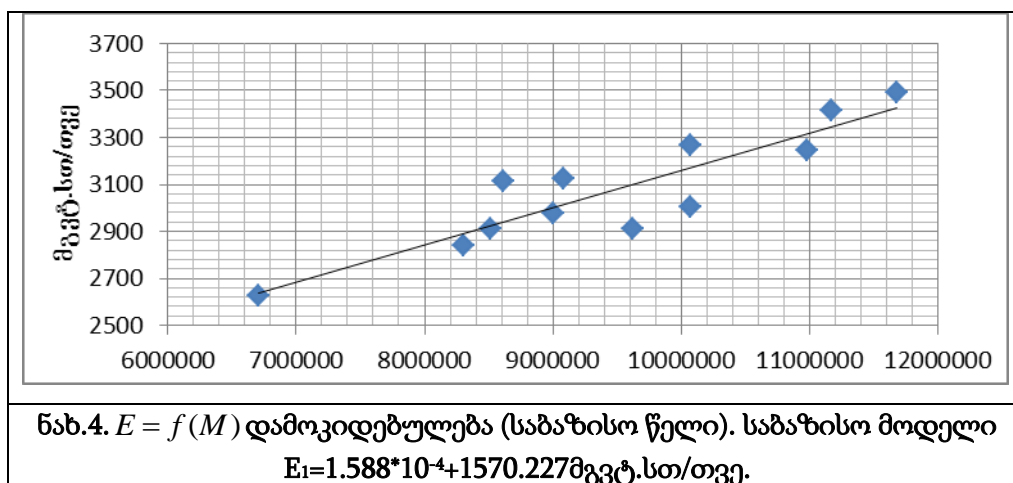


რეგრესიის კოეფიციენტები განსაზღვრა ხდება უმცირესი კვადრატების მეთოდით, რომლის თანახმადაც ენერჯის მოხმარების რეგრესიის ღერძის მიმართ “წერტილების” გადახრის კვადრატების ჯამი არის მინიმუმი.

ელექტრომატარებლების რომელიმე მიმდინარე წლის ელექტროენერჯის მოხმარების მონიტორინგის ჩასატარებლად გამოყენებულია წინა წლის (საბაზისო წლის) ელექტროენერჯის მოხმარებისა და გადაყვანილი მგზავრების რაოდენობის ნედლი მონაცემების მიხედვით დამუშავებული საბაზო მოდელი.

ნახ.4. ნაჩვენებია საბაზისო წელს ელმატარებლების მიერ მოხმარებულ ენერჯიასა (თვეში) და შესაბამისი გადაყვანილ მგზავრების რაოდენობას შორის დამოკიდებულების გრაფიკი, რაც ხასიათდება პირსონის კორელაციის ძლიერი მაჩვენებლით  $r=0.897$  და დეტერმინაციის მაღალი კოეფიციენტით  $r^2=0.81$ , შესაბამის საბაზო მოდელის რეგრესიის განტოლებას აქვს სახე:

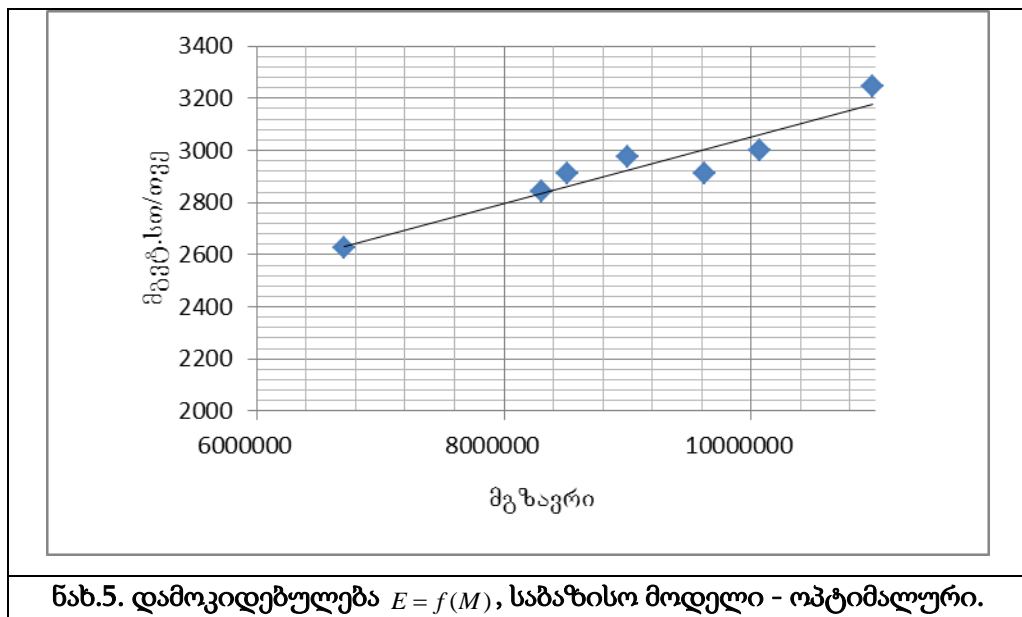
$$E_1=1.588*10^{-4}+1570.227 \text{ მგვტ.სთ/თვე.}$$



