

620.9(05)

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

კავშირი
"მეცნიერება და ენერგეტიკა"

ენერგეტიკა

სამეცნიერო-ტექნიკური
რეფერირებადი ჟურნალი

1(112)/2025

თბილისი

ISSN 1512-0120

სარედაქციო კოლეგია:

მთავარი რედაქტორი – მერაბ ლორთქიფანიძე

მთავარი რედაქტორის მოადგილე – შალვა გაგოშიძე, გრიგოლ ხელიძე

სარედაქციო კოლეგიის წევრები: რ.არველაძე, გ.არაბიძე, ი.ბიჯამოვი, გ.გიგინეიშვილი, დ.გურგენიძე, მ.ჯიშკარიანი, თ.კიზირია, გ.კოხრეიძე, გ.ლექიშვილი, მ.ლომსაძე-კუჭავა, მ.მადრაძე, თ.მიქიაშვილი, თ.მუსელიანი, ლ.მებონია, დ.ნამგალაძე, ს.ნემსაძე, ნ.ქეცხიშვილი, ქ.ქუთათელაძე, ა.ჭითანავა, ლ.შატაკიშვილი, ბ.ჭუნაშვილი, ა.ჩიქოვანი, რ.ჩიხლაძე, თ.ჯიშკარიანი, ნ.ჩახვაშვილი (პასუხისმგებელი რედაქტორი), ზ.სკვორცოვა (რუსეთი), კ.სეიხანი (თურქეთი), პ.პსაროპულოსი (საბერძნეთი), ა.სარუხანიანი (სომხეთი), ა.კუელიევი (აზერბაიჯანი).

EDITORIAL BOARD:

The editor-in-chief – Merab Lordkipanidze

Deputy of the editor-in-chief - Shalva Gagoshidze, Grigol Khelidze

Editorial board members: R.Arveladze, G.Arabidze, Y.Bijamov, G.Gigineishvili, D.Gurgenidze, M.Jishkariani, T.Kiziria, N.Kevkhishvili, G.Kokhreidze, K.Kutateladze, G.Lekishvili, M.Lomsadze-Kuchava, M.Magradze, T.Mikiashvili, T.Museliani, I.Mebonia, D.Namgaladze, S.Nemsadze, L.Shatakishvili, B.Tchunashvili, A.Tshitana, A.Chikovani, R.Chikhladze, T.Jishkariani, N.Chakhvashvili (managing -editor- in-chief), Z.Skvortsova (Russia), K.Seyhan (Turkey), P.Psarropoulos (Greece), A.Sarukhanian (Armenia), A.Kuliev (Azerbaijan).

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Главный редактор – Мераб Лордкипанидзе

Заместитель главного редактора – Шалва Гагошидзе, Григол Хелидзе

Члены редакционной коллегии: Р.Арвеладзе, Г.Арабидзе, Я.Биджамов, Г.Гигинеишвили, Д.Гургенидзе, М.Джишкарини, Т.Кизирия, Г.Кохреидзе, Н.Кувхишвили, К.Кутателадзе, Г.Лекишвили, М.Ломсадзе-Кучава, М.Маградзе, Т.Микиашвили, Т.Муселиани, Л.Мებონია, Д.Намгалаძე, С.Немсадзе, Л.შატაკიშვილი, А.Читанава, А.Чиковани, Р.Чихладзе, Б.Чунашвили, Т.Джишкарини, Н.Чахвашвили (ответственный редактор), З.Скворцова (Россия), К.Сейхан (Турция), П.Псаропулос (Греция), А.Саруханян (Армения), А.Кулиев (Азербайджан).

ნომრის მომზადებაში მონაწილეობდნენ:

ტექნ. მეცნ. კანდიდატი ნ.ბარაბაძე, ე.ზამბახიძე, ბ.ბურჭულაძე (ნომრის კომპიუტერული აწყობა-დაკავალდება), ი.თუმანიშვილი (ტექსტის რედაქტირება).

ჟურნალ "ენერგიის" რედაქციის მისამართი: 0171 თბილისი, სტუ; ტელ. 218-09-51

The address: office of journal "Energy": 0171, Georgia, Tbilisi, GTU; Ph. 218-09-51.

Адрес редакции журнала "Энергия": 0171, ГТУ, Грузия, Тбилиси; тел. 218-09-51

რეგისტრაციის ნომერი № 5 / 4 - 645

© "ენერგია". 2011

www.Energyonline.ge

ს ა რ ზ მ ზ ი

83.

თ.მუსელიანი, ი.ვახტანგაძე, გ.ვახტანგაძე, ო.ბურდიაშვილი, ბ.ჯინჭველეიშვილი, ა.ყამარაული. 100 მგვტ სიმძლავრის ბატარეას ელექტროენერგიის დამაგროვებელი სისტემის ორმხრივი ნახევარგამტარული გარდამქმნელის მართვის იმიტირებული მოდელი ენერგიის მართვის სისტემის გამოყენებით.....	5
G.Tskhomelidze. Study Of The Challenges Associated With Transitioning To Led Lighting In Public Buildings.....	14
მ.ახობაძე, ელ. კურცხალია, ა.ბუზალაძე, მ.ნიჟარაძე. სისტემის მდგრადობის დინამიკის შეფასება Q ანალიზის მეთოდით	20
თ.მუსელიანი, ი.ვახტანგაძე, გ.ვახტანგაძე, ო.ბურდიაშვილი, ბ.ჯინჭველეიშვილი, ა.ყამარაული. 200 მგვტ სიმძლავრის ბატარეას ელექტროენერგიის დამაგროვებელი სისტემის ორმხრივი ნახევარგამტარული გარდამქმნელის მართვის იმიტირებული მოდელი ენერგიის მართვის სისტემის გამოყენებით.....	27
ტ.შერგელაშვილი, ნ.გოზალიშვილი, გ.სულაქველიძე. რეაქტიული სიმძლავრით გამოწვეული აქტიური ელექტროენერგიის დანაკარგები, მათი შემცირების ტექნიკური ღონისძიებები და ფინანსური ეფექტი.....	35
გ.ხორბალაძე, ზ.გაჩეჩილაძე, გოჩა კოხრეიძე, ი.ვახტანგაძე, ნ.გოზალიშვილი. ინოვაციური პროგნოზირების მეთოდები ელექტროენერგიის მოხმარებაში: თბილისის მოხმარების დაგეგმვა.....	41
მ.რაზმაძე, ივ.გრძელიძე. ზამზარის მანომეტრის კალიბრება დგუშიანი სანიმუშო მანომეტრით და გაზომვის განუსაზღვრელობის შეფასება.....	53
ლ.პაპავა, მ.რაზმაძე, ა.ლაზარაშვილი, გ.გუგულაშვილი. აკუსტიკური ბგერების გამოყენებით ხილის შოკური გაყინვის ახალი მეთოდი და მოწყობილობა.....	62
ზ.მეგრელიშვილი, გ.ბოლქვაძე, დ.ჩხუბიანი. ფიტოსისტემები საქართველოში: პრობლემები და პერსპექტივები.....	70
ლ.პაპავა, თ.ისაკაძე, მ.რაზმაძე, გ.გუგულაშვილი, გ.დავითაია. მზის კოლექტორი.....	81
გ.ხუციშვილი, მ.დვალაძე. ასინქრონული ელექტროძრავის დაცვის ციფრული SEL-710 რელეს უპირატესობა ძველ ელექტრომექანიკურ რელესთან შედარებით.....	88
სტატიის მიღების წესები.....	94

100 მგვტ სიმძლავრის ბატარეას ელექტროენერგიის დამაგროვებელი სისტემის ორმხრივი
ნახევარგამტარული გარდამქმნელის მართვის იმიტირებული მოდელი ენერგიის
მართვის სისტემის გამოყენებით

*თენგიზ მუსელიანი - პროფესორი

E-mail: museliani@yahoo.com

*ირაკლი ვახტანგაძე - ასისტენტ-პროფესორი

E-mail i.vakhtangadze@gtu.ge

**გიორგი ვახტანგაძე - დოქტორი

E-mail giorgi.vakhtangadze@gse.com.ge

**ომარ ბურდიაშვილი - დოქტორი

E-mail omar.burdiashvili@gse.com.ge

*ბორის ჯინჭველეიშვილი - დოქტორანტი

E-mail: jinchveleishvili.boris22@gtu.ge

**ანი ყამარაული - მაგისტრი

E-mail: ani.kamarauli@gse.com.ge.

*საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

**სს „საქართველოს სახელმწიფო ელექტროსისტემა“

ანოტაცია. განხილულია ბატარეას ელექტროენერგიის დამაგროვებელი სისტემის მართვის იმიტირებული მოდელი, როდესაც სისტემა მუშაობს იზოლირებულ რეჟიმში, რა დროსაც ხდება 100 მგვტ-ზე მეტი გენერაციის ავარიული გაჩერება და ასევე, როდესაც სისტემა მუშაობს სინქრონულ რეჟიმში მეზობელ ელექტროენერგეტიკულ სისტემასთან, მიმდინარეობს 300 მგვტ-დან 600 მგვტ-მდე იმპორტი და მყისიერად ხდება იმპორტის შეწყვეტა სხვადასხვა მიზეზებით, განვიხილოთ სხვადასხვა შემთხვევები მათ შორის:

1. სისტემათაშორისო ხაზზე, რომელზეც მიმდინარეობს იმპორტი ხდება ხაზის გამორთვა მეორე ბოლოში, იგულისხმება მეზობელი სისტემის ქვესადგურში, ხოლო ხაზის თავში ანუ საქართველოს ენერგოსისტემის ქვესადგურში ხაზი რჩება ჩართულ მდგომარეობაში, რა დროსაც ავარიის საწინააღმდეგო ავტომატიკა არ მუშაობს;

2. სისტემათაშორისო ხაზზე, რომელზეც მიმდინარეობს იმპორტი ხდება ხაზის გამორთვა ორივე ბოლოში, მაგრამ ოპტიკურ ბოჭკოვანი კაბელის გაუმართაობის, პროგრამული ხარვეზის გამო არ შედის მოქმედებაში ავარიის საწინააღმდეგო ავტომატიკა (ასა);

3. სისტემის ავტონომიურ რეჟიმში მუშაობის დროს დაიბლოკა ასა-ს ავტომატიკა ტექნიკური გაუმართაობის გამო და მუშაობაში რჩება მხოლოდ სიხშირის ავტომატური განტვირთვის ავტომატიკა (საგი) [1,5].

საკვანძო სიტყვები: ბატარეას ელექტროენერგიის დამაგროვებელი სისტემა, სიხშირე, ძაბვა, მაქსიმალური მოხმარების რეჟიმი, მინიმალური მოხმარების რეჟიმი, სტატიზმის კოეფიციენტი.

შესავალი

ელექტროენერგიის დამაგროვებელი მოწყობილობის სიხშირის პირველად რეგულირებაში მონაწილეობის მხრივ გაკეთებულია შემდეგი დაშვება:

- სიხშირის პირველად რეგულირებაში მონაწილეობას იღებს 100 მგვტ დადგმული სიმძლავრის ბატარეა (BESS);
- სტატიზმის კოეფიციენტი შეადგენს 2%-ს

$$S(\%) = 100 \frac{|\Delta f|}{f_{\text{ნომ}}} \frac{P_{\text{შეღ}}}{|\Delta P|}$$

სიხშირის მკვედარი ზონა, უგრძნობელობის ზონის გათვალისწინებით, შეადგენს 10 მლპც-ს (0.01 ჰც);

ქვემოთ განხილულ მოხმარების რეჟიმებში, გაანალიზდა სხვადასხვა სიმძლავრის შემფოთების გავლენა საქართველოს ელექტროსისტემის სიხშირის მდგრადობაზე, სიჩქარის რეგულატორების შემდეგი შემადგენლობისას:

- სიჩქარის რეგულატორები გააქტიურებულია პერსპექტიული სადგურების მხოლოდ ერთ აგრეგატზე, რომელიც რეჟიმულად არის ჩართული;

- სიხშირე რეგულირდება როგორც სიჩქარის რეგულატორის ასევე 100 მგვტ სიმძლავრის ელ. ენერგიის დამაგროვებელი მოწყობილობის (BESS) მიერ;

პერსპექტიული სადგურების აგრეგატების სიმძლავრის აღების (სიმძლავრის მომატების) სიჩქარე 3,33%/წმ [6,11].

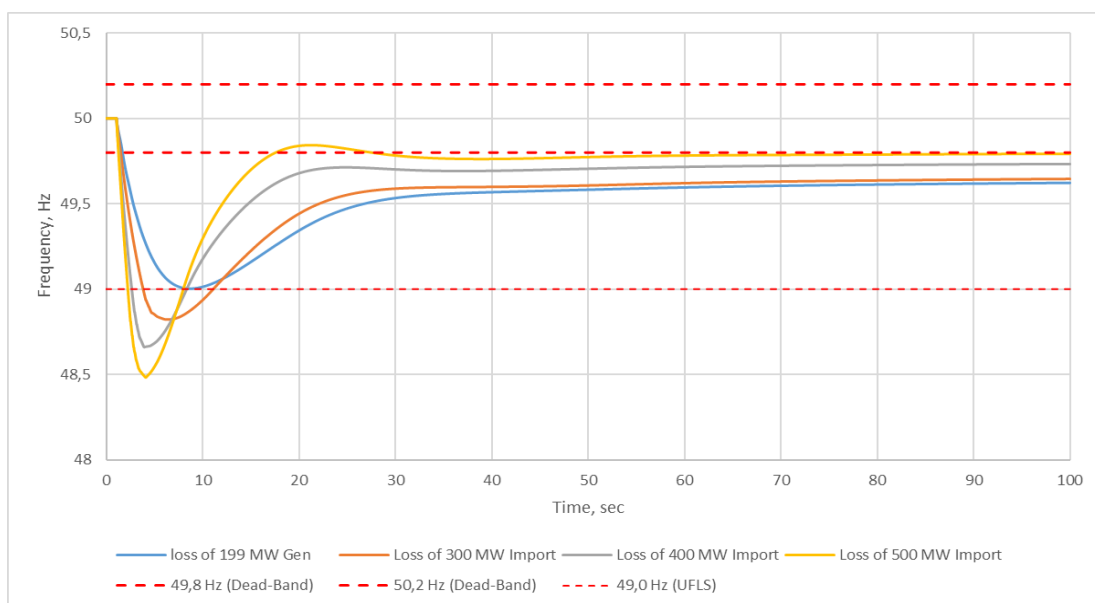
1. ზამთრის მაქსიმალური მოხმარების რეჟიმი

საქართველოს ელექტროსისტემაში სიხშირე რეგულირდება როგორც სიჩქარის რეგულატორების ასევე 100 მგვტ სიმძლავრის ელექტროენერგიის დამაგროვებელი მოწყობილობის (BESS) მიერ

სიჩქარის რეგულატორი პერსპექტიული სადგურების მხოლოდ ერთ აგრეგატზე

ამ სცენარში ჩატარდა 199 მგვტ-ით დატვირთული აგრეგატის და სისტემათაშორისო ხაზის გამორთვის მოდელირება. სისტემათაშორისო ხაზის დატვირთვა იცვლება 300 მგვტ-დან 500 მგვტ-ის ჩათვლით 100 მგვტ სიმძლავრის ტოლი ბიჯით. სიმულაციის შედეგად მიღებული სიხშირის ცვლილების მრუდები წარმოდგენილია ნახ. 1-ზე. 199 მგვტ სიმძლავრით დატვირთული აგრეგატის გამორთვა, განხილულ რეჟიმში, იწვევს სიხშირის საგ-ის ამოქმედების ზღვრამდე შემცირებას. სხვადასხვა სიმძლავრით დატვირთული სისტემათაშორისო ხაზის გამორთვა იწვევს საგ-ის ამოქმედებას. იმ შემთხვევაში, როდესაც გამოირთო 500 მგვტ-ით დატვირთული სისტემათაშორისო ხაზი, საგ-მა გამორთო ის მინაერთები რომლებზეც სიხშირის დანაყენი შეადგენს 48,5 ჰც-ს.

თითოეული სიმულაციისას საქართველოს ელექტროსისტემაში დაფიქსირებული სიხშირის მაქსიმალური დინამიკური გადახრა და შემფოთების სიდიდე წარმოდგენილია ცხრ. 1 და 2-ში.



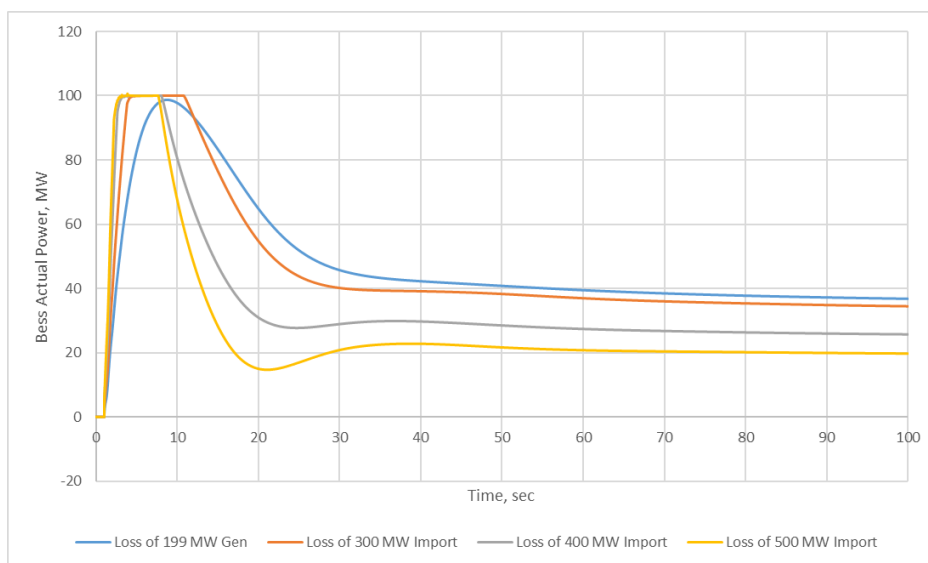
ნახ. 1.

ცხრილი 1

შეშვოთების სიდიდე, მგვტ	199	300	400	500
სიხშირის მაქსიმალური დინამიკური გადახრა, ჰც	1,00	1,18	1,34	1,52

ცხრილი 2

შეშვოთების სიდიდე, მგვტ	ამოქმედებული საფეხურების რაოდენობა	გამორთული ჯამური მოხმარება, მგვტ
199	0	0
300	2	117,05
400	4	272,10
500	6	413,30



ნახ. 2.

2. ზამთრის მინიმალური მოხმარების რეჟიმი

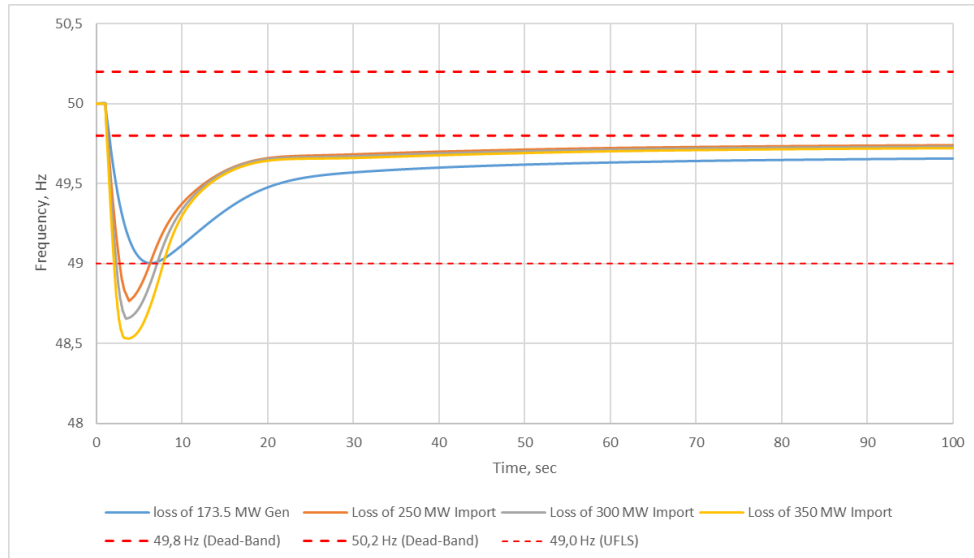
საქართველოს ელექტროსისტემაში სიხშირე რეგულირდება როგორც სიჩქარის რეგულატორების ასევე 100 მგვტ სიმძლავრის ელ. ენერგიის დამაგროვებელი მოწყობილობის (BESS) მიერ

სიჩქარის რეგულატორი პერსპექტიული სადგურების მხოლოდ ერთ აგრეგატზე

ამ სცენარში ჩატარდა 173.5 მგვტ-ით დატვირთული აგრეგატის და სხვადასხვა სიმძლავრით დატვირთული სისტემათაშორისო ხაზის გამორთვის მოდელირება. სისტემათაშორისო ხაზის დატვირთვა იცვლება 250 მგვტ-დან 350 მგვტ-ის

ჩათვლით 50 მგვტ სიმძლავრის ტოლი ბიჯით. სიმულაციის შედეგად მიღებული სიხშირის ცვლილების მრუდები წარმოდგენილია ნახ. 3-ზე. 173.5 მგვტ სიმძლავრით დატვირთული აგრეგატის გამორთვა, განხილულ რეჟიმში, იწვევს სიხშირის საგ-ის ამოქმედების ზღვრამდე შემცირებას. სხვადასხვა სიმძლავრით დატვირთული სისტემათაშორისო ხაზის გამორთვა იწვევს საგ-ის ამოქმედებას.

თითოეული სიმულაციისას საქართველოს ელექტროსისტემაში დაფიქსირებული სიხშირის მაქსიმალური დინამიკური გადახრა და შეშვოთების სიდიდე წარმოდგენილია ცხრ. 3 და 4-ში.



ნახ. 3.

ცხრილი 3

შემფოთების სიდიდე, მგვტ	173.5	250	300	350
სიხშირის მაქსიმალური დინამიკური გადახრა, ჰც	1,00	1,23	1,35	1,47

ცხრილი 4

შემფოთების სიდიდე, მგვტ	ამოქმედებული საფეხურების რაოდენობა	გამორთული ჯამური მოხმარება, მგვტ
173.5	0	0
250	3	125,06
300	4	171,38
350	5	217,14

3. ზაფხულის მაქსიმალური მოხმარების რეჟიმი

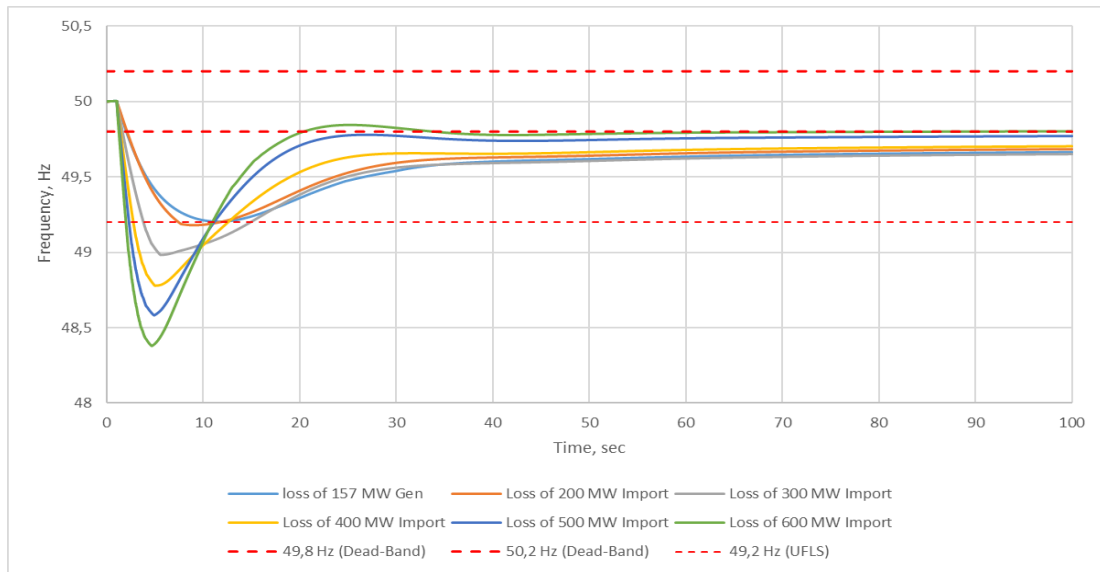
საქართველოს ელექტროსისტემაში სიხშირე რეგულირდება როგორც სიჩქარის რეგულატორების ასევე 100 მგვტ სიმძლავრის ელ. ენერგიის დამაგროვებელი მოწყობილობის (BESS) მიერ

სიჩქარის რეგულატორი პერსპექტიული სადგურების მხოლოდ ერთ აგრეგატზე

ამ სცენარში ჩატარდა 157 მგვტ-ით დატვირთული აგრეგატის და სისტემათაშორისო ხაზის გამორთვის მოდელირება. სისტემათაშორისო ხაზის დატვირთვა იცვლება 200 მგვტ-დან 600 მგვტ-ის

ჩათვლით 100 მგვტ სიმძლავრის ტოლი ბიჯით. სიმულაციის შედეგები წარმოდგენილია ნახ. 4-ზე. 157 მგვტ სიმძლავრით დატვირთული აგრეგატის გამორთვა, განხილულ რეჟიმში, იწვევს სიხშირის საგ-ის ამოქმედების ზღვრამდე შემცირებას. სხვადასხვა სიმძლავრით დატვირთული სისტემათაშორისო ხაზის გამორთვა იწვევს საგ-ის ამოქმედებას.

თითოეული სიმულაციისას საქართველოს ელექტროსისტემაში დაფიქსირებული სიხშირის მაქსიმალური დინამიკური გადახრა და შემფოთების სიდიდე წარმოდგენილია ცხრ. 5 და 6-ში.



ნახ. 4.

ცხრილი 5

შეშვითების სიდიდე, მგვტ	157	200	300	400	500
სიხშირის მაქსიმალური დინამიკური გადახრა, ჰც	0,80	0,82	1,02	1,22	1,42

ცხრილი 6

შეშვითების სიდიდე, მგვტ	ამოქმედებული საფეხურების რაოდენობა	გამორთული ჯამური მოხმარება, მგვტ
157	0	0
200	1	28,57
300	3	211,36
400	5	347,31
500	7	493,68

4. ზაფხულის მინიმალური მოხმარების რეჟიმი

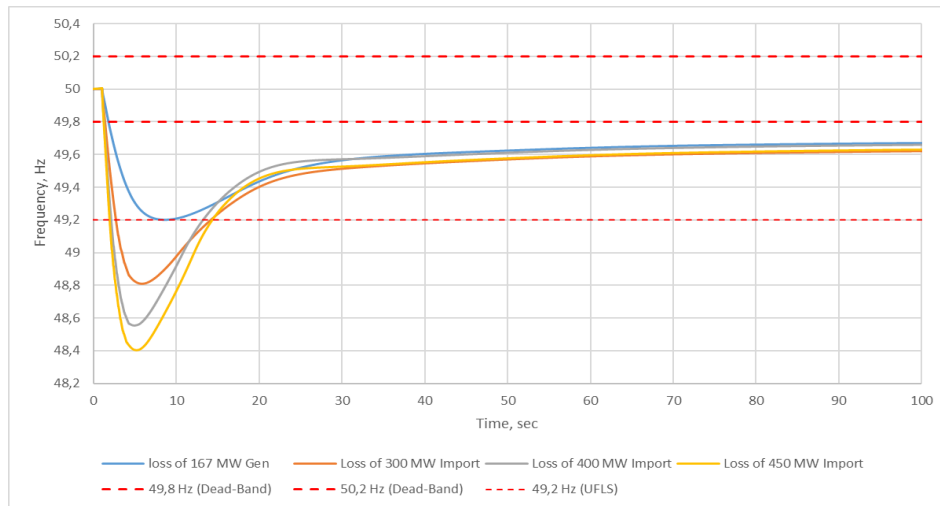
საქართველოს ელექტროსისტემაში სიხშირე რეგულირდება როგორც სიჩქარის რეგულატორების ასევე 100 მგვტ სიმძლავრის ელ. ენერგიის დამაგროვებელი მოწყობილობის (BESS) მიერ

სიჩქარის რეგულატორი პერსპექტიული სადგურების მხოლოდ ერთ აგრეგატზე

ამ სცენარში ჩატარდა 167 მგვტ-ით დატვირთული აგრეგატის და სხვადასხვა სიმძლავრით დატვირთული სისტემათაშორისო ხაზის გამორთვის მოდელირება. სისტემათაშორისო ხაზის დატვირთვა იცვლება 300 მგვტ-დან 450 მგვტ-ის

ჩათვლით. 300 მგვტ-დან 400 მგვტ-მდე 100 მგვტ სიმძლავრის, ხოლო 400 მგვტ-დან 450 მგვტ-ის ჩათვლით 50 მგვტ სიმძლავრის ტოლი ბიჯით. სიმულაციის შედეგები წარმოდგენილია ნახ. 5-ზე. 167 მგვტ სიმძლავრით დატვირთული აგრეგატის გამორთვა, განხილულ რეჟიმში, იწვევს სიხშირის საგ-ის ამოქმედების ზღვრამდე შემცირებას. სხვადასხვა სიმძლავრით დატვირთული სისტემათაშორისო ხაზის გამორთვა იწვევს საგ-ის ამოქმედებას.

თითოეული სიმულაციისას საქართველოს ელექტროსისტემაში დაფიქსირებული სიხშირის მაქსიმალური დინამიკური გადახრა და შეშვითების სიდიდე წარმოდგენილია ცხრ. 7 და 8-ში.



ნახ. 5.

ცხრილი 7

შეშვოთების სიდიდე, მგვტ	167	300	400	450
სიხშირის მაქსიმალური დინამიკური გადახრა, ჰც	0,80	1,19	1,45	1,60

ცხრილი 8

შეშვოთების სიდიდე, მგვტ	ამოქმედებული საფეხურების რაოდენობა	გამორთული ჯამური მოხმარება, მგვტ
167	0	0
300	4	176,89
400	7	310,97
450	8	348,26

დასკვნა

არსებული რეგულატორები, რაც მოქმედია დღეს ელექტროენერგეტიკული სისტემის დინამიკური მდგრადობის შენარჩუნების მიზნით, რეაგირებისთვის მოითხოვს გარკვეულ დროს და მოქმედებს დროის დაყოვნებით, ხოლო თანამედროვე ბატარეას ელექტროენერგიის დამაგროვებელ სისტემებს, როგორც უკვე აღნიშნეთ გააჩნია ენერგიის მართვის სისტემა, დროის დაყოვნების გარეშე რეაგირებს შეშვოთებებზე [12,15].

ყოველივე ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე ბატარეას ელექტროენერგიის დამაგროვებელი სისტემები უზრუნველყოფს რეაგირებას ყოველგვარ შეშვოთებებზე და ელექტროენერგეტიკულ სისტემას არ

გადაიყვანს ავარიის წინა და მითუმეტეს ავარიულ რეჟიმში.

ლიტერატურა

1. ჯინჭველეიშვილი ბ. (2022). In order to increase the stability of the electric power system, installation of energy storage near 500 kv substations and justification of its need. სამეცნ.-ტექნ. რეფერირებადი ჟურნალი ენერგია. №3-4(103-104)/2022. 90–95. <https://energyonline.ge/issue16/13-Jintchveli.pdf> https://dSPACE.nplg.gov.ge/bitstream/1234/417046/1/Energia_2022_N3-4.pdf
2. ჯინჭველეიშვილი ბ. (2023). დიდი სიმძლავრის ელექტროენერგიის დამაგროვებლები ელექტროენერგეტიკული სისტემის რეჟიმული მდგრადობის უწყვეტ რეჟიმში შენარჩუნების უზრუნველყოფისათვის და კონკურენტული ბაზრების განვითარებისთვის

საქართველოში. სამეცნ.-ტექნ. რეფერირებადი ჟურნალი „ენერგია“. №1(105)/2023.13-21. https://dSPACE.nplg.gov.ge/bitstream/1234/444438/1/Energia_2023_N1.pdf

3. მუსელიანი თ. და ჯინჭველეიშვილი ბ. (2023). კონკურენტული ბაზრების პირობებში ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში ელექტროენერგიის დამაგროვებლების ეკონომიკური სარგებლიანობის შეფასება. სამეცნიერო-ტექნიკური რეფერირებადი ჟურნალი ენერგია. №1(105)/2023. 22-27. https://dSPACE.nplg.gov.ge/bitstream/1234/444438/1/Energia_2023_N1.pdf

4. მუსელიანი თ. და ჯინჭველეიშვილი ბ. (2023). ბატარეას ენერგიის დამაგროვებელი სისტემა, რომლის მიზანია გახადოს ენერგეტიკის სექტორი უფრო ხელსაყრელი, კლიმატთან და გარემოსთან მიმართებაში უფრო ეფექტური და კონკურენტუნარიანი, უსაფრთხო და მდგრადი. სამეცნიერო-ტექნიკური რეფერირებადი ჟურნალი ენერგია. №2(106)/2023. 24 – 36.

5. მუსელიანი თ. და ჯინჭველეიშვილი ბ. (2023). ელექტროენერგიის დამაგროვებლების გამოყენების ეკონომიური ეფექტურობა ენერგოსისტემაში. IV საერთაშორისო სამეცნ.-ტექნ. კონფერენცია, ნოემბერი 20-22, 2023, სერია: „ენერგეტიკის თანამედროვე პრობლემები და მათი გადაწყვეტის გზები“. 3(107)/2023. 42-45.

https://dSPACE.nplg.gov.ge/bitstream/1234/475462/1/Energia_2023_N3_Naw_I.pdf

6. მუსელიანი თ. და ჯინჭველეიშვილი ბ. (2023). In order to increase the stability of the electric power system, installation of battery energy storage system near 500 kv substations and justification of its need. International organization of scientific research – IOSR-JEEE. E-ISSN:2278-1676, p-ISSN:2320-3331, Volume 18, Issue 4 Ser. I (July.-August. 2023). 12–15. <https://www.iosrjournals.org/iosr-jeee/Papers/Vol18-Issue4/Ser-1/C1804011215.pdf>

7. მუსელიანი თ. და ჯინჭველეიშვილი ბ. (2024). ელექტროენერგეტიკული სისტემის დინამიკური მდგრადობის გაუმჯობესების შესაძლო ვარიანტების განხილვა, ბატარეას ელექტროენერგიის დამაგროვებელი სისტემების და ფოტოელექტრონული სისტემების დანერგვით საქართველოში. სამეცნიერო-ტექნიკური რეფერირებადი ჟურნალი ენერგია. №1(109)/2024. 20 – 27.

https://dSPACE.nplg.gov.ge/bitstream/1234/497100/1/Energia_2024_N1.pdf

8. ჯინჭველეიშვილი ბ. (2024). ელექტროენერგეტიკული სისტემის დინამიკური მდგრადობის კვლევა 500კვ კ/ს „ქსანი-500“-ის მიმდებარედ 200 მგვტ-ის სიმძლავრის ბატარეას ელექტროენერგიის დამაგროვებელი სისტემის გამოყენებით. სამეცნიერო-ტექნიკური რეფერირებადი ჟურნალი ენერგია. №1(109). 2024. 36–39.

https://dSPACE.nplg.gov.ge/bitstream/1234/497100/1/Energia_2024_N1.pdf

9. მუსელიანი თ. და ჯინჭველეიშვილი ბ. (2024). ელექტროენერგეტიკული სისტემის დინამიკური მდგრადობის შენარჩუნება ნებისმიერი მყისიერი შემფოთებების დროს ბატარეას ელექტროენერგიის დამაგროვებელი სისტემების გამოყენებით. სამეცნიერო-ტექნიკური რეფერირებადი ჟურნალი ენერგია. №1(109). 2024. 40–48.

https://dSPACE.nplg.gov.ge/bitstream/1234/497100/1/Energia_2024_N1.pdf

10. მუსელიანი თ., ვახტანგაძე ი. და ჯინჭველეიშვილი ბ. (2024). გამანაწილებელ ქსელში ბატარეას ელექტროენერგიის დამაგროვებელი სისტემების შერჩევისა და მათი მდებარეობის ანალიზი. სამეცნიერო-ტექნიკური რეფერირებადი ჟურნალი ენერგია. №2(110)/2024. 11 – 23.

11. მუსელიანი თ. და ჯინჭველეიშვილი ბ. (2024). ელექტროენერგეტიკული სისტემის დინამიკური მდგრადობის შენარჩუნება მყისიერი შემფოთებების დროს ბატარეას ელენერგიის დამაგროვებელი სისტემის გამოყენებით. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სტუდენტთა 88-ე ღია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია, ელექტროტექნიკისა და ელექტრონიკის სექცია, 1 ადგილი.

<https://www.interpressnews.ge/ka/article/801008-stu-is-studentta-88-e-gia-saertashoriso-samecniero-konperenciis-parglebshi-energetikis-pakultetma-gamarjvebulebi-gamoavlina/>

12. მუსელიანი თ., მუსელიანი გ. და ჯინჭველეიშვილი ბ. (2024). ელექტროენერგიის დამაგროვებელი სისტემების საზღვარგარეთის გამოცდილება. ენერგეტიკულ სისტემათა ინჟინერიის პირველი საერთაშორისო კონგრესი, აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, INESEC 2024, სექცია 1: ელექტროენერგეტიკული მრეწველობის ტექნოლოგია. 24-25.

<https://www.atsu.edu.ge/ge/faculty/8-sainzhinroteknikuri-pakulteti/news/1992-i->

[saertashoriso-kongresi-energetikuli-sistemebis-inzhineriashi-inesec2024](#)

13. მუსელიანი თ., ჯინჭველეიშვილი ბ. და ყამარაული ა. (2024). ბატარეას ელექტროენერგიის დამაგროვებელი სისტემების გამოყენებით ქვეყნის გადამცემი სისტემის უსაფრთხო მუშაობის უპირატესობები. სამეცნ.-ტექნ. რეფერირებადი ჟურნალი ენერგია. №3(111)/2024. 5 – 10.

14. მუსელიანი თ. და ჯინჭველეიშვილი,ბ. (2024). საქართველოს ელექტროსისტემის დინამიკური მდგრადობის ანალიზი ბატარეის

ელექტროენერგიის დამაგროვებელ სისტემებში ინტეგრირებული ორმხრივი ნახევარგამტარული გარდამსახების და ენერგიის მართვის სისტემის გამოყენებით. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამეცნიერო შრომების კრებული. SCOPUS CODE 2105. №4(534)/2024. 146–154. <https://shromebi.gtu.ge/admin/uploads/4%2C2024/014-museliani.pdf>

15. ლოლაშვილი მ. (2023). English For Power Engineers//Journal- საქართველოს სახელმწიფო ელექტროსისტემა. №1/2023. 4115.

A SIMULATED MODEL OF CONTROLLING A 100 MW BATTERY ENERGY STORAGE SYSTEM USING A BIDIRECTIONAL SEMICONDUCTOR CONVERTER USING AN ENERGY MANAGEMENT SYSTEM.

T.Museliani, I.Vakhtangadze, G.Vakhtangadze, O.burdiashvili, B.Jintchveleishvili, A.Kamarauli, “Energy”. №1(112). 2025. Tbilisi. p.. 5-13. geo. sum geo. engl.rus.

In the article, a simulated BESS control model is implemented in the program „DIGSILENT PowerFactory“ when the system operates in isolated mode, during which an emergency shutdown of more than 100 MW of generation occurs, and also when the system operates in synchronous mode with a neighboring power system, an import of 300 MW to 600 MW is underway and the import is instantly terminated for various reasons. Let's consider various cases, including:

1. On the inter-system line on which the import is taking place, the line is disconnected at the other end, meaning at the substation of the neighboring system, while at the head of the line, i.e. at the substation of the Georgian energy system, the line remains connected, during which the automatic anti-accident system does not work;

2. The inter-system line on which the import is taking place is shut down at both ends, but due to a malfunction of the fiber optic cable or a software error, the automatic anti-accident system does not come into operation;

3. During the system's autonomous operation, the anti-accident automatics were blocked due to a technical malfunction and only the “automatic frequency unloading” automatics remain in operation.

Ill. 5, tabl. 8, bibl. 15.

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ НАКОПЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ МОЩНОСТЬЮ 100 МВт С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДВУНАПРАВЛЕННОГО ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИКОЙ.

Т.Муселиани, И.Вахтангадзе, Г.Вахтангадзе, О.Бурдиашвили, Б.Джинчвелелишвили, А.Камараули,

“Энергия”. № 1(112).2025 . Тбилиси. с. 5-13 . груз. реф. груз.англ. рус.

В статье реализована имитационная модель управления BESS в программе «DIGSILENT PowerFactory» при работе системы в изолированном режиме, где происходит аварийное отключение более 100 МВт генерации, а также системы в синхронном режиме с соседней энергосистемой, в ходе которого идет импорт от 300 МВт до 600 МВт, в результате чего импорт мгновенно прекращается по разным причинам. Рассмотрим различные случаи, в том числе:

1. На межсистемной линии, по которой происходит импорт, линия отключается на другом конце, т. е. на подстанции соседней системы, а в голове линии, т. е. на подстанции Грузинской энергосистемы, линия остается подключенной, при этом автоматика противоаварийной защиты не работает.