დეტერმინაციის კოეფიციენტის მიხედვით: მოხმარებული ენერჯის ვარიაციის 81% განისაზღვრება გადაყვანილი მგზავრების ვარიაციით. დანარჩენი  $100-81=19\%$  არის აუხსნელი, ან უშემთხვევითი ვარიაცია. შესაბამისად 0,19 არის არადეტერმინაციის კოეფიციენტი. წრფე გრაფიკზე გამოსახავს ენერჯის მოხმარების ძირითად ტენდენციას. ტრენდის ხაზის მიმართ წერტილების გაბნევა მიუთითებს ისეთ ფაქტორებზე როგორცაა: კომპანიის მართვის ხარისხი, დანადგარების ტექნიკური მდგომარეობა, მომსახურების ხარისხი, ტექნოლოგიური პროცესების არასტაბილურობა და სხვა.

ენერჯის მოხმარების საშუალო მნიშვნელობის შეფასების საშუალო კვადრატული განუსაზღვრელობამ შეადგენა 1.1%.

საბაზისო წელს: აპროქსიმაციის ხაზის ქვევით მოთავსებული “წერტილები”: 2624.3; 2842.2; 2976.5; 2911.1; 2909.1; 3002,2; 3245,4 შეესაბამება ოპტიმალურ ოპერაციულ მომსახურებას. ამ მონაცემების უმცირესი კვადრატების მეთოდით დამუშავებით მიღებული გრაფიკი ნახ.5.



გადაყვანილი მგზავრების რაოდენობასა და ელმატარებელს მიერ მოხმარებულ ენერჯიას შორის (ნახ.5.) არსებობს ძლიერი კორელაციური კავშირი -  $r=0.94$ , ხოლო წრფის დეტერმინაციის კოეფიციენტი  $r^2=0.94^2=0.89$ , ე.ი. მოხმარებული ენერჯიის ვარიაციის 89% განისაზღვრება გადაყვანილი მგზავრების ვარიაციით. დანარჩენი  $100-89=11\%$  არის აუხსნელი ან შემთხვევითი ვარიაცია. შესაბამისად 0,11 არის არადეტერმინაციის კოეფიციენტი.

ენერჯის ოპტიმალური მოხმარების საშუალო მნიშვნელობის შეფასების საშუალო კვადრატული განუსაზღვრელობა შეადგენს 0.86%-ს. წრფე გრაფიკზე გამოსახავს ენერჯიის მოხმარების ძირითად ტენდენციას. ტრენდის ხაზის მიმართ წერტილების გაბნევა მიუთითებს ისეთ ფაქტორებზე როგორცაა: კომპანიის მართვის ხარისხი, დანადგარების ტექნიკური მდგომარეობა, მომსახურების ხარისხი, ტექნოლოგიური პროცესების არასტაბილურობა და სხვა. რეგრესიის განტოლებას აქვს სახე:  $E_2=0.000127823*M+1775.936126$ . სადაც  $E_2$ - არის ენერჯიის

ყოველთვიური მოხმარება მგვტ.სთ/თვე; M- იგივე პერიოდში გადაყვანილი მგზავრების რაოდენობა. 0.00012782-წრფის აბცისათა ღერძთან დახრის კუთხის ტანგენსი. ენერჯის ოპტიმალური მოხმარების საშუალო მნიშვნელობის შეფასების საშუალო კვადრატული განუსაზღვრელობა შეადგენს 0.86%-ს.

ოპტიმალური მომსახურების პირობებში სავარაუდოდ მიიღება 2,87% ენერჯის დანაზოგი (სამიზნე დანაზოგი წვევის ძრავების ფაქტიური მოხმარების 2.87%). ცხრ.3. მოცემულია საბაზისო და მონიტორინგის წლების ენერჯის მოხმარების ფაქტიური და ოპტიმალური რეჟიმებით მუშაობებს შორის ენერჯის მოხმარების შესაძლო დანაზოგის მაჯამებელი მონაცემები.

კომპანიის საბაზისო წლის ჯამური ფაქტიური ენერგომოხმარება შეადგენს 36918,6მგვტ.სთ/წ. (სვეტი3). იგივე, მოსალოდნელი მოხმარება- 36918,6მგვტ.სთ/წ გაანგარიშებული რეგრესიის  $E_1$  განტოლებით (სვეტი 4). მონიტორინგის წელს გადაყვანილი მგზავრების და მოხმარებული ენერჯის ნედლი მონაცემები თვეების მიხედვით მოცემულია შესაბამისად A და B სვეტებში, ხოლო მოსალოდნელი მოხმარება 38840.5 გაანგარიშებული საბაზისო მოდელის ფორმულით  $E_1=0.0001588*M_1+1570.226569$  მგვტ,სთ/წ, მოცემულია სვეტში C. შესაბამისად მონიტორინგის წელს ენერჯის მოხმარების შემცირება (დაზოგვა) ტოლია  $38394.4-38840=-445.6$ მგვტ,სთ/წ (სვეტებიDდა E)., ანუ მონიტორინგის წელს ფაქტიური კუმულაციური დანაზოგი ტოლია-446.1 მგვტ.სთ/წ., რაც მონიტორინგის წელს ფაქტიური მოხმარების 1,21%-ს შეადგენს. 445.6მგვტ,სთ/წ (სვეტები Dდა E)., ანუ მონიტორინგის წელს ფაქტიური კუმულაციური დანაზოგი ტოლია-446.1 მგვტ.სთ/წ., რაც მონიტორინგის წელს ფაქტიური მოხმარების 1,21%-ს შეადგენს.

სამიზნე დანაზოგად მიღებული გვექონდა 2,87% დაზოგვა ანუ მიზანი შეუსრულებელი დარჩა1.66 %-ით. ე.ი. კუმულაციური სხვაობა- 611.8მგვტ.სთ/წ. რაც დააკლდა მოსალოდნელ მნიშვნელობას.

ცხრ.3. მონიტორინგის მოსალოდნელი მოხმარება გაანგარიშებულია წინა (საბაზისო) წლის მონაცემების მიხედვით შედგენილი რეგრესიის მოდელის განტოლებით  $E_1=0,0001588*M+1570.226569$ , მგვტ.სთ/თვე.

საბაზისო და მონიტორინგის წლების მაჯამებელი მონაცემები

1	2	3	4	5	6	7	8	9
საბაზისო წელი						სამიზნე მოხმარება		
თვე	გადაყვანილი მგზავრი	F ფაქტიური მოხმარება მგვტ.სთ/თვე	მოსალოდნელი მოხმარება მგვტ.სთ/თვე E1	სხვაობა (ფაქტ.- მოსალო.)მგვტ.სთ/თვე	სხვაობის ნაზრდი ჯამი, მგვტ.სთ/თვე	მოხმარების სამიზნე შემცირება მგვტ.სთ/თვე	დაზოგვა, მგვტ.სთ/თვე	დაზოგვის ნაზრდი ჯამი, მგვტ.სთ/თვე
1	8617861	2938.7	2938.7					
2	8510834	2921.7	2921.8					
3	10074382	3170.0	3170.0					
4	9086141	3013.1	3013.1					
5	10067881	3169.0	3169.0					
6	9623134	3098.4	3098.4					
7	8308241	2889.6	2889.6					
8	6710592	2635.9	2635.9					
9	9001031	2999.6	2999.6					
10	10978550	3313.6	3313.6					
11	11172312	3344.4	3344.4					
12	11676755	3424.5	3424.5					
j	113827714	36918.6	36918.6			სამიზნე მოხმარება		
<b>მონიტორინგის წელი</b>							სხვ-ბა	ნაზ. ჯ
1	9648400	3064	3102.4	-38.0	-38.0	2976.4	87.95	87.95
2	9421612	3015	3066.4	-51.4	-89.4	2928.5	86.53	174.48
3	11092912	3294	3331.8	-38.0	-127.4	3199.2	94.53	269.01
4	10294992	3160	3205.1	-45.1	-172.4	3069.3	90.69	359.70
5	11568562	3360	3407.3	-47.3	-219.8	3263.6	96.43	456.13
6	9652674	3065	3103.1	-38.0	-257.8	2977.1	87.97	544.10
7	9072702	3035	3011.0	24.0	-233.7	2947.9	87.10	631.21
8	7792065	2793	2807.6	-15.0	-248.7	2712.5	80.15	711.35
9	10274432	3142	3201.8	-60.0	-308.7	3051.6	90.17	801.52
10	12728132	3546	3591.5	-45.0	-353.7	3444.7	101.78	903.31
11	11920222	3410	3463.2	-52.9	-406.6	3312.4	97.87	1001.18
12	12463734	3510	3549.5	-39.5	-446.1	3409.3	100.74	1101.92
j	12593043 9	38394.4	38840.					
<b>დანაზოგი-446,1მგვტ.სთ/წ ( 1,21%)</b>								
	A	B	C	D	E	F	G	H
<b>სამიზნე მნიშვნელობას დააკლდა 611,8მგვტ.სთ/წ (1,66%)</b>								
<b>E=0,0001588+1570,226569</b>								

ცხვ.3. ენერგომოხმარების მონიტორინგის შედეგები.

მესამე თავში განხილულია აგრეთვე მეტროს მატარებლების დენმიმღებთან მოსრიალე კონტაქტის განსახორციებლად გამოყენებული მყარი საკონტაქტო სადენის-მესამე რელსის მოდერნიზაციის საკითხი.

მეტროპოლიტენის მატარებლის ძრავებიანი ვაგონი (4 ძრავით) ელენერგიას იღებს საკონტაქტო რელსიდან. საკონტაქტო რელს აქვს ძირითადი რელსების მსგავსი ფორმა და მზადდება რბილი ფოლადისაგან. იგი მაგრდება კრონშტეინებზე, ეს უკანასკნელი კი საიზოლაციო მასალით განმხოვლებული - ძირითადი რელსების შპალებზე.



სურ.3. საკონტაქტო (მესამე)რელსი.



სურ.4.საკონტაქტო და ძირითადი რელსები.