2. Межсистемная линия, по которой происходит импорт, отключается на обоих концах, но из-за неисправности оптоволоконного кабеля или ошибки программного обеспечения, автоматика противоаварийной защиты не срабатывает.

3. Во время автономной работы системы автоматика противоаварийной защиты была заблокирована из-за технической неисправности, вследствие чего осталась только автоматика «автоматической разгрузки частоты».

Илл. 5, табл. 8, лит. 15 назв.

STUDY OF THE CHALLENGES ASSOCIATED WITH TRANSITIONING TO LED LIGHTING IN PUBLIC BUILDINGS

Guram Tskhomelidze - Candidate of Technical Science, Professor,
E-mail: guram.65@mail.ru

Georgian Technical University

Abstract. The article examines the challenges associated with the transition to LED lighting in public buildings and provides recommendations for addressing them. One of the key issues arises from the pulsating nature of LED lamp currents, which leads to the summation of distorted currents from individual phases within a three-phase power supply system. This accumulation results in excessive current levels in the neutral wire, increasing the risk of overheating and potential fire hazards. Additionally, the presence of high-order harmonic components contributes to supply voltage distortion, which can interfere with the operation of voltage-sensitive and smart devices. The study demonstrates that, despite minimal voltage fluctuations and compliance with standard power factor requirements, the current in the neutral wire can reach critical levels due to harmonic distortions. The article presents harmonic spectrum oscillograms of the affected currents and explores potential solutions to mitigate these issues, ensuring the safe and efficient integration of LED lighting in public buildings.

Keywords: LED lighting, EMC, Harmonic components, neutral wire, accumulation of current

In the modern stage of technological development, the introduction of LED lighting in facilities with high electricity consumption, especially in public buildings, is becoming increasingly relevant. This is substantiated by the fact that the cost of electricity for commercial facilities has nearly doubled and now constitutes a significant portion of the budget for any large energy-consuming establishment. It is well-established that 20-30% of electricity consumption in public buildings is allocated to lighting. According to data from the Next Generation Lighting Industry Alliance (NGLIA), the United States expends \$60 billion annually on lighting-related electricity expenses. Furthermore, experts predict that a 50% reduction in costs can be achieved by transitioning to LED lighting between 2020 and 2025.

The introduction of LED lighting in public buildings offers several advantages:

- LED light sources emit light in a focused direction, which is especially crucial for public spaces and, notably, retail facilities;

LEDs boast a significantly extended service life, reaching up to 60,000 hours, which is 12-20 times longer than fluorescent lighting. This longevity substantially reduces maintenance costs;

- LEDs continually improve in terms of light output efficiency, with current levels reaching 1W producing 200 lumens, resulting in an annual cost reduction of nearly 20%;

- LEDs emit negligible amounts of infrared radiation, making them safe for use in thermosensitive areas where other types of lamps could pose a fire hazard;

- Unlike fluorescent lamps, LEDs do not emit ultraviolet (UV) light, which can cause paint fading. This makes LEDs indispensable for use in showcases;

- LRGB-type LED lamps are easily controllable and can produce millions of different colors without the need for light filters. They can also adapt to various color temperatures and be managed using digital controllers, demonstrating their high efficiency and flexibility;

- LED lamps are instantaneous in operation, requiring no warm-up time, and their lifespan is unaffected by frequent switching on and off;

- Unlike fluorescent lamps, which contain hazardous materials like mercury and require special disposal procedures, LED lamps are environmentally safe and do not pose disposal-related costs or environmental risks.

While LED technology is relatively new, it has demonstrated superior performance compared to traditional lighting devices in terms of energy efficiency, cost-effectiveness, environmental friendliness, and, more recently, light quality. However, as of now, the issues related to the pulsed nature of the power supply and lighting flicker, initially observed in LED lamps, have not been fully addressed. The majority of lamps lack power factor correction and current stabilization circuits with modern drivers. Consequently, many significant electricity consumers hesitate to adopt LED

lighting, missing out on the opportunity to reduce their lighting costs by nearly half.

The purpose of this article is to investigate and provide recommendations for addressing several issues related to LED lighting. One of the problems stems from the sharp power supply pulsations of the lamp leading to current summation from all three phases within the neutral wire. This accumulation can potentially result in overheating of the neutral wire and the risk of fire. Consequently, there is a need for the replacement and introduction of "pollution" in the supply voltage by high-order harmonic components. These harmonics can cause delays in the operation of "smart" or voltage-quality-sensitive equipment. It is well-known that in a 3-phase symmetrical feeding circuit, the current in the neutral wire is nearly zero. However, when the current is pulsed, as revealed in Fig. 1,a, currents in the circuit begin to accumulate. Fig. 1,b illustrates the values of the harmonic coefficients of the impulse current.

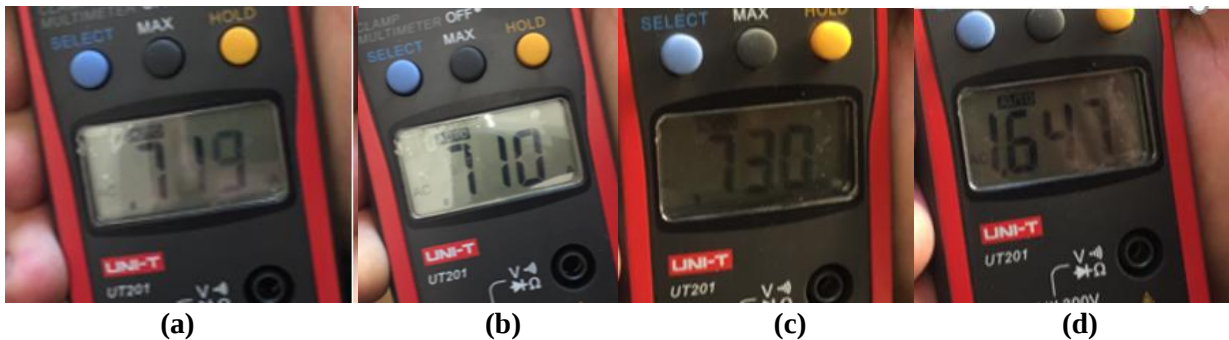


Fig. 1.

As previously mentioned, due to the impulsive current nature, there is an accumulation of current in the neutral wire, resulting in the neutral current being approximately 2.3 times higher than the phase current. Fig. 1 illustrates the current values in each phase (a, b, c) and the neutral wire (d).

In this specific scenario, the impact on the harmonic composition of the voltage is

negligible since the magnitude of the phase current does not exceed 2 amperes (A).

In a specific case, three 48W lamps were connected in each phase. Consequently, with a phase voltage value of 220V, the power factor is calculated as $P_a/U_I = 144/158.4 = 0.909$, aligning with the international standard requirements for LED lamps. As per the standards, lamps with a power rating of 25W

or higher should exhibit a power factor greater than 0.9.

However, despite the negligible voltage variation and the power factor meeting standard requirements, the current in the neutral wire reaches unacceptable levels. This is attributable to the substantial contribution of high-order harmonic components in the supply current.

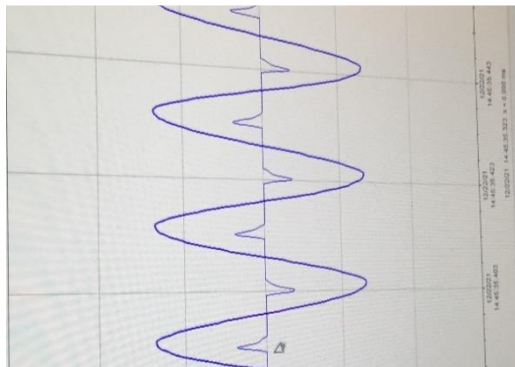
Fig. 3,a illustrates the harmonic spectrum of this aforementioned current.

Fig. 3 displays the distribution spectrum of harmonic coefficients of the supply current (a), as well as the voltage and current waveforms (b). These phenomena are analyzed within a single period of the supply voltage. Additionally, it is noteworthy that there is a 30-

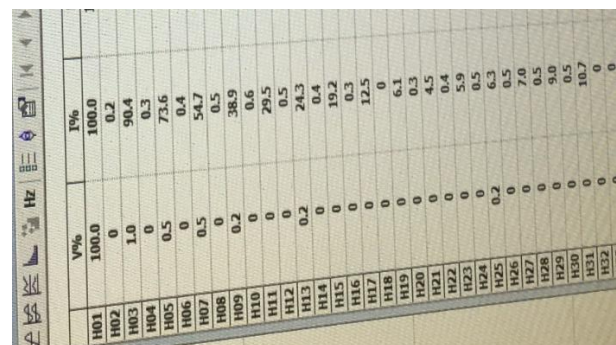
40% pulsation in active current and active power over relatively extended time intervals, as depicted in Fig. 4.

The initial inconsistency is manifested in the value required by the standard. Consequently, it unveils issues associated to the pulsations of light and current in the diode assembly.

The questions addressed through the single-lamp superposition principle will have a significant impact on the electromagnetic compatibility of objects when replacing more than 1000 lamps. Fig. 5 illustrates the lighting arrangement for a section of a 4-level parking lot in a shopping center.

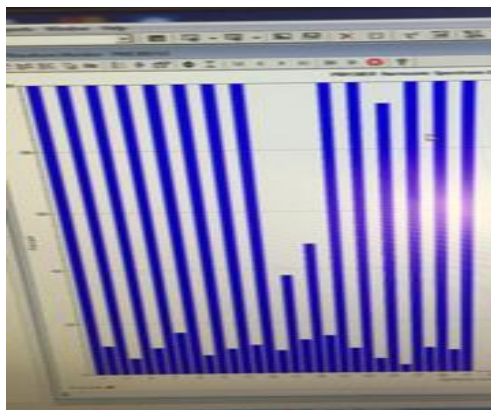


(a)

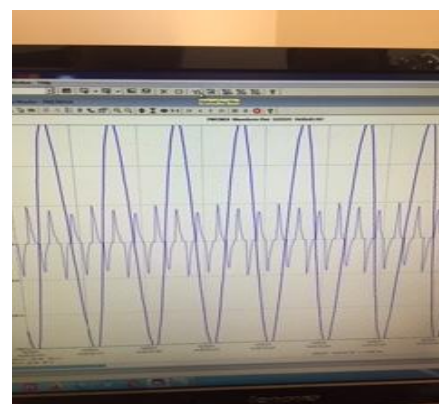


(b)

Fig. 2.



(a)



(b)

Fig. 3.

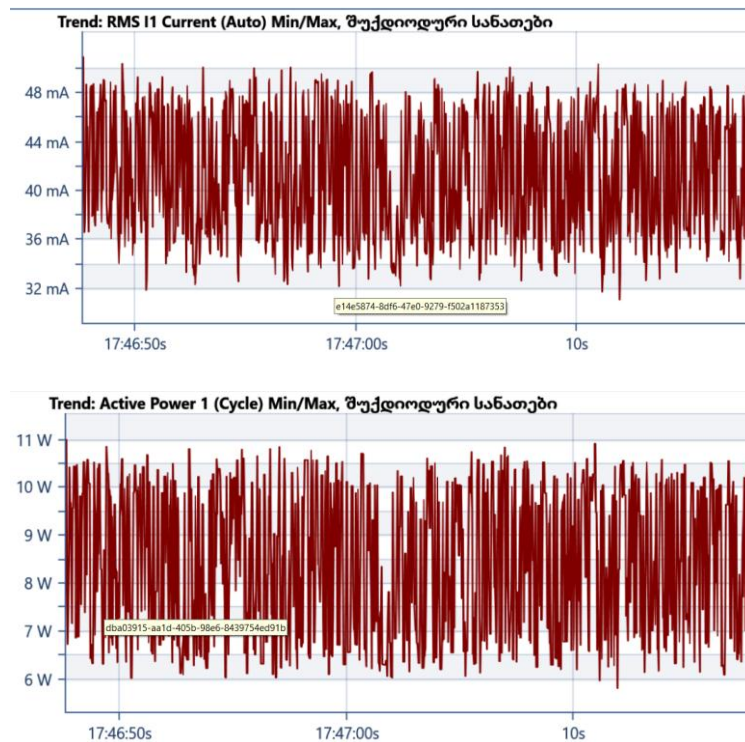


Fig. 4.

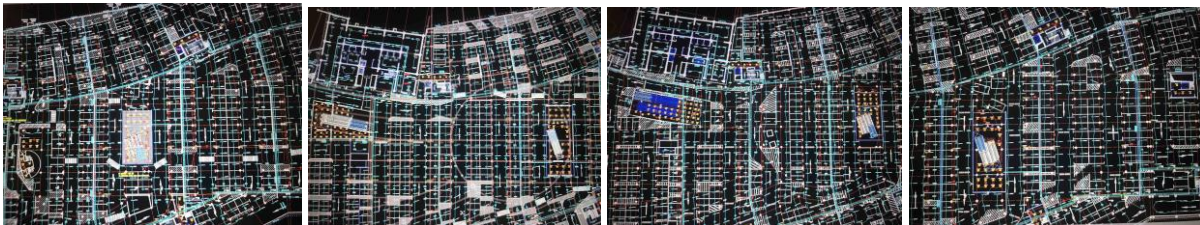


Fig. 5.

In the presented case, the total number of replaced lamps exceeds 5000 units. Consequently, it becomes evident how the contribution of low-quality lamps can impact the electromagnetic environment of the facility.

Based on the information provided above, the following recommendations can be formulated for the replacement of a substantial quantity of diverse lamp types with LED lamps in large shopping centers. Switching to light-emitting diode (LED) lighting in shopping centers may present electromagnetic compatibility (EMC)

issues due to the operational characteristics of these light sources. Below are potential problems and corresponding solutions:

- Electromagnetic Interference (EMI) can occur.

Solution: Use LED fixtures certified to meet electromagnetic standards and implement shielding and filters to reduce noise emissions;

- LED lights may interfere with other electronic devices.

Solution: Carefully select LED lights to avoid conflicts with other electronic

equipment. Test compatibility with existing systems and devices;

- LED lighting might disrupt communication and data transmission systems.

Solution: Design the lighting network to prevent interference with wireless systems. Consider using filters or modifying the network layout if necessary;

- Challenges with phase control and dimming may arise.

Solution: Choose LED luminaires that are compatible with your dimming systems and plan the installation carefully, taking phase control requirements into account;

- Harmonic distortion and overcurrent may occur.

Solution: Utilize high-quality electronic drivers equipped with active harmonic control

and current limiting to minimize their impact on the power grid;

- EMC issues may persist without proper shielding and grounding.

Solution: Pay attention to shield luminaires effectively and ensure proper grounding to mitigate potential EMC problems.

References

1. Bianchi M., & Rossi G. *Electromagnetic Interference in LED Lighting Systems: Challenges and Solutions*// Journal of Electrical Engineering. #44(8), 2019. p. 325-332.
2. EN 55015 (Limits and methods of measurement of radio disturbance characteristics of electrical lighting and similar equipment)
3. EN 61000 (Electromagnetic compatibility)
4. Степанов И. П. ЭМС в LED-освещении: вызовы и решения для коммерческих объектов// Изд.-во "Энергетика". 2019.

საზოგადოებრივი შენობების შუქდიოდურ განათებაზე გადასვლისთან დაკავშირებული პრობლემების შესწავლა.

გ.ცხომელიძე.

„ენერგია“. №1(112). 2025. თბილისი. გვ. 14-19. ინგლ. ანოტ. ქართ. ინგლ. რუს.

ანოტაცია. განხილულია და მოცემულია რეკომენდაციები საზოგადოებრივ შენობებში LED განათებაზე გადასვლასთან დაკავშირებული პრობლემების გადასაჭრელად. ერთ-ერთი პრობლემა წარმოიქმნება შუქდიოდური ნათურის დენის პულსაციის შედეგად, რაც იწვევს სამფაზა მკვებაზე წრედში თითოეული ფაზიდან დამახინჯებული დენის შეჯამების ეფექტს ნეიტრალურ სადენში. ამ დენმა თავის მხრივ შეიძლება გამოიწვიოს ნეიტრალური სადენის გადახურება და ხანძრის რისკი. შესაბამისად, მკვებაზე ძაბვაში ასევე ჩნდება „დაბინძურების“ ანუ მაღალი რიგის ჰარმონიული მდგენელების გაჩენა. რამაც თავის მხრივ შეიძლება გამოიწვიოს შეფერხება "ჭკვიანი" ან ძაბვის ხარისხისადმი მგრძნობიარე მოწყობილობების მუშაობაში. ნაჩვენებია, რომ ძაბვის უმნიშვნელო ცვალებადობისა და სიმძლავრის კოეფიციენტის სტანდარტული მნიშვნელობის მიუხედავად, ნეიტრალურ სადენში დენი აღწევს მიუღებელ დონეებს. ეს განპირობებულია მაღალი რიგის ჰარმონიული მდგენელების მნიშვნელოვანი წვლილით დენში. ნაჩვენებია ზემოაღნიშნული დენის ჰარმონიულ სპექტრის ოსცილოგრამები და აღნიშნული პრობლემის გადაწყვეტის გზები.

საკვანძო სიტყვები: შუქდიოდური განათება, ელექტრომაგნიტური თავსებადობა, ჰარმონიული მდგენელები, ნეიტრალური სადენი, დენის შეჯამება

ილ. 5, ლიტ. 4.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМ, СВЯЗАННЫХ С ПЕРЕХОДОМ НА СВЕТОДИОДНОЕ ОСВЕЩЕНИЕ В ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЯХ.

Г.Цхომелидзе.

“Энергия”. № 1(112).2025 . Тбилиси. с. 14-19. груз. реф. груз.англ. рус.

Рассматриваются проблемы, связанные с переходом на светодиодное освещение в общественных зданиях, и даются рекомендации по их решению. Одна из ключевых проблем возникает из-за пульсирующего характера токов светодиодных ламп, что приводит к суммированию искаженных токов отдельных фаз в трехфазной системе электроснабжения. Это накопление приводит к избыточным уровням тока в нейтральном проводе, что увеличивает риск перегрева и потенциальной опасности возгорания. Кроме того, наличие гармонических составляющих высокого порядка способствует искажению напряжения питания, что может мешать работе чувствительных к напряжению и интеллектуальных устройств. Исследование показывает, что, несмотря на минимальные колебания напряжения и соблюдение нормативных требований к коэффициенту мощности, ток в нейтральном проводе может достигать критических уровней из-за гармонических искажений. В статье представлены осциллограммы гармонического спектра затронутых токов и исследуются потенциальные решения для смягчения этих проблем, обеспечивая безопасную и эффективную интеграцию светодиодного освещения в общественные здания.

Илл. 5, лит. 4 назв.

სისტემის მდგრადობის დინამიკის შეფასება Q ანალიზის მეთოდით

მერაბ ახოზაძე - პროფესორი

E-mail: m.akhobadze@gtu.ge

ელგუჯა კურცხალია - პროფესორი

E-mail: elguja.kurcxalia@gmail.com

ანა ბუზალაძე - ასოცირებული პროფესორი

E-mail: a.buzaladze@gtu.ge

მზიანა ნიჟარაძე - ასისტენტი

E-mail: nizharadzemziana08@gtu.ge

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ანოტაცია. სისტემების სტრუქტურის მდგრადობის შეფასებისათვის დიდი მნიშვნელობა აქვს შესწავლილი იქნას სტრუქტურის განმსაზღვრელი ელემენტების ცვლილებით გამოწვეული „შეშფოთების“ გავრცელების არეალი და დინამიკა.

სისტემების სტრუქტურის ანალიზისათვის ხშირად გამოიყენებენ გრაფების თეორიას, რომელიც თვალსაჩინოდ ასახავს სისტემის სტრუქტურის ტოპოლოგიას. სისტემების ანალიზისათვის ასევე ცნობილი მეთოდებია კატასტროფების თეორია, კლასტერული ანალიზი და სხვა. ამთავითვე უნდა ითქვას, რომ აღნიშნული მეთოდები არ მოიცავენ სისტემის შემადგენელი ელემენტების თვისებებს.

სისტემის სტრუქტურისა და მისი ელემენტების შესწავლის ერთ-ერთ საუკეთესო მეთოდს წარმოადგენს Q ანალიზის მეთოდი, რომელსაც ფართო, პრაქტიკული გამოყენების სპექტრი აქვს. გამოიყენება სოციალური, ეკონომიკური, ტექნიკური და სხვა სისტემების მათემატიკური მოდელირებისა და მართვისათვის. Q ანალიზი საშუალებას გვაძლევს გამოვიკვლიოთ სისტემის „ანომალური“ ელემენტები და მიგვანიშნებს თუ როგორ უნდა გავაუმჯობესოთ სისტემის მახასიათებლები, პირველ რიგში მისი მდგრადობა გარე ზემოქმედებების მიმართ.

წარმოადგენილია ალგორითმები, რომელთა საშუალებით შესაძლებელია „შეშფოთებათა“ ინტენსიობის შეფასება. მოყვანილია მიღებული შედეგების საილუსტრაციო მაგალითები.

საკვანძო სიტყვები: სისტემა, სტრუქტურა, მდგრადობა, Q ანალიზი.

შესავალი

სისტემის სტრუქტურის მდგრადობის შეფასებისათვის დიდი მნიშვნელობა აქვს შევისწავლოთ სისტემის სტრუქტურის განმსაზღვრელი ელემენტების ცვლილებით გამოწვეული „შეშფოთების“ გავრცელების არეალი და დინამიკა. სისტემის სტრუქტურის ანალიზისათვის ყველაზე გავრცელებული მეთოდია Q ანალიზის მეთოდი. ნაშრომში წარმოადგენილია ალგორითმები, რომელთა საშუალებით შესაძლებელია „შეშფოთებათა“ ინტენსიობის შეფასება, მოყვანილია მიღებული შედეგების საილუსტრაციო მაგალითები.

ძირითადი ნაწილი

Q ანალიზის მეთოდი მდგომარეობს შემდეგში [1]. ვთქვათ, $K = \{k_0, k_1, \dots, k_n\}$ არის რაიმე სასრული სიმრავლე. სიმპლიციური კომპლექსი K სიმრავლეზე ესაა წყვილი $\bar{K} = (K, S)$, სადაც S არის K სიმრავლის არაცარიელი ქვესიმრავლეების (რომელთაც მოცემული კომპლექსის სიმპლექსები ეწოდება) ისეთი ერთობლიობა, რომ:

1. ნებისმიერი $k_i \in K$ ელემენტისათვის, $\{k_i\} \in S$.

2. თუ σ არის სიმპლექსი და $\tau \subseteq \sigma$ არაგარიელი სიმრავლეა, მაშინ $\tau \in S$ (τ -ს ეწოდება σ სიმპლექსის წახნაგი). K სიმრავლის ელემენტებს ეწოდება $\bar{K}$ კომპლექსის წვეროები.

ამბობენ, რომ $\sigma \in \bar{K}$ სიმპლექსის განზომილებაა m , თუ $|\sigma| = m + 1$, სადაც $|\sigma|$ აღნიშნავს σ სიმრავლის ელემენტების რაოდენობას. ის ფაქტი, რომ $\sigma \in \bar{K}$ სიმპლექსის განზომილებაა m , ჩაიწერება ასე: $\dim \sigma = m$.

$\bar{K}$ კომპლექსში შემავალი სიმპლექსების განზომილებებიდან უდიდესს ეწოდება $\bar{K}$ -ს განზომილება. მაშასადამე, $\dim \bar{K} = \max \{ \dim \sigma \mid \sigma \in \bar{K} \}$.

ვთქვათ, მოცემულია რაიმე ორი სიმრავლე A და B . მიმართება A სიმრავლიდან B სიმრავლეში ეწოდება $A \times B$ დეკარტული ნამრავლის რაიმე ქვესიმრავლეს. ყოველ $\lambda \subseteq A \times B$ მიმართებას, სადაც A და B სასრული სიმრავლეებია, შეესაბამება სიმპლიციალური კომპლექსი, რომელიც $K_B(A, \lambda)$ სიმბოლოთი აღინიშნება. $K_B(A, \lambda)$ კომპლექსის წვეროების სიმრავლეა A , რომლის $a_0, a_1, \dots, a_m$ ელემენტები შეადგენს სიმპლექსს მაშინ და მხოლოდ მაშინ, როდესაც არსებობს ელემენტი $b_j \in B$ ისეთი, რომ $(a_i, b_j) \in \lambda$ ყველა $i = 0, 1, \dots, m$ ინდექსისათვის. ჩვეულებრივ, ამ სიმპლექსს აღნიშნავენ B_j სიმბოლოთი. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, A სიმრავლის $a_0, a_1, \dots, a_m$ ქვესიმრავლე სიმპლექსია მაშინ და მხოლოდ მაშინ, როცა არსებობს λ -ს შესაბამისი ინციდენტობის მატრიცის ისეთი სვეტი, რომ ამ სვეტისა და $a_0, a_1, \dots, a_m$ ელემენტის შესაბამისი სტრიქონების თანაკვეთაზე ყველგან დგას 1-ანები.

ვთქვათ, $0 \leq q \leq \dim \bar{K}$. $\bar{K}$ კომპლექსის ორ σ და τ სიმპლექსს ეწოდებათ q -ბმული,

თუ $\bar{K}$ -ში არსებობს სიმპლექსების ისეთი $\sigma, \rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n, \tau$ მიმდევრობა, რომ მის ნებისმიერ ორი მომდევნო წევრს აქვს საერთო წახნაგი, რომლის განზომილებაც არაა ნაკლები q -ზე, ე.ი. მათ აქვს სულ მცირე $q + 1$ საერთო წვერო. ასეთ მიმდევრობას ეწოდება q -ჯაჭვი $\bar{K}$ -ში. განმარტებიდან ცხადია, რომ თუ ორი სიმპლექსი q -ბმულია, მაშინ ისინი არიან აგრეთვე $(q - 1)$ -ბმული, $(q - 2)$ -ბმული, ..., 0-ბმული. ორი სიმპლექსის q -ბმულობის ცნება განსაზღვრავს მიმართებას $\bar{K}$ -ს იმ სიმპლექსების K_q სიმრავლეზე, რომელთა განზომილება არაა q -ზე ნაკლები. აღვნიშნოთ ეს მიმართება λ_q -თი. $(\sigma, \tau) \in \lambda_q$ მაშინ და მხოლოდ მაშინ, როდესაც σ და τ სიმპლექსები q -ბმულია. ადვილი სანახავია, რომ ეს მიმართება არის ექვივალენტობის მიმართება K_q სიმრავლეზე, ამიტომ ის განსაზღვრავს ფაქტორ-სიმრავლეს K_q / λ_q , რომლის ელემენტებს ეწოდება $\bar{K}$ კომპლექსის q -ბმულობის კომპონენტები. K_q / λ_q სიმრავლის ელემენტების რაოდენობა აღინიშნება Q_q სიმბოლოთი. ცხადია, რომ Q_q არის $\bar{K}$ კომპლექსის განსხვავებული q -ბმულობის კომპონენტების რაოდენობა.

$\bar{K}$ კომპლექსის q -ბმულობის კომპონენტების (ე.ი. K_q / λ_q სიმრავლის) სრულ აღწერას q -ს ყველა $0, 1, 2, \dots, \dim \bar{K}$ ნიშვნელობისათვის, ამ კომპლექსის Q -ანალიზი ეწოდება.

$Q = (Q_0, Q_1, \dots, Q_{\dim \bar{K}})$ ვექტორს ეწოდება $\bar{K}$ კომპლექსის სტრუქტურული ვექტორი ან Q -ვექტორი. მასში კოდირებულია ინფორმაცია, თუ რამდენი q -განზომილების „ნაწილისაგან“ შესდგება $\bar{K}$ კომპლექსი. უფრო დაბალი განზომილების ($< q$) წახნაგები ქმნიან „ნაპრალებს“ ამ ნაწილებს შორის, რომლებიც ხელს უშლის ინფორმაციის გავრცელებას ან

გადაადგილებას $\bar{K}$ კომპლექსის შიგნით. ამიტომ, Q -ვექტორი, გარკვეული აზრით, ასახავს კომპლექსის გლობალურ გეომეტრიას. მაგალითად, როდესაც Q -ვექტორის ყველა კომპონენტი ერთი ტოლია, მაშინ q -ბმულობის თითოეული K_q/λ_q კომპონენტი შეიცავს ერთადერთ ელემენტს, რაც ნიშნავს, რომ შესაბამისი კომპლექსი მჭიდროდაა ბმული იმ აზრით, რომ მისი ნებისმიერი ორი წახნაგი q -ბმულია q -ს ყველა $0, 1, 2, \dots, \dim \bar{K}$ მნიშვნელობისათვის.

Q -ვექტორის გამოთვლის ერთი მარტივი ხერხი მდგომარეობს შემდეგში. განვიხილოთ მატრიცა $\Lambda \Lambda^T$, სადაც Λ არის λ მიმართების შესაბამისი ინციდენტობის მატრიცა, ხოლო Λ^T კი მისი ტრანსპონირებული. $\Lambda \Lambda^T$ მატრიცის a_{ij} ელემენტი გვიჩვენებს, თუ რამდენი საერთო წვერო აქვთ B_i და B_j სიმპლექსებს. ცხადია, რომ $a_{ij} - 1$ არის $B_i \cap B_j$ წახნაგის განზომილება. ახლა თუ განვიხილავთ $\Lambda \Lambda^T - [I]$ მატრიცას, სადაც $[I]$ არის მატრიცა, რომლის ყველა ელემენტი არის 1, მაშინ მის მთავარ დიაგონალზე მდგომი რიცხვები გვიჩვენებს კომპლექსის შესაბამისი სიმპლექსის განზომილებას, ხოლო b_{ij} ($i \neq j$) კი $B_i \cap B_j$ წახნაგის განზომილებას. ამრიგად, $\Lambda \Lambda^T - [I]$ მატრიცის გამოყენებით, ადვილად დავადგენთ მოცემული კომპლექსის Q -ვექტორს.

ვთქვათ, $\mathcal{H}$ არის მთელი ($\mathbb{Z}$), ან ნამდვილ რიცხვთა ($\mathbb{R}$) სიმრავლე.

მოდელი $\bar{K} = (K, S)$ სიმპლიციალურ კომპლექსზე ეწოდება ასახვას $\pi: S \rightarrow \mathcal{H}$. თუ S_q , $q = 0, 1, 2, \dots, \dim \bar{K}$, აღნიშნავს $\bar{K}$ კომპლექსის q განზომილებიანი წახნაგების სიმრავლეს, მაშინ $S = \bigcup_{q=0}^{\dim \bar{K}} S_q$ და თუ π^q არის ასახვა $S \rightarrow \mathcal{H}$, რომელიც განსაზღვრულია შემდეგნაირად

$$\pi^q(\sigma) = \begin{cases} \pi(\sigma), & \text{თუ } \sigma \in S_q \\ 0, & \text{თუ } \sigma \notin S_q \end{cases}$$

$$\text{მაშინ } \pi = \pi^0 \oplus \pi^1 \oplus \dots \oplus \pi^{\dim \bar{K}}.$$

მაშასადამე, π ასახვა გრადუირებულია.

ვთქვათ, $(t_1, t_2, \dots, t_i, t_{i+1}, \dots)$ დროთა ზრდადი მიმდევრობაა (ე.ი. t_i დრო წინ უსწრებს t_j დროს, თუ $i < j$) და ვთქვათ, π_{t_i} (შესაბამისად, $\pi_{t_i}^p$) აღნიშნავს t_i დროისათვის $\bar{K}$ კომპლექსზე მოცემულ მოდელს (შესაბამისად, მოდელის p -კომპონენტს). მაშინ p -ს ნებისმიერი $0, 1, 2, \dots, \dim \bar{K}$ მნიშვნელობისათვის, სხვაობას

$$\delta \pi_{t_i}^p = \pi_{t_{i+1}}^p - \pi_{t_i}^p$$

ეწოდება დროის (t_i, t_{i+1}) ინტერვალში p -განზომილებიანი ძალა (ან უბრალოდ, p -ძალა)

$\bar{K}$ კომპლექსზე. თუ $\sigma \in S$ ნებისმიერი p -განზომილებიანი წახნაგია, მაშინ p -ძალის მნიშვნელობა ეწოდება რიცხვს $\delta \pi_{t_i}^p(\sigma)$, ხოლო მის აბსოლუტურ მნიშვნელობას კი p -ძალის მაგნიტუდას. ძალას ეწოდება მიზიდულობის, თუ მისი მნიშვნელობა დადებითია (ე.ი. თუ $\delta \pi_{t_i}^p(\sigma) > 0$) და ეწოდება განზიდულობის, თუ მისი მნიშვნელობა უარყოფითია (ე.ი. თუ $\delta \pi_{t_i}^p(\sigma) < 0$).

მაგალითად: 1) თუ ყოველი $(x, y) \in \lambda$ -თვის $f(x, y)$ -ით ავლნიშნავთ (x, y) კავშირისათვის საჭირო ხარჯებს ($f(x, y) = 0$ თ $(x, y) \notin \lambda$), მაშინ π მოდელის მნიშვნელობა სიმპლექსზე $\sigma_p = \{x_0, x_1, \dots, x_p\}$ შეიძლება მოცემული იქნას ტოლობით:

$$\pi(\sigma_p) = \sum_{i=0}^p \sum_{\substack{y_j \in \mathcal{Y} \\ (x_i, y_j) \in \lambda}} f(x_i, y_j)$$

ამ შემთხვევაში π მოდელს აქვს შემდეგი შინაარსი: $\pi(\sigma_p)$ გვიჩვენებს σ_p

სიმპლექსთან კავშირის განხორციელებაზე გაწეული ხარჯების ჯამს;

2) ვთქვათ A არის გარკვეული ქალაქის (რეგიონის) სატრანსპორტო კვანძების, მაგისტრალების, ქუჩების სიმრავლე, ხოლო B კი ამ ქალაქში (რეგიონში) საზოგადოებრივი ტრანსპორტის მარშრუტების სიმრავლე. თუ განვიხილავთ კომპლექსს, რომელიც შეესაბამება მიმართებას ამ ორ სიმრავლეს შორის, მაშინ მოდელი ამ კომპლექსზე შეიძლება განვსაზღვროთ როგორც გადაყვანილი მგზავრების რაოდენობა, ან მარშრუტის განხორციელებისათვის საჭირო დრო.

ნაშრომებში [2-5] მოყვანილია Q ანალიზის გამოყენების მაგალითების ფართო სპექტრი, კერძოდ ურბანული, ეკონომიკური, საარჩევნო და სხვა სისტემების მათემატიკური მოდელირებისა და მართვისათვის. ქვემოთ, ჩვენს მიერ წარმოდგენილია მეთოდი და ალგორითმი სისტემებში „შეშფოთებების“ გავრცელების არეალის და დინამიკის შეფასებისათვის.

ვთქვათ, $A = \{a_1; a_2 \dots; a_M\}$ და $B = \{b_1; b_2; \dots; b_N\}$ მოცემული სიმრავლეებია და λ რაიმე მიმართებაა A და B სიმრავლის ელემენტებს შორის. პრაქტიკაში ხშირად A , ან B სიმრავლეების ელემენტები განიცდიან ცვლილებას, ასევე შესაძლებელია შეიცვალოს თვითონ A , ან B სიმრავლე - შეიძლება მათ დაემატოს ახალი ელემენტი, ასევე შესაძლებელია A -ს, ან B -ს რაიმე ელემენტის დროებითი, ან საერთოდ გაქრობა. მაგალითად, ვთქვათ, A არის გარკვეული ქალაქის (რეგიონის) სატრანსპორტო კვანძების, მაგისტრალების, ქუჩების სიმრავლე, ხოლო B კი ამ ქალაქში (რეგიონში) საზოგადოებრივი ტრანსპორტის მარშრუტების სიმრავლე, შესაძლებელია ქალაქში (რეგიონში)

გაფართოვდეს, ან შეიზღუდოს არსებული მაგისტრალი, ან აშენდეს ახალი მაგისტრალი, ახალი ქუჩა, ან დროებით დაიხუროს რომელიმე მაგისტრალი, ქუჩა (ცვლილება შეეხოს A სიმრავლეს), ასევე შესაძლებელია შეიცვალოს მარშრუტის მიმართულება, გაიხსნას ახალი მარშრუტი, ან არსებული მარშრუტი გაუქმდეს დროებით ან სამუდამოდ (ცვლილება შეეხოს B სიმრავლეს). მაშასადამე, შესაძლებელია განხორციელებული ცვლილების შედეგად არა უბრალოდ „შეშფოთდეს“ სისტემა, არამედ შესაძლებელია შეიცვალოს სისტემის სტრუქტურაც, ამიტომ მნიშვნელოვანია ყოველი ცვლილების განხორციელებამდე წინდაწინ ვიცოდეთ არამარტო „შეშფოთების“ გავრცელების არეალი და დინამიკა, არამედ ისიც, თუ როგორ იმოქმედებს სისტემაში განხორციელებული ესა, თუ ის ცვლილება სისტემის სტრუქტურაზე.

ვთქვათ, $t_{i1}^{(A)}; t_{i2}^{(A)}; \dots; t_{ik_i}^{(A)}$ და $t_{j1}^{(B)}; t_{j2}^{(B)}; \dots; t_{jk_j}^{(B)}$ დროთა ზრდადი მიმდევრობებია, რომლებიც ყოველი $i \in \overline{1, M}$ -თვის და ყოველი $j \in \overline{1, N}$ -თვის, შესაბამისად, აღნიშნავენ A -ს i -ური, ან B -ს j -ური ელემენტის რაიმე ცვლილების დაწყების ან დამთავრების დროს. $\lambda = \lambda(t)$ მიმართების შესაბამისი ინციდენტობის მატრიცი აღვნიშნოთ $\Lambda(t)$ -თი, ხოლო შესაბამისი სტრუქტურის ვექტორი კი $Q(t)$ -თი. ცხადია, რომ ნებისმიერი ცვლილება როგორც A , ასევე B სიმრავლეში, იწვევს მოდელის, ინციდენტობის მატრიცისა და შესაბამისად, სტრუქტურის ვექტორის ცვლილებას. როგორ ვიპოვოთ ინციდენტობის მატრიცის $\lambda_{ij}(t_2)$ ელემენტები დროის t_2 მომენტში, თუ ჩვენთვის ცნობილი იყო ინციდენტობის მატრიცის ელემენტები t_1 მომენტში

$(t_2 > t_1)$? თუ არსებობს $i \in \overline{1, M}$, ან $j \in \overline{1, N}$, ისეთი, რომ რომელიმე k -თვის $t_2 \in [t_{ik}^{(A)}; t_{ik}^{(A)}]$, ან რომელიმე s -თვის $t_2 \in [t_{js}^{(B)}; t_{js}^{(B)}]$, მაშინ შესაბამისი სტრიქონის, ან სვეტის ელემენტები, იმისდამოკიდებით, თუ რა სახის ცვლილება მოხდა A , ან B სიმრავლეში, შეიცვლებიან, ხოლო დანარჩენი ელემენტები დარჩება უცვლელად:

$$\lambda_{ij}(t_2) = \lambda_{ij}(t_1), \text{ თუ } t_2 \notin [t_{ik}^{(A;1)}; t_{ik}^{(A;2)}] \cup [t_{js}^{(B;1)}; t_{js}^{(B;2)}].$$

ხშირად, რაიმე ორ A და C სიმრავლეს შორის პირდაპირი კავშირი არსებობს, მაგრამ ისინი ერთმანეთს უკავშირდებიან რაიმე სიმრავლის, ან სიმრავლეების (შუალედური რგოლების) საშუალებით. ეს ნიშნავს, რომ A სიმრავლეში განხორციელებული რაიმე ცვლილება გარკვეული დროის შემდეგ აღწევს C – ს. ამიტომ მნიშვნელოვანია შევისწავლოთ მიმართებათა კომპოზიცია, კერძოდ პასუხი გავცეთ კითხვას: მოცემული მიმართებების შესაბამისი ინციდენტობის მატრიცების საშუალებით როგორ ავაგოთ ამ მიმართებათა კომპოზიციის შესაბამისი ინციდენტობის მატრიცა?