ენერგოეფექტური ღონისძიება მდგომარეობს ფოლადის საკონტაქტო რელსის შეცვლა REHAU-ს ბიმეტალური რელსით. ელექტრო ეკონომია მიიღწევა არსებულ ფოლადის საკონტაქტო რელსში ელენერგიის დანაკარგების შემცირებით, რადგან ბიმეტალური რელსის ელექტრული წინაღობა ნაკლებია ფოლადის რელსთან შედარებით, რაც განაპირობებს ენერგიის მნიშვნელოვანი დაზოგვის შესაძლებლობას.

ეკონომიკურ ეფექტთან ერთად არანაკლებ მნიშვნელოვანია უსაფრთხოების საკითხი: რელსი ნაკლებად ცხელდება. ამასთან რელსის ბიმეტალური მასალა მედეგია ზეთების, ბენზინის, სარეცხი საშუალებების და სხვა ტექნიკური სითხეების მიმართ, რომლებიც გამოიყენება მეტროპოლიტენის ექსპლუატაციის დროს.

პროექტის სასიცოცხლო ციკლი მრავალ წელს მოიცავს. ახალი რელსის დანერგვა დადებითი ეკონომიკური ეფექტის მიღწევასთან ერთად გამოიწვევს მოძრაობის უსაფრთხოებისა და საიმედოობის მნიშვნელოვან ამაღლებას.

ელექტროენერჯის 721386კვტ.სთ/წ (121193ლ/წ) და 507000ლ პირვანდელი ინვესტიციის (მოწყობილობების 50 %-ანი ნარჩენი ღირებულებით) 0.15 დისკონტირებითა და 10 წლიანი ანალიზის პერიოდით მიიღება პროექტის შემდეგი ეკონომიკური მაჩვენებლები:  $PB=4.18\text{წ}$  ;  $NPV=28364$  ლ ;  $NPV/Q=1.1$ .

პროექტის შინაარსიდან და ბიმეტალური რელსის სამონტაჟო სამუშაოების სიმარტივიდან გამომდინარე შესაძლებელია მოძრაობის შეუფერხებლად დამის საათებში რელსის შეცვლის ოპერაციის ჩატარება. პროექტი ასევე შესაძლებელია განხორციელდეს ეტაპობრივად- დაწყებული საპილოტე პროექტით. დაზოგილი თანხები შეიძლება მიმართული იყოს პროექტის განვითარებისათვის - სხვა უბნებზე ანალოგიური სამუშაოების ჩასატარებლად.

**მეტროპოლიტენში** მიზანშეწონილად მიგვაჩნია კომპანიის მართვის სტრუქტურაში ჩამოყალიბდეს (საზოგადოებრივ საწყისებზე) ენერგეტიკული საბჭო, რომლის შემადგენლობაში შევლენ სხვადასხვა სამსახურებიდან წარმომადგენლები. ენერგეტიკული საბჭოს საქმიანობა იქნება კომპანიაში მოხმარებული ელენერჯის არსებული მდგომარეობის სისტემური ანალიზი, ენერჯის კარგების გამოვლენა და მათი შემცირების შესაძლებლობების შესწავლა, ენერგოეფექტური ღონისძიებების და სხვა- განხილვა, ინოვაციური წინადადებების პრიორიტეტების დადგენა და პროექტების განხორციელებისათვის ფინანსური უზრუნველყოფის გზების მოძიება.

კომპანიის მართვის სტრუქტურის ასეთი ოპტიმიზაცია არ მოითხოვს დამატებით ფინანსურ ხარჯებს, აამაღლებს თანამშრომლების პასუხისმგებლობას და უფრო ქმედითუნარიანს გახდის ენერგეტიკული საბჭოს წევრების საქმიანობას ენერჯის დაზოგვის კუთხით და კომპანიის ენერგეტიკული პოლიტიკა ფართო მასებისათვის უფრო გამჭვირვალე და გასაგები გახდება.

**თავი 4.** რეაქტიული ენერჯის კომპენსაციის მიზანშეწონილობის საკითხი შესწავლილი იქნა ს/ს „საქართველოს რკინიგზა“-ს „ავჭალის“ ქვესადგურის გამანაწილებელ მოწყობილობაზე კომპანია „ELSPEC“- ის მიერ დამზადებული

ელექტრონული ანალიზატორის დაკვირვებების საფუძველზე, რომელიც დისკრეტულად იღებს ძაბვისა და დენის მყისა მნიშვნელობებს ( ანათვლებს) და იმახსოვრებს მას დღე-ღამური დაკვირვების რეჟიმში.

ანალიზატორს გააჩნია შემდეგი ფუნქციები: დროის ნებისმიერ მომენტში, სამივე ფაზაში დენისა და ძაბვის მყისი მნიშვნელობების ჩაწერა; მიღებული ძაბვისა და დენის ფორმის მიხედვით „ჰარმონიკების კოეფიციენტის“ შეფასება; დენისა და ძაბვისთვის ეფექტური მნიშვნელობების, აქტიური, რეაქტიული და სრული სიმძლავრეების, სიმძლავრის კოეფიციენტის და არაწრფივი დამახინჯების კოეფიციენტის განსაზღვრა. აღნიშნული ქვესადგურისთვის დადგინდა, რომ სიმძლავრის კოეფიციენტი დატვირთვის მიხედვით იცვლება დიდ ფარგლებში (0.2-0.9).

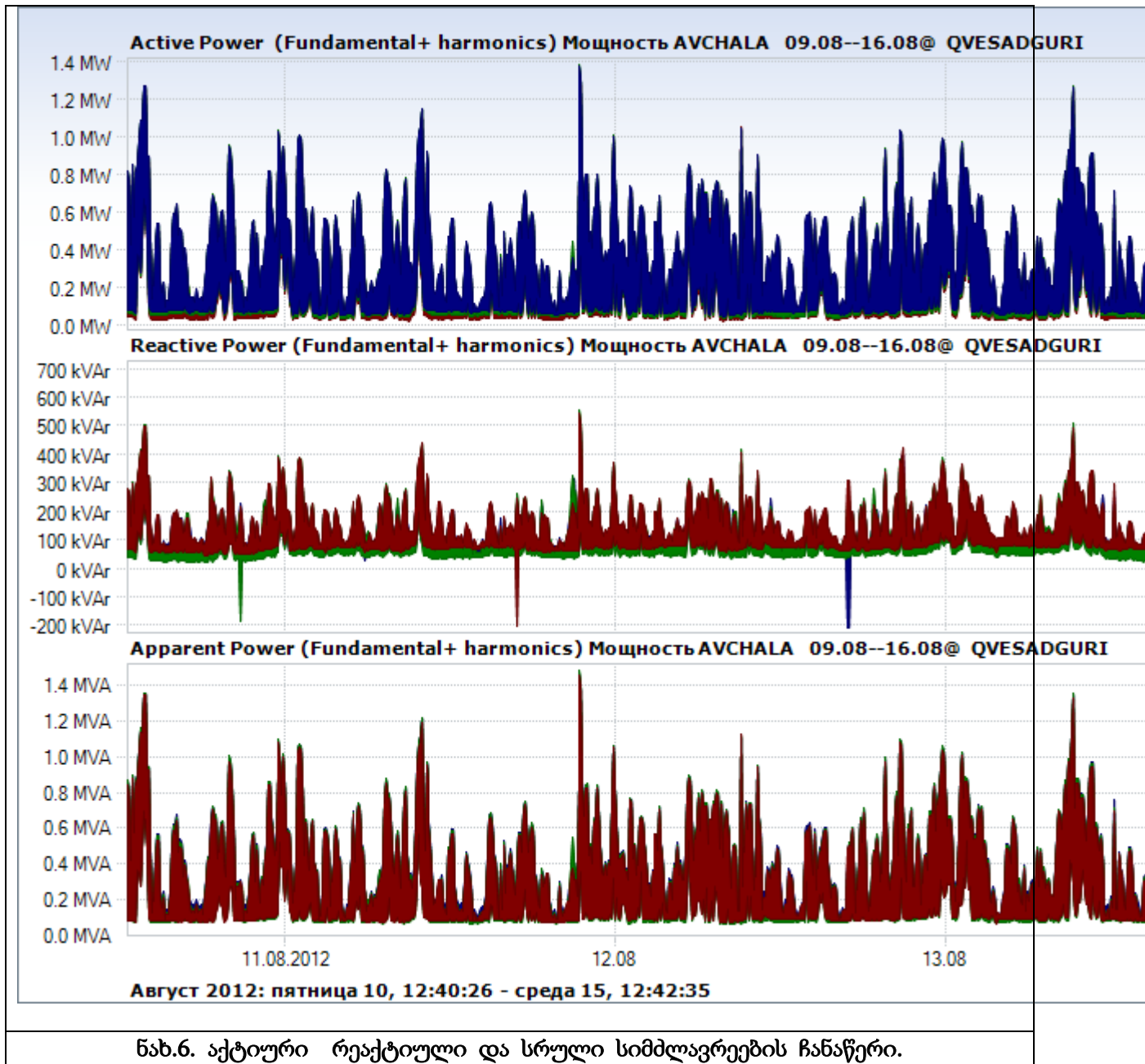
ქვესადგურში ჩატარებულია: ძაბვის და დენის ეფექტური მნიშვნელობების; აქტიური, რეაქტიული და სრული სიმძლავრეების; ძაბვის და დენის დამახინჯებების კოეფიციენტების და ძაბვის ეფექტური მნიშვნელობის დროითი დიაგრამების ანალიზი.

კვლევებით დადგინდა, რომ გაუთვალისწინებელი ძაბვის ვარდნების და გადაძაბვების მნიშვნელოვან გამომწვევ ფაქტორს წარმოადგენს რეაქტიული ენერჯის არსებობა ელექტრომატარებლების კვების სისტემაში.

ნახ.6. ნაჩვენებია აქტიური, რეაქტიული და სრული სიმძლავრეების ჩანაწერი. ნახაზიდან ჩანს, რომ ქვესადგურის მოხმარებული მაქსიმალური აქტიური სიმძლავრეა 1.4 მეგავატი, ხოლო რეაქტიულის მოხმარების მაქსიმალური მნიშვნელობაა 550კვარ. სრული სიმძლავრის მაქსიმალური მნიშვნელობაა 1.6 მგვა.