ვთქვათ $A \xrightarrow{\lambda} B$, $B \xrightarrow{\mu} C$. λ და μ მიმართებების საშუალებით განვმარტოთ A და C სიმრავლეებს შორის ν მიმართება (λ და μ მიმართებათა კომპოზიცია) შემდეგი წესით: ვიტყვი, რომ $a_i \in A$ ელემენტი ν მიმართებაში $C_k \in C$, ელემენტთან, თუ არსებობს ერთი მაინც ელემენტი $b_j \in B$ ისეთი, რომ $a_i \xrightarrow{\lambda} b_j$ და $b_j \xrightarrow{\mu} C_k$, ანუ $\nu_{ik} = 1$, თუ $\exists j \in \overline{1, N}$ ისეთი, რომ $\lambda_{ij} \cdot \mu_{jk} = 1$, სხვა შემთხვევაში $\nu_{ik} = 0$

ვთქვათ $\Lambda^{(1;2)}$ და $\Lambda^{(2;3)}$ არიან λ და μ მიმართების შესაბამისი ინციდენტობის მატრიცები და $P = \Lambda^{(1;2)} \times \Lambda^{(2;3)}$. ადვილი

დასანახია, რომ P მატრიცის ელემენტი $P_{ik} > 0$ მაშინ და მხოლოდ მაშინ, თუ არსებობს $j \in \overline{1, M}$ ისეთი, რომ $\lambda_{ij} = 1$ და $\mu_{jk} = 1$. უფრო მეტიც P_{ij} გვიჩვენებს თუ რამდენი ისეთი $j \in \overline{1, M}$ არსებობს, რომლისთვისაც $\lambda_{ij} \mu_{jk} = 1$, ანუ P_{ij} გვიჩვენებს რამდენი განსხვავებული „მარშრუტით“ უკავშირდება $a_i \in A$ ელემენტი $C_k \in C$ ელემენტს – რამდენი განსხვავებული არხით მიაღწევს (შეაშფოთებს) a_i ელემენტზე განხორციელებული ცვლილება C_k ელემენტს.

თუ $\Lambda^{(1,3)}$ -ით ავლნიშნავთ ν მიმართების შესაბამის ინციდენტობის მატრიცას, მაშინ გვექნება, რომ:

$$\nu_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{თუ } P_{ik} \geq 1 \\ 0, & \text{თუ } P_{ik} = 0 \end{cases}$$

იმისათვის, რომ შევაფასოთ – გავზომოთ, თუ რა გავლენას ახდენს a_i ელემენტზე განხორციელებული ცვლილება C_k ელემენტზე, მოვიქცეთ შემდეგნაირად: B სიმრავლის ყოველი b_j ელემენტი განვიხილოთ, როგორც სიმპლექსი B_j , რომლის წვეროებია A სიმრავლის ის a_i ელემენტები, რომლებიც λ მიმართებაში არიან b_j -სთან. ამ სიმპლექსის ყოველ ელემენტს მივანიჭოთ წონა $m_{ij}^{(1,2)}$ იმისდამოკიდებით, თუ როგორია ამ a_i წვეროს „ხვედრითი წილი“, წონა b_j სიმპლექსში ($\sum_{a_i \in B_j} m_{ij}^{(1,2)} = 1$). ცხადია, რომ თუ $\lambda_{ij} = 0$, მაშინ $m_{ij}^{(1,2)} = 0$. თუ ანალოგიურად მოვიქცევით μ მიმართების შემთხვევაშიც და $M^{(1;2)}$ -ით და $M^{(2;3)}$ -ით ავლნიშნავთ მატრიცებს, რომელთა ელემენტებია შესაბამისად $m_{ij}^{(1,2)}$ და $m_{jk}^{(2;3)}$ რიცხვები, მაშინ მატრიცის: $M^{(1,3)} = M^{(1;2)} \times M^{(2;3)}$ ყოველი ელემენტი $m_{ik}^{(1,3)}$ გვიჩვენებს, თუ რა დოზით შეაშფოთებს a_i ელემენტზე განხორციელებული ცვლილება

C_k ელემენტს. თუ ჩვენ $M^{(1;3)}$ მატრიცს წავკვეთავთ წინასწარ შეთანხმებული ნიშნით, მაშინ შეგვეძლება შევაფასოთ სისტემის მდგრადობა განხორციელებული ცვლილების მიმართ.

ზოგადად, თუ გვაქვს $A_1, A_2, \dots, A_s$ სიმრავლეთა მიმდევრობა და $\lambda^{(1,2)}$ არის მიმართება A_1 და A_2 სიმრავლეებს შორის, $\lambda^{(2,3)}$ არის მიმართება A_2 და A_3 სიმრავლეებს შორის, ასე შემდეგ $\lambda^{(s-1,s)}$ არის მიმართება A_{s-1} და A_s სიმრავლეებს შორის, ხოლო $\Lambda^{(1,2)}; \Lambda^{(2,3)}; \dots \Lambda^{(s-1,s)}$ შესაბამისი ინციდენტობის მატრიცებია, მაშინ ნამრავლის:

$$P = \Lambda^{(1,2)} \times \Lambda^{(2,3)} \times \dots \Lambda^{(s-1,s)}$$

ყოველი P_{ik} ელემენტი გვიჩვენებს იმ გზების რაოდენობას, რომლებითაც $a_i^{(1)} \in A_1$ ელემენტი უკავშირდება $a_k^{(s)} \in A_s$ ელემენტს, ხოლო შესაბამისი $M^{(1,2)}; M^{(2,3)}; \dots M^{(s-1,s)}$ მატრიცების გადამრავლებით მიღებული $M^{(1;s)} = M^{(1,2)} \times M^{(2,3)} \times \dots M^{(s-1,s)}$ მატრიცის ყოველი $m_{ik}^{(1;s)}$ ელემენტი კი გვიჩვენებს $a_i^{(1)} \in A_1$ ელემენტზე განხორციელებული ცვლილების გავლენის სიდიდეს $a_k^{(s)} \in A_s$ ელემენტზე.

დასკვნა

ნაშრომში ალგებრული ტოპოლოგიის Q ანალიზის მეთოდის გამოყენებით, შექმნილია ალგორითმი, რომელიც საშუალებას გვაძლევს შევისწავლოთ და დავადგინოთ სისტემის განმსაზღვრელი ყოველი ელემენტის ცვლილებით გამოწვეული „შემფოთებების“ გავრცელების არეალი და დინამიკა.

ლიტერატურა

1. Atkin R.H. From Cohomology in Physics to q-covectivingiin Social Science. Inf. Manchine studies, 4,1972.
2. Akhobadze M. Makrosistemebis matematikuri modelirebisa da martvis sakitxebi. monografia. Tbilisi, 1997.
3. Akhobadze M., Mesablihvili B., Kurcxalia E. Rtuli makrosistemebis struqturuli analizi. Stu, 2018. Tbilisi (In Georgian).
4. Akhobadze M., Kurcxalia E. Sivrculi ekonomikuri procesebis struqturuli analizi sainvesticio riskebis prevenciisatvis. Akademikos Iveri Frangishvilis dabadebis 85-e wlistavisadmi mizrvnili saertashoriso samecniero konferencia “Information and computer technologies, modeling, management” 3-5 Noemberi, 2015. Tbilisi (In Georgian).
5. Akhobadze M., Mesablihvili B., Kurcxalia E. Sivrculi evoliciuri ekonomikuri procesebis fenomenologia da sainvesticio politika. Stu, Saqartvelos sainjinro academia. Biznes-Injinerigni. Yovelkvartaluri referirebadi da recenzirebadi samecniero jurnali. №16. 2015. Tbilisi (In Georgian).

EVALUATION OF SYSTEM STABILITY DYNAMICS USING THE Q ANALYSIS METHOD.

M.Akhobadze, E. Kurtsxalia, A.Buzaladze, M.Nijharadze.

“Energy”. №1(112). 2025. Tbilisi. p. 20-26. geo. sum geo. engl.rus.

To assess the stability of the system structure, it is crucial to study the area and dynamics of the spread of "disturbances" caused by changes in the elements that determine the structure.

Graph theory is often used to analyze the structure of systems, as it clearly reflects the topology of the system. Other well-known methods for analyzing systems include catastrophe theory, cluster analysis, and others. It should be noted from the outset that these methods do not account for the properties of the elements that make up the system.

One of the best methods for studying the structure of a system and its elements is the Q analysis method, which has a wide range of practical applications. It is used for mathematical modeling and management of social, economic, technical, and other systems. Q analysis allows us to investigate the "anomalous" elements of the system and indicates ways to improve the characteristics of the system, primarily its stability to external influences.

The paper presents algorithms that can be used to assess the intensity of "disturbances," and illustrative examples of the results obtained are provided.

Bibl. 5.

ОЦЕНКА ДИНАМИКИ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА Q-АНАЛИЗА.

М.Ахобадзе, Э.Курцхалиа, А.Бузаладзе, М.Нижарадзе.

“Энергия”. № 1(112).2025 . Тбилиси. с.20-26 . груз. реф. груз.англ. рус.

Для оценки устойчивости структуры системы принципиально важно изучить область и динамику распространения «возмущений», вызванных изменениями элементов, определяющих структуру.

Теория графов часто используется для анализа структуры систем, так как она наглядно отражает топологию системы. Другими известными методами анализа систем являются теория катастроф, кластерный анализ и др. Следует отметить, что эти методы не учитывают свойства элементов, из которых состоит система.

Одним из лучших методов изучения структуры системы и ее элементов является метод Q-анализа, имеющий широкий спектр практических приложений. Он применяется для математического моделирования и управления социальными, экономическими, техническими и другими системами. Q-анализ позволяет исследовать «аномальные» элементы системы и указывает пути улучшения ее характеристик, в первую очередь, ее устойчивости к внешним воздействиям.

Также представлены алгоритмы, которые можно использовать для оценки интенсивности «возмущений», и приведены наглядные примеры полученных результатов.

Лит. 5 назв.

200 მგვტ სიმძლავრის ბატარეას ელექტროენერგიის დამაგროვებელი სისტემის ორმხრივი ნახევარგამტარული გარდამქმნელის მართვის იმიტირებული მოდელი ენერგიის მართვის სისტემის გამოყენებით

*თენგიზ მუსელიანი - პროფესორი

E-mail: museliani@yahoo.com

*ირაკლი ვახტანგაძე - ასისტენტ-პროფესორი

E-mail i.vakhtangadze@gtu.ge

**გიორგი ვახტანგაძე - დოქტორი

E-mail giorgi.vakhtangadze@gse.com.ge

**ომარ ბურდიაშვილი - დოქტორი

E-mail omar.burdiashvili@gse.com.ge

*ბორის ჯინჭველეიშვილი - დოქტორანტი

E-mail: jinchveleishvili.boris22@gtu.ge

**ანი ყამარაული - მაგისტრი

E-mail: ani.kamarauli@gse.com.ge.

*საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

**სს „საქართველოს სახელმწიფო ელექტროსისტემა“

ანოტაცია. სტატიაში BESS-ის მართვის იმიტირებული მოდელი შესრულებულია პროგრამა „DIGSILENT PowerFactory“-ში, როდესაც სისტემა მუშაობს იზოლირებულ რეჟიმში, რა დროსაც ხდება 200 მგვტ-ზე მეტი გენერაციის ავარიული გაჩერება და ასევე, როდესაც სისტემა მუშაობს სინქრონულ რეჟიმში მეზობელ ელექტროენერგეტიკულ სისტემასთან, მიმდინარეობს 300 მგვტ-დან 600 მგვტ-მდე იმპორტი და მყისიერად ხდება იმპორტის შეწყვეტა სხვადასხვა მიზეზებით, განვიხილოთ სხვადასხვა შემთხვევები, მათ შორის:

1. სისტემათაშორისო ხაზზე, რომელზეც მიმდინარეობს იმპორტი ხდება ხაზის გამორთვა მეორე ბოლოში, იგულისხმება მეზობელი სისტემის ქვესადგურში, ხოლო ხაზის თავში, ანუ საქართველოს ენერგოსისტემის ქვესადგურში, ხაზი რჩება ჩართულ მდგომარეობაში, რა დროსაც ავარიის საწინააღმდეგო ავტომატიკა არ მუშაობს;

2. სისტემათაშორისო ხაზზე, რომელზეც მიმდინარეობს იმპორტი ხდება ხაზის გამორთვა ორივე ბოლოში, მაგრამ ოპტიკურ ბოჭკოვანი კაბელის გაუმართაობის, პროგრამული ხარვეზის გამო არ შედის მოქმედებაში ავარიის საწინააღმდეგო ავტომატიკა (ასა);

3. სისტემის ავტონომიურ რეჟიმში მუშაობის დროს დაიბლოკა ასა-ს ავტომატიკა ტექნიკური გაუმართაობის გამო და მუშაობაში რჩება მხოლოდ სიხშირის ავტომატური განტვირთვის ავტომატიკა (საგი) [1,2].

საკვანძო სიტყვები: ბატარეას ელექტროენერგიის დამაგროვებელი სისტემა, მაქსიმალური მოხმარების რეჟიმი, მინიმალური მოხმარების რეჟიმი, სიხშირე, სტატიზმის კოეფიციენტი, ძაბვა.

შესავალი

ელექტროენერგიის დამაგროვებელი მოწყობილობის სიხშირის პირველად რეგულირებაში მონაწილეობის მხრივ გაკეთებულია შემდეგი დაშვება:

- სიხშირის პირველად რეგულირებაში მონაწილეობას იღებს 200 მგვტ დადგმული სიმძლავრის ბატარეა (BESS);
- სტატიზმის კოეფიციენტი შეადგენს 2%-ს, $S(\%)=100 \cdot (|\Delta f|/f_{\text{ნომ}}) \cdot (P_{\text{ნომ}}/|\Delta P|)$;

სიხშირის მკვდარი ზონა, უგრძნობელობის ზონის გათვალისწინებით, შეადგენს 10 მლჰც-ს (0.01 ჰც);

ქვემოთ განხილულ მოხმარების რეჟიმებში, გაანალიზდა სხვადასხვა სიმძლავრის შემფოთების გავლენა საქართველოს ელექტროენერგეტიკული სისტემის სიხშირის მდგრადობაზე, სიჩქარის რეგულატორების შემდეგი შემადგენლობისას:

- სიჩქარის რეგულატორები გააქტიურებულია პერსპექტიული სადგურების მხოლოდ ერთ აგრეგატზე, რომელიც რეჟიმულად არის ჩართული;

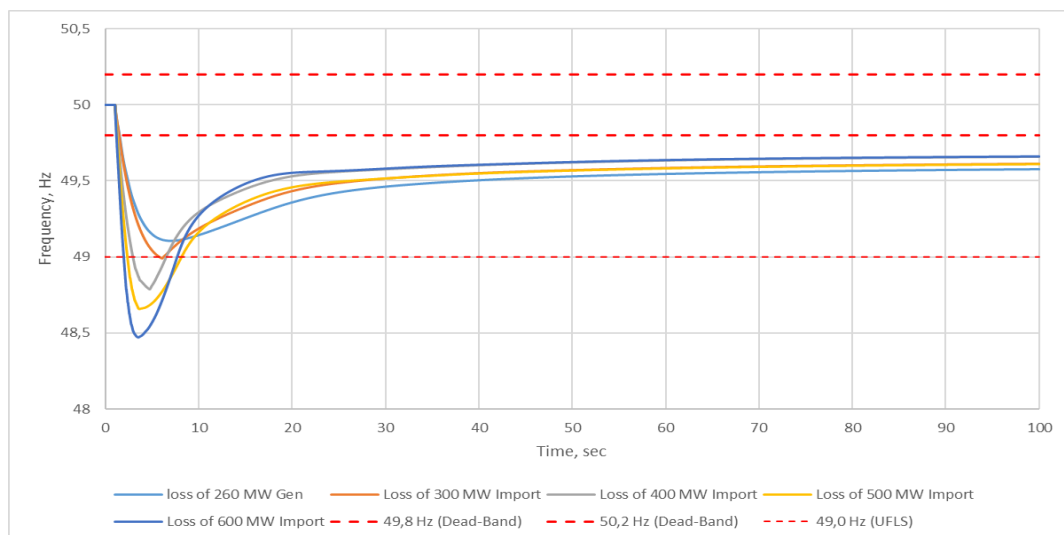
- სიხშირე რეგულირდება როგორც სიჩქარის რეგულატორის ასევე 200 მგვტ სიმძლავრის ელექტროენერგიის დამაგროვებელი მოწყობილობის (BESS) მიერ;

პერსპექტიული სადგურების აგრეგატების სიმძლავრის აღების (სიმძლავრის მომატების) სიჩქარე 3,33%/წმ [3,6].

1. ზამთრის მაქსიმალური მოხმარების რეჟიმი

ამ სცენარში ჩატარდა 260 მგვტ-ით დატვირთული აგრეგატის და სისტემათაშორისო ხაზის გამორთვის მოდელირება. სისტემათაშორისო ხაზის დატვირთვა იცვლება 300 მგვტ-დან 600 მგვტ-ის ჩათვლით 100 მგვტ სიმძლავრის ტოლი ბიჯით. სიმულაციის შედეგად მიღებული სიხშირის ცვლილების მრუდები წარმოდგენილია ნახ. 1-ზე. 260 მგვტ სიმძლავრით დატვირთული აგრეგატის გამორთვა, განხილულ რეჟიმში, არ იწვევს სიხშირის საგ-ის ამოქმედების ზღვრამდე შემცირებას. სხვადასხვა სიმძლავრით დატვირთული სისტემათაშორისო ხაზის გამორთვა იწვევს საგ-ის ამოქმედებას.

თითოეული სიმულაციისას საქართველოს ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში დაფიქსირებული სიხშირის მაქსიმალური დინამიკური გადახრა და შემფოთების სიდიდეები წარმოდგენილია ცხრ. 1-ში.



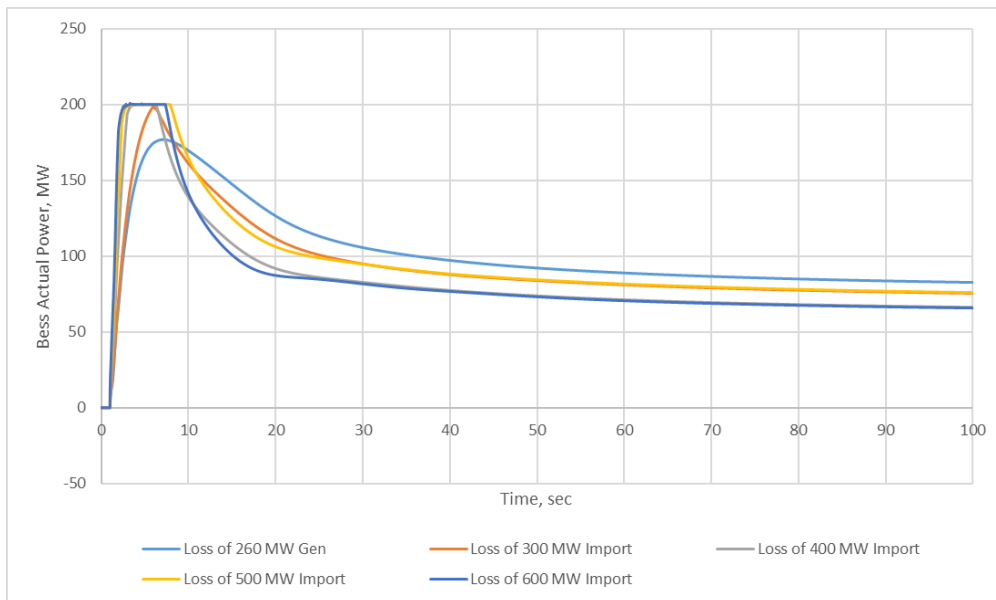
ნახ. 1.

ცხრილი 1

შეშვოთების სიდიდე, მგვტ	260	300	400	500	600
სიხშირის მაქსიმალური დინამიკური გადახრა, ჰც	0,89	1,01	1,21	1,34	1,53

ცხრილი 2

შეშვოთების სიდიდე, მგვტ	ამოქმედებული საფეხურების რაოდენობა	გამორთული ჯამური მოხმარება, მგვტ
260		0
300	1	63,84
400	3	197,71
500	4	272,10
600	6	413,30



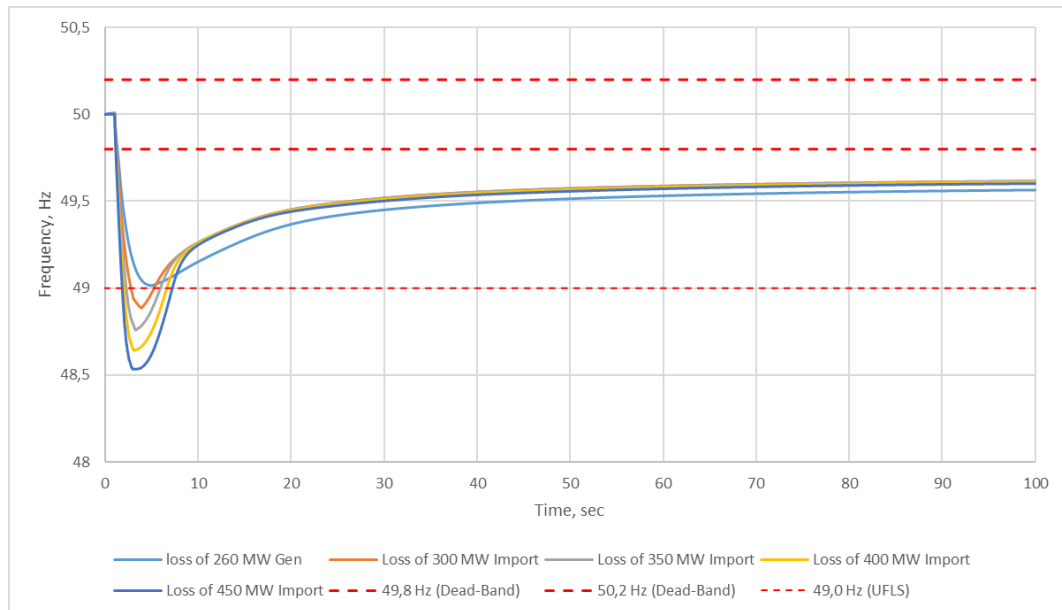
ნახ. 2.

2. ზამთრის მინიმალური მოხმარების რეჟიმი

ამ სცენარში ჩატარდა 260 მგვტ-ით დატვირთული აგრეგატის და სხვადასხვა სიმძლავრით დატვირთული სისტემათა-შორისო ხაზის გამორთვის მოდელირება. სისტემათაშორისო ხაზის დატვირთვა იცვლება 300 მგვტ-დან 450 მგვტ-ის ჩათვლით 50 მგვტ სიმძლავრის ტოლი ბიჯით. სიმულაციის შედეგები წარმოდგენილია ნახ. 3-ზე. 260 მგვტ სიმძლავრით დატვირთული აგრეგატის

გამორთვისას, განხილულ რეჟიმში, სიხშირის მინიმალური მნიშვნელობა ახლოს არის საგ-ის ზღვართან. სხვადასხვა სიმძლავრით დატვირთული სისტემათა-შორისო ხაზის გამორთვა იწვევს საგ-ის ამოქმედებას.

თითოეული სიმულაციისას საქართველოს ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში დაფიქსირებული სიხშირის მაქსიმალური დინამიკური გადახრა და შეშვოთების სიდიდე წარმოდგენილია ცხრ. 3-ში.



ნახ. 3.

ცხრილი 3

შეშვოების სიდიდე, მგვტ	260	300	350	400	450
სიხშირის მაქსიმალური დინამიკური გადახრა, ჰც	0,99	1,11	1,24	1,36	1,47

ცხრილი 4

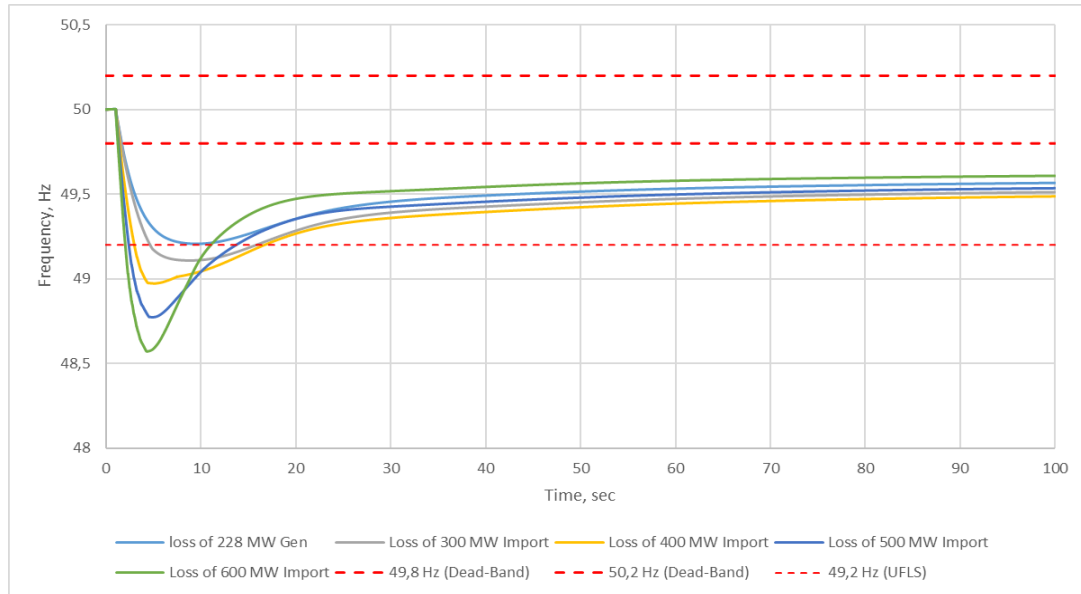
შეშვოების სიდიდე, მგვტ	ამოქმედებული საფეხურების რაოდენობა	გამორთული ჯამური მოხმარება, მგვტ
260	0	0
300	2	75,39
350	3	125,06
400	4	171,38
450	5	217,14

3. ზაფხულის მაქსიმალური მოხმარების რეჟიმი

ამ სცენარში ჩატარდა 228 მგვტ-ით დატვირთული აგრეგატის და სხვადასხვა სიმძლავრით დატვირთული სისტემათაშორისო ხაზის გამორთვის მოდელირება. სისტემათაშორისო ხაზის დატვირთვა იცვლება 300 მგვტ-დან 600 მგვტ-ის ჩათვლით 100 მგვტ სიმძლავრის ტოლი

ბიჯით. სიმულაციის შედეგები წარმოდგენილია ნახ. 4-ზე. 228 მგვტ სიმძლავრით დატვირთული აგრეგატის გამორთვა, განხილულ რეჟიმში, იწვევს სიხშირის საგ-ის ამოქმედების ზღვრამდე შემცირებას. სხვადასხვა სიმძლავრით დატვირთული სისტემათაშორისო ხაზის გამორთვა იწვევს საგ-ის ამოქმედებას.

თითოეული სიმულაციისას საქართველოს ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში დაფიქსირებული სიხშირის მაქსიმალური დინამიკური გადახრა და შეშფოთების სიდიდე წარმოდგენილია ცხრ. 5-ში.



ნახ. 4.

ცხრილი 5

შეშფოთების სიდიდე, მგვტ	228	300	400	500	600
სიხშირის მაქსიმალური დინამიკური გადახრა, ჰც	0,80	0,89	1,03	1,23	1,43

ცხრილი 6

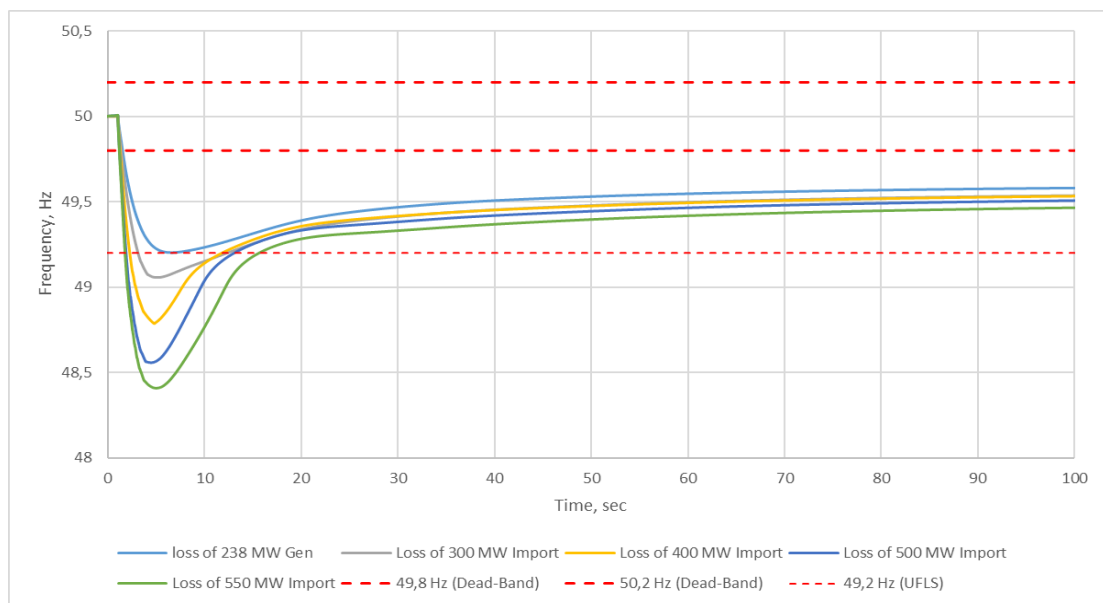
შეშფოთების სიდიდე, მგვტ	ამოქმედებული საფეხურების რაოდენობა	გამორთული ჯამური მოხმარება, მგვტ
228	0	0
300	1	28,57
400	3	211,36
500	5	347,31
600	7	493,68

4. ზაფხულის მინიმალური მოხმარების რეჟიმი

ამ სცენარში ჩატარდა 238 მგვტ-ით დატვირთული აგრეგატის და სისტემათაშორისო ხაზის გამორთვის მოდელირება. სისტემათაშორისო ხაზის დატვირთვა იცვლება 300 მგვტ-დან 550 მგვტ-ის ჩათვლით. 300 მგვტ-დან 500 მგვტ-მდე 100 მგვტ სიმძლავრის, ხოლო 500 მგვტ-დან 550 მგვტ-მდე 50 მგვტ სიმძლავრის ტოლი ბიჯით. სიმულაციის შედეგები წარმოდგენილია ნახ. 5-ზე. 238 მგვტ

სიმძლავრით დატვირთული აგრეგატის გამორთვისას, განხილულ რეჟიმში, იწვევს სიხშირის საგ-ის ამოქმედების ზღვრამდე შემცირებას. სხვადასხვა სიმძლავრით დატვირთული სისტემათაშორისო ხაზის გამორთვა იწვევს საგ-ის ამოქმედებას [7,8].

თითოეული სიმულაციისას საქართველოს ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში დაფიქსირებული სიხშირის მაქსიმალური დინამიკური გადახრა და შეშფოთების სიდიდე წარმოდგენილია ცხრ. 7-ში.



ნახ. 5.

ცხრილი 7

შეშფოთების სიდიდე, მგვტ	238	300	400	500	550
სიხშირის მაქსიმალური დინამიკური გადახრა, ჰც	0,80	0,94	1,21	1,44	1,59

ცხრილი 8

შეშფოთების სიდიდე, მგვტ	ამოქმედებული საფეხურების რაოდენობა	გამორთული ჯამური მოხმარება, მგვტ
238	0	0
300	2	98,32
400	5	218,79
500	7	310,97
550	8	348,26

დასკვნა

ქვეყნის ელექტროენერგეტიკული სისტემის დინამიკური მდგრადობა არის საფუძველი ქვეყნის საერთო ენერგეტიკული სტაბილურობის, აქედან გამომდინარე მნიშვნელოვანია ყველა ის ფაქტორი და ელემენტი, რომელიც დინამიკური მდგრადობის უწყვეტ რეჟიმში შენარჩუნების საქმეში გარკვეულ წვლილს შეიტანს. სტატიაში განვიხილეთ ბატარეას ელექტროენერგიის დამაგროვებელი სისტემები ორმხრივი ნახევარგამტარული გარდამქმნელით „Bidirectional AC/DC Converter“, რომელიც დროის დაყოვნების გარეშე რეაგირებენ სისტემაში წარმოქმნილ გარკვეულ შემფოთებებზე. ყველა მოქმედი რეგულატორები, რაც არსებობს დღეს ელექტროენერგეტიკული სისტემის დინამიკური მდგრადობის შენარჩუნების მიზნით, რეაგირებისთვის მოითხოვს გარკვეულ დროს და მოქმედებს დროის დაყოვნებით, ხოლო თანამედროვე ბატარეას ელექტროენერგიის დამაგროვებელ სისტემებს, როგორც უკვე ავღნიშნეთ გააჩნია ენერგიის მართვის სისტემა, დროის დაყოვნების გარეშე რეაგირებს შემფოთებებზე.

ყოველივე ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე ბატარეას ელექტროენერგიის დამაგროვებელი სისტემები უზრუნველყოფს აღმოფხვრას ყოველგვარი შემფოთებები და ელექტროენერგეტიკულ სისტემას არ გადაიყვანს ავარიის წინა და მითუმეტეს ავარიულ რეჟიმში.

ლიტერატურა

1. Maly, D. & Kwan, K (1995). Optimal BESS charge scheduling with dynamic programming. IEE Proceedings – science, Measurement and Technology. №6/1995. p. 60–85.
2. Wang, S. & Chen, C (1995). Computer-aided transducer calibration system for a practical power system. IEE Proceedings – science, Measurement and Technology. №6/1995. p. 86–90.
3. Museliani, T. & Jintchveishvili, B. (2023). In order to increase the stability of the electric power system, installation of battery energy storage system near 500 kv substations and justification of its need. International organization of scientific research – IOSR-JEEE. E-ISSN:2278-1676, p-ISSN:2320-3331, Volume 18, Issue 4 Ser. I (July.-August. 2023). p. 12–15.
<https://www.iosrjournals.org/iosr-jeee/Papers/Vol18-Issue4/Ser-1/C1804011215.pdf>
4. Museliani, T., Vakhtangadze, I. & Jintchveishvili, B. (2024). Analysis of the selection and location of battery energy storage systems in the distribution network. Scientific-technical refereed journal Energy. №2(110)/2024. p. 11–23.
5. Museliani, T. & Jintchveishvili, B. (2024). Maintaining the dynamic stability of the power system during instantaneous disturbances using a battery energy storage system. 88th Open International Scientific Conference of the Georgian Technical University, Panel Session: Electrical Engineering and Electronics, 1st place.
<https://www.interpressnews.ge/ka/article/801008-stu-is-studentta-88-e-gia-saertashoriso-samecniero-konperenciis-parglebshi-energetikis-pakultetma-gamarjvebulebi-gamoavlina/>
6. Museliani, T., Museliani, G. & Jintchveishvili, B. (2024). Foreign experience of electricity storage systems. 1st international congress on energy systems engineering, Akaki Tsereteli State University, INESEC 2024, Panel Session 1: Power Industry Technology. p.24-25.
<https://www.atsu.edu.ge/ge/faculty/8-sainzhinroteknikuri-pakulteti/news/1992-i-saertashoriso-kongresi-energetikuli-sistemebis-inzhineriashi-inesec2024>
7. Museliani, T. & Jintchveishvili, B. (2024). Dynamic stability analysis of the Georgian power system using integrated bidirectional AC/DC converters and energy management systems in battery energy storage systems. Works of GTU. SCOPUS CODE 2105. №4(534)/2024. p.146 – 154.
<https://shromebi.gtu.ge/admin/uploads/4%2C2024/014-museliani.pdf>
8. Lolashvili, M. (2023). English For Power Engineers//Journal Georgian State Electrosystem. №1/2023. p.4–115.

A SIMULATED MODEL OF CONTROLLING A 200 MW BATTERY ENERGY STORAGE SYSTEM USING A BIDIRECTIONAL SEMICONDUCTOR CONVERTER USING AN ENERGY MANAGEMENT SYSTEM.

T.Museliani, I.Vakhtangadze, G.Vakhtangadze, O.burdiashvili, B.Jintchveleishvili, A.Kamarauli.

“Energy”. №1(112). 2025. Tbilisi. p. 27-34. geo. sum geo. engl.rus.

In the article, a simulated BESS control model is implemented in the program „DIGSILENT PowerFactory“ when the system operates in isolated mode, during which an emergency shutdown of more than 200 MW of generation occurs, and also when the system operates in synchronous mode with a neighboring power system, an import of 300 MW to 600 MW is underway and the import is instantly terminated for various reasons. Let's consider various cases, including:

1. On the inter-system line on which the import is taking place, the line is disconnected at the other end, meaning at the substation of the neighboring system, while at the head of the line, i.e. at the substation of the Georgian energy system, the line remains connected, during which the automatic anti-accident system does not work;
2. The inter-system line on which the import is taking place is shut down at both ends, but due to a malfunction of the fiber optic cable or a software error, the automatic anti-accident system does not come into operation;
3. During the system's autonomous operation, the anti-accident automatics were blocked due to a technical malfunction and only the “automatic frequency unloading” automatics remain in operation.

Ill. 5, tabl. 8, bibl. 8.

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ НАКОПЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ МОЩНОСТЬЮ 200 МВт С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДВУНАПРАВЛЕННОГО ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИКОЙ.

Т.Муселиани, И.Вахтангадзе, Г.Вахтангадзе, О.Бурдиашвили, Б.Джинчвелелишвили, А.Камараули.

“Энергия”. № 1(112).2025 . Тбилиси. с. 27-34. груз. реф. груз.англ. рус.

В статье реализована имитационная модель управления BESS в программе «DIGSILENT PowerFactory» при работе системы в изолированном режиме, в ходе которого происходит аварийное отключение более 200 МВт генерации, а также при работе системы в синхронном режиме с соседней энергосистемой, идет импорт от 300 МВт до 600 МВт и импорт мгновенно прекращается по разным причинам. Рассмотрим различные случаи, в том числе:

1. На межсистемной линии, по которой происходит импорт, линия отключается на другом конце, т.е. на подстанции соседней системы, а в голове линии, т.е. на подстанции Грузинской энергосистемы, она остается подключенной, при этом автоматика противоаварийной защиты не работает.
2. Межсистемная линия, по которой происходит импорт, отключается на обоих концах, но из-за неисправности оптоволоконного кабеля или ошибки программного обеспечения, автоматика противоаварийной защиты не срабатывает.
3. Во время автономной работы системы автоматика противоаварийной защиты была заблокирована из-за технической неисправности и в работе осталась только автоматика «автоматической разгрузки частоты».

Илл. 5, табл. 8, лит. 8.

რეაქტიული სიმძლავრით გამოწვეული აქტიური ელექტროენერგიის დანაკარგები,
მათი შემცირების ტექნიკური ღონისძიებები და ფინანსური ეფექტი

*ტიტიკო შერგელაშვილი - აკადემიური დოქტორი, ასოცირებული პროფესორი

E-mail: shergelashvili.tite@gmail.com

**ნინო გოზალიშვილი - აკადემიური დოქტორი

E-mail: ngozalishvili20@yahoo.com

გიორგი სულაქველიძე - მაგისტრი

E-mail: sulakvelidze.giorgi@yahoo.com

* საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

** სააქციო საზოგადოება „საქართველოს სახელმწიფო ელექტროსისტემა“

ანოტაცია. განხილულია რეაქტიული სიმძლავრით გამოწვეული, აქტიური ელექტროენერგიის დანაკარგების შემცირების ღონისძიებები. აქტიური სიმძლავრის კოეფიციენტის გაუმჯობესება კონდენსატორთა ბატარიის გამოყენებით. შერჩეულია შესაბამისი სიმძლავრის კონდენსატორთა ბატარეა, რომელიც უზრუნველყოფს აქტიური სიმძლავრის კოეფიციენტის გაუმჯობესებას 0,85-დან 0,95-მდე. დათვლილია ფინანსურად რა სარგებლობის მოტანა შეუძლია აღნიშნული ღონისძიების გატარებას.

საკვანძო სიტყვები: ელექტროენერგიის დანაკარგები, რეაქტიული ენერგია, კონდენსატორთა ბატარეა.

ელექტროსისტემის მუშაობის ძირითად მიზანს წარმოადგენს მინიმალური დანახარჯების პირობებში მომხმარებელთა საიმედო ელექტრომომარაგება მაღალი ხარისხის ელექტრული ენერგიით. დანახარჯების ერთ-ერთი ძირითადი შემადგენელი ნაწილია აქტიური ენერგიის დანაკარგები. ამ ყველაფრის გასაანალიზებლად შეგვიძლია განვიხილოთ შემდეგი სახის დანაკარგები:

- საანგარიშსწორებო დანაკარგები, რომელიც წარმოადგენს ყველა სახის წყაროდან (სისტემის ელექტროსადგურები და მეზობელი ენერგოსისტემები) სისტემაში შემოსული და მომხმარებელთა მიერ მოხმარებული ელექტროენერგიების რაოდენობათა შორის სხვაობას. რიგ შემთხვევაში, რეალიზებული ელექტრული ენერგიის მოცულობა დგინდება მომხმარებლის მიერ დახარჯული

ენერგიის საფასურის გადახდის მეშვეობით.

- ტექნიკური დანაკარგები, რომელიც განისაზღვრება ქსელის მუშაობის რეჟიმების მიხედვით და წარმოადგენს ელექტროენერგიის იმ რაოდენობას რაც იხარჯება ქსელის ელემენტების დენგამტარი ნაწილების გახურებაზე, ელექტრომაგნიტური ველების შექმნაზე და სხვადასხვა ფაქტორებზე;

- კომერციული დანაკარგები, რომელიც წარმოადგენს საანგარიშსწორებო და ტექნიკურ დანაკარგებს შორის სხვაობას. ამ სახის დანაკარგები განპირობებულია, ერთი მხრივ, ტექნიკური დანაკარგების გაანგარიშებებში დაშვებული უზუსტობით და, მეორე მხრივ, ელექტროენერგიის აღრიცხვის მექანიზმების არასრულყოფილებით. ტექნიკური ღონისძიებები მოითხოვს დამატებით ფინანსურ ხარჯს,

რომელიც გარკვეულ ნორმატიულ ვადაში მთლიანად ამოღებული უნდა იყოს დანაკარგების შემცირების შედეგად საექსპლუატაციო ხარჯებში მიღებული ეკონომიით.

ელექტროენერგიის დანაკარგები წარმოადგენს უდიდეს გამოწვევას ენერგეტიკულ სექტორში, როგორც უკვე აღნიშნეთ ის გავლენას ახდენს როგორც ეკონომიკურ ეფექტურობაზე, ასევე ენერგეტიკულ მდგრადობაზე. დანაკარგებზე გავლენას ახდენს ისეთი ფაქტორები, როგორიცაა დატვირთვის განაწილება, სისტემის შემადგენელი ნაწილები და გამოყენებული მასალების ხარისხი. ელექტროენერგიის დანაკარგები შეიძლება დაიყოს ტექნიკურ და არა ტექნიკურ დანაკარგებად. შემდეგ თავებში უფრო ფართოდ განვიხილავთ ტექნიკურ უზუსტობების კონკრეტულ შემთხვევას ქს „ხესტაფონი-500“-ის მაგალითზე სადაც აღწერილი იქნება აღნიშნული პრობლემა და ტექნიკური ღონისძიებების გზით მოგაწვდით რჩევებს, თუ როგორ შეიძლება დანაკარგების შემცირება და გაჩვენებთ შესაბამის ანგარიშებს მოცემულ საკითხთან დაკავშირებით.

ელექტროენერგიის დანაკარგების ანგარიში 110კვ-იან ტ-1 ტრანსფორმატორში

ქვესადგურში არსებული ტრანსფორმატორის ტიპია - ТДН-16000/110 (ტრანსფორმატორების ტიპები და შესაბამისი პარამეტრები მოცემულია ცხრილში ნახ. 19). მოცემული ტრანსფორმატორის შესაბამისი საანგარიშო პარამეტრებია:

$U_{\text{გ}} = 10,5\%$; $\Delta P_{\text{გ}} = 85$ კვტ; $\Delta P_{\text{ტ.ს}} = 19$ კვტ; $\Delta I_{\text{ტ.ს}} = 0,7\%$; $R_{\text{ტ}} = 4,38$ ომი;
 $X_{\text{ტ}} = 86,7$ ომი; $\Delta Q_{\text{ტ.ს}} = 112$ კვარ.

მოცემულ ტრანსფორმატორზე გვაქვს შემდეგი სახის პრობლემა, $\cos\varphi$

მნიშვნელობა მუდმივად ცვალებადია და ბევრად ნაკლებია დასაშვებ ნორმაზე, რაც თავის მხრივ იწვევს ქსელში დანაკარგების გაზრდას. ამიტომ დანაკარგების შესამცირებლად ჩვენი მიზანია აქტიური სიმძლავრის კოეფიციენტის ამაღლება ($\cos\varphi$). საშუალოდ აქტიური სიმძლავრის კოეფიციენტის მნიშვნელობა 0,67-0,85-ის შორის მერყეობს.

ჩვენ ანგარიშებში ავიღეთ $\cos\varphi$ -ის მაქსიმალური მნიშვნელობა, რომელიც 0,85-ის ტოლია, ხოლო მომხმარებლებისათვის აუცილებელ მოთხოვნას წარმოადგენს ქსელთან მიერთების წერტილში $\cos\varphi$ -ის მნიშვნელობა შეინარჩუნოს არანაკლებ 0,95-ისა. ამ ორი მნიშვნელობის მიხედვით განხორციელდა დანაკარგების გაანგარიშება 2023 წლის პერიოდისათვის. სადაც დათვლილია დანაკარგების საშუალო დღიური, თვის და წლიური მნიშვნელობები (0,85 და 0,95 მნიშვნელობებისთვის).

თუ აქტიური სიმძლავრის კოეფიციენტის არსებულ მაქსიმალურ მნიშვნელობას ავიღებთ $\cos\varphi = 0,85$ მაშინ, $\sin\varphi$ და $\text{tg}\varphi$ გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$\begin{aligned} \sin\varphi &= \sqrt{1^2 - \cos^2\varphi} = \\ \sqrt{1^2 - 0,85^2} &= 0,526783; \text{tg}\varphi = \frac{\sin\varphi}{\cos\varphi} = \\ &= \frac{0,526783}{0,85} = 0,619744, \end{aligned} \quad (1)$$

ხოლო ტექნიკური ღონისძიებების გატარება გულისხმობს აქტიური სიმძლავრის კოეფიციენტის სასურველ მნიშვნელობამდე გაზრდას, $\cos\varphi = 0,95$ შესაბამისად:

$$\begin{aligned} \sin\varphi &= \sqrt{1^2 - \cos^2\varphi} = \sqrt{1^2 - 0,95^2} = 0,31225; \\ \text{tg}\varphi &= \frac{\sin\varphi}{\cos\varphi} = \frac{0,31225}{0,95} = 0,328684. \end{aligned} \quad (2)$$

*რეაქტიული ენერგიის კომპენსირებით
მიღებული შედეგები*

500/220/110/10 კვ კ/ს „ზესტაფონ“-ში ტ-1 ძალოვანი ტრანსფორმატორის დატვირთვა შეადგენს 2 854.8 კვტ-ს. რეაქტიული ენერგიის კომპენსირებისათვის საჭიროა 10 კვ ფიდერებზე მიერთებული მომხმარებლების ძალოვანი ტრანსფორმატორის 0,4 კვ მხარეს, გამანაწილებელ მოწყობილობებში 0,4 კვ სალტებზე უნდა დამონტაჟდეს კონდენსატორთა ბატარეა ჯამური სიმძლავრით 830 კვარ. მოთხოვნილი ჯამური სიმძლავრე $P = 2854,8$ კვტ; რეალური $\cos\varphi_1 = 0,85$, მოთხოვნილი $\cos\varphi_2 = 0,95$, შესაბამისად, $\operatorname{tg}\varphi_1 = 0,619$ $\operatorname{tg}\varphi_2 = 0,328$
 $\Sigma Q_c = P \cdot ((\operatorname{tg}(\varphi_1) - \operatorname{tg}(\varphi_2))) = 2854,8 \cdot 0,29106 \approx 830$ კვარ. (3)

ელექტროგადაცემისას აქტიური სიმძლავრის დანაკარგებს იწვევს როგორც აქტიური, ასევე რეაქტიული სიმძლავრის ნაკადი.

გამოსახულებიდან ჩანს, რომ თუ სიმძლავრის ნაკადის ცვლილებისას სიმძლავრის კოეფიციენტი უცვლელი დარჩება ($\operatorname{tg}\varphi = \text{const}$ ანუ $\cos\varphi = \text{const}$) დანაკარგები იცვლება აქტიური სიმძლავრის კვადრატის პროპორციულად. დანაკარგები დაბალია, რაც უფრო მეტია აქტიური სიმძლავრის კოეფიციენტი ($\cos\varphi$).

$$\Delta P_1 = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} \cdot R = \frac{P^2}{U^2 \cdot \cos^2\varphi} \cdot R \quad (4)$$

$$\Delta P_2 = \frac{P^2 + (Q - Q_{\text{კომ}})^2}{U^2} \cdot R, \quad (5)$$

ΔP_1 და ΔP_2 - დანაკარგები კომპენსირებამდე და კომპენსირების შემდეგ;

P და Q - დატვირთვის აქტიური და რეაქტიული სიმძლავრის მნიშვნელობები;
 U - ტრანსფორმატორის ნომინალური ძაბვა (10კვ);

R - ტრანსფორმატორის აქტიური წინაღობა. თვალსაჩინოებისათვის მოცემული ფორმულით დავითვალოთ დანაკარგები ერთი კონკრეტული დღისთვის, შემდეგ, კი - ჩავშალოთ თვის განმავლობაში.

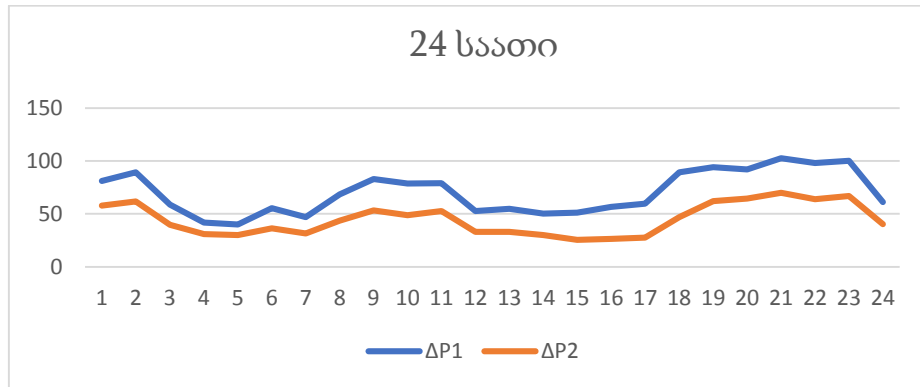
$$\Delta P_1 = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} \cdot R = \frac{(23762,8)^2 + (18333,6)^2}{10^2} \cdot 4,38 = 1685,27 \text{ კვტ. სთ} \quad (6)$$

$$\Delta P_2 = \frac{P^2 + (Q - Q_{\text{კომ}})^2}{U^2} \cdot R = \frac{(23762,8)^2 + (23762,8 - 18333,6)^2}{10^2} \cdot 4,38 = 1075,43 \text{ კვტ. სთ} \quad (7)$$

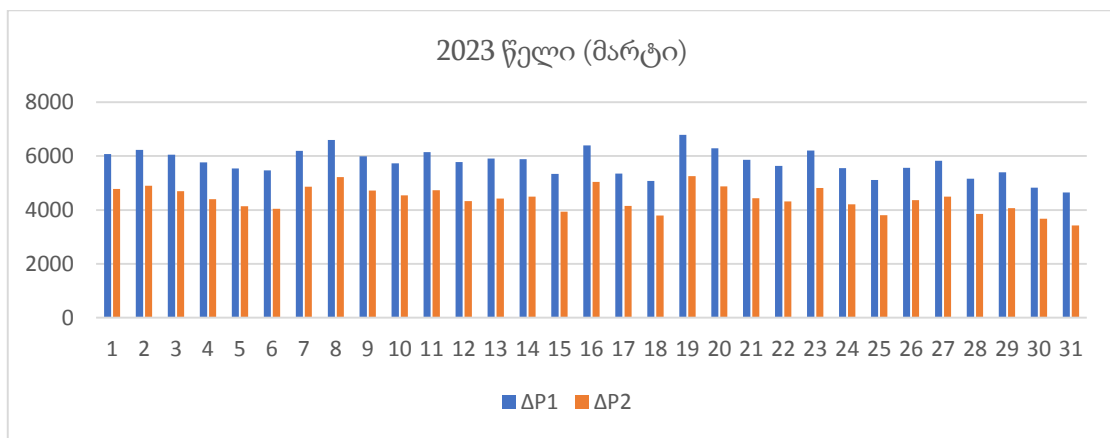
$$\Delta P_1 - \Delta P_2 = 1685,27 - 1075,43 = 609,84 \text{ კვტ. სთ} \quad (8)$$

აღნიშნული გამოთვლებიდან გამომდინარე, ჩანს, თუ რამდენით შემცირდა დანაკარგები ერთი დღის ჭრილში. მსგავსი პრინციპით ანგარიში ჩატარდა 2023 წლის ყველა თვისთვის, რომლითაც დავითვალოთ მთელი წლის განმავლობაში ამოღებული $\cos\varphi$ -ის პირობებში სიმძლავრის დანაკარგის მნიშვნელობა და კომპენსირებული რეაქტიული ენერგიით გამოწვეული დანაკარგის სიდიდეები.

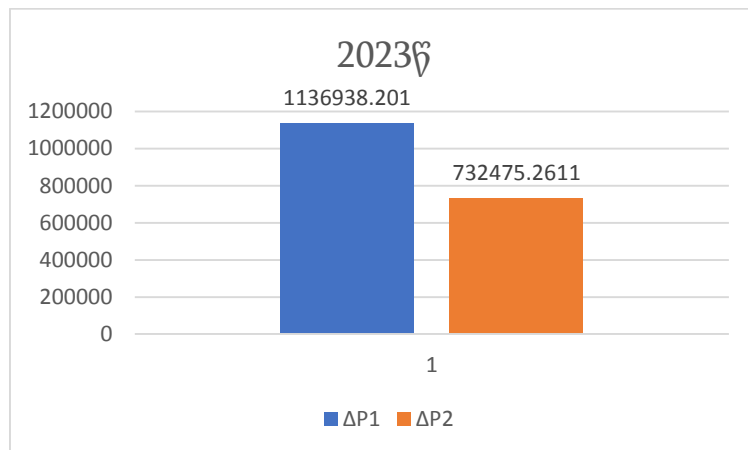
აღნიშნული ანალიზით, $\cos\varphi=0,85$ პირობებში, ერთი წლის განმავლობაში ტრანსფორმატორში დანაკარგმა შეადგინა 1 136 938,201 კვტ.სთ, ხოლო მისი გაუმჯობესების (ამაღლების) შემდეგ ანუ $\cos\varphi=0,95$ დროს - დანაკარგმა შეადგინა 732 475,2611 კვტ.სთ. შესაბამისად ჩატარებული ღონისძიების მიხედვით დანაკარგი შემცირდა - 1 136 938,201 - 732 475,2611 = 404 462,9 კვტ.სთ-ით.



ნახ. 1. დანაკარგები 1 დღის ჭრილში საათურად



ნახ. 2. დანაკარგები 1 თვის განმავლობაში



ნახ. 3. დანაკარგებს შორის სხვაობა

მიღებულ რიცხვით მნიშვნელობას ჩვენ გავამრავლებთ საბალანსო ელექტრო-ენერგიის ღირებულებაზე და დავითვლით ერთი წლის განმავლობაში მიღებულ ფინანსურ სარგებელს. საბალანსო ელექ-

ტროენერგიის საშუალო წლიური ღირებულება ტოლია: $E = 13,6191055$ თეთრი
 $(\Delta P_1 - \Delta P_2) \cdot E = (1\,136\,938,201 - 732\,475,2611) \cdot 13,6191055 = 55\,006,95$ ლარი (9)

დასკვნა

ელექტროსისტემის მუშაობის ძირითად მიზანს წარმოადგენს მინიმალური დანახარჯების პირობებში მომხმარებელთა საიმედო ელექტრომომარაგება მაღალი ხარისხის ელექტრული ენერგიით. დანახარჯების ერთ-ერთი ძირითადი შემადგენელი ნაწილია აქტიური ენერგიის დანაკარგები.

ენერგეტიკის სფეროში ხშირად დასმული საკითხებია დანაკარგები და სისტემის მდგრადობა, აქედან გამომდინარე ელექტროენერგიის აღრიცხვის სისტემების ოპტიმიზაცია ტექნიკური ღონისძიებების საშუალებით აუცილებელია დანაკარგების შემცირებისა და ელექტროქსელების ეფექტურობის გაუმჯობესებისთვის.

ელექტროგამანაწილებელი სისტემა და განსაკუთრებით მისი დაბალი ძაბვის მხარე საჭიროებს უფრო მეტ ყურადღებას, რადგან ის საკმაოდ პრობლემატურია. კვლევები და მოცემული გამოთვლები აჩვენებს, რომ მოწინავე ტექნოლოგიების გამოყენებამ, დღესდღეობით მნიშვნელოვნად გაზარდა ელექტროენერგიის აღრიცხვის სიზუსტე და საიმედოობა.

სტატიით წარმოდგენილი, ჩატარებული ანგარიშებიდან გამომდინარე, ჩანს, თუ რამდენად მნიშვნელოვანია რეაქტიული სიმძლავრით გამოწვეულ დანაკარგების წილი ენერგოსისტემებში, ამიტომაც თუ ჩვენ დავავალდებულებთ გამანაწილებელ კომპანიებს უზრუნველყოს $\cos\varphi$ – ს მნიშვნელობა 0,95 ის ფარგლებში, ერთის მხრივ გააუმჯობესებს 500/220/110/10 კვ ქს „ზესტაფონში“ ძალოვანი ტრანსფორმატორის (ტ-1) მუშაობის პირობებს და მეორეს მხრივ შეამცირებს ამ მოწყობილობაში სიმძლავრის დანაკარგის მნიშვნელობას, რაც თავის მხრივ ფინანსურ სარგებელს მოუტანს მომხმარებელს. მიღებული ანგარიშების შესაბამისად, გაიცა რეკომენდაცია დაცული იყოს მომხმარებლების მიერ ქსელთან მიერთების წერტილში აქტიური სიმძლავრის კოეფიციენტის დასაშვებ ზღვრებში შენარჩუნების საკითხი.

ლიტერატურა

1. გოზალიშვილი ნ., ქორქია ე. ელექტრულ ქსელებში ელექტროენერგიის აღრიცხვის საფუძვლები. საქართველოს სახელმწიფო ელექტროსისტემა. 2014. გვ. 287
2. მახარაძე გ. ელექტროენერგეტიკული (ელექტრული) სისტემები. თბილისი. 2011. გვ. 411

ACTIVE ELECTRICITY LOSSES CAUSED BY REACTIVE POWER, TECHNICAL MEASURES TO REDUCE THEM AND FINANCIAL IMPACT.

T.Shergelashvili, N. Gozalishvili, G.Sulakvelidze.

“Energy”. №1(112). 2025. Tbilisi. p.35-40. geo. sum geo. engl.rus.

The article discusses measures to reduce active electricity losses caused by reactive power. It explores the improvement of the active power factor through the use of a capacitor bank. A capacitor bank of appropriate capacity has been selected to enhance the active power factor from 0.85 to 0.95. Additionally, a financial assessment has been conducted to determine the potential economic benefits of implementing this measure.

Ill. 3, bibl. 2.

ПОТЕРИ АКТИВНОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ, ВЫЗВАННЫЕ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТЬЮ, ТЕХНИЧЕСКИЕ МЕРЫ ПО ИХ СНИЖЕНИЮ И ИХ ФИНАНСОВОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ.

Т.Шергелашвили, Н.Гозалишвили, Г. Сулаквелидзе

“Энергия”. № 1(112).2025 . Тбилиси. с. 35-40. груз. реф. груз.англ. рус.

В статье рассматриваются мероприятия по снижению потерь активной электроэнергии, вызванных реактивной мощностью. Изучается улучшение коэффициента активной мощности с использованием батареи конденсаторов. Подобрана батарея конденсаторов соответствующей мощности, которая обеспечивает повышение коэффициента активной мощности с 0,85 до 0,95. Также проведён финансовый расчёт для оценки экономической выгоды от реализации данной меры.

Илл. 3, лит. 2 назв.

ინოვაციური პროგნოზირების მეთოდები ელექტროენერგიის მოხმარებაში: თბილისის
მოხმარების დაგეგმვა

გიორგი ხორბალაძე - აკადემიური დოქტორი

E-mail: giorgi.khorbaladze@gse.com.ge

ზვიად გაჩეჩილაძე - აკადემიური დოქტორი

E-mail: zviad.gachechiladze@gse.com.ge

გოჩა კოხრეიძე - საქართველოს ენერგეტიკის აკადემიის ნამდვილი წევრი

E-mail: gocha.kokhreidze@gse.com.ge

ირაკლი ვახტანგაძე - აკადემიური დოქტორი

E-mail: irakli.vakhtangadze@gse.com.ge

ნინო გოზალიშვილი - აკადემიური დოქტორი

E-mail: nino.gozalishvili@gse.com.ge

სააქციო საზოგადოება „საქართველოს სახელმწიფო ელექტროსისტემა“

ანოტაცია. სტატია წარმოადგენს თბილისის ელექტროენერგიის მოხმარების პროგნოზირების კომპლექსურ ანალიზს, რომელიც ეფუძნება თანამედროვე მანქანური სწავლების მეთოდებს. კვლევაში გამოყენებულია 2 მძლავრი პროგნოზირების მოდელი - SARIMA (Seasonal AutoRegressive Integrated Moving Average) და Prophet, რომლებიც საშუალებას იძლევა გათვალისწინებულ იქნას მრავალფაქტორიანი გავლენები ელექტროენერგიის მოხმარებაზე.

დეტალურადაა გაანალიზებული დროითი მწკრივების მნიშვნელობა ენერგეტიკის სექტორში, სადაც განსაკუთრებული ყურადღება ეთმობა ისტორიული მონაცემების სტატისტიკურ დამუშავებას, მოხმარების ტენდენციების იდენტიფიცირებას და სეზონური ფაქტორების გავლენის შეფასებას. კვლევის ფარგლებში ჩატარებულია სიღრმისეული კორელაციური ანალიზი გარემო ფაქტორებსა და ელექტროენერგიის მოხმარებას შორის, რაც მოიცავს ტემპერატურის, ტენიანობის, ქარის სიჩქარისა, მზის რადიაციისა და ნალექიანობის გავლენების შესწავლას.

მეთოდოლოგიური თვალსაზრისით, კვლევა ეყრდნობა მონაცემთა ვიზუალიზაციის თანამედროვე ტექნიკებს, რაც საშუალებას იძლევა თვალსაჩინოდ წარმოჩინდეს რთული სტატისტიკური კანონზომიერებები და ტენდენციები. განსაკუთრებული ყურადღება ეთმობა 2024 წლის აპრილი-ოქტომბრის პერიოდის პროგნოზირებას, სადაც გამოყენებულია შემთხვევითი შერჩევის მეთოდი პროგნოზირებული დღეების იდენტიფიცირებისთვის.

კვლევის შედეგები წარმოადგენს მნიშვნელოვან პრაქტიკულ ღირებულებას ენერგეტიკული სექტორის დაგეგმვისა და მართვისთვის. სტატია გვთავაზობს დეტალურ მეთოდოლოგიურ ჩარჩოს და პრაქტიკულ რეკომენდაციებს ენერგომოხმარების პროგნოზირებისთვის, რაც ხელს შეუწყობს ენერგეტიკული სისტემების ოპტიმიზაციას და მდგრად განვითარებას.

საკვანძო სიტყვები: ელექტროენერგიის მოხმარება, პროგნოზირება, SARIMA, Prophet, დროის სერიების ანალიზი, ენერგეტიკული მოდელირება, სეზონურობა.

შესავალი

ელექტროენერგიის მოხმარების საათო-ბრივი პროგნოზირება წარმოადგენს ენერგეტიკის სექტორის ერთ-ერთ უმნიშვნელოვანეს გამოწვევას, განსაკუთრებით

სწრაფად მზარდი ქალაქებისთვის. თბილისი, როგორც საქართველოს დედაქალაქი და რეგიონის მნიშვნელოვანი ეკონომიკური ცენტრი, ხასიათდება ელექტროენერგიაზე მზარდი მოთხოვნით,

რაც განპირობებულია მოსახლეობის ზრდით, ურბანული განვითარებითა და ეკონომიკური აქტივობის გაძლიერებით.

ენერგიის მოხმარების ზუსტი პროგნოზირება კრიტიკულ როლს თამაშობს ენერგეტიკული სისტემის ეფექტურ მართვაში. არასწორმა პროგნოზირებამ შეიძლება გამოიწვიოს როგორც ენერგიის დეფიციტი, ასევე ჭარბი მიწოდება, რაც თავის მხრივ იწვევს მნიშვნელოვან ეკონომიკურ დანაკარგებს და უარყოფით გავლენას ახდენს გარემოზე. აღნიშნული პრობლემის გადაჭრა მოითხოვს თანამედროვე მანქანური სწავლების მეთოდების გამოყენებას.

წინამდებარე კვლევა ფოკუსირებულია ორი მძლავრი პროგნოზირების მოდელის - SARIMA და Prophet-ის გამოყენებაზე თბილისის ელექტროენერგიის მოხმარების პროგნოზირებისთვის. ეს მოდელები შერჩეულია მათი უნარის გამო, ეფექტურად გაართვან თავი რთულ სეზონურ მრუდებსა და გრძელვადიან ტენდენციებს, რაც დამახასიათებელია ელექტროენერგიის მოხმარების მონაცემებისთვის.

კვლევა ეფუძნება თბილისის საათობრივი ელექტროენერგიის მოხმარების საათობრივ მონაცემებს 2015 წლიდან, რაც საშუალებას იძლევა გამოვლინდეს გრძელვადიანი ტენდენციები და სეზონური თავისებურებები. განსაკუთრებული ყურადღება ეთმობა გარემო ფაქტორების, მათ შორის ტემპერატურის, ტენიანობის და სხვ. მეტეოროლოგიური პარამეტრების გავლენას ენერგიის მოხმარებაზე.

სტატიის მიზანია არა მხოლოდ თეორიული მოდელების შემუშავება, არამედ რეკომენდაციების შეთავაზება ელექტროენერგეტიკული სისტემის ოპერა-

ოპერატორებისთვის. კვლევის შედეგები შეიძლება გამოყენებულ იქნას ენერგეტიკული ინფრასტრუქტურის დაგეგმვისას და მიწოდების ოპტიმიზაციისთვის.

განსაკუთრებული ყურადღება ეთმობა მოდელების სიზუსტის შეფასებას და მათი პრაქტიკული გამოყენების ასპექტებს. კვლევაში წარმოდგენილია დეტალური ანალიზი იმისა, თუ როგორ შეიძლება გაუმჯობესდეს პროგნოზირების სიზუსტე სხვადასხვა ფაქტორების გათვალისწინებით და როგორ უნდა მოხდეს მოდელების ადაპტაცია ცვალებად გარემო პირობებთან.

თბილისის ელექტროენერგიის მოხმარების ანალიზი

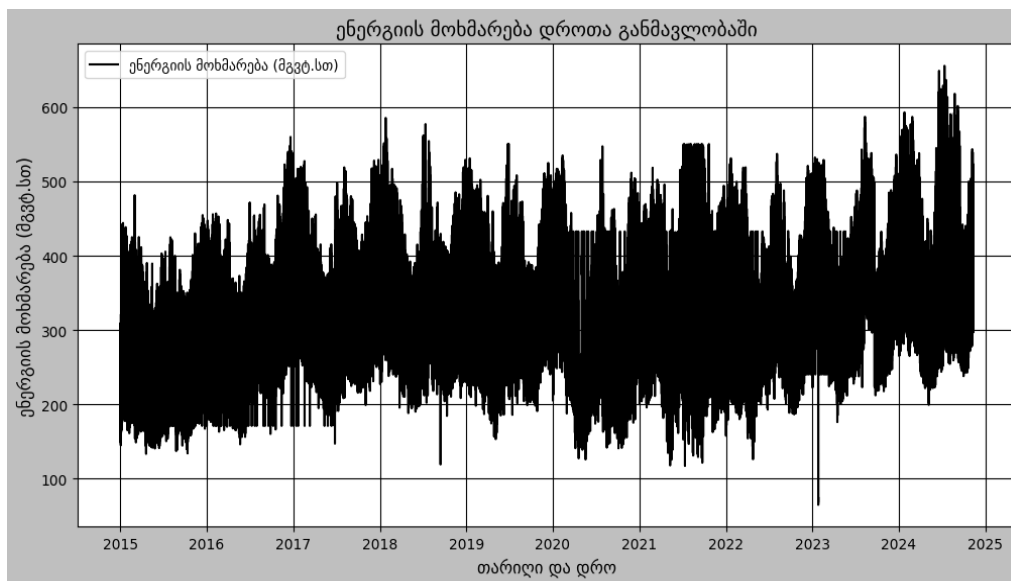
მონაცემთა ანალიზის პროცესში გამოვლინდა რამდენიმე მნიშვნელოვანი ასპექტი. პირველ რიგში, თბილისის ელექტროენერგიის მოხმარება ხასიათდება მკვეთრად გამოხატული სეზონურობით, სადაც პიკური მოხმარება ფიქსირდება ზამთრის თვეებში, ხოლო მინიმალური - გაზაფხულსა და შემოდგომაზე. საათობრივი მონაცემების ანალიზმა აჩვენა, რომ მოხმარების საშუალო მაჩვენებელი შეადგენს 341 მგვტ.სთ-ს მაქსიმალური მნიშვნელობა აღწევს 656 მგვტ.სთ-ს ხოლო, მინიმალური მოხმარება დაფიქსირებულია 85 მგვტ.სთ-ის დონეზე. მედიანური მაჩვენებელი (344 მგვტ.სთ) ახლოსაა საშუალო მნიშვნელობასთან, რაც მიუთითებს მონაცემების შედარებით სიმეტრიულ განაწილებაზე.

კვლევამ გამოავლინა მკაფიო დღიური ციკლები, სადაც პიკები ფიქსირდება 8-10 საათსა და 19-21 საათის პერიოდებში. ეს განსაკუთრებით თვალსაჩინოა სამუშაო

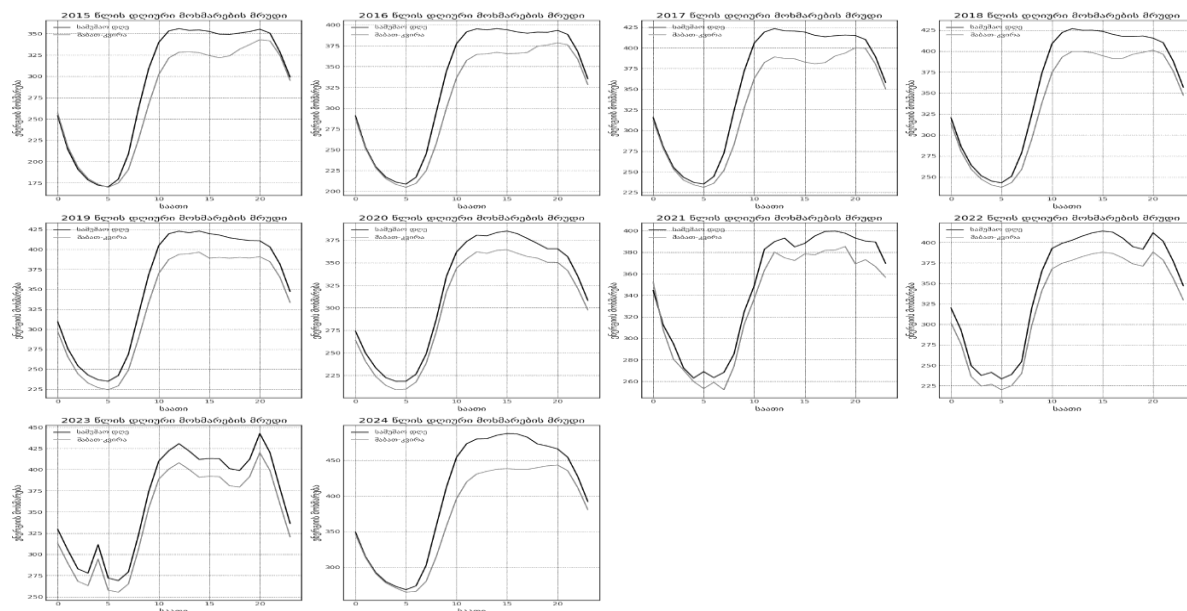
დღეებში. აღსანიშნავია სეზონური ფაქტორების მნიშვნელოვანი გავლენა - ზამთრის პერიოდში სადამოს პიკი უფრო მკვეთრადაა გამოხატული გათბობის სისტემების აქტიური გამოყენების გამო.

წლების მიხედვით ანალიზი აჩვენებს მოხმარების ზრდის სტაბილურ ტენდენციას, რაც კორელაციაშია ქალაქის

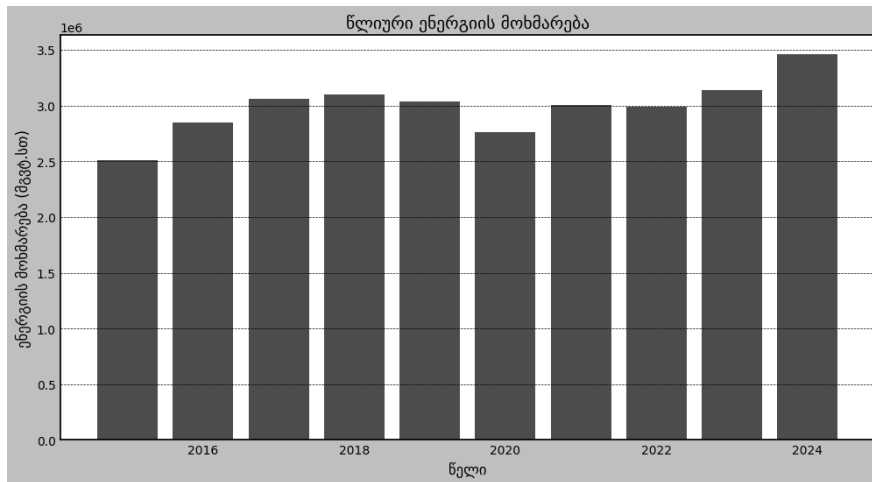
მოსახლეობის ზრდასთან და ეკონომიკურ განვითარებასთან. განსაკუთრებით აღსანიშნავია, რომ 2015 წლიდან მოყოლებული, ყოველწლიურად შეინიშნება საშუალო მოხმარების 3-5%-იანი ზრდა, თუმცა ეს მაჩვენებელი არ არის თანაბარი წლის სხვადასხვა პერიოდში.



ნახ. 1. თბილისის საათობრივი ელექტროენერგიის მოხმარება



ნახ. 2. თბილისის დღე-ღამური ელექტროენერგიის მოხმარება წლების მიხედვით



ნახ. 3. თბილისის ელექტროენერგიის მოხმარება წლების მიხედვით

კორელაციური ანალიზი

თბილისის ელექტროენერგიის მოხმარების პროგნოზირების მოდელის შესაქმნელად ჩატარდა დეტალური კორელაციური ანალიზი Python პროგრამული ენის გამოყენებით. ანალიზი ეფუძნება 2015 წლიდან 2024 წლის ოქტომბრამდე არსებულ საათობრივ მონაცემებს, რომელიც მოიცავს როგორც ელექტროენერგიის მოხმარების, ასევე მეტეოროლოგიურ პარამეტრებს.

კორელაციური მატრიცის ანალიზმა გამოავლინა რამდენიმე მნიშვნელოვანი კავშირი:

1. ტემპერატურის გავლენა:
 - გამოვლინდა ძლიერი უარყოფითი კორელაცია (-0.60) ტემპერატურასა და მოხმარებას შორის;
 - ეს მიუთითებს, რომ ტემპერატურის შემცირება იწვევს ელექტროენერგიის მოხმარების მკვეთრ ზრდას;
 - კავშირი განსაკუთრებით თვალსაჩინოა ზამთრის პერიოდში;
2. ატმოსფერული წნევის გავლენა:
 - დაფიქსირდა საშუალო დადებითი კორელაცია (0.42-0.43) ატმოსფერულ წნევასა და მოხმარებას შორის;
 - ეს კავშირი შეიძლება აიხსნას იმით, რომ მაღალი წნევა ხშირად უკავშირდება

ცივ ამინდს ზამთარში;

3. ტენიანობის ფაქტორი:

- ტენიანობასთან გამოვლინდა სუსტი უარყოფითი კორელაცია (-0.12);
- ეს მიუთითებს, რომ ტენიანობის გავლენა მოხმარებაზე არ არის მნიშვნელოვანი.

4. ქარის პარამეტრები:

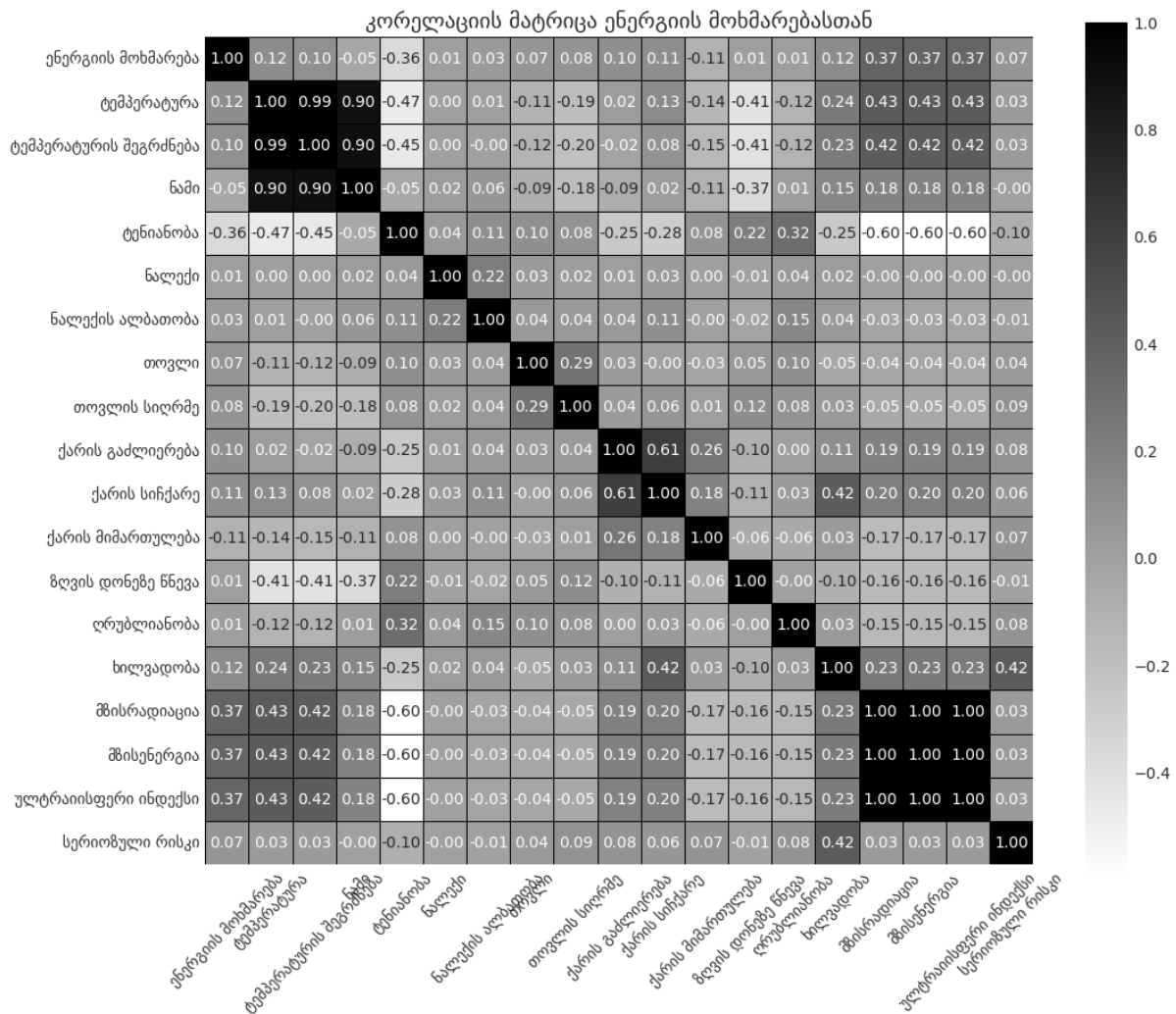
- ქარის სიჩქარესთან დაფიქსირდა სუსტიდან საშუალომდე კორელაცია (0.20);
- ის არ აჩვენებს მნიშვნელოვან კავშირს მოხმარებასთან.

5. დროითი ფაქტორები:

- საათი და თვე აჩვენებს საშუალო კორელაციას (0.29-0.30);
- კვირის დღეებთან დაფიქსირდა უფრო სუსტი კორელაცია (0.15-0.20).

ასე რომ, ანალიზის შედეგად გამოვლინდა, რომ ელექტროენერგიის მოხმარებაზე ყველაზე დიდ გავლენას ახდენს:

- ტემპერატურა (უარყოფითი კორელაცია);
- ატმოსფერული წნევა (დადებითი კორელაცია);
- დღის პერიოდი (საშუალო კორელაცია).



ნახ. 4. კორელაციის მატრიცა ელექტროენერგიის მოხმარებასთან

დამატებით, გამოვლინდა, რომ ტემპერატურის 1°C-ით ცვლილება საშუალოდ იწვევს მოხმარების 2.5%-იან ცვლილებას ზამთრის პერიოდში და 1.8%-იან ცვლილებას ზაფხულში, რაც უკავშირდება გათბობისა და გაგრილების სისტემების გამოყენებას. ეს მიგნებები მნიშვნელოვანია პროგნოზირების მოდელის შემუშავებისთვის, რადგან საშუალებას გვაძლევს სწორად შევარჩიოთ პარამეტრები და გავითვალისწინოთ მათი შესაბამისი წონები მოდელში.