სიმძლავრის კოეფიციენტი დამოკიდებულია დატვირთვის ხარისხზე და მცირე დატვირთვების დროს დაბალი სიდიდისაა. ეს იმას ნიშნავს, რომ ამ რეჟიმებში მოსალოდნელია ძაბვის რყევები (გადაძაბვები), რაც აზიანებს ელ-მატარებლებისა და ელმალვების ელექტროტექნიკურ მოწყობილობებს. ამიტომ, აუცილებელია ასეთ ქვესადგურებში ავტომატური, ელექტრონული კომპენსატორების დამონტაჟება, რომელიც სიმძლავრის კოეფიციენტს შეინარჩუნებს სიდიდით 1-თან ახლოს (ნაკლები 1-ზე).

ასეთივე მდგომარეობა დაფიქსირდა მოლითის ქვესადგურშიც. კვლევების საფუძველზე დასაბუთებული იქნა, რომ რკინიგზის ქვესადგურები მოითხოვენ აღნიშნული მოწყობილობების დანერგვას ყველგან. ეს მნიშვნელოვან როლს შეასრულებს ძაბვის ცვლილების შეზღუდვისათვის, რაც საბოლოოდ დაიცავს ელექტროტექნიკურ მოწყობილობებს, როგორც ქვესადგურში ასევე მის გარეთ, ხელოვნური დაზიანებებისგან.



ნახ.6. აქტიური რეაქტიული და სრული სიმძლავრეების ჩანაწერი.

დროითი დიაგრამებიდან ჩანს, რომ ძაბვა იცვლება 30კვ-დან 39 კვ-დე , ადგილი აქვს ძაბვის სწრაფ ჩავარდნებსაც.



დაკვირვების შედეგებიდან ჩანს, რომ საკმაოდ მაღალია რექტიული ენერჯის მოხმარება და ზოგიერთ მომენტებში და აღწევს 700 კვარ (კილოვოლტამპერ რექტიული), ხოლო აქტიური ენერჯის მოხმარება იცვლება 1,4 მგვტ-დე., ხშირია შემთხვევები, როცა ქვესადგური მუშაობს უქმ სვლასთან ახლო რეჟიმებში.

ანალოგიური მახასიათებლები გადაღებული იქნა ქვესადგურ მოლითშიც, სადაც აღინიშნა იგივე ხასიათის პრობლემები.

რექტიული ენერჯის კომპენსაციის მოწყობილობების დანერგვით აღნიშნული პრობლემა (ძაბვის რყევები, გადაძაბვები და ძაბვის ვარდნები) პრაქტიკულად ისპობა, რადგანაც სწრაფი ელექტრონული მოწყობილობების საშუალებით მუდმივად ხდება რექტიული ენერჯის კომპენსაცია თანამედროვე მაღალი ხარისხის კონდენსატორების გამოყენებით. აღნიშნული პროცესი მიმდინარეობს შემდეგნაირად:

- ელექტრონული ანალიზატორის საშუალებით განისაზღვრება მოხმარებული რექტიული ენერჯის სიდიდე, რომელიც ინდუქტიური ხასიათისაა;
- ელექტრონული კონტროლერის საშუალებით განისაზღვრება კონდენსატორის ტევადობის სიდიდე, რომელიც ჩაირთვება წრედში ავტომატურად ელექტრონული სწრაფი ჩამრთველების გამოყენებით;
- აღნიშნული პროცესი მიმდინარეობს რამოდენიმე მილიწამის განმავლობაში;
- რექტიული ენერჯის კომპენსატორის (კონდენსატორის) ჩართვა -ამორთვა ცვლადი დენის წრედში იმდენად სწრაფად მიმდინარეობს, რომ პროცესის მიმდინარეობა პრაქტიკულად უწყეტად ხორციელდება;

რექტიული ენერჯის კომპენსაციის მიზანშეწონილობის საკითხი განხილულია „ზაჰესი“-ს ქვესადგურის მაგალითზე. პროექტის ეკონომიკური მაჩვენებლები 353600 ლ ინვესტიციისა და თანხის წლიური დანაზოგის 252000 ლ/წ პირობებში, 10 წლიანი ანალიზის პერიოდში და დისკონტირების 0,15 დროს შემდეგია:  $PV=1.4\text{წ}$  ;  $NPV=896094$  ლ ;  $NPV/Q=3.4$ .

## დასკვნა

1. პირველად, შემოთავაზებული და განხორციელებულია ბორჯომ-ბაკურიანის ვიწროლიანდაგიანი მატარებლის ელმავლის მოძველებული რელე-კონტაქტორული მართვის პრინციპის ჩანაცვლება თანამედროვე ელექტრონულ-იმპულსური მართვის მეთოდით. მართვის ენერგოეფექტური ინოვაციური ტექნოლოგიის დანერგვით მიღებულია ელექტროენერგიის დაზოგვის მაღალი მაჩვენებელი: მარტივი უკუგება 1,6 წ; წმინდა ეკონომია 116627ლ; ეკონომია/ინვესტიციაზე 3.1.

2. ელმავლის მართვის ელექტრონულ-იმპულსური მეთოდის სავსე გამოცდამ, ელექტროენერგიის მოხმარების მნიშვნელოვან შემცირებასთან ერთად, აჩვენა მაღალი საექსპლუატაციო შედეგები, რაც დადებითად აისახება მოძრაობის უსაფრთხოებაზე და გარემოს ეკოლოგიურ მდგომარეობაზე.