პროგნოზირების მეთოდები: SARIMA და Prophet

ელექტროენერგიის მოხმარების პროგნოზირებისთვის შერჩეულ იქნა ორი მძლავრი სტატისტიკური მოდელი - SARIMA და Prophet, რომლებიც გამოირჩევიან მაღალი სიზუსტითა და მოქნილობით. თითოეული მეთოდი ხასიათდება უნიკალური მახასიათებლებით და შესაძლებლობებით, რაც მათ განსაკუთრებით ეფექტურს ხდის ენერგომოხმარების პროგნოზირებისთვის.

SARIMA წარმოადგენს დროითი მწკრივების ანალიზის კლასიკურ და მძლავრ მოდელს, რომელიც განსაკუთრებით ეფექტურია სეზონური მონაცემების

დამუშავებისთვის. მოდელის უნიკალურობა მდგომარეობს მის უნარში, ერთდროულად გაითვალისწინოს როგორც მოკლევადიანი, ისე გრძელვადიანი დამოკიდებულებები მონაცემებში.

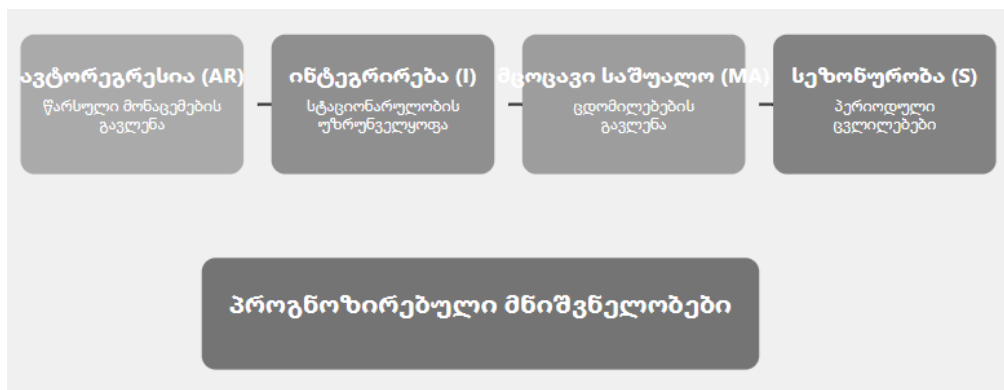
SARIMA-ს ძირითადი კომპონენტები მოიცავს:

1. ავტორეგრესიულ წევრებს (AR) - აღწერს წარსული მნიშვნელობების გავლენას მიმდინარე მაჩვენებელზე.
2. ინტეგრირების კომპონენტს (I) - უზრუნველყოფს მონაცემთა სტაციონარულობას.
3. მცოცავი საშუალოს წევრებს (MA) - ასახავს შემთხვევითი ცდომილებების გავლენას.

4. სეზონურ კომპონენტებს - აღწერს პერიოდულად განმეორებად პატერნებს.

მოდელის იმპლემენტაცია მოითხოვს რამდენიმე მნიშვნელოვან ეტაპს:

- მონაცემთა სტაციონარულობის შემოწმება და საჭიროების შემთხვევაში მათი ტრანსფორმაცია.
- ავტოკორელაციური (ACF) და ნაწილობრივი ავტოკორელაციური (PACF) ფუნქციების ანალიზი.
- მოდელის პარამეტრების (p,d,q) (P,D,Q,s) ოპტიმალური მნიშვნელობების შერჩევა.
- მოდელის ვალიდაცია და დიაგნოსტიკა.



ნახ. 5. SARIMA მოდელის კომპონენტები

ქვემოთ მოცემული კოდი და სურათი განმარტავს SARIMA-ს მოდელირებას თბილისის მონაცემებზე:

```

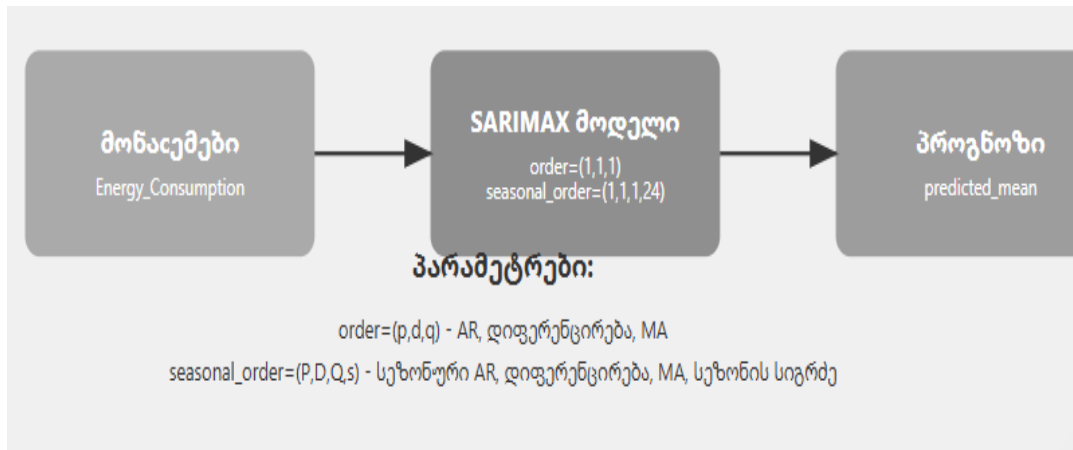
from statsmodels.tsa.statespace.sarimax
import SARIMAX;

# SARIMA მოდელის გაწრთვნა და
პროგნოზი;

model = SARIMAX(monthly_data
['Energy_Consumption'], order=(1, 1, 1),
seasonal_order=(1, 1, 1, 24));
  
```

```

results = model.fit(dispatch=False);
forecast =
results.get_prediction(start=monthly_data.index
[0], end=monthly_data.index[-1]);
forecast_df =
forecast.predicted_mean.reset_index ()
  
```



ნახ. 6. SARIMA მოდელის სწავლება და პროგნოზი

Meta-ს (ყოფილი Facebook) მიერ შემუშავებული Prophet წარმოადგენს თანამედროვე მიდგომას დროითი მწკრივების პროგნოზირებისთვის. მოდელი გამოირჩევა მისი მოქნილობით და უნარით, ეფექტურად გაართვას თავი არასტანდარტულ სიტუაციებს.

Prophet-ის ძირითადი უპირატესობებია:

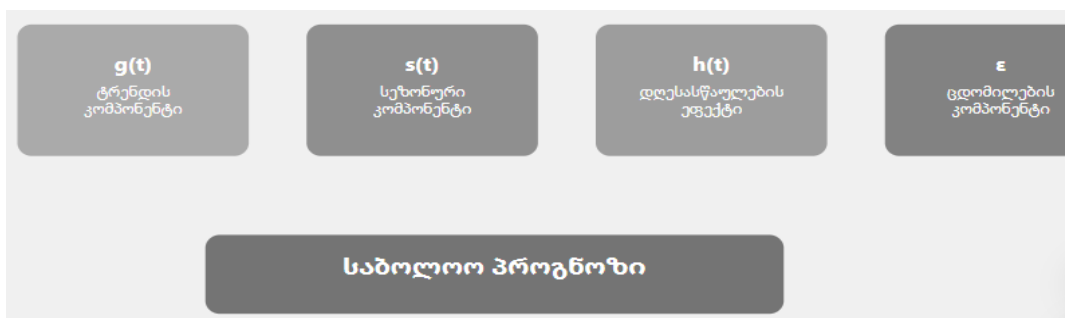
1. ავტომატური სეზონურობის დეტექცია სხვადასხვა დონეზე (დღიური, კვირეული, წლიური).
2. განსაკუთრებული მოვლენების (დღესასწაულები, ღონისძიებები) მარტივი ინტეგრაცია.
3. გამძლეობა მონაცემებში არსებული ხარვეზების მიმართ.

4. ტრენდის ცვლილების წერტილების ავტომატური იდენტიფიკაცია მოდელის მათემატიკური ფორმულირება ეფუძნება დეკომპოზიციის პრინციპს:

$$y(t) = g(t) + s(t) + h(t) + \epsilon_t,$$

სადაც თითოეული კომპონენტი ასრულებს სპეციფიკურ როლს:

- $g(t)$: აღწერს ზოგად ტენდენციას, შესაძლოა იყოს წრფივი ან ლოგისტიკური;
- $s(t)$: მოიცავს პერიოდულ ცვლილებებს (დღიური, კვირეული, წლიური);
- $h(t)$: ასახავს დღესასწაულების და განსაკუთრებული მოვლენების გავლენას;
- ϵ_t : წარმოადგენს შემთხვევით ცდომილებას.

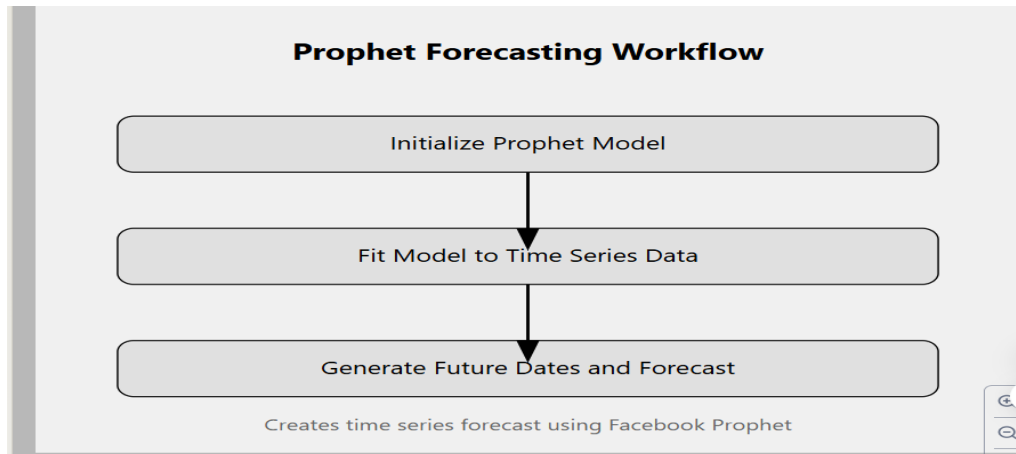


ნახ. 7. Prophet მოდელის კომპონენტები

ქვემოთ მოყვანილია კოდი და სურათი
Prophet მოდელის გამოყენებისთვის:

```
from prophet import Prophet;
# Prophet მოდელის ინიციალიზაცია;
model = Prophet();
```

```
model.fit(data_for_prophet).
# პროგნოზირება;
future_dates = model.make_future_
dataframe (periods=30*24, freq='H');
forecast = model.predict(future_dates).
```



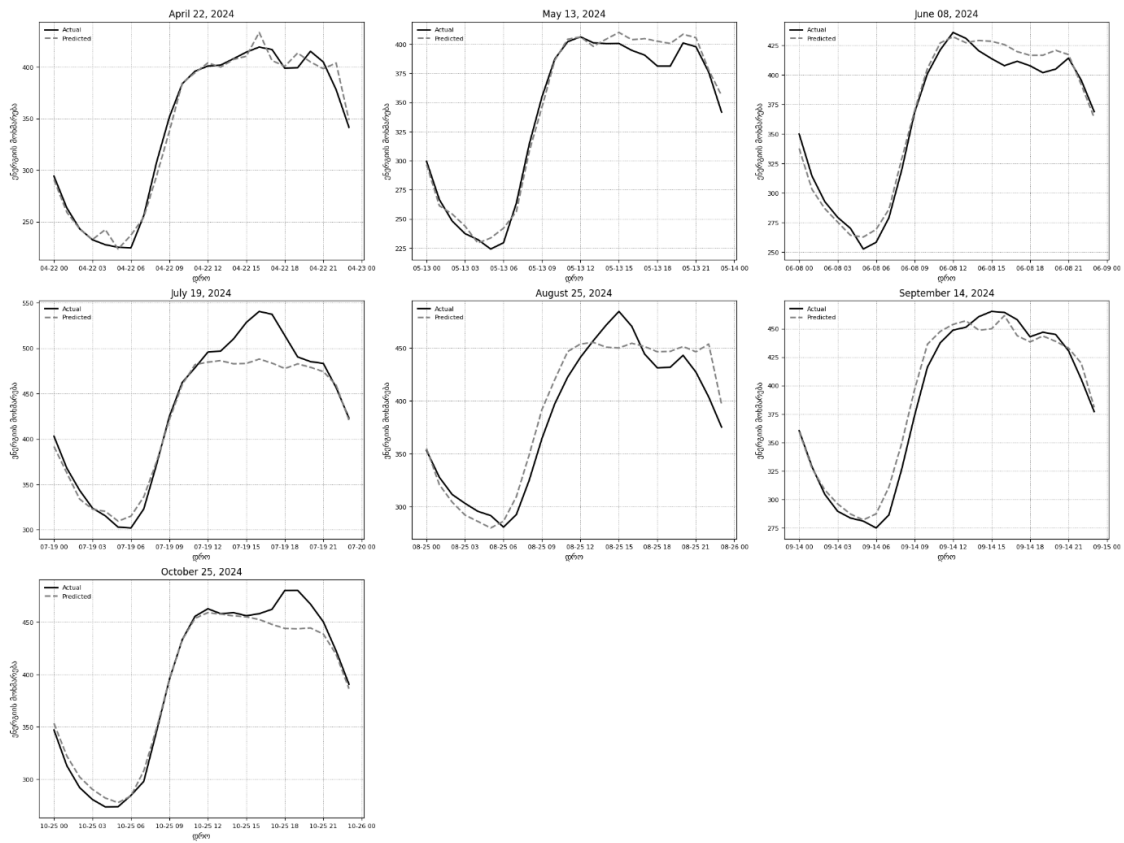
ნახ. 8. Prophet მოდელის სწავლება და პროგნოზი

ორივე მოდელის გამოყენება თბილისის ელექტროენერგიის მოხმარების პროგნოზირებისთვის იძლევა საშუალებას, გავითვალისწინოთ როგორც რეგულარული პატერნები, ისე განსაკუთრებული მოვლენების გავლენა. SARIMA განსაკუთრებით ეფექტურია მკაცრად სტრუქტურირებული სეზონური პატერნების მოდელირებისთვის, მაშინ როცა Prophet უკეთ უმკლავდება არარეგულარულ ცვლილებებს და განსაკუთრებულ მოვლენებს.

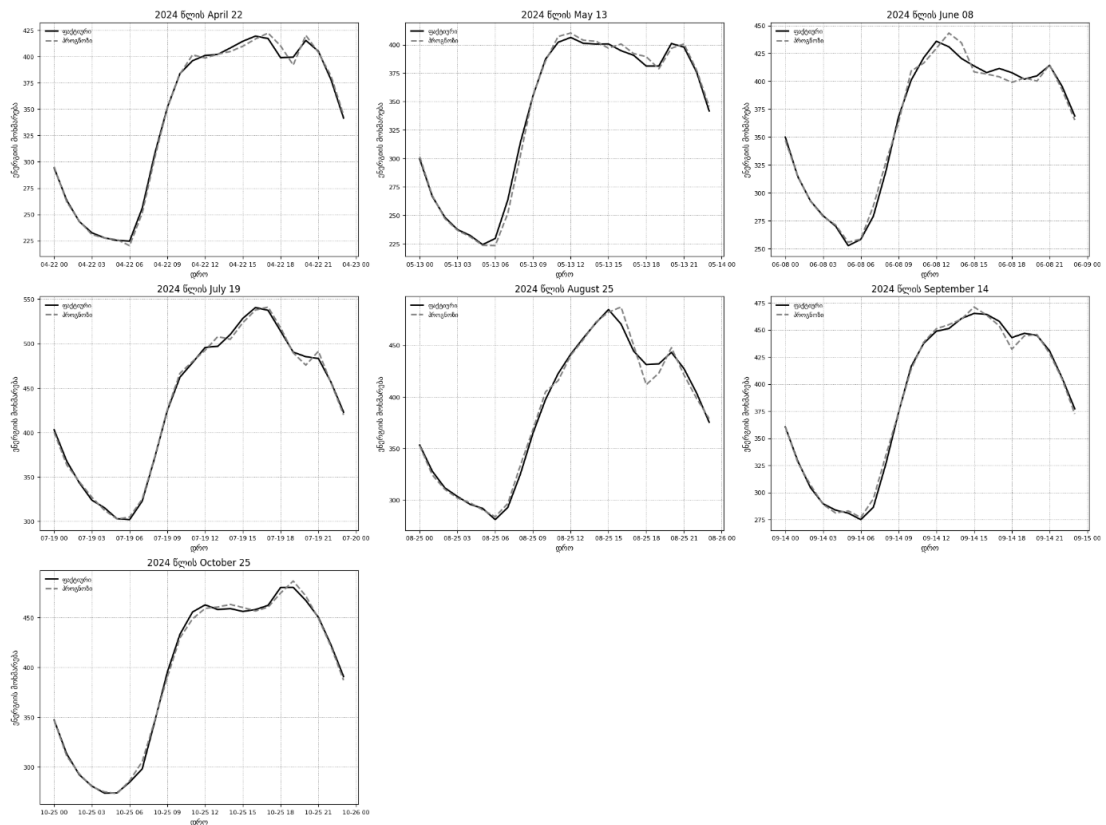
კვლევამ აჩვენა, რომ თბილისის ელექტროენერგიის მოხმარების პროგნოზირებისთვის SARIMA და Prophet

მოდელების კომბინირებული გამოყენება იძლევა მაღალი სიზუსტის შედეგებს, განსაკუთრებით მოკლევადიანი (24-72 სთ) პროგნოზირებისას.

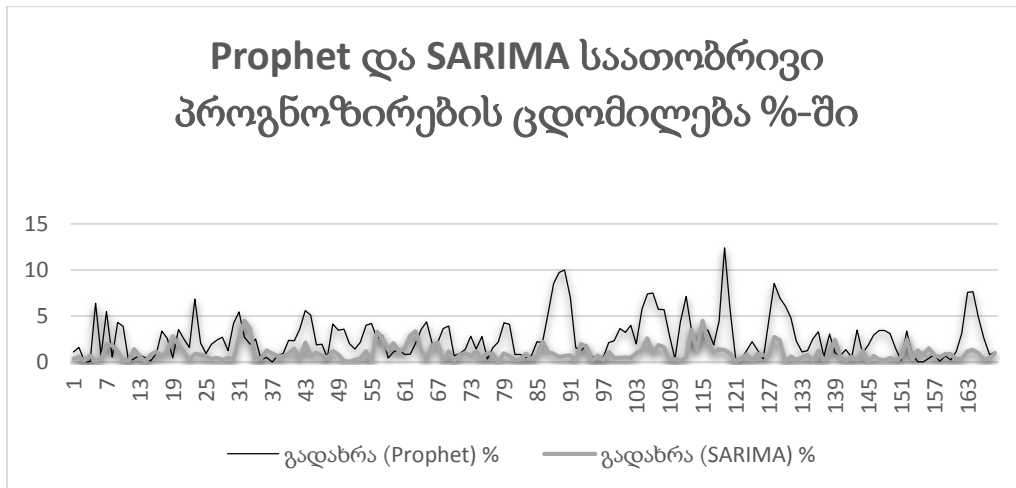
ჩატარებულმა ანალიზმა აჩვენა, რომ ორივე მოდელის გამოყენებით მიღებული პროგნოზებისა და ფაქტიური მოხმარების მაჩვენებლების საშუალო აბსოლუტური პროცენტული ცდომილება (MAPE) შეადგენს 3.5%-ს, რაც მისაღები სიზუსტეა ენერგეტიკული დაგეგმვისთვის.



ნახ. 9. Prophet დაგეგმვის შედეგები



ნახ. 10. Sarima დაგეგმვის შედეგები



ნახ. 11. Prophet და SARIMA საათობრივი პროგნოზირების ცდომილება %-ში

მომავალში, ამ მოდელების კიდევ უფრო სრულყოფისთვის რეკომენდებულია ეკონომიკური მაჩვენებლებისა და მოსახლეობის ზრდის დინამიკის გათვალისწინება, რაც შეამცირებს პროგნოზის ცდომილებას და გაზრდის სიზუსტეს.

ქვემოთ მოცემულ ცხრილში წარმოდგენილია პროგნოზული და ფაქტიური მონაცემები კონკრეტული თარიღებისთვის. რიგ შემთხვევებში, Prophet მოდელის პროგნოზი უფრო ახლოსაა რეალობასთან, ხოლო სხვა შემთხვევებში, SARIMA უკეთესს საჩემს აკეთებს. ორივე მოდელის ერთობლივი გამოყენება იძლევა საუკეთესო შედეგებს.

ჩატარებული კვლევის და ანალიზის შედეგები აჩვენებს, რომ თბილისის ელექტროენერგიის მოხმარების პროგნოზირებისთვის SARIMA და Prophet მოდელების კომბინირებული გამოყენება ეფექტური მიდგომაა. ეს მიდგომა იძლევა მაღალი სიზუსტის პროგნოზებს, განსაკუთრებით მოკლევადიანი პერიოდისთვის.

კვლევამ აჩვენა, რომ ამ კომბინირებული მეთოდით მიღებული პროგნოზის საშუალო აბსოლუტური პროცენტული ცდომილება (MAPE) არის 3.5%, რაც

მისაღები სიზუსტეა ენერგეტიკული დაგეგმვისთვის.

სამომავლოდ, მოდელების კიდევ უფრო გაუმჯობესებისთვის რეკომენდებულია ეკონომიკური მაჩვენებლების და მოსახლეობის ზრდის დინამიკის გათვალისწინება, რაც შეამცირებს პროგნოზის ცდომილებას და გაზრდის მის სიზუსტეს.

ანალიზირებული ცხრილი აჩვენებს, რომ თითოეული მოდელის პროგნოზი იყო ახლოს ფაქტიურ მონაცემებთან, თუმცა ორივე მოდელის კომბინაცია იძლევა საუკეთესო შედეგებს. დეტალური მიმოხილვა ცხრილში ნაჩვენებია კონკრეტული მაგალითებისა იძლევა შესაძლებლობას შევადაროთ ორივე მოდელის ეფექტურობა და გავითვალისწინოთ მათი კომბინირებული გამოყენება ელექტროენერგიის მოხმარების სანდო პროგნოზირებისთვის.

1. Prophet:

- MAE (საშუალო აბსოლუტური შეცდომა): 10.15;
- MSE (საშუალო კვადრატული შეცდომა): 201.45;
- RMSE (კვადრატული ფესვის საშუალო შეცდომა): 14.19.

2. SARIMA:

- MAE (საშუალო აბსოლუტური შეცდომა): 3.69;
- MSE (საშუალო კვადრატული შეცდომა): 24.37;
- RMSE (კვადრატული ფესვის საშუალო შეცდომა): 4.94.

SARIMA მოდელი უფრო ზუსტია, რადგან მისი შეცდომის მაჩვენებლები ნაკლებია. აქედან გამომდინარე, მისი დაგეგმვის სიზუსტე მაღალია და სანდო.

დასკვნა

თბილისის ელექტროენერგიის მოხმარების პროგნოზირებისას SARIMA და Prophet მოდელების ერთობლივი გამოყენება იძლევა მაღალი სიზუსტის შედეგებს. კვლევის ფარგლებში ჩატარებულმა ანალიზმა აჩვენა, რომ SARIMA განსაკუთრებით ეფექტურია მკაცრად სტრუქტურირებული სეზონური პატერნებისა და ციკლების მოდელირებისთვის, რაც დასტურდება მისი შეცდომის დაბალი მაჩვენებლებით (MAE: 3.69, MSE: 24.37, RMSE: 4.94). ამავდროულად, Prophet მოდელი უკეთ უმკლავდება არარეგულარულ ცვლილებებს და განსაკუთრებული მოვლენების გავლენას ელექტროენერგიის მოხმარებაზე.

კვლევამ გამოავლინა, რომ ელექტროენერგიის მოხმარებაზე ყველაზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს: ტემპერატურა (უარყოფითი კორელაცია - 0.60), ატმოსფერული წნევა (დადებითი კორელაცია 0.42-0.43) და დღის პერიოდი

(საშუალო კორელაცია 0.29-0.30). ტემპერატურის შემთხვევაში, 1°C -ით ცვლილება იწვევს მოხმარების 2.5%-იან ცვლილებას ზამთარში და 1.8%-იან ცვლილებას ზაფხულში, რაც კრიტიკულად მნიშვნელოვანი პარამეტრია ზუსტი პროგნოზირებისთვის.

ორივე მეთოდის კომბინირებით მიღებული შედეგების საშუალო აბსოლუტური პროცენტული ცდომილება (MAPE) შეადგენს 3.5%-ს, რაც მაღალი სიზუსტისა და სანდოობის მაჩვენებელია ენერგეტიკული დაგეგმვისთვის. განსაკუთრებით ეფექტურია ეს მიდგომა მოკლევადიანი (24-72 საათი) პროგნოზირებისას, რაც კრიტიკულად მნიშვნელოვანია ენერგოსისტემის ოპერატიული მართვისთვის.

სამომავლოდ, პროგნოზირების მოდელების კიდევ უფრო გაუმჯობესებისთვის რეკომენდებულია:

1. ღრმა სწავლების (Deep Learning) მეთოდების, კერძოდ LSTM (Long Short-Term Memory) ქსელების გამოყენება კომპლექსური, არაწრფივი ურთიერთობების უკეთ მოდელირებისთვის.

წარმოდგენილი მოდელები და მეთოდოლოგია შეიძლება გამოყენებულ იქნას არა მხოლოდ თბილისის, არამედ სხვა ქალაქებისა და რეგიონების ელექტროენერგიის მოხმარების პროგნოზირებისთვისაც, რაც მნიშვნელოვან წვლილს შეიტანს ენერგეტიკული სისტემების ოპტიმიზაციაში, დანაკარგების შემცირებასა და მდგრად განვითარებაში.

INNOVATIVE FORECASTING METHODS FOR ELECTRICITY CONSUMPTION: TBILISI CONSUMPTION PLANNING.

G. Khorbaladze, Z. Gachechiladze, G. Kokhreidze, I. Vakhtangadze, N. Gozalishvili

“Energy”. №1(112). 2025. Tbilisi. p.. 41-52. geo. sum geo. engl.rus.

This article presents a comprehensive analysis of electricity consumption forecasting in Tbilisi, based on modern statistical and machine learning methods. The study employs two powerful forecasting models - SARIMA (Seasonal AutoRegressive Integrated Moving Average) and Meta's Prophet, which allow for the consideration of multifactorial influences on electricity consumption.

The article provides a detailed analysis of the importance of time series in the energy sector, with a particular focus on the statistical processing of historical data, the identification of consumption trends, and the assessment of seasonal factors. The study includes an in-depth correlation analysis between environmental factors and electricity consumption, covering the impact of temperature, humidity, wind speed, solar radiation, and precipitation.

From a methodological perspective, the research relies on modern data visualization techniques, which make it possible to illustrate complex statistical regularities and trends in a clear and accessible way. Special attention is given to the forecasting of the period from April to October 2024, where a random selection method is used to identify forecasted days.

The results of the study provide significant practical value for energy sector planning and management. The article offers a detailed methodological framework and practical recommendations for energy consumption forecasting, which will contribute to the optimization and sustainable development of energy systems.

Ил. 11.

ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ: ПЛАНИРОВАНИЕ ПОТРЕБЛЕНИЯ В ТБИЛИСИ.

Г. Хорбаладзе, З. Гачечиладзе, Г. Кохреидзе, И. Вахтангадзе, Н. Гозалишвили

“Энергия”. № 1(112).2025 . Тбилиси. с. 41-52 . груз. реф. груз.англ. рус.

Статья представляет комплексный анализ прогнозирования потребления электроэнергии в Тбилиси на основе современных статистических методов и методов машинного обучения. В исследовании применяются две мощные модели прогнозирования: SARIMA (Seasonal AutoRegressive Integrated Moving Average) и Prophet от компании Meta, которые позволяют учитывать многофакторное влияние на потребление электроэнергии.

Подробно проанализирована значимость временных рядов в энергетическом секторе с особым вниманием к статистической обработке исторических данных, выявлению тенденций потребления и оценке влияния сезонных факторов. В рамках исследования проведен углубленный корреляционный анализ между факторами окружающей среды и потреблением электроэнергии, включающий изучение влияния температуры, влажности, скорости ветра, солнечной радиации и осадков.

С методологической точки зрения, исследование опирается на современные методы визуализации данных, которые позволяют наглядно представить сложные статистические закономерности и тренды. Особое внимание уделено прогнозированию на период с апреля по октябрь 2024 года, где для идентификации прогнозируемых дней применяется метод случайной выборки.

Результаты исследования имеют важное практическое значение для планирования и управления в энергетическом секторе. Предлагается детализированная методологическая основа и практические рекомендации для прогнозирования энергопотребления, способствующие оптимизации и устойчивому развитию энергетических систем.

Илл. 11.

ზამბარიანი მანომეტრის კალიბრება დგუშიანი სანიმუშო მანომეტრით და გაზომვის განუსაზღვრელობის შეფასება

მარინე რაზნაძე - აკადემიური დოქტორი, ასოცირებული პროფესორი

E-mail: marina.raznadze30@mail.com

ივანე გრძელიძე

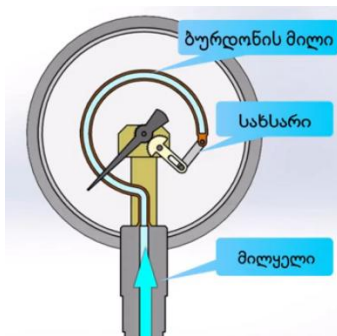
E-mail: vanikogrzeldze@gmail.com

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ანოტაცია. განხილულია ზამბარიანი ტექნიკური მანომეტრის სანიმუშო დგუშიანი მანომეტრით კალიბრების პროცესი და შეფასებულია გაზომვის განუსაზღვრელობის-სტანდარტული, კომბინირებული და გაფართოებული მაჩვენებლები. შედგენილია მანომეტრის დაკალიბრების ბიუჯეტი. კალიბრება ჩატარებულია ლაბორატორიულ პირობებში გაზომვის პირდაპირი მეთოდის გამოყენებით. ექსპერიმენტული მეთოდით მიღებული კალიბრების ნედლი (დაუმუშავებელი) მონაცემები შემოწმდა ერთგვაროვნებაზე სტუდენტის სტატისტიკით. დაკალიბრებული მანომეტრი წნევის საექსპლუატაციო დიაპაზონში $4 \div 6$ ბარი ვარგისია, აკმაყოფილებს მოთხოვნილ სიზუსტეს გაფართოებული განუსაზღვრელობის $\pm 0,130$ ბარის დონეზე $0,95$ ალბათობისა და $k=2$ ტოლი მოცვის კოეფიციენტის პირობებში.

საკვანძო სიტყვები: პირდაპირი გაზომვები, მონაცემების ერთგვაროვნება, მანომეტრის კალიბრება, სტანდარტული განუსაზღვრელობა, კომბინირებული განუსაზღვრელობა, გაფართოებული განუსაზღვრელობა.

მრავალ ტექნოლოგიურ პროცესში ერთ-ერთ საპასუხიმგებლო პარამეტრს წარმოადგენს წნევა, რომლის კონტროლი ხშირად ხორციელდება ზამბარიანი მანო-



ნახ. 1. მანომეტრის მუშაობის პრინციპი

მეტრებით. მანომეტრის მგრძნობიარე ელემენტი (ზამბარა, მემბრანა) დროთა განმავლობაში ექსპლუატაციის დროს წარმოშობილი ნარჩენი დეფორმაციების შედეგად ნაწილობრივ კარგავს დრეკად თვისებებს, რაც ნეგატიურად აისახება

გაზომვის სიზუსტეზე. აღნიშნულის გამო ზამბარიანი მანომეტრი პერიოდულად საჭიროებს დაკალიბრებას. ასევე დაკალიბრებას ექვემდებარება მანომეტრები ყოველი შეკეთების შემდეგ ლაბორატორიულ პირობებში.

სამეცნიერო ტექნიკური მანომეტრების კალიბრებისათვის ფართოდ გამოიყენება დგუშიანი მანომეტრები, რომლებიც ხასიათდებიან გაზომვის დიდი დიაპაზონითა და მაღალი სიზუსტით.

დასაკალიბრებელი ტექნიკური მანომეტრის მუშაობის პრინციპები ნაჩვენებია ნახ. 1-ზე. მისი ძირითადი ნაწილებია: მგრძნობიარე ელემენტი (ბურდონის მილი), მასთან სახსრით დაკავშირებული მაჩვენებელი ისარი და გასაზომ გარემოსთან მისაერთებელი მილტუჩი. მანომეტრების დაკალიბრება სრულდება პირდაპირი გაზომვის მეთოდით: დასაკალიბრებელი

მანომეტრის და სანიმუშო მანომეტრის წნევების ჩვენებების უშუალო შედარებით, რაც ნებისმიერ შემთხვევაში გაზომვის სისტემატიური და შემთხვევითი ბუნების განუსაზღვრელობებით იქნება ძირითადად განსხვავებული [1].

გაზომვის სისტემატიური ხასიათის განუსაზღვრელობა, როგორებიცაა ხელსაწყოსა და ოპერატორის ცდომილებები,

გაზომვის ჩატარების პირობები და სხვა, გაითვალისწინება გაზომვის შედეგში შესწორებების სახით, ხოლო შემთხვევითი ხასიათის პროცესებთან დაკავშირებული ცდომილებები შეფასდება A ან B ტიპის განუსაზღვრელობებით [2]

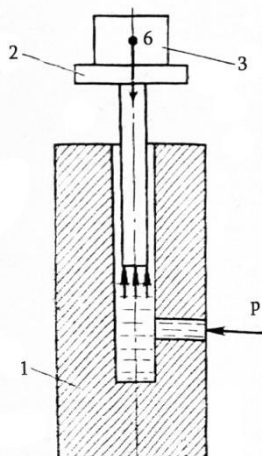
დასაკალიბრებელი მანომეტრის საწყისი მონაცემები მოცემულია ცხრ. 1-ში.

დასაკალიბრებელი მანომეტრის საწყისი მონაცემები

ცხრილი 1

პარამეტრი	მნიშვნელობა
დასაკალიბრებელი მანომეტრი	SIM-0009(10)
გაზომვის დიაპაზონი, ბარი	0-10
მანომეტრის ექსპლუატაციის მუშა დიაპაზონი, ბარი	4-6
სიზუსტის კლასი, %	1.6
დასაშვები ძირითადი აბსოლუტური ცდომილება, ბარი	0,16
სკალის დანაყოფის ფასი, ბარი	0,2
ჩვენების ათვლის სიზუსტე (დანაყოფის სიდიდიდან), ბარი	0,1
ტემპერატურის ცვლილების დიაპაზონი ექსპლუატაციის დროს (გამოიყენება ლამორატორიულ პირობებში), °C	0,25
მიზნობრივი (მოთხოვნილი) აბსოლუტური განუსაზღვრელობა, ბარი	0,13

ტექნიკური მანომეტრის კალიბრება სრულდება სანიმუშო დგუშის მანომეტ-



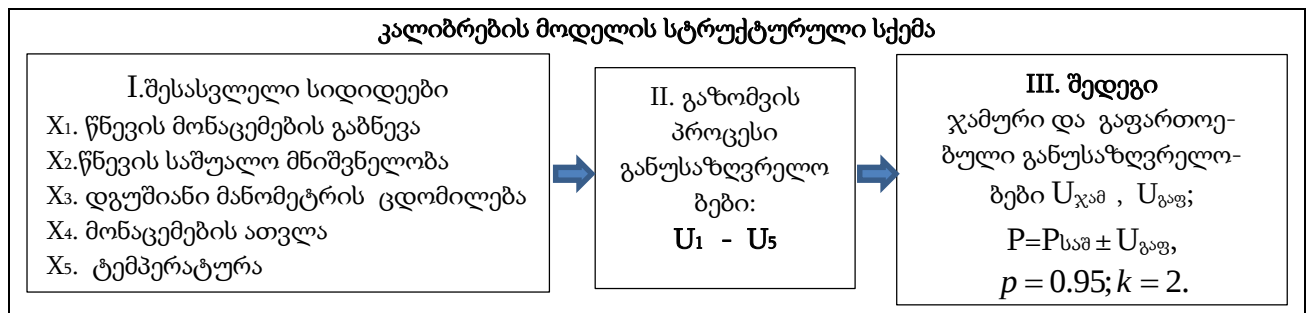
ნახ. 2. დგუშის მანომეტრის მუშაობის პრინციპი

რით, რომელიც სამეცნიერო და სამოწმებელი გაზომვების დროს ფართოდ გამოიყენება და ხასიათდება გაზომვის ფართო დიაპაზონითა და მაღალი სიზუსტით.

დგუშის მანომეტრით წნევის გაზომვის პრინციპული სქემა ნაჩვენებია ნახ. 2-ზე [1]. შესამოწმებელი მანომეტრის დასაყენებლად გათვალისწინებულია მილტუჩი. დგუშის მანომეტრის ხრახნული პრესით საერთო სისტემაში იქმნება მოთხოვნილი შესამოწმებელი წნევა, რაც გაწონასწორდება და აითვლება დგუშის ფირფიტაზე 2 დაწყობილი დაკალიბრებული საწონების 3 მასის მიხედვით და შედარდება (პირდაპირი გაზომვის მეთოდით შესამოწმებელი მანომეტრის ჩვენებასთან. დგუში ცილინდრთან 1 მიხებილია ისე, რომ მათ

შორის ღრეჩო არ აღემატება რამდენიმე მიკრომეტრს, რაც შემამჭიდროვებელი მოწყობილობის გამოყენების აუცილებლობას გამოიწვევს. გაზომვის დროს ხახუნის ძალების შესამცირებლად დგუში მოჰყავთ ბრუნვით მოძრაობაში (ხელით ან ძრავით). მანომეტრის სიზუსტის კლასია

0,02. ზამზარიანი ტექნიკური მანომეტრის დაკალიბრება და გაზომვის შედეგის განუსაზღვრელობის შეფასება ჩატარდა ლაბორატორიულ პირობებში МОП-60 ტიპის დგუშიანი მანომეტრის გამოყენებით (ნახ. 3).



ნახ. 3. დასაკალიბრებელი მანომეტრის კალიბრების მოდელი სანიმუშო დგუშიანი მანომეტრით

ნაჩვენებია ტექნიკური მანომეტრის კალიბრების სტრუქტურული სქემა. იგი შედგება სამოდელო ფუნქციის სამი მიმდევრობითი ბლოკისგან: I ბლოკში მოცემულია გაზომვის შედეგზე მოქმედი სამოდელო ფუნქციის შესასვლელი პარამეტრების გაზნევა; წნევის საშუალო მნიშვნელობა; დგუშიანი მანომეტრის სიზუსტე; მონაცემების ათვლის სიზუსტე; ტემპერატურის ცვლილება; II ბლოკში: ტარდება გაზომვის პროცესი და იანგარიშება შესასვლელი პარამეტრების გაზომვის განუსაზღვრელობების მნიშვნელობები; III ბლოკში: გაიანგარიშება წნევის გაზომვის ჯამური და გაფართოებული განუსაზღვრელობები და საბოლოო შედეგი 0,95 ალბათობისა და მოცვის $k=2$ კოეფიციენტის პირობებში.

ამრიგად გაზომვის სამოდელო ფუნქციას აქვს სახე $Y=f(X_1, X_2, \dots, X_n)$, სადაც $X_1, X_2, \dots, X_n$ არის შესასვლელი სიდიდეები (გასაზომი სიდიდეები, შესწორებები ცნობილ სისტემატიურ ეფექტებზე, გაზომვის საშუალებების ცდომილებებზე

და სხვ.), ხოლო Y -გამოსასვლელი სიდიდეა.

მოდელის გამოსასვლელი სიდიდის (P) გაზომვის განუსაზღვრელობის მნიშვნელობის შეფასების დასადგენად ჩატარდა ტექნიკური მანომეტრის კალიბრება პარამეტრის ხუთჯერადი გაზომვით საყრდენ $P=4$ ბარი; $P=5$ ბარი და $P=6$ ბარი წნევებისათვის (ცხრ. 2). მრავალჯერადი გაზომვების საუკეთესო მაჩვენებლად მიღებულია გაზომვების ვარიაციული მწკრივების საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობები: $P_4=4.110$; $P_5=5.111$; $P_6=6.081$. შესაბამისად სისტემატიური ცდომილებების მნიშვნელობები შეადგენს: $4.111-4=+0,110$; $5.111-5=+0,111$; $6.081-6=+0,081$, ხოლო მიწის ნიშნით აღებული სისტემატიური ცდომილებები გათვალისწინებულია გაზომვის შედეგებში შესწორებების სახით: $-0,110$; $-0,111$; $-0,081$ (ცხრ.2) მოცემულია აგრეთვე გაზომვის სერიების საშუალო მნიშვნელობები და გაანგარიშებული დისპერსიები.

კალიბრების ექსპერიმენტული ნედლი მონაცემები P=4,5 და 6 ბარი დროს

ცხრილი 2

გაზომ- ვის №	დგუშიანი მანომეტრის ჩვენება P _{დგ.მ}	დასაკალიბრე- ბელი მანომეტრის ჩვენება, P _{ბარი}	საშუალო მნიშვნელო- ბიდან გადახრა P _i -P _{საშ} , ბარი	საშუალო გადახრის კვადრატი (P _i -P _{საშ}) ² ბარი ²	ცდომილების სისტემატიური მდგენელი/ შესწორება P _{საშ} -P _{დგ.მ} / /(P _{დგ.მ} - P _{საშ})
1	2	3	4	5	6
1	4	4,052	-0,0578	0,003341	4,110-4= =+0,110/ /-0,110
2		4,143	0,0332	0,001102	
3		4,151	0,0412	0,001697	
4		4,053	-0,0568	0,003226	
5		4,150	0,0402	0,001616	
საშუალო მნიშვნელობა P _{საშ} =4.110			0,0000	0,001616	
დ ისპერსია				0,0524	
1	5	5,151	0,0402	0,001616	5.111-5= =+0.111/ /-0.111
2		5,052	-0,0588	0,003457	
3		5,151	0,0402	0,001616	
4		5,050	-0,0608	0,003697	
5		5,150	0,0392	0,001537	
საშუალო მნიშვნელობა P _{საშ} =5.111				0,011923	
დ ისპერსია				0,0546	
1	6	6,125	0,0436	0,001901	6.081-6= =+0.081/ /-0.081
2		6,050	-0,0314	0,000986	
3		6,102	0,0206	0,000424	
4		6,000	-0,0814	0,006626	
5		6,130	0,0486	0,002362	
საშუალო მნიშვნელობა P _{საშ} =6.081			0,00000	0,01230	
დ ისპერსია				0,0555	

სტუდენტის სტატისტიკით ჩატარდა ექსპერიმენტული ნედლი მონაცემების შემოწმება ერთგვაროვნებაზე (ვარიაციული მწკრივის შემოწმება თავისუფალია თუ არა იგი „უხეში“ სახის შეცდომებისგან) საბაზისო 4, 5 და 6 ბარ წნევებზე [3].

მონაცემების შემოწმება ერთგვაროვნებაზე: საბაზისო წნევა 4. ბარი შემოწმება სტუდენტის სტატისტიკით

$$t_{\max} = \frac{|(P_i - \bar{P})_{\max}|}{\sqrt{\sum (P_i - \bar{P})^2 / (n - 1)}} = \frac{0.108}{\sqrt{0.0258 / (5 - 1)}} = 1.103$$

სარწმუნო ალბათობისა 0,95 და თავისუფლების k=n-1=4 ხარისხის დროს

სტუდენტის კვანტილების ცხრილიდან $t(0.95;4) = 2.78$. შედეგი: $1.103 < 2.78$ ვარიაციული მწკრივი ერთგვაროვანია საბაზისო წნევა 5 ბარი. ანალოგიურად მივიღებთ:

$$t_{\max} = \frac{0.08}{\sqrt{0.0166 / (5 - 1)}} = 1.114;$$

$t(0.95;4) = 2.78$. შედეგი: $1.114 < 2.78$ ვარიაციული მწკრივი ერთგვაროვანია საბაზისო წნევა 6 ბარი. ანალოგიურად მივიღებთ:

$$t_{\max} = \frac{0.102}{\sqrt{0.02408/(5-1)}} = 1.468;$$

$t(0.95;4) = 2.78$. შედეგი: $1.468 < 2.78$ ვარიაციული მწკრივი ერთგვაროვანია.

გაზომვათა განუსაზღვრელობის სახეები შეფასების მეთოდის მიხედვით არის A და B სახის (ტიპის), ხოლო გამოსახვის სახეების მიხედვით სტანდარტული, ჯამური და გაფართოებული განუსაზღვრელობები [2].

A ტიპის განუსაზღვრელობა გამოითვლება შემთხვევითი სიდიდის დანაკვირვები სიზშირული განაწილების საფუძველზე, მაგალითად გასაზომი სიდიდის ნორმალური განაწილების კანონით და გაზომვები ტარდება მრავალჯერადად. B ტიპის წნევის გაზომვის განუსაზღვრელობა მოიცავს რამდენიმე მდგენელს, ზოგიერთი მათგანი შეიძლება გავიანგარიშოთ გაზომვის მწკრივის შედეგების სტატისტიკური განაწილების საფუძველზე A (ნორმალური განაწილების კანონი) და ზოგი კი B (მუდმივი განაწილების კანონი) შევაფასოთ აპრიორულად - გაზომვამდე (წინასწარ) არსებული ცოდნის გამოყენებით [2].

თუ საპასპორტო მონაცემებით შესასვლელი სიდიდე საშუალო მნიშვნელობიდან იცვლება საზღვრებში $\pm \theta_p$, მაშინ მისი განუსაზღვრელობა

გამოითვლება ფორმულით: $U_B(P) = \frac{\theta}{\alpha}$,

სადაც θ - არის შესასვლელი P სიდიდის გამოურიცხავი სისტემატიური ცდომილების საზღვრები და α - შესასვლელი P სიდიდის $\pm \theta_p$ საზღვრების შიგნით სხვადასხვა განაწილების მიხედვით ცდომილება. საერთაშორისო შეთანხმებით α -ს მნიშვნელობებისათვის მიღებულია შემდეგი განაწილებებისათვის: თანაბარი -

$\alpha = \sqrt{3}$; ნორმალური - $\alpha = 2$; არკსინუსის - $\alpha = \sqrt{2}$ და სამკუთხა - $\alpha = \sqrt{6}$ [2].

რადგან პირდაპირი მეთოდით გაზომვების შემთხვევაში ყველა შესასვლელი სიდიდე ერთმანეთისაგან დამოუკიდებელია (არაკოლერიერებულია) მგრძნობიარობის კოეფიციენტი უდრის ერთს [4].

დასაკალიბრებელი მანომეტრის გაზომვის განუსაზღვრელობის გამოძვევი წყაროებია:

- დასაკალიბრებელი ხელსაწყო ს შემთხვევითი ეფექტებით გამოწვეული გაზომვის შედეგების გაბნევა;
- დასაკალიბრებელი ხელსაწყო შესწორებები დაკავშირებული გამოურიცხავ სისტემატიურ წყაროებზე;
- სანიმუშო ხელსაწყო დსაშვები აბსოლუტური ცდომილება;
- დასაკალიბრებელი ხელსაწყო სკალის ათვლის სიზუსტე;
- ხელსაწყო ექსპლოატაციის პირობებში გარემო ჰაერის ფაქტიური ტემპერატურის განსხვავება ხელსაწყო კალიბრების მონაცემისგან, შევაფასოთ ტექნიკური მანომეტრის კალიბრების დროს გაზომვის განუსაზღვრელობის მდგენელები.

გამოსასვლელი სიდიდის წნევის გაზომვის განუსაზღვრელობის გაანგარიშება შესულებულია სამოდელო ფუნქციის შესასვლელი სიდიდეების განუსაზღვრელობათა დადგენის გზით შემდეგი ალგორითმით [5]:

1. მონაცემების გაბნევის A ტიპის სტანდარტული განუსაზღვრელობის შეფასება. რადგან მანომეტრის კალიბრება ჩატარებულია მრავალჯერადი გაზომვების გზით, ამიტომ სტანდარტული განუსაზღვრელობის შეფასება გამოწვეული შედეგების გაბნევით სრულდება A ტიპის მეთოდით:

$$U_A(P_1) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_j} (P_i - \bar{P})^2}{(n-1)}} : U_A(P_4) = 0,052;$$

$$U_A(P_5) = 0,024; U_A(P_6) = 0,0555.$$

2. საშუალო მნიშვნელობის A ტიპის სტანდარტული განუსაზღვრელობის შეფასება

$$U_A(\bar{P}_1) = \frac{U_A(P_1)}{\sqrt{n}} : U_A(\bar{P}_4) = 0,023;$$

$$U_A(\bar{P}_4) = 0,024; U_A(\bar{P}_4) = 0,025$$

3. B ტიპის სტანდარტული განუსაზღვრელობის შეფასება განპირობებული დგუშიანი მანომეტრის ცდომილებით (სისტემატიური ხასიათის შესაბამისი შესწორების შეტანისას) გაზომვის ჯამურ განუსაზღვრელობაში თავისი წილი შეაქვს დგუშიანი მანომეტრის ძირითად ნორმირებულ დასაშვებ აბსოლუტურ ცდომილებას (0,025 ბარი) თანაბარი განაწილებით. შესაბამისად B ტიპის სტანდარტული განუსაზღვრელობა შეფასებულია ფორმულით

$$U_{\text{დგ.ბ}}(\Delta) = \frac{\Delta}{\sqrt{3}} : U_{\text{დგ.ბ}}(\Delta)_{4;5;6} =$$

$$0,025/1,732=0,014$$

3*. B ტიპის სტანდარტული განუსაზღვრელობის შეფასება როცა გაზომვის შედეგში უგუველყოფილია შესწორება.

გაზომვის შედეგში როდესაც უგუველყოფილია შესწორების გათვალისწინება, მაშინ გაზომვის ჯამურ განუსაზღვრელობაში დგუშიანი მანომეტრით განუსაზღვრელობის წილის (0,014 ბარი) ნაცვლად საჭიროა შესწორების წილის გათვალისწინება ფორმულით

$$U_{\text{შესწ.ბ}}(\Delta) = \frac{\Delta}{\sqrt{3}}, \text{ სადაც } \Delta - \text{არის}$$

შესწორება 0,111 ბარი, მაშინ

$$U_{\text{შესწ.ბ}}(\Delta) = \frac{0,111}{1,732} = 0,064$$

4. B ტიპის სტანდარტული განუსაზღვრელობის შეფასება განპირობებული წნევის მონაცემების ათვლით მანომეტრის უმცირესი დანაყოფის $\pm 0,1$ ათვლა შესაძლებელია $0,1/2 = \pm 0,05$ სიზუსტით, მაშინ მონაცემების ათვლით განუსაზღვრელობის შეფასება ტოლია

$$U_{\text{დ.წ.ბ}}(P) = \frac{\Delta}{\sqrt{3}} : U_{\text{დ.წ.ბ}}(P)_{4;5;6} = 0,012$$

5. B ტიპის სტანდარტული განუსაზღვრელობის შეფასება განპირობებული დაკალიბრების დროს გარემო ჰაერის ტემპერატურის მაქსიმალური ცვლილების გავლენით მანომეტრის დაკალიბრების დროს გარემო ჰაერის ტემპერატურის მაქსიმალური ცვლილების გავლენა კალიბრების ტემპერატურაზე შეფასებულია $\Delta_t = 0,25^\circ\text{C}$, მაშინ შესაბამისი განუსაზღვრელობის შეფასება იქნება

$$U_{tB}(P) = \frac{\Delta_t}{\sqrt{3}} : U_{tB}(P)_{4;5;6} = 0,014$$

გაზომვის ბიუჯეტი მოიცავს ძირითად ინფორმაციას გაზომვის საშუალების განუსაზღვრელობის მნიშვნელობის შესახებ [6].

ტექნიკური მანომეტრის დგუშიანი სანიმუშო მანომეტრით კალიბრების მიღებული კონკრეტული შედეგებით შედგენილია გაზომვების ბიუჯეტი (ცხრ. 3).

გაზომვის შედეგის ჯამური განუსაზღვრელობა იანგარიშება ფორმულით:

$$U_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^m U_m^2},$$

გაზომვის შედეგის ჯამური განუსაზღვრელობა იანგარიშება ფორმულით:

$$U_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^m U_m^2},$$

ტექნიკური მანომეტრის დაკალიბრების ბიუჯეტი

ცხრილი 3

4 (ბარი) - დგუშაიანი მანომეტრის წნევის ნიშნული			
დასაკალიბრებელი მანომეტრი			
სიდიდე	შეფასება, ბარი	სტანდარტული განუსაზღვრელობა	შეფასების ტიპი/განაწილების კანონი
P_i		$U_{P_i} = 0,052$	A/ნორმალური განაწილების კანონი
$P_{საშ}$	4,110	$U_{P_{საშ}} = 0,023$	A/ნორმალური განაწილების კანონი
$\Delta_{შესწ}$	-0,110	შესწორების გათვალისწინების გამო არ ფასდება	
$\Delta_{დგ. მ}$		$U_{დგ. მ} = 0,014$	B/მუდმივი განაწილების კანონი
$\Delta_{ათვ}$		$U_{ათვ} = 0,012$	B/მუდმივი განაწილების კანონი
$\Delta_{ტემპ}$		$U_{ტემპ} = 0,014$	B/მუდმივი განაწილების კანონი
5(ბარი) - დგუშაიანი მანომეტრის წნევის ნიშნული			
დასაკალიბრებელი მანომეტრი			
სიდიდე	შეფასება, ბარი	სტანდარტული განუსაზღვრელობა	შეფასების ტიპი/განაწილების კანონი
P_i		$U_{P_i} = 0,055$	A/ნორმალური განაწილების კანონი
$P_{საშ}$	5,111	$U_{P_{საშ}} = 0,024$	A/ნორმალური განაწილების კანონი
$\Delta_{შესწ}$	-0,110	შესწორების გათვალისწინების გამო არ ფასდება	
$\Delta_{დგ. მ}$		$U_{დგ. მ} = 0,014$	B/მუდმივი განაწილების კანონი
$\Delta_{ათვ}$		$U_{ათვ} = 0,012$	B/მუდმივი განაწილების კანონი
$\Delta_{ტემპ}$		$U_{ტემპ} = 0,014$	B/მუდმივი განაწილების კანონი
6 (ბარი) - დგუშაიანი მანომეტრის წნევის ნიშნული			
დასაკალიბრებელი მანომეტრი			
სიდიდე	შეფასება, ბარი	სტანდარტული განუსაზღვრელობა	შეფასების ტიპი/განაწილების კანონი
P_i		$U_{P_i} = 0,0555$	A/ნორმალური განაწილების კანონი
$P_{საშ}$	6,081	$U_{P_{საშ}} = 0,025$	A/ნორმალური განაწილების კანონი
$\Delta_{შესწ}$	-0,081	შესწორების გათვალისწინების გამო არ ფასდება	
$\Delta_{დგ. მ}$		$U_{დგ. მ} = 0,014$	B/მუდმივი განაწილების კანონი
$\Delta_{ათვ}$		$U_{ათვ} = 0,012$	B/მუდმივი განაწილების კანონი
$\Delta_{ტემპ}$		$U_{ტემპ} = 0,014$	B/მუდმივი განაწილების კანონი

სადაც U_m - ჯამურ განუსაზღვრელობაში მდგენელი წილი.

P=4, 5 და 6 ბარი წნევების შემთხვევისათვის ჯამური განუსაზღვრელობები იქნება შესაბამისად:

$$U_{4\bar{\Sigma}} = \sqrt{0,052^2 + 0,023^2 + 0,014^2 + 0,012^2 + 0,014^2} = 0,0620 \text{ ბარი}$$

$$U_{5\bar{\Sigma}} = \sqrt{0,055^2 + 0,024^2 + 0,014^2 + 0,012^2 + 0,014^2} = 0,0642 \text{ ბარი}$$

$$U_{6\bar{\Sigma}} = \sqrt{0,0555^2 + 0,025^2 + 0,014^2 + 0,012^2 + 0,014^2} = 0,0651 \text{ ბარი}$$

გაზომვის შედეგში შესწორების მნიშვნელობის უგუველყოფის შემთხვევაში გაანგარიშების პუნქტ 3-ში სტანდარტული განუსაზღვრელობის მნიშვნელობის ნაცვლად მონაწილეობს 3* პუნქტით მიღებული მნიშვნელობა, მაშინ ჯამური განუსაზღვრელობისთვის მივიღებთ შემდეგს:

$$U^*_{4\Sigma} = \sqrt{0,052^2 + 0,023^2 + 0,064^2 + 0,012^2 + 0,014^2} = 0,0879 \text{ ბარი}$$

$$U^*_{5\Sigma} = \sqrt{0,055^2 + 0,024^2 + 0,064^2 + 0,012^2 + 0,014^2} = 0,0895 \text{ ბარი}$$

$$U^*_{6\Sigma} = \sqrt{0,0555^2 + 0,025^2 + 0,064^2 + 0,012^2 + 0,014^2} = 0,0902 \text{ ბარი}$$

გაფართოებული განუსაზღვრელობა:

ა) შესწორების უგუველყოფის შემთხვევაში ტოლია

$$U = k \cdot U_{\Sigma},$$

სადაც

$k = 2$ - მოცვის კოეფიციენტი, ალბათობის 0,95 დროს. მაშინ

$$U^*_4 = 2 \cdot U^*_{4\Sigma} = 2 \cdot 0,0879 = 0,176 \text{ ბარი};$$

$$U_5 = 2 \cdot U_{5\Sigma} = 2 \cdot 0,0895 = 0,180 \text{ ბარი.}$$

$$U^*_6 = 2 \cdot U_{6\Sigma} = 2 \cdot 0,902 = 0,180$$

ბ) შესწორების შეტანის პირობებში, ანალოგიურად მივიღებთ

$$U_4 = 2 \cdot U_{4\Sigma} = 2 \cdot 0,0620 = 0,124 \text{ ბარი};$$

$$U_5 = 2 \cdot U_{5\Sigma} = 2 \cdot 0,0642 = 0,128 \text{ ბარი}$$

$$U_6 = 2 \cdot U_{6\Sigma} = 2 \cdot 0,0651 = 0,130$$

გაზომვის შედეგში შესწორების შეტანის პირობებში დასაკალიბრებელი მანომეტრის წნევის ტექნიკურ დავალებაში მოთხოვნილი (მიზნობრივი) გაზომვის განუსაზღვრელობის პირობა $\leq 0,130$ ბარი უზრუნველყოფილი იქნება ტექნიკური მანომეტრის მუშაობის $4 \div 6$ ბარის მთელ დიაპაზონში.

საბოლოოდ გაზომვის შედეგი ჩაიწერება:

$$P(P + \Delta p) \pm U = (6.081 - 0,081)_{\text{ბარი}} \pm 0,130 = (6 \pm 130, P = 0.95; k = 2.$$

$$5.97 \leq 6 \leq 6.13 \text{ (ბარი); } P=0.95 \text{ და } k=2$$

ლიტერატურა

1. კილურაძე ო. თბოტექნიკური გაზომვები და ხელსაწყოები. დამხმარე სახელმძღვანელო. 2013. 157 გვ.
2. ჟვანია რ. გაზომვის განუსაზღვრელობის თეორიის საფუძვლები. სახელმძღვანელო. 2012. გვ. 233.
3. Олейник Б.Н. Точная калориметрия. 1973. с. 208.
4. ГОСТ Р 545003 -2011/ Руководство ИСО/ МЭК 98-3:2008. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения.
5. Захаров И.П. и др. Методы, модели и бюджетности оценивания неопределенности измерений при проведении калибровок. Изерительная техника. 2011.
6. Николаева Е.А. Николаев А.В. Алгоритм неопределенности при проведении калибровки средств измерений//Вестник Кузбасского Технического Университета. 2017. №5. с. 162 - 167.

**CALIBRATION OF A SPRING MANOMETER WITH A PISTON SAMPLE MANOMETER
AND ESTIMATION OF MEASUREMENT UNCERTAINTY.**

M.Razmadze, Iv.Grdzelidze.

“Energy”. №1(112). 2025. Tbilisi. p. 53-61. geo. sum geo. engl.rus.

The calibration process of a spring-loaded technical manometer with a sample piston manometer is discussed and the measurement uncertainty indicators - standard, combined and expanded - are estimated. The calibration budget of the manometer is compiled. The calibration was carried out in laboratory conditions using the direct measurement method. The raw (unprocessed) data of the calibrations obtained by the experimental method were checked for uniformity using Student's statistics. The calibrated manometer is suitable for the operating pressure range of 4÷6 bar, meets the required accuracy at the level of expanded uncertainty ± 0.130 bar with a probability of 0.95 and a coverage coefficient equal to $k=2$.

Tabl. 3, bibl. 6.

**КАЛИБРОВКА ПРУЖИННОГО МАНОМЕТРА С ПОМОЩЬЮ ПОРШНЕВОГО
МАНОМЕТРА
И ОЦЕНКА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ.**

М.Размадзе, И. Грдзелидзе.

“Энергия”. № 1(112).2025 . Тбилиси. с. 53-61. груз. реф. груз.англ. рус.

Обсуждается процесс калибровки пружинного технического манометра с помощью образцового поршневого манометра и оцениваются показатели неопределенности измерений — стандартные, комбинированные и расширенные. Составлен бюджет на калибровку манометра. Калибровка проводилась в лабораторных условиях методом прямого измерения. Полученные экспериментальным методом исходные (необработанные) данные калибровок проверялись на однородность с использованием t-статистики Стьюдента. Калиброванный манометр подходит для диапазона рабочего давления 4÷6 бар, обеспечивая требуемую точность при расширенном уровне неопределенности $\pm 0,130$ бар с вероятностью 0,95 и коэффициентом охвата $k=2$.

Табл. 3, лит. 6 назв.

აკუსტიკური ბგერების გამოყენებით ხილის შოკური გაყინვის ახალი მეთოდი და მოწყობილობა

ლუიზა პაპავა - ასოცირებული პროფესორი

E-mail: Papava1949@gmail.com

მარინე რაზმაძე - ასოცირებული პროფესორი

E-mail: marina.razmadze30@mail.ru

ამირან ლაზარაშვილი - დოქტორანტი

E-mail: aka.lazarashvili@gmail.com

გივი გუგულაშვილი - ასოცირებული პროფესორი

E-mail: g.gugulashvili@gtu.ge

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი, საქართველო

ანოტაცია: აკუსტიკური მეთოდით შოკური გაყინვის დღეისათვის არსებულ მოწყობილობებში გასაცივებელ პროდუქტზე გამაცივებელი ჰაერის და აკუსტიკური ბგერების (ტალღების) მიწოდება ცალ-ცალკე ხორციელდება სხვადასხვა მეთოდის გამოყენებით. თუ გავითვალისწინებთ, რომ აკუსტიკური ბგერები ჰაერში მოძრავ ჩვეულებრივ ტალღებს წარმოადგენს, შეიძლება ვივარაუდოთ, რომ გაყინვის პროცესში შესაძლებელია ამ ორი სხვადასხვა ტალღის ერთმანეთზე ზემოქმედება. ამიტომ აუცილებელი ხდება ჰაერის ნაკადისა და აკუსტიკური ტალღების მიმართულებათა სწორად შერჩევა, რათა არ მოხდეს ჰაერის ნაკადის მიერ აკუსტიკური ტალღების შესუსტება. აღნიშნულის გათვალისწინებით, შემოთავაზებულია გაყინვის განხორციელება პროდუქტის ვიბრომდულარე ფენაში გადაყვანის პირობებში, როდესაც ვიბრომდულარე ფენაში გადამყვანი მუშა აგენტი (ცივი ჰაერი) პროდუქტს მიეწოდება აკუსტიკური ბგერების (ტალღების) სახით. აღნიშნული მეთოდის რეალიზაციისათვის დამუშავებულია აკუსტიკური მეთოდით შოკური გაყინვის მოწყობილობის პრინციპული სქემა.

საკვანძო სიტყვები: აკუსტიკური ტალღები, გამაცივებელი ჰაერი, ვიბრომდულარე ფენა, პროდუქტი, შოკური გაყინვა.

შესავალი

საზოგადოების განვითარების პარალელურად იზრდება სასურსათო პროდუქტების ასორტიმენტი. შესაბამისად, იცვლება ამ პროდუქტების ბიოქიმიური და ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები. ეს კი განაპირობებს ყოველი განსხვავებული პროდუქტისათვის შესაფერისი, მისი მიღებისათვის ოპტიმალური მოწყობილობების დამუშავების აუცილებლობას. ეს გულისხმობს როგორც გადამამუშავებელი, ისე შესანახი და სამაცივრო დამუშავებისათვის განკუთვნილი მოწყობილობების მუდმივი განახლების საჭიროებას. ამან განაპირობა სასურსათო პროდუქტების

სამაცივრო დამუშავებისათვის საჭირო მოწყობილობების პროგრესი ჩვეულებრივი გაცივებიდან გაყინვამდე, ნელი, საშუალო სიჩქარით, სწრაფი და ზესწრაფი გაყინვის მეთოდების დანერგვა და სხვ.

ნედლეულის ახალი თვისებების შესაბამისად მისი გადამამუშავებისათვის საჭირო ახალი მეთოდებისა და ტექნოლოგიური მოწყობილობების დამუშავება და დანერგვა ინჟინერ-ტექნიკური პერსონალის მუდმივ საზრუნავს წარმოადგენს. სწორედ ამიტომ, მეცნიერების განვითარებისა და ტექნიკური პროგრესის პირობებში სულ უფრო მეტად იხვეწება სასურსათო

პროდუქტების გადამამუშავებელი მოწყობილობები.

ძირითადი ნაწილი

ადამიანის მიერ გამოყენებული სასურსათო პროდუქტების მნიშვნელოვან ნაწილს აგრარული წარმოების მცენარეული ნედლეული (ხილი, ბოსტნეული, კენკრა) წარმოადგენს. ეს ნედლეული ერთმანეთისაგან მკვეთრად განსხვავდება არა მარტო ბიოქიმიური თვისებებით, არამედ ფიზიკური მდგომარეობით, სიმწიფის ხარისხით, თავისი ზომებით, ფორმებით და სხვ. განსაკუთრებით აღსანიშნავია ის გარემოება, რომ უკვე მოკრეფილი და გადამამუშავებისათვის საწარმოში მოტანილი მცენარეული ნედლეულის უჯრედები ჯერ კიდევ ინარჩუნებს სიცოცხლეს. ამასთან, ნედლეულის სასარგებლო თვისებები დამოკიდებულია იმ სასარგებლო ელემენტებსა და ნივთიერებებზე, რომლებიც სწორედ ამ უჯრედებში და უჯრედულ წვენშია განთავსებული [1].

აღნიშნული განაპირობებს ნედლეულის გადამამუშავების ისეთი ტექნოლოგიური რეჟიმების შერჩევის აუცილებლობას, რომლებიც არ დააზიანებს (ან მინიმალურად დააზიანებს) ამ უჯრედებს და პროდუქტს მაქსიმალურად შეუნარჩუნებს საწყის ბიოქიმიურ და ორგანოლექტიკურ მაჩვენებლებს.

ნედლეულის საწყისი ხარისხის შენარჩუნების თვალსაზრისით გაყინვის ყველაზე თანამედროვე მეთოდს წარმოადგენს შოკური გაყინვა აკუსტიკური ბგერების ზემოქმედების პირობებში [2]. ამ მეთოდის თეორიული საფუძვლები ჯერ-ჯერობით სრულად არაა დამუშავებული,

მაგრამ მრავალი გამოკვლევის საფუძველზე დადგენილია, რომ იგი, სიცივით დამუშავების ყველა სხვა მეთოდთან შედარებით, უზრუნველყოფს ნედლეულისათვის როგორც ბიოქიმიური, ისე ორგანოლექტიკური თვისებების უკეთ შენარჩუნებას [3- 6].

აკუსტიკური ბგერების ზემოქმედებით შოკური გაყინვისათვის სხვადასხვა სახის მრავალი მოწყობილობა გამოიყენება, თუმცა ყველა მათგანს ახასიათებს გარკვეული ნაკლოვანი მხარეები, რომელთაგან შეიძლება აღინიშნოს გასაცივებელ პროდუქტზე გამაცივებელი ჰაერის და აკუსტიკური ბგერების (ტალღების) ცალკე მიწოდება. აკუსტიკური ბგერები ჰაერში მოძრავ ჩვეულებრივ ტალღებს წარმოადგენს, რის გამო გაყინვის პროცესში შესაძლებელია ამ ორი სხვადასხვა ტალღის ერთმანეთზე უარყოფითი ზემოქმედება, კერძოდ აკუსტიკური ბგერების (ტალღების) შესუსტება.

არსებული ნაკლოვანებების გათვალისწინებით დამუშავებულია გაყინვის ახალი მეთოდი, რომლის არსი იმაში მდგომარეობს, რომ გაყინვა ხორციელდება პროდუქტის გადაყვანით ვიბრომდულარე ფენაში იმ გამაცივებელი მუშა აგენტით (გაცივებული ჰაერით), რომელიც პროდუქტს მიეწოდება აკუსტიკური ბგერების (ტალღების) სახით.

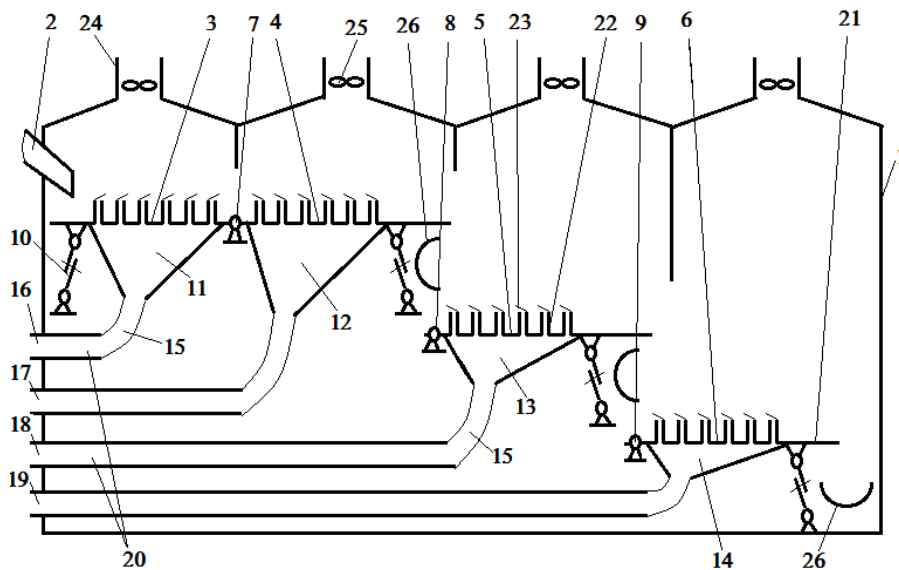
ცნობილია, რომ ვიბრომდულარე ფენაში პროდუქტების დამუშავება (გაცივება ან გაცხელება) უზრუნველყოფს პროდუქტის ერთდროულად ყველა ზედაპირთან მუშა აგენტის ძალზე ინტენსიურ კონტაქტს აქედან გამომდინარე დამუშავების მაღალი ინტენსიურობითა

და პროცესის ეფექტურობით [1]. იმ შემთხვევაში კი, როდესაც ვიბრომდულარე ფენაში დამამუშავებელი მუშა აგენტი აკუსტიკური ბგერების სახით ზემოქმედებს პროდუქტზე, მიიღება ორმაგი ეფექტი: პროდუქტი გადადის ვიბრომდულარე ფენაში აკუსტიკური ბგერების სახით მიწოდებული ცივი მუშა აგენტის ზემოქმედებით. შედეგად, ერთი და იგივე მუშა აგენტი ამუშავებს პროდუქტს აკუსტიკური ბგერების სახით და, ამავე დროს, მაღალი ეფექტურობით აცივებს მას ვიბრომდულარე ფენის პირობებში.

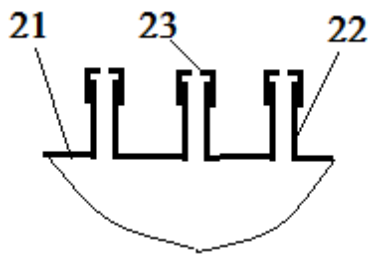
აღნიშნული მეთოდის განხორციელებისათვის დამუშავებულია მოწყობილობა, რომლის პრინციპული სქემა ნაჩვენებია ნახ. 1- 3-ზე.

მოწყობილობა შეიცავს ჩასატვირთი ხვიმირით 2 აღჭურვილ კამერას 1, რომლის შიგნით მოთავსებულია პროდუქტის გადაადგილების მიმართულებით დაღმავალ საფეხურებად განლაგებული ჩარჩოები 3, 4, 5, 6.

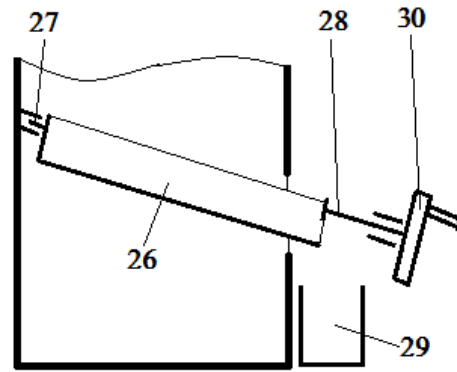
ჩარჩოები კამერაში ცალი მხრიდან დამაგრებულია სახსრულად 7, 8, 9, ხოლო მეორე ბოლოზე აღჭურვილია სიმაღლის მარეგულირებელი მექანიზმით 10. ეს იძლევა ჩარჩოების ჰორიზონტისადმი დახრის კუთხის ცვლილების შესაძლებლობას ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად. ყოველი ჩარჩო აღჭურვილია მუშა აგენტის (ცივი ჰაერის) მიმყვანი ინდივიდუალური არხებით 11, 12, 13, 14, რომლებიც მოქნილი მასალისაგან (მაგალითად, ბრეზენტისაგან) დამზადებული ჰაერსავალი ელემენტებით 15 დაკავშირებულია მუშა აგენტის მიმწოდებელ სტაციონარულ ჰაერსავალ მილებთან 16, 17, 18, 19. ინდივიდუალური ვენტილატორების 20 დახმარებით შესაძლებელია ყოველ მილში, ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად, სხვადასხვა სიჩქარისა და ტემპერატურის მქონე მუშა აგენტის მიწოდება.



ნახ. 1. აკუსტიკური ბგერების გამოყენებით ხილის შოკური გაყინვის მოწყობილობის პრინციპული სქემა



ნახ. 2. ჰაერგამანაწილებელი ზედაპირის სქემა



ნახ. 3. შუალედური გამომტვირთი მექანიზმის სქემა

კამერაში განლაგებული ყოველი ჩარჩო აღჭურვილია ჰაერგამანაწილებელი ზედაპირით, რომელიც წარმოადგენს სიბრტყეს 21 მართობულად ზევით 15-20 მმ სიმაღლეზე ამოშვებული 3-5 მმ დიამეტრის მილებით 22. ყოველი მილის ზედა ბოლოზე დაყენებულია საცვლელი მოვიბრირე ფირფიტა 23. ჩარჩოების თავზე კამერას აქვს ნამუშევარი აგენტის შემკრები ქოლგები 24, შიგნით დამონტაჟებული გამწოვი ვენტილატორებით 25.

პროდუქტის გადაადგილების მიმართულებით ბოლო ჰაერგამანაწილებელი ზედაპირის ქვეშ განლაგებულია მზა პროდუქციის გამომტვირთი მექანიზმი, ხოლო მეზობელ ჰაერგამანაწილებელ ზედაპირებს შორის კი - შუალედური გამომტვირთი მექანიზმები. ყველა გამომტვირთი მექანიზმი წარმოადგენს დიამეტრის ნახევრამდე მთელ სიგრძეზე მილის გადაჭრით მიღებულ ღარს 26, რომელსაც ორივე ბოლოდან დაყენებული აქვს ღერძები 27, 28, რომელთა მიმართ ღარს შეუძლია შემობრუნება 90°-ით. პირველ მდგომარეობაში ღარი 26 ვერტიკალურადაა განლაგებული და

ზევიდან მთლიანადაა დაფარული წინა ჰაერგამანაწილებელი ზედაპირის 4 გამომტვირთი უკანა ნაწილით. მეორე მდგომარეობაში კი ღარი 26 ჰორიზონტალურადაა განლაგებული და ფარავს მომდევნო ჰაერგამანაწილებელი ზედაპირის 5 ჩასატვრით წინა ნაწილს. ყველა გამომტვირთი მექანიზმი განლაგებულია პროდუქტის გადაადგილების მიმართულებისადმი მართობულ სიბრტყეში დახრილად ისე, რომ მისი ერთი ბოლო და ღერძი 27 კამერის 1 შიგნითაა მოთავსებული, ხოლო მეორე ბოლო და ღერძი 28 - კამერის გარეთ. კამერის გარეთ არსებული ღარის ნაწილის ქვეშ განლაგებულია მზა პროდუქციის შემგროვი 29. ღერძზე 28 დაყენებულია სახელური 30, რომლის დახმარებით შესაძლებელია ღარის 26 მდებარეობის ცვლილება.

გასაყინავი ნედლეულის სახეობისა და მდგომარეობის (სიმწიფის ხარისხი, ნაყოფების ზომები, ფორმები და სხვ.) მიხედვით თავდაპირველად ხდება ჰაერგამანაწილებელი ზედაპირების 4, 5, 6 ვერტიკალურ მილებზე 22 საჭირო მოვიბრირე ფირფიტების 23 დაყენება,

რომლებიც უზრუნველყოფს მოცემული კონკრეტული პროდუქტის შოკური გაყინვისათვის სასურველი აკუსტიკური ბგერების გენერირებას. პროდუქტის სახეობიდან გამომდინარე შეიძლება სამივე ჰაერგამანაწილებელ ზედაპირზე დაყენებული იყოს ერთნაირი ფირფიტები 23, თუმცა, უმეტეს შემთხვევაში, საჭირო ხდება ყოველი ჰაერგამანაწილებელი ზედაპირისათვის განსხვავებული ფირფიტების დაყენება. იმის გათვალისწინებით, თუ რა დროის განმავლობაში უნდა ხდებოდეს ნაყოფის დამუშავება მოცემული აკუსტიკური ბგერების ზემოქმედების პირობებში, უკვე ხდება ჰაერგამანაწილებელი ზედაპირების 4, 5, 6 ჰორიზონტისადმი დახრის კუთხის რეგულირება.

პროდუქტის გადაადგილების მიმართულებით პირველი ჰაერგამანაწილებელი ზედაპირი 3 წარმოადგენს მდულარე ფენის შემქმნელ მოწყობილობას. ამიტომ მისი დახრის კუთხის შერჩევის დროს ითვალისწინებენ იმას, რომ მოცემული კონკრეტული ნაყოფისათვის გარანტირებულად შეიქმნას მდულარე ფენა, ხოლო ამის შემდეგ - უკვე შექმნილი მდულარე ფენა (ანუ პროდუქტი) მინიმალური დროის განმავლობაში დარჩეს ამ ჰაერგამანაწილებელ ზედაპირზე, ანუ შესაძლოდ მოკლე დროის განმავლობაში მოხდეს ამ შექმნილი მდულარე ფენის გადასვლა ნაყოფის გაყინვისათვის განკუთვნილ მომდევნო ჰაერგამანაწილებელ ზედაპირზე 4.

თუ მოცემული ნედლეული საჭიროებს ყველა ჰაერგამანაწილებელ ზედაპირზე 4, 5, 6 დამუშავებას, ასეთ შემთხვევაში

მეზობელ ჰაერგამანაწილებელ ზედაპირებს (4 და 5, 5 და 6) შორის არსებული შუალედური გამომტვირთი ღარები 26 დაყენებულია ვერტიკალურ მდებარეობაში იმგვარად, რომ ხელს არ უშლიან პროდუქტის ჩამოდინებას წინა (ზედა) ზედაპირიდან მომდევნოზე. პროდუქტის გადაადგილების მიმართულებით უკანასკნელი ზედაპირის 6 შემდეგ არსებული გამომტვირთი მექანიზმი 26 კი განლაგებულია ჰორიზონტალურად, რაც უზრუნველყოფს ზედაპირიდან 6 ჩამომავალი პროდუქტის ამ გამომტვირთ ღარში გარანტირებულად მოხვედრას.

პროდუქტის გაყინვისათვის კამერაში 1 ხდება სტაციონარული ჰაერსავალი მიღებით 16, 17, 18, 19 მუშა აგენტის მიწოდება, რომელიც ჰაერსავალი ელემენტების 15 გავლით მოხვდება ჯერ არხებში 11, 12, 13, 14, აქედან გადადის ინ-დივიდუალურ ჰაერგამანაწილებელ ზედაპირებთან 3, 4, 5, 6, რის შემდეგ ამ ზედაპირების ვერტიკალურ მილებზე 22 დაყენებული მოვიბრირე ფირფიტების 23 გავლით გამოდის კამერაში. ამასთან, ფირფიტების 23 დახმარებით კამერაში შემოსული მუშა აგენტი წარმოქმნის გარკვეული სიხშირისა და ტალღის სიგრძის მქონე აკუსტიკურ ბგერებს.

ხვიმირის 2 გავლით კამერაში 1 მოხვედრილ ნაყოფებს აიტაცებს ჰაერგამანაწილებელი ზედაპირიდან 3 ამომავალი მუშა აგენტი და ქმნის მდულარე ფენას. მდულარე ფენის შექმნის პარალელურად პროდუქტი განიცდის წინასწარ გაცივებას. გაცივებული პროდუქტის მდულარე ფენა გადადის მეზობელ ჰაერგამანაწილებელ ზედაპირზე 4. აქ უკვე მიეწოდება მუშა

აგენტი ისეთი პარამეტრებით, რომლებიც განაპირობებს პროდუქტის შოკურ გაყინვას აკუსტიკური ტალღების ზემოქმედების პირობებში. ეს უზრუნველყოფს სასურველი მიკროსკოპული ზომების მქონე ყინულის კრისტალების წარმოქმნას ნედლეულში.