3. პირველად, ელმავლის მაღალი ძაბვის კაბელის (მუდმივი დენის 1500ვ ძაბვა) ერთ-ერთი მთავარი პარამეტრის-იზოლაციის წინაღობის გაზომვის შედეგის შეფასების მეთოდად გამოყენებულია, უცხოეთში უკანასკნელ ათწლეულში, ერთადერთ აღიარებულ მეთოდად მიჩნეული მეთოდი- გაზომვის შედეგის შეფასების „განუსაზღვრელობა“. ამ მეთოდით კაბელის ინტერვალური შეფასებისათვის მიღებულია  $P=0.95$  სანდო ალბათობით და  $k=2,03$  მოცვის კოეფიციენტით ინტერვალი ( $1.609 \leq R \leq 1.685$ ) მგომი.

4. მაღალი ძაბვის კაბელის იზოლაციის გაზომვის პერიოდული კონტროლი შედეგის უტყუარობის (სიზუსტის) შესაფასებლად -„განუსაზღვრელობის“ კონცეფციის გამოყენებით მნიშვნელოვანი საექსპლუატაციო ამოცანა გადაწყვეტილია მაღალი საიმედოობით, რაც ამცირებს მომსახურებაზე გაწეულ ხარჯებს. შექმნილია 12 ეტაპისაგან შედგენილი სამეზბნი პარამეტრის გაზომვის შედეგის „განუსაზღვრელობის“ შეფასების ავტომატიზირებული გაანგარიშების ალგორითმი.

5. ენერგოეფექტური ტექნოლოგიური ინოვაციის მაგალითია მეტროპოლიტენში მატარებლების დენმიმღებთან მოსრიალე კონტაქტის განსახორციელებლად გამოყენებული ლითონის საკონტაქტო სადენის-მესამე რელსის

შეცვლა მაღალეფექტური REHAU-ს ბიმეტალური საკონტაქტო რელსით. ეკონომიკური გაანგარიშებით ყოველი 1კმ საკონტაქტო რელსის REHAU-ს ბიმეტალური რელსით შეცვლის ეფექტი შეფასებულია შემდეგი პარამეტრებით:  $PV=4.18\text{წ}$  (მარტივი უკუგება);  $NPV= 147454\text{ლ}$  (წმინდა ეკონომია) და  $NPV/Q=1,32$  (ეკონომია/ინვესტიცია).

6. აღსანიშნავია პროექტის განვითარების შესაძლებლობა-საპილოტე დანერგვით მიღებული თანხების გამოყენება მესამე რელსის შესაცვლელად სხვა უბნებზეც (რელსის საერთო სიგრძე შეადგენს 69კმ-ს).

7. მეტროპოლიტენში გადაყვანილ მგზავრებსა და ერთის მხრივ ჯამურ ელექტრომობილარებსა და მეორეს მხრივ უშუალოდ წვევის აგრეგატების მიერ მოხმარებულ ელექტროენერჯის ნედლი მონაცემების სტატისტიკური კორელაციურ-რეგრესიული მეთოდით დამუშავებით მიღებულია ელექტრო-მობილარების საბაზისო მოდელი, რაც გამოყენებულია მონიტორინგის წელს მონაცემების ანალიზისათვის. ელექტროენერჯის დანაზოგმა შეადგინა 3%-დე მნიშვნელობა (აღსანიშნავია- დაზოგვა მიიღება ინვესტიციების გარეშე).

8. საქართველოს რკინიგზის ავჭალის ქვესადგურში რეაქტიული ენერჯის კომპენსაციით მიღებული ეფექტი შეფასებულია შემდეგი პარამეტრებით:  $PV=1,4\text{წ}$  (მარტივი უკუგება);  $NPV=896094\text{ლ}$  (წმინდა ეკონომია) და  $NPV/Q=3,4$  (ეკონომია/ინვესტიცია).

9. მეტროპოლიტენის მართვის სტრუქტურის ოპტიმიზაცია-ფინანსური დანახარჯების გარეშე, ითვალისწინებს კომპანიის მართვის სტრუქტურაში სხვადასხვა სამსახურებიდან წარმომადგენლებით შექმნილი ენერგეტიკული საბჭოს ჩამოყალიბებას, რაც ხელს შეუწყობს ენერჯის დანაკარგების აღმოჩენას, მათ ანალიზს და ენერგოეფექტური ღონისძიებების პრიორიტეტების მიხედვით დანერგვას ენერჯის ეფექტურად დაზოგვის მიზნით.