აკუსტიკური მეთოდით შოკური გაყინვის პირველი პერიოდის დასრულების შემდეგ ნედლეული მოხვდება შოკური გაყინვის მეორე პერიოდის განმახორციელებელ ჰაერგამანაწილებელ ზედაპირზე 5. აქ გრძელდება ნედლეულის შოკური გაყინვა, ოღონდ განსხვავებული პარამეტრების მქონე მუშა აგენტისა და განსხვავებული ტალღის სიგრძისა და სიხშირის მქონე აკუსტიკური ბგერების ზემოქმედების პირობებში.

ნედლეულის შოკური გაყინვის დასრულება ხდება ბოლო ჰაერგამანაწილებელ ზედაპირზე 6 ასევე მუშა აგენტისა და აკუსტიკური ტალღების განსხვავებული პარამეტრების პირობებში.

უკვე საბოლოოდ დამუშავებული მზა პროდუქტი უკანასკნელი ჰაერგამანაწილებელი ზედაპირიდან 6 მოხვდება გამომტვირთი მექანიზმის ღარზე 26, რომლის გავლით გამოიტვირთება კამერიდან 1 და მოხვდება შემგროვში 29.

თუ რომელიმე პროდუქტის გაყინვისათვის არაა აუცილებელი ყველა ჰაერგამანაწილებელ ზედაპირზე დამუშავება, ასეთ შემთხვევაში ამ არასაჭირო ზედაპირებთან მუშა აგენტის მიწოდება შეწყდება შესაბამისი ჰაერსავალი მილების 18, 19 გადაკეტვით, ხოლო მოცემული შემთხვევისათვის უკანასკნელი ჰაერგამანაწილებელი ზედაპირის (მაგალითად,

5-ის) შემდეგ არსებული შუალედური გამომტვირთი მექანიზმის ღარი 26 შემოზრუნდება ჰორიზონტალურ მდებარეობაში. ასეთ შემთხვევაში ჰაერგამანაწილებელი ზედაპირის 5 გავლის შემდეგ პროდუქტი მოხვდება ამ ღარზე 26 და მისი გავლით კამერიდან 1 გამოიტვირთება შემგროვში 29.

დასკვნა

მოწყობილობის წარმოდგენილი კონსტრუქცია უზრუნველყოფს გასაყინავი პროდუქტების დამუშავებას ისეთი გაცივებული მუშა აგენტით, რომელიც ამავე დროს აკუსტიკურ რხევებს გადასცემს ამ პროდუქტებს. ფაქტობრივად, მუშა აგენტი ამ შემთხვევაში ორ ფუნქციას ასრულებს: 1) ქმნის ცივი ჰაერის აღმავალ ნაკადს, რომელში გათხევადებული ფენა უზრუნველყოფს გამაცივებელ ჰაერსა და გასაცივებელ პროდუქტს შორის თბოგადაცემის ინტენსივობის მაქსიმალურად გადიდებას; 2) უზრუნველყოფს პროდუქტის გაყინვის პროცესის მიმდინარეობას აკუსტიკური ტალღების ზემოქმედების პირობებში, რაც იძლევა გაყინული პროდუქტების ფერის, გემოს, არომატისა და მასის მაქსიმალურად შენარჩუნების შესაძლებლობას.

ჰაერგამანაწილებელი ზედაპირების სხვა, მეზობელი ზედაპირებისაგან დამოუკიდებლად, ჰორიზონტისადმი დახრის კუთხის რეგულირების შესაძლებლობა უზრუნველყოფს ამ ზედაპირების მიღებიდან ამომავალი ჰაერის ნაკადების დახრის კუთხის ცვლილების შესაძლებლობას. ეს კი, პროდუქტის გათხევადებულ მასაზე დაწნევის მიმართულების ცვლილების გზით, იძლევა ამ მასის მოძრაობის

სიჩქარის რეგულირების შესაძლებლობას პროდუქტების სახისა და მდგომარეობის შესაბამისად.

პროდუქტის სიცივით დამამუშავებელი ყოველი ჰაერგამანაწილებელი ზედაპირის ბოლოში მოწყობილი პროდუქტის შუალედური გამომტანი მექანიზმები იძლევა ერთსა და იმავე მანქანაზე სხვადასხვა სახისა თუ სხვადასხვა ფიზიკურ მდგომარეობაში მყოფი ნედლეულის დამუშავების შესაძლებლობას რაიმე დამატებითი გადაკეთების გარეშე. ის პროდუქტები, რომელთა გაყინვას დიდი დრო ესაჭიროება, გაივლის სამივე ჰაერგამანაწილებელ ზედაპირს. ის ნედლეული კი, რომლის გაყინვა უფრო ადრე დასრულდება, გამოიტვირთება პირველი ან (საჭიროების შემთხვევაში) მეორე ჩარჩოს ბოლოში მოწყობილი შუალედური გამოტვირთვის მექანიზმის დახმარებით.

ლიტერატურა

1. მეგრელიძე თ., ღვაჩლიანი ვ., სადალაშვილი ე., გუგულაშვილი გ. ხილის ფლუიდოზაციის მეთოდით გაყინვის ახალი აპარატი/საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის შრომები//თბილისი: ტექნიკური უნივერსიტეტი. #2 (484). 2012.
2. ლაზარაშვილი ა., გოლეტიანი გ., ისაკაძე თ. აკუსტიკური მეთოდით შოკური გაყინვის მოწყობილობა/საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის შრომები//თბილისი: ტექნიკური უნივერსიტეტი. # 3 (533). 2024.

3. ნილსონი კ.პ. ზღვის წყლის გაყინვის პროცესის შესწავლა/ მიმოხილვა-თეზისები, ვაშინგტონის უნივერსიტეტი. 1953.
4. ნილსონი კ.პ. ტომპსონი გ.თ. გაყინვით კონცენტრირების საშუალებით ზღვის წყლიდან მარილის მოცილება//ჯ.მარ. რესპ. 1954. ნაწ.13.
5. იაშმიტა გროვერი, პრადეფ სინგჰი ნედი. ხილისა და ბოსტნეულის გაყინვის უახლესი მიმართულებები: ყინულის კონტროლირებადი ნუკლეაციისა და კრისტალიზაციისკენ წარმართვა გაყინვის გაძლიერებული სიჩქარით. მიმოხილვა-სტატია. ხილისა და ბოსტნეულის ტექნოლოგიის დეპარტამენტი, CSIR-ცენტრალური კვების ტექნოლოგიური კვლევითი ინსტიტუტი, მისურუ, ინდოეთი. 2023.
6. ბინფენგ ჩენგი, მინ ზანგი, ბაოგუო ხუ, ბენუ ადჰიკარი, ჯინკაი საი. ულტრაბგერების მოქმედების პრინციპები და მათი გამოყენება სასურსათო პროდუქტების გაყინვის პროცესებში. სტატია-მიმოხილვა. საკვების მეცნიერებისა და ტექნოლოგიის სათაო ლაბორატორია. ჯანგანის უნივერსიტეტი. ვუჰუ. ანჰუი. ჩინეთი.

DEVICE FOR SHOCK FREEZING OF PRODUCTS USING ACOUSTIC WAVES.

L.Papava, M.Razmadze, A.Lazarashvili, G.Gugulashvili

“Energy”. №1(112). 2025. Tbilisi. p. 62-69. geo. sum geo. engl.rus.

In the current devices for shock freezing by the acoustic method, cooling air and acoustic waves are supplied separately to the product surfaces. Given that acoustic waves are ordinary sound waves propagating in airspace, it can be assumed that there is the possibility of these different waves affecting each other. Accordingly, there is a need for proper selection of the direction of the cooling air streams to prevent these streams from attenuating acoustic waves. In view of the above, it has been proposed to carry out freezing of the product by transferring it to a vibration boiling layer when the working agent (cold air) is supplied to the product in the form of acoustic waves. To implement this method, a schematic diagram of a device for shock freezing products using acoustic waves.

Ill. 3, bibl. 6.

УСТРОЙСТВА ДЛЯ ШОКОВОГО ЗАМОРАЖИВАНИЯ ПРОДУКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН.

Л.Папавა, М.Размадзе, А.Лазарашвили, Г.Гугулашвили

“Энергия”. № 1(112).2025 . Тбилиси. с. 62-69. груз. реф. груз.англ. рус.

В существующих в настоящее время устройствах для шокового замораживания акустическим методом, подача на поверхности продукта охлаждающего воздуха и акустических волн производится отдельно. Учитывая, что акустические волны являются обычными звуковыми волнами, распространяющимися в воздушном пространстве, можно предположить, что существует возможность воздействия данных различных волн друг на друга. Соответственно, появляется необходимость правильного подбора направления потоков охлаждающего воздуха для предотвращения ослабления данными потоками акустических волн. С учетом вышеизложенного, предложено осуществление замораживания продукта переводением его в виброкипящий слой, когда рабочий агент (холодный воздух) подается к продукту в виде акустических волн. Для реализации данного способа предложена принципиальная схема устройства для шокового замораживания продуктов с использованием акустических волн.

Илл. 3, лит. 6 назв.

ფიტოსისტემები საქართველოში: პრობლემები და პერსპექტივები

*ზურაბ მეგრელიშვილი - ტექნ. მეცნ. დოქტორი, ემერეტუს-პროფესორი

E-mail: zurab.megrelishvili@bsu.edu.ge

**გია ბოლქვაძე - ბიოლოგიის დოქტორი, მთავარი მეცნიერი თანამშრომელი

E-mail: giabatumi@yahoo.com

***დავით ჩხუბიანი - დოქტორანტი

E-mail: datochkhubiani@gmail.com

*ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

**ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ფიტოპათოლოგიისა და ბიომრავალფეროვნების ინსტიტუტი

***საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ანოტაცია. ფიტოგამწმენდი სისტემები - ზედაპირული ან მიწისქვეშა წყლის დინებით, რომლებიც იყენებენ უმადლეს მცენარეულობას და განკუთვნილი არიან ჩამდინარე წყლების გასაწმენდად - ბოლო ათწლეულების განმავლობაში აქტიურად გამოიყენება მსოფლიო პრაქტიკაში. ასეთი სისტემების დაგეგმარების უნივერსალური პრინციპები არ არსებობს, ამიტომ რეგიონის, რომელშიც მდებარეობს ჩამდინარე წყლების გამწმენდი ნაგებობა და ჩამდინარე წყლების ხარისხის მიხედვით, შეირჩევა ჩამდინარე წყლების გამწმენდი ნაგებობის ინდივიდუალური ტიპი. სტატიაში განხილულია სველი ნაკვეთების განვითარების მოკლე მიმოხილვა, თანამედროვე სველი ნაკვეთების ტიპები და გამოყენებული მცენარეები. მოყვანილია საქართველოში არსებული ანალოგიური მცენარეების ჩამონათვალი და ფოტოკოლაჟი. ფიტოგამწმენდი სისტემები შეიძლება გამოყენებული იყოს საქართველოში მცირე დასახლებული, ადგილების, ცალკე მდებარე კოტეჯებისა და სასტუმ-როების ჩამდინარე წყლების გასაწმენდად.

საკვანძო სიტყვები: ჩამდინარე წყლები, ფიტო-გამწმენდის სისტემები, მცენარეთა მრავალფეროვნება.

შესავალი

გარემოს დაცვა მთელ მსოფლიოში აქტუალური საკითხია. გარემოს, კერძოდ ჰიდროსფეროს დაცვა მოითხოვს ახალი, ინოვაციური ტექნოლოგიების დანერგვას და გავრცელებას, თანაც ისეთს, რომელიც გარემოსათვის ადვილად ადაპტირებადი იქნება. ეს საკითხები ასევე აქტუალურია საქართველოსათვის. ზედაპირული წყლის ხარისხის გაუმჯობესების პრობლემის გადაწყვეტა საქართველოში მეტწილად დამოკიდებულია მცირე და საშუალო ზომის დასახლებების საყოფაცხოვრებო ჩამდინარე წყლების მაღალეფექტური ცენტრალიზებული გამწმენდი ნაგებობებით უზრუნველყოფაზე.

საქართველოს ეროვნული სტატისტიკის მონაცემების მიხედვით საქართველოში ყოველწლიურად მატულობს სტუმრების რიცხვი. ბოლო წლებში პოპულარული ხდება ეკოტურიზმი, ადამიანები სულიერი სიმშვიდის მოსაპოვებლად მიისწრაფიან მსხვილი დასახლებული ადგილებიდან მოცილებული ცალკე მდებარე სასტუმ-როებში ან კოტეჯურ დასახლებაში [1]. საქართველოში იმატა კოტეჯური დასახლებების და ბუნებაში ცალკე მდებარე მცირე სასტუმროების მშენებლობა. ეს კი მოითხოვს მცირე ობიექტებიდან წარმოშობილი სამეურნეო ფეკალური ჩამდინარე წყლების გაწმენდის ახალი ტექნოლოგიების შემუშავებას, რომლებიც

მარტივი იქნება ექსპლუატაციაში და არ მოითხოვს დიდ მატერიალურ დანახარჯებს.

ინჟინრებს ამჟამად აქვთ წყლის გამწმენდი ტექნოლოგიების ფართო სპექტრი. თუმცა, ყოველთვის არ არის შესაძლებელი უკვე არსებული და დადასტურებული მეთოდების გამოყენება. მაგალითად, ეკონომიკურად წამგებიანია, ტექნიკურად და ოპერაციულად რთული და არაპრაქტიკულია პატარა სოფლის ან ცალკე მცირე საწარმოსათვის დიდი გამწმენდი ნაგებობების აშენება, ან შორეული დასახლებების არსებულ წყლის გამწმენდ ნაგებობებთან მიერთება [2].

მოთხოვნები წყალსაცავებში ჩასაშვები წყლის ხარისხზე დაბინძურების ყველა წყაროდან ერთნაირია. ევროპაში გამოიყენება ფიტოგამწმენდი სისტემები, რომლებიც თავის ტექნოლოგიაში აერთიანებს აეროტენკების, მეორად სალექარების, ქვიშის ფილტრების, ჟანგვით-აღდგენითი დანადგარების და სადეზინფექციო სისტემების ფუნქციებს. ამავდროულად, ფიტოგამწმენდის სისტემები ჰარმონიულად ეხამება ტერიტორიის ლანდშაფტს.

დღევანდელი დღეის მდგომარეობით, საქართველოს ტერიტორიის მხოლოდ მცირე ნაწილზე (დიდ ქალაქებში, მუნიციპალურ ცენტრებში) არსებობს გარე წყალარინების სისტემები ჩამდინარე წყლების სრული გაწმენდის შესაბამისი ტექნოლოგიებით (ზოგიერთ შემთხვევაში, მშენებლობის ან პროექტირების ეტაპი). ქვეყნის დანარჩენ ტერიტორიაზე (სოფლებში, თემებში და პატარა დასახლებებში) წყალარინების ქსელები და მითუმეტეს გამწმენდი ნაგებობები არ არსებობს. ხდება წყალარინების პირდაპირი ჩაშვება ზედაპირულ წყლებში, ხეობებში, არხებში და ა.შ. რაც ზიანს აყენებს როგორც გარშემო მყოფი მოსახლეობის ჯანმრთელობას, ისე გარემოს.

მსოფლიოში განიხილება ტენდენცია წყლის გაწმენდის და კონდიცირების განახლებადი ბუნებრივი რესურსების გამოყენებით, კერძოდ, წყლის მცენარეების ხარჯზე. ბუნებრივი წყლის გამწმენდ სისტემებს შორის სულ უფრო ფართოვდება ისეთი ბიოტექნიკური სტრუქტურები, როგორიცაა ბიოპლატო, რომლებიც გამოიყენება საყოფაცხოვრებო და სამრეწველო ჩამდინარე წყლების, ბუნებრივი წყლებისა და დაბინძურებული ზედაპირის ჩამონადენის გასაწმენდად [3]. ბიოპლატოების უმეტესობის ფუნქციონირების არსი მდგომარეობს იმაში, რომ მათში წყლის ფიტოგამწმენდა ხდება წყლის ფილტრაციით მცენარეების ფესვთა სისტემის გავლისას, მცენარეებში ფოტოსინთეზის, მათ შთანთქმის, ჟანგვის ხარჯზე და ჟანგბადის სინთეზის უნარზე ნახშირორჟანგის ბიოდეგრადაციის დროს.

შესაბამისად, დასამუშავებელია და დასანერგია ტექნოლოგიები, რომლებიც საშუალებას მოგვცემენ გადავწყვიტოთ გარემოსა და ჯანმრთელობის დაცვის საკითხები და ამავდროულად მივიღოთ გაწმენდილი ჩამდინარე წყალი რომელიც შესაძლებელი იქნება ჩაუშვად წყალსაცავებში ან გამოვიყენოთ მეორედ. საფრანგეთში, დანიაში, გერმანიაში, ამერიკის კონტინენტებზე და მსოფლიოს სხვა ქვეყნებში, სოფლებისთვის და მცირე დასახლებებისთვის ფართოდ არის გავრცელებული გაწმენდის ფინოსისტემები (Wetland), გამოყენების პრაქტიკა [4]. უცხოური გამოცდილებიდან გამომდინარე, შეგვიძლია დავასკვნათ რომ ფიტოსისტემები ჩამდინარე წყლის წმენდის ერთერთი ეფექტური და ეკონომიური საშუალებაა. საქართველოში და კერძოდ აჭარაში ასეთი ტექნოლოგიების დანერგვა მოითხოვს დამატებითი კვლევების ჩატარებას, რათა დავადგინოთ ტექნოლოგიური პარამეტრები

და გამოსაყენებელი მცენარეები, რომლებიც მისაღები იქნება ადგილობრივ პირობებში-სათვის.

ძირითადი ნაწილი

სველი ნაკვეთების განვითარების მიმოხილვა

ბიოპლატოს მიმსგავსებული ტექნოლოგიები ხვადასხვა ნაირსახეობით გვხვდება ჯერ კიდევ მეცხრამეტე საუკუნის მილეულს: ოდესაში (1887 წ.), კიევში (1894 წ.), მოსკოვში (1898 წ.). მოგვიანებით გერმანიაში ქალაქ დელიჩთან, რომელიც იმ დროისთვის ერთ ერთი ყველაზე დიდი იყო (ფართობი 22 ჰა; 400 კმ სიგრძის არხებით, ველებზე მოდიოდა წლიურად 19 მლნ მ³ ჩამდინარე წყალი) [5]. იმ დროინდელი ტექნოლოგიები ძირითადად გვევლინება ორი დასახელებით: საზრდოობის ველები და ფილტრაციის ველები.

საზრდოობის ველები თავის მხრივ გულისხმობდა ჩამდინარე წყლის მეშვეობით სხვადასხვა ხილბოსტნეული კულტურების მორწყვას. იქედან გამომდინარე რომ ჩამდინარე წყლები დიდი რაოდენობით შეიცავენ პათოგენურ ბაქტერიებს და ჰელმინთის ჭიების კვერცხებს (იოლად მრავლდებიან ბოსტნელ კულტურებში), ბოსტნეული კულტურების მორწყვამდე აუცილებელი იყო ჩამდინარე წყლის წინასწარ დამუშავება ბაქტერიების გაუნებელყოფა.

იგივე სტრუქტურა ქონდა ფილტრაციის ველებს, მაგრამ მათ შემთხვევაში, ველებზე არ ხდებოდა სხვადასხვა კულტურის გაზრდა [5].

ჩამოთვლილ ტექნოლოგიებს გააჩნდათ შემდეგი ნაკლოვანებები: არ ხდებოდა გრუნტის გამოცვლა, ფილტრაციისთვის გამოიყენებოდა არსებული გრუნტი, ვერ ხერხდებოდა შესაბამისი ზუსტი ფილტრაციის კოეფიციენტის განსაზღვრა, რის შედეგადაც ხდებოდა დატბორვები. ჩამდინარე წყლები მინდორში ნაწილდებოდა ძირითადად

გახსნილი არხების მეშვეობით, ზამთრის პერიოდში არხებში გამდინარე წყალი იყინებოდა, აქედან გამომდინარე წმენდის პროცესი წყდებოდა. წელიწადის ცხელ პერიოდებში იყო სუნის და დიზენტერიის წყარო [3].

ჩამდინარე წყლების გასაწმენდად დაჭაობებული ნაკვეთების რიზოსფერული (წყლის და ნახევრად წყლის მცენარეების) სისტემების გამოყენების იდეა ახალი გამოგონება არ არის. მას შემდეგ, რაც ადამიანებმა დაიწყეს ჩამდინარე წყლების ჩაშვება, ჭაობები და მათი რიზოსფერო მეტნაკლებად შეგნებულად გამოიყენებოდა ამ ნაკადების მისაღებად და დასამუშავებლად. ჩამდინარე წყლები, როგორც წესი, ჩაედინება წყლის ობიექტებში ან, პირდაპირ ან ირიბად. თუ იქ ჭაობები არ არის, ჩამდინარე წყლის ჩადინება ძალიან სწრაფად იწვევს მათ წარმოქმნას. დღესაც კი, სოფლად მცხოვრები მრავალი კერძო სახლისა და მეურნეობის ჩამდინარე წყლები ჩაედინება ჭაობებში ან იქვე მდებარე სხვა ინფილტრაციულ სისტემებში, რაც ხშირად აძლევს ამ ადგილებს პატარა ჭაობების იერს. ძველ ჩინეთში, ეგვიპტესა და მესოპოტამიაში სხვადასხვა კულტურა იყენებდა ჭაობებს ჩამდინარე წყლების გასადინებლად [6].

პირველი ფორმალური ინფორმაცია „კონსტრუქციული ჭაობების“ შესახებ გავრცელდა 1904 წ. [7]. გაცილებით გვიან, პირველი სამეცნიერო ექსპერიმენტები რიზო-სფერული სისტემების გამოყენების შესახებ დაბინძურებული წყლების გასაწმენდად ჩატარა 1950-იანი წლების დასაწყისში ექიმმა კათე სეიდელმა გერმანიაში [5]. მან შეისწავლა ზედაპირული წყლების გაწმენდის გზები, რომლებიც გაჯერებული იყო ზედმეტი სასუქებით, ლამითა და სხვა ჩამდინარე წყლების დამაბინძურებლებით. შემდგომში კ. სეიდელის ექსპერიმენტებში გამოყენებული

იყო მცენარეების გარკვეული სახეობები, მათ შორის *Phragmites australis* (სამხრეთის ლერწამი, გავრცელებულია საქართველოში) და *Schoenoplectus lacustris*.

ამ პერიოდში ჩამდინარე წყლების დამუშავება ძირითადად შეზღუდული იყო ფიზიკური და ქიმიური მეთოდებით (ასევე წმინდა ბაქტერიულით, რაც აისახება „გააქტიურებული ლამის“ გამოყენებაში). რიზოსფეროს კონტროლირებადი გამოყენება ჩამდინარე წყლების გასაწმენდად არ იყო გათვალისწინებული. ითვლებოდა, რომ წყლის მცენარეების უმეტესობა ვერ ინარჩუნებდა ნორმალურ ზრდას დაბინძურებულ გარემოში და მცენარეების უნარი ამოიღოს ტოქსიკური ნივთიერებები წყლიდან, არ იყო აღიარებული [8].

მეოცე საუკუნის დასაწყისიდან, აქტიურად დაიწყო განვითარება ჩამდინარე წყლების მექანიკური და შემდეგ ბიოლოგიური მეთოდებით გაწმენდა [3,4]. ეს გამოწვეული იყო მეცნიერების მიღწევებით ჰიდრაულიკისა და ბიოლოგიური სფეროში [3,4]. გამწმენდი ნაგებობი გახდა შედარებით უფრო კომპაქტური, უსაფრთხო, ვინაიდან დაიხვეწა არა მარტო ჩამდინარე წყლების გაწმენდის ტექნოლოგია არამედ დაკავებული ნალექის გადამუშავების ტექნოლოგიაც. შესაბამისად ხელოვნური ჭაობების ტექნოლოგიებმა უკანა ფლანგზე გადაიწია.

XX საუკუნის 70-იანი წლებიდან მსოფლიოში აქტიურად ვითარდება წყლის გამწმენდისათვის ფიტოგამწმენდი სისტემების გამოყენება. ეს ტექნოლოგიები უფრო ცნობილია, როგორც Constructed Wetlands (ან Treatment wetlands, Reed bed systems) - სიტყვასიტყვით, ხელოვნური ან კონსტრუირებული ჭაობები [9]. ბოლო წლებში რუსულენოვან სამეცნიერო-ტექნიკურ ლიტერატურაში შემოთავასებულია ტერმინოლოგია „ფიტოგამწმენდი სისტემები“. იმის

გათვალისწინებით, რომ კონსტრუირებული ჭაობების ყველაზე თანამედროვე ნიმუშები საერთოდ არ ჰგავს ჭაობებს საყოველთაოდ მიღებული გაგებით, ავტორები თავაზობენ სამეცნიერო საზოგადოებას ქართულენოვან ლიტერატურაში გამოვიყენოთ ტერმინი „სველი ნაკვეთი“, რომელიც ითვალისწინებს მცენარეული საფარის სავალდებულო გამოყენებას.

თანამედროვე სველი ნაკვეთები

გარემოს დაცვის, კერძოდ წყალ-სატევების დაცვის საკითხებმა, გაამახვილა ყურადღება მცირე გამწმენდ ნაგებობების შექმნის საჭიროებაზე, რომლებიც უზრუნველყოფენ ცალკე მდებარე კოტეჯებიდან, სასტუმროებიდან, მცირე დასახლებულ ადგილებიდან წარმოშობილი ჩამდინარე წყლების გაწმენდას საჭირო კონდენციატზე იქ, სადაც არ არსებობს ცენტრალური კანალიზაციის სიტემა. დღეისათვის არსებობს სხვადასხვა ფორმების ასეთი კომპაქტური დანადგარები, რომლებიც ახორციელებენ სხვადასხვა მეთოდებით ასეთი ჩამდინარე წყლების მექანიკურ და სრულ ბიოლოგიურ გაწმენდას [10]. მაგრამ ასეთი დანადგარების შეძენა კერძო პირისათვის ხშირ შემთხვევაში არა რენტაბელურია, ვინაიდან მათი ღირებულება იწყება \$5 000-დან და ზემოდ სიმძლავრის მიხედვით [6]. ამის გარდა მათი ექსპლუატაცია უნდა განახორციელოს შესაბამისი კვალიფიკაციის სპეციალისტმა. ამიტომ მათი გამოყენება საქართველოს და კერძოდ აჭარის რეგიონებში შეზღუდულია.

როგორც ზემოდ იყო აღნიშნული მსოფლიოს ბევრმა ქვეყანამ სოფლებისთვის და პატარა დასახლებებისთვის დაიწყო სველი ნაკვეთების მოდერნიზირებული ვერსიების გამოყენება [2-4,9,11].

ყურადღებას იპყრობს საკმაოდ გავრცელებული ჰიდროპონური ტიპის ჩაკეტილი ბიოპლატოები, რომლებშიც

წყლის მცენარეების ფესვთა სისტემა ფიქსირდება ფოროვანი (ხრემის) ფილტრაციულ ჩანატვითზე და მუდმივად ირეცხება წყლით. წყალი მოძრაობს ვერტიკალურად ზემოდან ქვემოთ ან ქვემოდან ზევით. ლამის, ორგანული მინარევების, აზოტისა და ფოსფორის ბიოგენური ნაერთების ეფექტურად მოცილებასთან ერთად, წყლის მცენარეები ასევე აშორებენ წყალში ხსნად მარილებს. წყლის ჰიაცინტის (*Eichornia crassipes*) გამოყენებისას, ორგანული მინარევებისაგან ჩამდინარე წყლების გაწმენდასთან ერთად, დაფიქსირდა ქლორიდების მოცილება 32%-მდე, სულფატები 43%-მდე [12]. ლერწამი, მოსავლიანობისას 44 ტ/ჰა მშრალ ნივთიერებზე, შეუძლია დააგროვოს (დააკავოს) 419 კგ/ჰა კალიუმი, 408 კგ/ჰა ქლორიდები, 450 კგ/ჰა ნატრიუმი. “Constructed Wetlands” ტიპის ბიოინჟინერიის ნაგებობებში, რომლებიც იყენებენ წყლის მცენარეებს, სულფატებისგან გაწმენდის ეფექტურობამ მიაღწია 25-30%-ს, ხოლო ნატრიუმის იონებს 10-15%-მდე [12].

თანამედროვე სველი ნაკვეთები განსხვავდებიან ერთმანეთისგან როგორც წყლის დინების მიმართულების, ასევე მისი მდებარეობის მიხედვით (მიწის ზედაპირის ქვეშ, თუ მიწის ზედაპირის ზევით). აქედან გამომდინარე გამოვყოთ სველი ნაკვეთების შემდეგი ტიპებს:

- სველი ნაკვეთები თავისუფალი წყლის ზედაპირით (ჰორიზონტალური დინებით მიწის ზედაპირზე).
- სველი ნაკვეთები წყლის ჰორიზონტალური მიწისქვეშა დინებით.
- სველი ნაკვეთები წყლის ვერტიკალური დინებით.

საქართველოში ფიტოსისტემების გამოყენების გამოცდილება არ არის. დღეისათვის აჭარის სოფლების წყალმომარაგების და წყალარინების პროგრამით გათვალისწინებულია პირველი სველი ნაკვეთების აშენება

აჭარის რეგიონში, ძირითადად მიწისქვეშა ჰორიზონტალური დინებით და ვერტიკალური დინებით. ზომები და მოცულობები იქნება სხვადასხვა (მოსახლეობის რაოდენობის მიხედვით).

როგორი ტიპის არ უნდა იყოს სველი ნაკვეთი, საჭიროა მისი ეფექტურობის გამოკვლევა განსხვავებული კლიმატური პირობების, გრუნტის შემადგენლობისა და გამოყენებული მცენარეების გათვალისწინებით.

მცენარეების მოქმედება სველი ნაკვეთის ექსპლუატაციის დროს

მცენარეები სველი ნაკვეთების წმენდის პროცესებისთვის ერთერთი მნიშვნელოვანი ელემენტია. როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული მცენარეთა ფესვები ახდენენ ჩამდინარე წყალში არსებული დამაბინძურებელი ნივთიერებების ათვისებას, მაგრამ ამის გარდა ასრულებს თერმოიზოლაციის როლს. ზამთარში ახდენს თოვლის საფარის დაჭერას, ზაფხულში ფოთლების საფარი ჩრდილის მეშვეობით აფერხებს ფილტრაციის ბალიშის გაშრობას, რომელიც ეხმარება ბაქტერიების განვითარებას და ორგანული ნივთიერებების მინერალიზაციას. ქარის დროს მცენარეების ღეროების რხევა ასევე წარმოქმნის დამატებით კაპილარებს წყლის და ჰაერის შეღწევისთვის ფილტრაციის ფენებში. მცენარეთა ფესვები დადებით როლს თამაშობენ ფილტრაციის ფენაში ბიოლოგიური პროცესების წარმართვისთვის, როგორც სიცოცხლის (ეფექტური ჟანგბადის ტრანსპორტირება ფესვის ზონაში, რათა ხელი შეუწყოს შემცირებული ტოქსიკური ლითონების დაჟანგვას და დიდი რიზოსფეროს მხარდაჭერას) ასევე ღვინის პერიოდში (ფესვთა სისტემაზე მიმაგრებული ბიოფილტრი, მკვდარი ლერწმის მასალა და ფოროვანი გარემო დიდწილად

პასუხისმგებელია სისტემაში მიმდინარე მიკრობული დამუშავებისთვის).

მცენარეების შერჩევის დროს აუცილებელია სწორედ განისაზღვროს კლიმატური პირობები, მათი ცხოვრების ციკლი, ფესვების ჩადრმაგების სიღრმე, და ა.შ.

მსოფლიოს მაშტაბით სველი ნაკვეთებისთვის გამოყენებული იყო 150 სახის მცენარე. აქედან მათმა ლიმიტირებულმა რაოდენობამ გაამართლა.

საქართველოს, კერძოდ აჭარის ტერიტორიისთვის, მოძიებისა და კვლევების შედეგად გამოვლინდა რამდენიმე სხვადასხვა ოჯახის და სახეობის მცენარე, რომელიც შეიძლება რეკომენდირებული იყოს ადგილობრივი პირობების გათვალისწინებით (ცხრილი).

ვერტიკალური დინების სველი ნაკვეთებისთვის მსოფლიოში ყველაზე ხშირად იყენებენ *Phragmites*-ის ოჯახის მცენარეებს. ისინი ეგუებიან თითქმის ყველა კლიმატურ პირობებს. ფესვები და რიზომები შენარჩუნებულია ზამთარში ჩრდილოეთ კლიმატში, შესაბამისად, მხოლოდ ერთჯერადი მოსავალი არ არის პროდუქტიულობის საზომი. სველი ნაკვეთებისთვის გამოყენებული ძირითადი ბალახოვანი მცენარეებისთვის ბრუნვის დროის შეფასებები ორიდან სამ წლამდეა. *Phragmites*-ის ფესვების სიცოცხლის ციკლი სულ მცირე სამი წელი გრძელდება. აქედან გამომდინარე, ჭაობის მცენარეების ზრდის მთლიანი ტემპი გაცილებით მაღალია, ვიდრე მხოლოდ მიწისზედა ნაწილებისთვის.

მცენარე ითესება ქვიშის ფენაში, ეს უზრუნველყოფს ჰუმუსოვან ფენის წარმოქმნას ფილტრის პირველ ფენის ზედაპირზე. ფილტრის პირველ ფენაზე მზარდი ფრაგმენტები უზრუნველყოფენ გაუმჯობესებულ მიკრობულ გარემოს და ხელს უწყობენ ფენის ჰიდრაგლიკური გამტარობის შენარჩუნებას. ბაქტერიები,

რომლებიც ახორციელებენ ჟანგბადის ბიოქიმიური მოთხოვნილების შემცირებას და ნიტრი-ფიკაციას, არიან ბიომასაში, რომლებიც იზრდება ქვიშისა და ხრეშის ფენებში, მათ გრანულებზე. გარდა ამისა, ამიაკის ადსორბცია შეიძლება მოხდეს დადმასვლისას აერობული დრენაჟისას, რასაც მოჰყვება ნიტრიფიკაცია.

რაც შეეხება მცენარეების მიერ გადაცემულ ჟანგბადს ფესვების უსაფრთხო გარემოს შექმნისთვის, დიდი სიფრთხილეა საჭირო სამეცნიერო-ტექნიკურ ლიტერატურაში მოყვანილი ინფორმაციის ინტერპრეტაციას. მიუხედავად იმისა, რომ ჟანგბადის გადაცემა ხდება მოკრძალებული ტემპებით, რაოდენობა, რომელიც გადაიცემა მცენარეთა სუნთქვის მოთხოვნილებების გადაჭარბებით, გაცილებით ნაკლებად გარკვეულია. გარდა ამისა, გაზომვის მეთოდები ცვალებადი იყო, ზოგი კი მხოლოდ სავარაუდო.

მცენარეების ღეროების მეშვეობით ხდება არა მარტო ფესვების ჟანგბადით მომარაგება, ასევე სხვადასხვა გაზების გაყვანა ფესვებიდან ატმოსფეროში.

საქართველოში არსებული მცენარეების აღწერა

სველი ნაკვეთებისათვის გამოსაყენებელი მცენარეების რეკომენდაციისათვის აუცილებელია საქართველოში გავრცელებული სახეობების განხილვა. საყურადღებოა ინტროდუცირებული მცენარეების ასორტიმენტის შერჩევა, რადგან თავიდან ავიცილოთ ინვაზიური სახეობები ჰაბიტატებში, რაც წარმოქმნის ეკოლოგიური პრობლემებს. ცხრილში მოყვანილი მცენარეებიდის მოკლე აღწერა:

Schoenoplectiella juncoides (Roxb.) (ნახაზი: 1) - წარმოადგენს Juncaceae-ს ოჯახს. არის მრავალწლოვანი მცენარე, სიმაღლე 50-250 სმ. ფესვების სტრუქტურა აქვს მოკლე და

საქართველოს პირობებისთვის ადაპტირებულ მცენარეთა ანოტირებული სია

ცხრილი

#	ადგილობრივი სახეობები	ქართული დასახელება	ოჯახი
1	<i>Schoenoplectiella juncoides</i> (Roxb.) (ა)	ტბის ლელქაში	Juncaceae
2	<i>Scirpus lacustris</i> L.	ჩვეულებრივი ლერწამი	Cyperaceae
3	<i>Schoenoplectiella mucronata</i> (L.)	ჭაობის ლერწამი	Cyperaceae
4	<i>Schoenoplectus triqueter</i> (L.) Palla	სამკუთხა ლერწამი	Cyperaceae
5	<i>Schoenoplectus tabernaemontani</i> (C.C.Gmel.) Palla	დიდი ლერწამი	Cyperaceae
7	<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steud.(თ)	სამხრეთის ლერწამი	Poaceae
8	<i>Scirpus palustris</i> L	ჭაობის ლერწამი	Cyperaceae
9	<i>Scirpus bisumbellatus</i> Forssk.	ლერწამი ორნაწილიანი	Cyperaceae
10	<i>Scirpus hispidulus</i> Vahl,	ჩვეულებრივი ლერწამი	Cyperaceae
12	<i>Typha angustifolia</i> L. (ვ)	ლაქაში	Typhaceae
13	<i>Typha latifolia</i> L.	ლაქაში	Typhaceae
14	<i>Carex acuta</i> L.	ისლი	Cyperaceae
15	<i>Carex pendula</i> Huds.	ისლი	Cyperaceae
16	<i>Acorus calamus</i> L. (გ)	კოთხუჯი	Acoraceae
17	<i>Juncus effusus</i> L.	ჭილი	Juncaceae
18	<i>Iris pseudacorus</i> L. (ბ)	წყლის ზამზახი	Iridaceae
	ინტროდუცირებული სახეობები		
1	<i>Pontederia cordata</i> L.	-	Pontederiaceae
2	<i>Cortaderia selloana</i> (Schult. & Schult.f.) Asch. & Graebn.	პამპასი	Poaceae
3	<i>Eryngium yuccifolium</i> Michx.	-	Apiaceae
4	<i>Alocasia macrorrhizos</i> (L.) G.Don	ტარო	Araceae
5	<i>Hydrangea macrophylla</i> (Thunb.) Ser. (ო)	ჰორტენზია	Hydrangeaceae
6	<i>Cyperus alterniflorus</i> R.Br.	-	Cyperaceae
7	<i>Iris japonica</i> Thunb. (დ)	იაპონური ზამზახი	Iridaceae
8	<i>Canna indica</i> L. (ზ)	ინდური კანა	Cannaceae
9	<i>Zantedeschia aethiopica</i> (L.) Spreng. (ე)	კალა	Araceae

მსხვილი, ღერო ცილინდრული სისქით 1,5-2,5 მმ. საშუალოდ ფესვები შეიცავს 40-50% კრაზმალს (უფრო მეტს ვიდრე კართოფილი) 10-24% ცილებს და 10-20% შაქარს. საკვებია მუშკრატისათვის (ондатра). იზრდება მდინარეების, ტბების სანაპიროზე, დაჭაობებულ ადგილებში. გავრცელების არეალი - ევრაზია და აფრიკის კონტინენტი, საქართველო [13].

Scirpus lacustris L. - წარმოადგენს Cyperaceae-ის ოჯახს. არის მრავალწლოვანი მცენარე. სიმაღლე 3,5 მ-დე. ღერო ცილინდრული სისქით 5-15 მმ. გავრცელების არეალი ევროპა, აღმოსავლეთ აზია, კავკასია, საქართველო. [14]

Schoenoplectiella mucronata (L.) - წარმოადგენს Cyperaceae-ის ოჯახს. ცნობილია სახელებით ჭაობიანი ლერწამი, უხეში თესლოვანი ლერწამი, და ბრინჯის



ნახაზი. საკვლევ ინტროდუცირებულ მცენარეთა ფოტოდოკუმენტაცია:

- 1 - *Schoenoplectiella juncoides* (Roxb.) Lye; 2 - *Iris pseudacorus* L.; 3 - *Acorus calamus* L.; 4 - *Iris japonica* Thunb.; 5 - *Zantedeschia aethiopica* (L.) Spreng.; 6 - *Typha angustifolia* L.; 7 - *Canna indica* L.; 8 - *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.; 9 - *Hydrangea macrophylla* (Thunb.) Ser.

მინდვრის ლერწამი. არის მრავალწლოვანი მცენარე. სიმაღლე 1 მ-მდე, ღეროები სამკუთხა. ფესვები მოკლე და მყარი. ხარობს ჭაობიან ადგილებში. კალიფორ-ნიაში მიეკუთვნება ბრინჯის ყანების სარეველა ბალახს. გავრცელების არეალი - ევრაზია, აფრიკა და ავსტრალია, საქართველო [15].