## დისერტაციის თემაზე გამოქვეყნებული სამეცნიერო შრომები:

1. ხურცილავა გ., კილურაძე ო. მეტროპოლიტენის ენერგომოხმარების კორელაციურ-რეგრესიული ანალიზი. „ენერჯია“, 2022, №1(101), გვ. 48-56.
2. ხურცილავა გ. ჩს-11 ტიპის ელმავლის ენერგოეფექტური მართვის სისტემის გამოკვლევა საველე პირობებში. „ენერჯია“, 2021, №4(100), გვ.64-67.
3. ხურცილავა გ., კილურაძე ო. ენერგოეფექტური ღონისძიებები ელექტრულ ტრანსპორტზე. „ენერჯია“, 2021, №2(98), გვ.62-68.
4. ხურცილავა გ., ხურცილავა შ., ო.კილურაძე. ვიწროლიანდაგიანი „ბორჯომი-ბაკურიანის“ მატარებლის ელმავლის ენერგოეფექტური ელექტროკვების და საინფორმაციო დანიშნულების ელექტრონული კომპონენტების დამუშავება და ინსტალაცია. „ენერჯია“, 2021, №2(98), II ნაწილი, გვ.167-173.
5. ხურცილავა გ., ხურცილავა შ., კილურაძე ო. მეტროპოლიტენის მატარებლების საკონტაქტო რელსის მოდერნიზაცია. „ენერჯია“, 2021, №2(98), II ნაწილი, გვ. 173-175.
6. ხურცილავა გ., კილურაძე ო. მაღალი ძაბვის კაბელის ელექტროიზოლაციის გაზომვის შედეგის „განუსაზღვრელობის“ შეფასება. „ენერჯია“, 2021, №1(97), გვ. 21-29.

## Abstract

In the dissertation paper, the manual document is taken as an international standard established for standardization of energy systems management - ISO 50001 ("Energy Management Systems - Requirements for Use"). The standard allows the company to use a systematic approach to energy efficiency, energy security and energy consumption to achieve consistent improvement of the energy system. An important reason for the need to save energy is also the protection of the environment from ecological pollution. The ISO 50001 standard methodology is based on the principle of continuous improvement of the energy consumption process, consisting of the following circular stages: the intention and planning a change; Implementation of amendments; Check the change. As a result, energy savings and reducing greenhouse gases (CO<sub>2</sub>) are obtained. Below is discussed a number of energy-efficient innovative measures to be implemented by large electricity users. On the basis of the analysis of the electrical consumption data of the Borjomi-Bakuriani narrow-rail electric train locomotive electricity consumption, energy efficiency measure was developed: modernization of the outdated relay-contactor system of electric train with a modern contactless electronic-impulse method of control. For the first time, with the introduction of an innovative method based on advanced achievements of control system, a qualitative increase in the efficiency of the production is obtained (50% energy savings as a result of the field testing). As a result, interval-"indefinite" method of evaluating measurement errors has been used, instead of the traditional "measurement unambiguous error" method. By processing raw data on passengers transportation by underground and the total electricity consumption by using of stastic correlate-regressive method of crude data, a baseline model of electrical consumption has been adopted, which is used to analyze data during the monitoring year. During the baseline and monitoring years, investment works were not carried out in the metropolitan area, only the trainings and exams of the operational purpose of the service personnel were carried out. By processing electricity data consumed directly by traction aggregates, the result of the baseline model was clarified, and without investment, electricity savings were estimated as 2-3%. The issue of modernizing the solid rail used to make moving contact with subway trains is reviewed: replacing the existing old metal contact rail with a modern REHAU-type highly efficient polymer bimetal wire. In order to save electrical energy, reactive energy compensation issue has been researched upon the example of the Georgian Railway Avchala substation.

Chapter I discusses importance of energy efficiency especially for large electrical consumption objects: on electric transport, which are still operating technically and morally outdated technological aggregates and use inefficient methods of process control, which leads to increased electricity consumption. Energy analysis of various control systems of electric transport was conducted in terms of energy efficiency, and methods for reactive energy compensation.

Chapter II analyzes the old method of control the narrow-rail electric train of Borjomi-Bakuriani, and in order to save the electricity spent on traction, the feasibility of modernization is proved and implemented using modern achievements of electronics. A natural (field) test of locomotive was conducted in terms of energy consumption. The resulting economic effect is evaluated by the following indicators: PV-simple return 1,6

years; NPV-net savings 116627GEL; NPV/Q-ratio: Economy/investment 3.1. For evaluating the results of measuring the high voltage cable electro-insulation, the already internationally recognized "indefinite" method is used today, instead of the traditional – error measurement method.

Chapter III discusses the issue of modernizing the solid contact rail used to supply train: replacing the existing old metal contact rail with a modern REHAU type highly efficient polymer bimetal wire. The implementation of this event is estimated by modernizing every 1 km third rail with the following indicators: energy saving of 721 MWh/km /sec; PB-simple return 4,18 years; NPB net savings 147454 GEL; NPV/Q-Economy/Investment 1.32. It is important, to take measures that, without investing, give the effect of energy savings. An example of this is the energy savings obtained by improving the optimal operation of subway installations and devices, which is evaluated on the basis of correlation-regressive analysis of electricity use. Basic models are elaborated on the total number of passengers and total electricity consumption in metro in one case. In the second case the baseline models on number of passengers and directly trains traction` electricity consumption, which is used to process monitoring data and determine the values of the saved energy. Studies have shown that without investments in the metropolitan, it is possible to save 3% energy by improving only the exploitation rate of the equipment and installations. Also, energy savings can be achieved (without Investment) by creating an additional energy-based structure unit in the metropolitan area.

Chapter IV discusses the issue of compensation for the reactive energy of the Georgian Railway Avchala substation, which gives the following indicators of economic parameters: PV-march return 1.4 y; NPV net savings 896094 GEL; NPV/Q-economy/investment of 3.4.