Schoenoplectus triqueter (L.) Palla - წარმოადგენს Cyperaceae-ის ოჯახს. არის მრავალწლოვანი მცენარე. სიმაღლით 20 - 100 სმ. ღეროები სამკუთხა, სისქით 2-8 მმ. ფესვები გრძელი და წვრილი გავრცელების არეალი - ევრაზია, აფრიკა და ავსტრალია [16].

Schoenoplectus tabernaemontani (C.C. Gmel.) Palla - წარმოადგენს Cyperaceae-ის ოჯახს. არის მრავალწლოვანი მცენარე. სიმაღლით 100-200 სმ. ღეროები ცილინდრული სისქით 4-8მმ. ფესვები გრძელი. იზრდება ჭაობში, ტბებისა და მდინარეების ნაპირზე. ხარობს ზღვის დონიდან არა უნეტესი 200 მ-სა. გავრცელების არეალი ევრაზია ჩრდილოეთ და სამხრეთ ამერიკა, საქართველო [17].

Phragmites australis (Cav.) Trin. ex Steud. (ნახ.: 8) - წარმოადგენს Poaceae-ის ოჯახს. არის მრავალწლოვანი მცენარე. ღერო ცილინდრული, სისქე 15-20 მმ. სიმაღლე 5 მეტრამდე, ფესვები მრავალტოტიანი. მიეკუთვნება სარეველა მცენარეებს. გავრცელების არეალი ევრაზია, აფრიკა, ამერიკა და ავსტრალია [18].

Scirpus palustris L - წარმოადგენს Cyperaceae-ის ოჯახს. წარმოადგენს მცირე ზომის 50 სმ ზუჩქს ვიწრო ღეროებით, ასევე იყენებენ როგორც დეკორატიულ მცენარეს. ფესვების ზომა არ აღემატება 15 სმ-ს [19].

Typha angustifolia L. (ნახ. 1. 6) - წარმოადგენს Typhaceae-ს ოჯახს. არის მრავალწლოვანი მცენარე. ღერო ცილინდრული, სიმაღლე 1-2 მ-მდე. ფესვები სქელი 2,5 სმ, ჩაღრმავებით 60 სმ-მდე. ხარობს წყალსატევებისა და ჭაობების ნაპირებზე, ზღვის დონიდან 2300 მ სიმაღლემდე. ფესვები მოიცავენ 58%-მდე კრახმალს, 2% ცილას და 11,7%-მდე შაქარს. შეიძლება გამოყენებული იყოს საკვებში, მის ფქვილიდან ამზადებენ პურს მცირე რაოდენობის პურის ფქვილის

დამატებით, ფესვებს წვავენ, ახალგაზრდა მცენარეებისაგან ამზადებენ სალათებს, ამჟავებენ. შეიძლება გამოყენებული იყოს შინაური ცხოველების გამოსაკვებად. ყლორტებითა და მისი ფესვებით იკვებება გარეული ცხოველები. გავრცელების არეალი ევრაზია, აფრიკა, სამხრეთ და ჩრდილოეთ ამერიკა, ავსტრალია, ახალი ზელანდია და საქართველო [20].

Typha latifolia L. - *Typha angustifolia* L. არის წვრილფოთლოვანი, ხოლო *Typha latifolia* L. არის მსხვილფოთლოვანი [20].

Acorus calamus L. (ნახ.: 3) - წარმოადგენს Acoraceae-ს ოჯახს. არის მრავალწლოვანი მცენარე. ღერო სამკუთხა, სიმაღლით 10-დან 120-მდე სმ. ფესვი სქელი ჰორიზონტალური სისქით 3-მდე სმ, შიგნით თეთრი-მოვარდისფრო ფერის, გამოსადეგია კვებისათვის, აქვს სასიამოვნო არომატი მსგავსი დარიჩინისა ან მანდარინისა. *Acorus calamus* L გამოიყენება ხალხურ მედიცინაში. აფასებენ როგორც დეკორატიულ მცენარეს. ხარობს ხელოვნური ტბორებისა და მდინარეების ნაპირებზე. ადრე გამოიყენებოდა როგორც სასმელი წყლის გაწმენდის საშუალება. გავრცელების არეალი ინდოეთი, ცენტრალური აზია, სამხრეთ ამერიკა და ევროპა, საქართველო [21].

Iris pseudacorus L. (ნახ.: 2) - წარმოადგენს Iridaceae-ს ოჯახს. არის მრავალწლოვანი მცენარე. ღერო ცილინდრული, სიმაღლით 75-160 სმ. ფესვი სქელი დიამეტრით 2 სმ. ფესვები შეიცავს ეთირზეთებს 0,1-0,3%, რომლითაგან ყველაზე ღირებულია კეტონი და ირონი, რომლებიც ანიჭებენ ზეთებს იასამნის სუნს. დამუშავებული ფესვები (შრობის შემდეგ) გამოიყენება საკონდიტრო წარმოებაში და პარფიუმერიაში. იზრდება დაჭაობებულ და ტენიან ადგილებში. გავრცელების არეალი აფრიკა,

ევროპა (ჩრდილოეთ ევროპის გარდა), დასავლეთ აზია, საქართველო [22].

ცხრილში ასევე მოცემულია ინტროდუცირებული ყვავილოვანი მცენარეა სახეობები (ნახ.: 1,4,5,7,9), რომლებიც, თავის მხრივ, ესტეტიურ სილამაზეს მიაანიჭებენ სველ ნაკვეთებს. ქვემოთ მოცემულია ჩამოთვლილი მცენარეების და ყვავილოვანი მცენარეების ფოტო კოლაჟი (ნახ. 1). უნდა აღინიშნოს, რომ საქართველოში მიუხედავად არსებობისა ევროპაში სველ ნაკვეთებზე გამოყენებული მცენარეების სახეობები და მცენარეთა ოჯახებისა, არც ერთი მადგანი რეალურად გამოყენებული არ არის. აქედან გამომდინარე, რომელიმე მცენარეთა ოჯახის გამოყენების რეკომენდაციისათვის ის უნდა იყოს გამოცდილი კონკრეტულ პირობებში. თანაც მხედველობაში უნდა მივიღოთ მცენარის ესტეტიური მხარე და მისი უსაფრთხოება გარემოს მიმართ.

დასკვნა

მიუხედავად ფიტოსისტემების გავრცელებისა მსოფლიოს სხვადასხვა ქვეყნებში საქართველოში და კერძოდ აჭარის რეგიონში ეხლა დაიწყო. დაგეგმილია პირველი სველი ნაკვეთების მშენებლობა რაც პერსპექტიულია საქართველოს მცირე დასახლებული, ადგილების, ცალკე მდებარე კოტეჯებისა და სასტუმროების ჩამდინარე წყლების გასაწმენდათ.

ამავდროულად, მიუხედავად იმისა თუ რა სახის ან ტიპის ფიტოსისტემას გამოვიყენებთ, საჭიროა მისი კვლევა საქართველოს პირობებისათვის. ასევე საჭიროა მცენარეების შერჩევა გრუნტის შემადგენლობისა და რეგიონის კლიმატის გათვალისწინებით, რათა გამოვიკვლიოთ ფიტოსისტემების ეფექტურობა გარემოს დაცვითი საკითხების გათვალისწინებით.

ლიტერატურა

- საქართველოში შემომავალი ვიზიტორების ცხრილი. საქართველოს ეროვნული სტატისტიკის ვებ გვერდი. <https://www.geostat.ge/ka/modules/categories/102/utskhoel-vizitorta-statistika>.
- Брешиани Р. Фитоочистка как инновационный метод водоочистки//Вестник МГСУ. 2019. Т.14. Вып.7. С.885–900. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.7.885-900.
- Обоснование очистки и фитоопреснения минерализованных сточных вод в фильтрационно - регенерационных биоплато. <https://www.ecvols.ru/info/articles/obosnovanie-ochistki-i-fitoopresneniya-mineralizovannykh-stochnykh-vod-v-filtratsionno-regeneratsionno-bioplato>;
- Robert H. Kadlec, Scott D. Wallace. Treatment wetlands. Second edition. CRC Press, Taylor & Francis Group, 2009, 1016 p.
- Яковлев С. В., Карелин Я. А., Жуков А. И., Колобанов С. К. Канализация//Изд. 5-е. М.: Стройиздат. 1975. 632 с.
- Диас В.Н., Криксунов Е.А., Панков Я.В., Перельгина Е.Н., Бизин С.А. Использование ризосферы для очистки сточных вод/Лесотехнический журнал № 3 (19), Том 5, 2015, ФГБОУ ВО «ВГЛУ», с. 10-21. DOI: 10.12737/14149.
- Brix, H. Use of constructed wetlands in water pollution control: historical development, present status, and future perspectives [Text] / H. Brix // Water science and technology. 1994. № 30 (8).
- Seidel, K. Self cleaning of natural waters [Text] /K. Seidel//Naturwissenschaften. 1976. № 63(6).
- Щеголькова Н.М., Диас В., Криксунов Е.А., Рыбка К.Ю. Фито-системы для очистки сточных вод: современное решение экологических проблем. В журнале Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения, № 2. 2015. с. 46-55.
- Biotal treatment plants - Biological wastewater treatment. <https://biotal.ua/en/>
- Gabriela Dotro, Günter Langergraber, Pascal Molle, Jaime Nivala, Jaime Puigagut, Otto Stein, Marcos von Sperling. Treatment Wetlands. Biological Wastewater Treatment Series, IWA Publishing, London, UK, Volume 7, 2017. 172 p.
- Bondar, O.I. & Fylypchuk, V. & Kuryliuk, M. & Krivoshei, P. (2020). Substantiation of phytodesalination of mineralized waters in filtration-regeneration bioplato. Ecological Sciences. 153-158. 10.32846/2306-9716/2020.eco.1-28.24.
- "Schoenoplectiella juncoides (Roxb.) Lye| Plants of the World Online|Kew Science". *Plants of the World Online*. Retrieved 6 July 2020.
- USDA, NRCS (n.d.). "Schoenoplectus lacustris". *The PLANTS Database (plants.usda.gov)*. Greensboro, North Carolina: National Plant Data Team. Retrieved 7 November 2015.
- "Plants Profile for Schoenoplectiella mucronata (bog bulrush)". *plants.usda.gov*. Retrieved 5 July 2020.
- "Schoenoplectus triqueter (L.) Palla in Flora of North America @ efloras.org" eFlora. Missouri Botanical Garden, St. Louis, MO & Harvard University Herbaria, Cambridge, MA., 2003. Web. Accessed February 2018.
- Schoenoplectus tabernaemontani (C.C.Gmel.) Palla in Loomis J (2022). Martha's Vineyard species checklist. Version 1.4. Vermont Center for Ecostudies. Checklist dataset <https://doi.org/10.15468/3vk6gc> accessed via GBIF.org on 2024-09-11.
- Phragmites australis (Cav.) Trin. ex Steud. // Plantarium. Plants and lichens of Russia and neighboring countries: open online galleries and plant identification guide. URL: <https://www.plantarium.ru/lang/en/page/view/item/27867.html> (accessed on 11 Sep 2024).
- Scirpus palustris L. in Page R D M. The Plant List with literature. Institute of Biodiversity, Animal Health and Comparative Medicine, College of Medical, Veterinary and Life Sciences, University of Glasgow. Checklist dataset <https://doi.org/10.15468/btkum2> accessed via GBIF.org on 2024-09-11.
- Typha angustifolia L. Plantarium. Plants and lichens of Russia and neighboring countries: open online galleries and plant identification guide. URL: <https://www.plantarium.ru/lang/en/page/view/item/39647.html> (accessed on 14 Sep 2024).
- Acorus calamus L. in GBIF Secretariat (2023). GBIF Backbone Taxonomy. Checklist dataset <https://doi.org/10.15468/39omei> accessed via GBIF.org on 2024-09-14.
- Iris pseudacorus L. in GBIF Secretariat (2023). GBIF Backbone Taxonomy. Checklist dataset <https://doi.org/10.15468/39omei> accessed via GBIF.org on 2024-09-14.

PHYTOSYSTEMS IN GEORGIA: PROBLEMS AND PROSPECTS.

Z. Megrelishvili, G. Bolqvadze, D. Chkhubiani.

“Energy”. №1(112). 2025. Tbilisi. p. 70-80. geo. sum geo. engl.rus.

Phyto purification systems - with surface or underground water flows, which use higher vegetation and are intended for wastewater treatment - have been actively used in world practice in recent decades. There are no universal principles for planning such systems, therefore, depending on the region in which the wastewater treatment plant is located and the quality of the wastewater, an individual type of wastewater treatment plant is selected. The article provides a brief overview of the development of wetlands, the types of modern wetlands and the plants used. A list of similar plants in Georgia and a photo collage are provided. Phyto purification systems can be used in Georgia for the treatment of wastewater from small settlements, places, detached cottages and hotels

Ill. 1, tabl. 1., bibl. 22.

ФИТОСИСТЕМЫ В ГРУЗИИ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ.

З. Мегрелишвили, Г. Болквадзе, Д. Чхубиани.

“Энергия”. № 1(112).2025 . Тбилиси. с. 70-80. груз. реф. груз.англ. рус.

В мировой практике в последние десятилетия активно применяются системы фитоочистки с поверхностным или подземным водотоком, использующие высшую растительность, предназначенные для очистки сточных вод. Универсальных принципов планирования таких систем не существует, поэтому в зависимости от региона, в котором находится очистное сооружение и качества сточных водб выбирается индивидуальный тип очистного сооружения. В статье дается краткий обзор развития водно-болотных угодий, современных типов водно-болотных угодий и используемых растений. Также приводится список подобных растений в Грузии и фотоколлаж. Системы фитоочистки могут быть использованы в Грузии для очистки сточных вод небольших населенных пунктов и мест, отдельно стоящих коттеджей и гостиниц.

Илл. 1, табл. 1, лит. 22 назв.

მზის კოლექტორი

ლუიზა პაპავა - ასოცირებული პროფესორი

E-mail: Papava1949@gmail.com

თამაზ ისაკაძე - ასოცირებული პროფესორი

E-mail: TamazIsakadze@gmail.com

მარინე რაზმაძე - ასოცირებული პროფესორი

E-mail: marina.razmadze30@mail.ru

გივი გუგულაშვილი - ასოცირებული პროფეს

E-mail: g.gugulashvili@gtu.ge

გვანცა დავითაია - ბაკალავრი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ანოტაცია: ენერგიის წყაროებს შორის მზის ენერგია გამოირჩევა თავისი ხელმისაწვდომობით, სიიაფით და მუდმივობით. მისი გამოყენება შესაძლებელია დედამიწის თითქმის ყველა რეგიონში. მზის მიერ გამოსხივებული ენერგია უხვად ეცემა დედამიწაზე, თუმცა ამ ენერგიის გამოყენების ეფექტურობას განსაზღვრავს მზის კოლექტორ-რის მუშაობის პრინციპი და კონსტრუქცია. მიუხედავად ტექნიკაში არსებული მზის კოლექტორ-რების მრავალი სახეობისა, დღეისათვის ჯერ კიდევ არ არსებობს ისეთი კონსტრუქცია, რომელიც შეძლებს მზისგან მიღებული მთელი ენერგიის სასარგებლოდ გამოყენებას. ამიტომ მზის კოლექტორების მუშაობის პრინციპებისა და კონსტრუქციების სრულყოფა ჯერ კიდევ მეცნიერებისა და კონსტრუქტორების ყურადღების ცენტრშია. აღნიშნული პრობლემის გადაწყვეტის ერთ-ერთ ნიმუშს წარმოადგენს სტაციონარული კოლექტორის კონსტრუქცია, რომლის მზის სხივების ენერგიის შთანთქმელი ზედაპირი წარმოადგენს წაკვეთილ კონუსს, რომელზე დახვეულ სპირალურ არხში თავისუფლად მოძრაობს გასაც-ხელებელი ნივთიერება, ხოლო კოლექტორისთვის ჩრდილოეთის მხარიდან მისთვის ფოკუსურ მანძილზე განლაგებულია მზის სხივების ამრეკლი ამოზნექილი სარკე.

საკვანძო სიტყვები: ამრეკლი სარკე, ენერგია, კოლექტორი, მზის სხივები, სპირალური არხი, შთანთქმელი ზედაპირი, წაკვეთილი კონუსი.

შესავალი

დედამიწაზე ენერგეტიკული რესურსებიც არათანაბრადაა განაწილებული. ამის გამო აუცილებელი ხდება ამ რესურსების სხვადასხვა საშუალების გამოყენებით ტრანსპორტირება ქვეყნებს შორის. მაგრამ ტრანსპორტირების პროცესი გართულებულია ეკონომიკური, პოლიტიკური თუ ტექნიკური შეზღუდვების არსებობის გამო. ამიტომ აუცილებელი ხდება დედ-ენერგეტიკული საშუალებების გამოყენებაზე სხვადასხვა სახის შეზღუდვების დაწესება და, ამასთან, ენერგიის უფრო ხელმისაწვდომი წყაროების მოძიება და

სახალხო მეურნეობაში გამოყენება. ერთ-ერთ ასეთ ენერგეტიკულ წყაროს მზის ენერგია წარმოადგენს. მართალია, მზის ენერგიის გამოყენება მიწის ნებისმიერ რაიონში (მაგალითად, პოლუსებზე და მათ მიმდებარედ) ნაკლებად ეფექტურია, მაგრამ დედამიწის უმეტეს რეგიონებში მზის ენერგიის გამოყენება სავსებით შესაძლებელი და მისაღებია [8].

შეიძლება აღინიშნოს, რომ მზის ენერგია ადამიანთა ცხოვრების საწყის ეტაპზე ენერგიის ერთადერთ წყაროს წარმოადგენდა. ისტორიის მანძილზე ეს ენერგია თანდათან ჩაანაცვლა ადამიანების

მიერ ათვისებულმა სხვადასხვა წყაროებმა [1,5,6], თუმცა მზის ენერგიის ეფექტურად გამოყენების მცდელობებს ყოველთვის ჰქონდა ადგილი. დღევანდელ პირობებში ადამიანი მოვიდა დასკვნამდე, რომ მრავალი სხვადასხვა სახის ენერგიის წყაროების გამოყენების პარალელურად მზის ძალზე იაფი და ხელმისაწვდომი ენერგიის გამოყენება ყველა თვალსაზრისით მომგებიანია.

მზის ენერგიის გამოყენებისათვის ძირითად ელემენტს წარმოადგენს კოლექტორი, რომელიც მზის სხივების მიერ დედამიწაზე მოტანილ ენერგიას გარდაქმნის წყლის ან ჰაერის სითბურ ენერგიად [3,4,7]. ამ თვალსაზრისით მზის ენერგიის გამოყენების ეფექტურობა განისაზღვრება კოლექტორის მუშაობის ეფექტურობით: რაც უფრო მაღალია მზის სხივების ენერგიის წყლის ან ჰაერის სითბოდ (ენერგიად) გარდაქმნის კოეფიციენტი, მით უფრო დიდია მოცემული კოლექტორის მუშაობის ეფექტი და მზის ენერგიის გამოყენების ეფექტურობა [2]. სწორედ ამიტომ, დღევანდელ პირობებში, მზის ენერგიის გამოყენების ეფექტურობის ამაღლების მიზნით ძირითადად მიმდინარეობს მზის კოლექტორების მუშაობის პრინციპისა და კონსტრუქციების დახვეწა და გაუმჯობესება.

მეცნიერებისა და ინჟინრების მიერ დამუშავებულია მზის კოლექტორების მრავალი სახეობა, როგორიცაა, მაგალითად, ბრტყელი, ინტეგრირებული, სითხიანი, ჰაერიანი, მილისებური, ვაკუუმიანი და სხვ. მიუხედავად კონსტრუქციების სიმრავლისა, ამ მოწყობილობების შემდგომი გაუმჯობესების, კონსტრუქციების დახვეწის, მწარმოებლობის

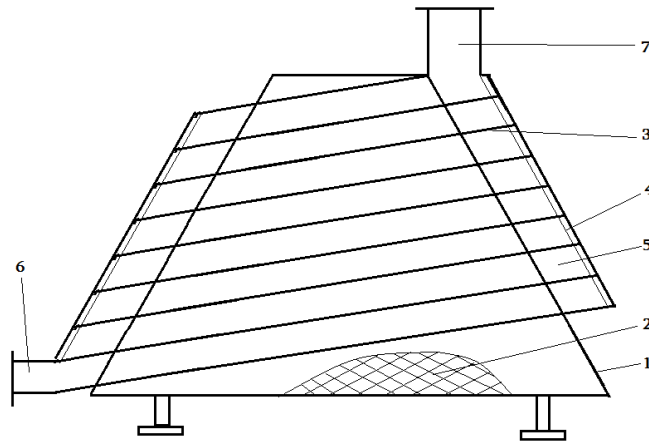
გადიდებისა და ეფექტურობის ამაღლებისათვის დღემდე მიმდინარეობს ინტენსიური სამუშაოები [8].

მზის კოლექტორების მუშაობის ეფექტურობა მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული მათ სწორ ორიენტაციაზე მზის სხივების მიმართ. ცნობილია, რომ დედამიწის მიმართ მზის გადაადგილებას ადგილი აქვს როგორც დღელამური, ისე სეზონური (წლიური) პერიოდების განმავლობაში. მზე ადგილს იცვლის დედამიწის დღელამური მოძრაობის პროცესში - ამოდის აღმოსავლეთის მხრიდან და ჩადის დასავლეთისაკენ. მზის მოძრაობა დედამიწის მიმართ განსხვავებულია აგრეთვე სეზონების მიხედვით - ზამთარში მზე დედამიწის მიმართ (ჩრდილოეთ ნახევარსფეროში) შემოწერს მოკლე ტრაექტორიას - ამოდის გვიან და ჩადის ადრე, ზაფხულში, კი - ეს ტრაექტორია გრძელია, - მზე ადრე ამოდის და გვიან ჩადის. ეს კი ართულებს კოლექტორის ისე განლაგებას, რომ მზის სხივები მის მიმართ მართობულად იყოს მიმართული როგორც დღელამის, ისე წლის განმავლობაში. ამ მოვლენის გათვალისწინებით იყენებენ ე.წ. “მზის მოთვალთვალე” კოლექტორებს, რომლებიც დედამიწის მიმართ მზის გადაადგილების შესაბამისად ისე მობრუნდება, რომ მათი მუშა ზედაპირი მუდამ მზის გამოსხივებისაკენ იყოს მიმართული. უძრავ კოლექტორებთან შედარებით ასეთი კოლექტორები დაახლოებით 20%-ით მეტ ენერგიას იღებენ [8]. მაგრამ ეს კოლექტორები რთული კონსტრუქციით გამოირჩევა და, გარდა ამისა, საჭიროებენ გარკვეული ენერგიის დახარჯვას მუშა ზედაპირის მოძრაობის უზრუნველსაყოფად, რაც ეკონომიკური თვალსაზრისით არახელსაყრელია.

ძირითადი ნაწილი

აღნიშნულიდან გამომდინარე შეიძლება ითქვას, რომ სასურველია კოლექტორის ისეთი კონსტრუქციის დამუშავება, რომელიც სტაციონარული იქნება (არ დასჭირდება დამატებითი ენერგია მოძრაობის უზრუნველსაყოფად) და მზის გამოსხივების მაქსიმალურად გამოყენე-

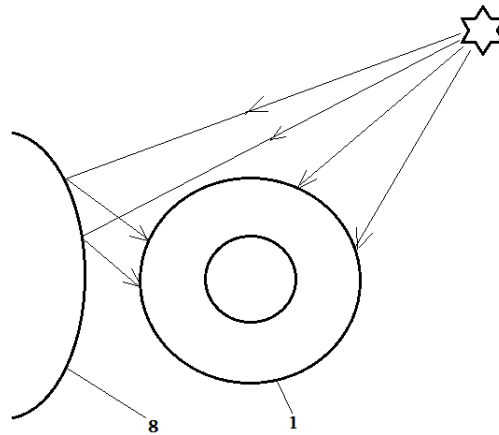
ნებასაც შეძლებს. ამ პირობების გათვალისწინებით დამუშავებული კოლექტორის პრინციპული სქემა წარმოდგენილია ნახ. 1-3-ზე.



ნახ. 1. მზის კოლექტორის პრინციპული სქემა

მზის კოლექტორი შეიცავს სითბოს შთანთქმის კარგი უნარის მქონე მასალისაგან დამზადებულ წაკვეთილი კონუსის ფორმის მქონე ღრუტანიან კორპუსს 1. კორპუსის შიგა მოცულობა შევსებულია თბოსაიზოლაციო მასალით 2. კორპუსის გარე ზედაპირზე ამ ზედაპირისადმი მართობულად დახვეულია სპირალი 3, რომელიც იმავე სითბოს კარგი შთანთქმის უნარის მქონე მასალისგანაა დამზადებული. სპირალის 3 წიბოები გარედან ჰერმეტიკულადაა დახურული მზის სხივების კარგი გამტარობის მქონე მასალისაგან (მაგალითად, მინისაგან) დამზადებული სახურავით 4. კონუსის 1 გარე კედელს, სახურავსა 4 და სპირალის 3

მეზობელ კედლებს შორის წარმოქმნილია სპირალური ჰაერსავალი 5, რომლის შიგნით თავისუფლად მოძრაობს გასაცხელებელი ნივთიერება (ჰაერი, წყალი). სპირალურ ჰაერსავალს ქვედა ბოლოზე მოწყობილი აქვს გასაცხელებელი ნივთიერების შემომყვანი მილყელი 6, ხოლო მეორე (ზედა) ბოლოზე - გაცხელებული ნივთიერების გამომშვები მილყელი 7. მზის ენერგიით გამაცხელებელი კოლექტორის უკან (კოლექტორის ჩრდილო განედზე გამოყენების შემთხვევაში ჩრდილოეთის მხრიდან) განლაგებულია ამოზნექილი სარკე 8 ისე, რომ კოლექტორის კორპუსი იმყოფება ამ სარკის ფოკუსურ მანძილზე.



ნახ. 2. მზის სხივების ზემოქმედება კოლექტორის დაჩრდილულ მხარეზე

მოწყობილობის მუშაობა დამყარებულია კოლექტორის მუშა ზედაპირის მიერ მზის გამოსხივების შთანთქმაზე. დღე-ღამური მოძრაობის შედეგად მზე განუწყვეტლივ იცვლის თავის მდებარეობას კოლექტორის მიმართ. მაგრამ იმის გამო, რომ კოლექტორის მუშა ზედაპირი წარმოადგენს კონუსს, მზის ნებისმიერი მდებარეობის შემთხვევაში მისი სხივები ყოველთვის იმყოფებიან ამ კონუსის ზედაპირის რომელიმე წერტილის მიმართ მართობულად ან მართობთან მიახლოებული კუთხით დახრილ მდებარეობაში. ეს კი განაპირობებს ამ სხივების მიერ მოტანილი სითბოს მაქსიმალური რაოდენობის შთანთქმას მუშა ზედაპირის მიერ. მზის ამოსვლიდან ჩასვლამდე მისი სხივები ყოველთვის მოხვდება კონუსის ზედაპირზე და ახდენს მის გაცხელებას. მაგრამ არსებობს მზის სხივების ის ნაწილიც, რომელიც ვერ მოხვდება კონუსის ზედაპირზე. ასევე არსებობს კოლექტორის მუშა ზედაპირის ის ნაწილი, რომელიც მიმართულია მზის სხივებისაგან დაფარულ მხარეზე, სადაც მზის სხივები ვერ მოხვდება. კოლექტორის მზის სხივებისაგან დაფარული ამ ნაწილის

გათბობა ხდება სწორედ იმ სხივებით, რომლებიც ვერ მოხვდა კოლექტორის მუშა ზედაპირზე. ეს ეფექტი მიიღწევა კოლექტორის უკან ფოკუსურ მანძილზე განლაგებული ამოზნექილი სარკის 8 დახმარებით. კოლექტორის მუშა ზედაპირიდან აცდენილი სხივები მოხვდება ამოზნექილი სარკის ზედაპირზე და აქედან არეკვლის შემდეგ დაეცემა კოლექტორის მზისაგან დაფარულ ზედაპირზე. ეს განაპირობებს კოლექტორის ამ მზისაგან დაფარული ზედაპირის გაცხელებას და ჩართვას მუშა პროცესში - ამ სითბოს ხარჯზე გასაცხელებელი ნივთიერების ტემპერატურის მომატებას.

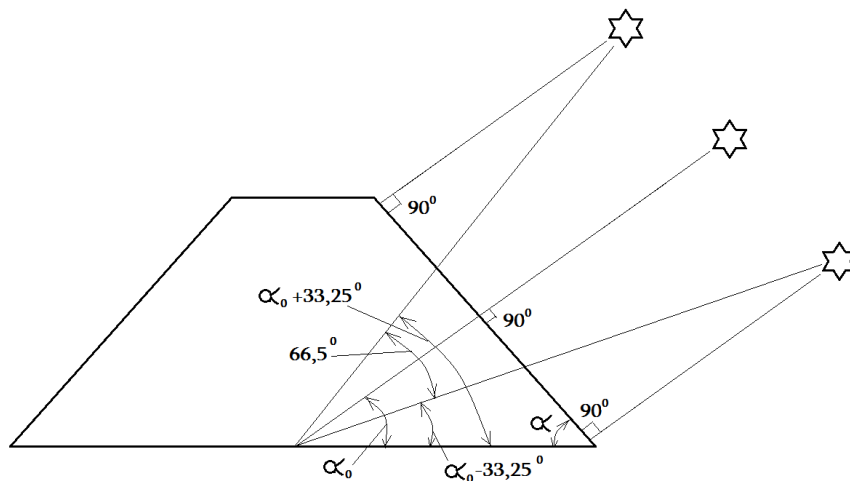
ცნობილია, რომ მზის სხივები დედამიწის ზედაპირს ეცემა გეოგრაფიული განედის შესაბამისად. ამიტომ კონუსის მსახველი ისეთი კუთხით უნდა იყოს დახრილი ჰორიზონტის მიმართ, რომ იგი მართობული იყოს მზის სხივების მიმართულებისადმი. ამ პირობიდან შეიძლება განისაზღვროს კონუსის ფუძესთან მდებარე კუთხის (ნახ. 3) მნიშვნელობა:

$$\alpha = 90^\circ - \alpha_0,$$

სადაც α_0 - კოლექტორის დაყენების ადგილის გეოგრაფიული განედი.

რაც შეეხება დედამიწის წლიურ მოძრაობას, მზე მის მიმართ წლის სხვადასხვა დროს აღწერს სხვადასხვა სიგრძის რკალს: დედამიწის ჩრდილო განედებისათვის ზამთარში ამ რკალის სიგრძე უმცირესია 22 დეკემბერს, ხოლო ზაფხულში უდიდესია 22 ივნისს. აღნიშნულ რკალებს შორის კუთხე შეესაბამება დედამიწის წარ-მოსახვითი

ღერძის დახრის კუთხეს მისი მოძრაობის სიბრტყის მიმართ და შეადგენს $66,5^\circ$. აღნიშნულის შესაბამისად, სასურველია კონუსის მსახველის სიგრძე ისეთი იყოს, რომ ორივე სეზონზე მზის სხივების მაქსიმალური რაოდენობა მართობულად ეცემოდეს ამ მსახველით გამოსახულ კონუსის ზედაპირს.



ნახ. 3. კოლექტორის კონუსის ფუძესთან მდებარე კუთხის და მსახველის სიგრძის საანგარიშო სქემა

კოლექტორის მუშაობის პროცესში მზის სხივები ეცემა მინისგან დამზადებულ სახურავს 4, გაივლის მასში და ეცემა კორპუსის 1 გარე კედლისა და სპირალის 3 ზედაპირებს, რომლებიც სითბოს შთანთქმის კარგი უნარის მქონე მასალისგანაა დამზადებული. მზის სხივების სითბოს ხარჯზე ხდება ამ ზედაპირების გაცხელება. ეს სითბო გადაეცემა იმ ჰაერს, რომელიც სპირალურ ჰაერსავალშია მოქცეული. ჰაერის გაცხელება იწვევს მისი სიმკვრივის შემცირებას, რაც განაპირობებს გაცხელებული ჰაერის ზევით გადაადგილებას. ასეთი გადაადგილება კი შესაძლებელია მხოლოდ სპირალური ჰაერსავალის გასწვრივ. შესაბამისად, ჰაერი მოძრაობს სპირალურ

ჰაერსავალში და ქვედა ხვებიდან ზედა ხვებისაკენ გადაადგილების პარალელურად სულ უფრო მეტად ცხელდება. გაცხელებული ჰაერი გამოდის კოლექტორის გამომშვები მილყელის 7 გავლით და მიეწოდება მომხმარებელს. მეორეს მხრივ, სპირალურ ჰაერსავალში არსებული ჰაერის ამ სპირალის გავლით ზევით გადაადგილება განაპირობებს ამ ჰაერის ნაცვლად ცივი ჰაერის გარემოდან შეწოვას შემშვები მილყელის 6 გავლით. ეს ჰაერიც ცხელდება სპირალურ ჰაერსავალში და ამის შემდეგ გამომშვები მილყელის გავლით მიეწოდება მომხმარებელს.

თუ გაცხელებას ექვემდებარება სითხე (მაგალითად, წყალი) მაშინ ცხელი და ცივი წყლის სიმკვრივეთა შორის სხვაობა

შეიძლება არ იყოს საკმარისი სითხის ქვევიდან ზევით გადაადგილებისათვის. ამ შემთხვევაში საჭირო იქნება სპეციალური ტუმბოს დაყენება, რომელიც სითხეს ქვევიდან ზევით გადაადგილებს. თუმცა, უკეთესი გამოსავალი იქნება ცივი სითხის ზევიდან - მილყელიდან 7 მიწოდება და გაცხელებული სითხის ქვევიდან - მილყელიდან 6 გამოყვანა. ამ შემთხვევაში სითხის გაცხელების ტემპერატურის რეგულირება შესაძლებელი იქნება მილყელებზე 6, 7 დაყენებული ხარჯის მარეგულირებელი ვენტილების დახმარებით.

დასკვნა

კონუსური ფორმის კოლექტორში ფუძესთან მდებარე კუთხისა და მსახველის სიგრძის წარმოდგენილი ფორმულის გამოყენებით მიღებული მნიშვნელობების შესაბამისად დამზადებული მოწყობილობა უზრუნველყოფს დედამიწის მიმართ მზის როგორც დღე-ღამური, ისე სეზონური გადაადგილების პირობებში ენერგიის მაქსიმალური რაოდენობის მიღებას და სასარგებლოდ გამოყენებას. მართალია, კოლექტორის მთელ ზედაპირზე დაცემული მზის ენერგიის სრული გამოყენება ამ შემთხვევაში შეუძლებელია, მაგრამ არსებულ მოწყობილობებთან შედარებით წარმოდგენილი კონსტრუქციის ეფექტურობა მნიშვნელოვნადაა გაზრდილი.

ლიტერატურა

1. მეგრელიძე თ., ღვარდიანი ვ., არჩვაძე ქ., სადალაშვილი ე., გუგულაშვილი გ. ხილის ჰელიოსაშრობი მოწყობილობა// აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტის 80 წლის იუბილესადმი მიძღვნილი საერთაშორისო სამეცნ.-პრაქტიკული კონფერენციის “ინოვაციური ტექნოლოგიები და თანამედროვე მასალები/”შრომათა კრებული. ქუთაისი. 2013.
2. პაპავა ლ., გუგულაშვილი ლ., სადალაშვილი ე., გუგულაშვილი გ. ხილის ჰელიოსაშრობი მოწყობილობაში ჰაერის სიჩქარის განსაზღვრა//ენერგია. №2(70), 2014. თბილისი.
3. პაპავა ლ., გუგულაშვილი ლ., პირველი გ., სადალაშვილი ე., გუგულაშვილი გ. სფერული სარტყელის ნაწილის ფორმის მქონე მზის კოლექტორი//ენერგია. №7(72), 2014. თბილისი.
4. მეგრელიძე თ., ღვარდიანი ვ., გუგულაშვილი ლ., მეგრელიძე გ., გუგულაშვილი გ. თბოგადამცემი დანადგარი. საპატენტო დიგელი № GE P 4902 B. 25.02.2010. cl. F 25 B 15/00.
5. Sagar VR, Kumar PS. Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: a review. *Journal of Food Science and Technology* 47(1): 15-26. 2010.
6. Rwubatsa B, Akubor PI, Mugabo E. Traditional drying techniques for fruits and vegetables losses alleviation in Sub-Saharan Africa. *Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology (IOSR-JESTFT)* 8(9): 52-56. 2014.
7. Мегрелидзе Т.Я., Гугулашвили Г.Л., Гвачлиани В.В., Домианидзе К.А., Чхидзе Б.Ш., Капанадзе Б.Г. Солнечный тепловой коллектор/А.С.СССР №1456716 А 1. Кл. F 24 J 2/10. Бюлл. № 5. 1989.
8. Везиришвили О.Ш., Меладзе Н.В. Энергосберегающие теплонасосные системы тепло- и холода-снабжения//М.:МЭИ. 1994.

SOLAR COLLECTOR.

L.Papava, T.Isakadze, M.Razmadze, G.Gugulashvili

“Energy”. №1(112). 2025. Tbilisi. p. 81-87. geo. sum geo. engl.rus.

Among energy sources, solar energy stands out for its constancy, cheapness and availability. Its use is possible in almost all regions of the globe. Solar energy falls abundantly on the surface of the earth, but the efficiency of using this energy is determined by the operating principle and design of solar collectors. Despite the existence of many different designs in technology, today there is still no design that would ensure the use of all the solar energy falling on the surface of the collector. Accordingly, the improvement of the principles of operation and design of collectors remains the focus of attention of designers and specialists to this day. In order to solve this issue, a design of a stationary collector has been developed, the absorbing surface of which is made in the form of a truncated cone with a spiral channel wound on the outer surface, in which the heated substance moves freely, and at the focal length of the collector on the north side there is a convex mirror reflecting the sun's rays.

Ill. 3, bibl. 8.

СОЛНЕЧНЫЙ КОЛЛЕКТОР.

Л.Папавა, Т.Исакадзе, М.Размадзе, Г.Гугулашвили

“Энергия”. № 1(112).2025 . Тбилиси. с. 81-87. груз. реф. груз.англ. рус.

Среди источников энергии солнечная энергия выделяется постоянством, дешевизной и доступностью. Ее использование возможно почти во всех регионах земного шара. Солнечная энергия обильно падает на поверхность земли, однако эффективность ее использования определяется принципом работы и конструкцией солнечных коллекторов. На сегодняшний день, несмотря на существование в технике множества разнообразных конструкций, не существует конструкция, которая обеспечила бы использование всей солнечной энергии, падающей на поверхность коллектора. Соответственно, совершенствование принципов работы и конструкций коллекторов до настоящего времени остается в центре внимания конструкторов и специалистов. С целью решения данного вопроса разработана конструкция стационарного коллектора, поглощающая поверхность которого выполнена в виде усеченного конуса с намотанным на внешней поверхности спиральным каналом, в котором свободно движется нагретое вещество, а на фокусном расстоянии коллектора с северной стороны расположено выпуклое зеркало, отражающее солнечные лучи.

Илл. 3, лит. 8 назв.

ასინქრონული ელექტროძრავის დაცვის ციფრული SEL-710 რელეს უპირატესობა ძველ ელექტრომექანიკურ რელესთან შედარებით

გიორგი ხუციშვილი - მაგისტრი

E-mail: giokhutsishvili1996@gmail.com

მალხაზ დვალაძე - ასისტენტ პროფესორი

E-mail: dvalidzemalkhaz02@gtu.ge

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ანოტაცია: განხილულია ძველი ელექტრომექანიკური ძრავის დაცვის რელეების SEL-710 ტიპის რელეთი ჩანაცვლების პროცესი და სარგებელი, განსაკუთრებით ასინქრონული ძრავებისთვის. ასევე SEL-710 ტიპის რელეს გაუმჯობესებული დაცვის, კონტროლისა და მონიტორინგის შესაძლებლობებზე, რომლებიც აღემატება ძველი ელექტრომექანიკური რელეების შეზღუდულ შესაძლებლობებს. სტატიაში მოცემულია SEL-710 ტიპის რელეს კონფიგურაციის მაგალითი რაც ასევე ხაზს უსვამს მის პრაქტიკულობას, სიზუსტეს და დღეს არსებულ სისტემებთან ინტეგრირების სიმარტივეს, საუბარია ტექნიკურ უპირატესობებზე, როგორცაა მისი გაუმჯობესებული დაცვითი ფუნქციები, კომუნიკაციის საშუალება, რაც თავის მხრივ ავარიულ სიტუაციაში მომხდარზე დეტალური ინფორმაციის მოპოვების საწინდარია.

საკვანძო სიტყვები: ელექტრომექანიკური, კონფიგურაცია, არასელექტიური, ციფრული, ასინქრონული, სწრაფმოქმედება.

შესავალი

სარელეო დაცვა ყოველთვის მნიშვნელოვანი იყო და დღესაც გადამწყვეტ როლს ასრულებს ელექტრული ქსელისა და ძრავების სტაბილური, საიმედო და უსაბრთხოდ მუშაობის შენარჩუნებაში. საწარმოო სივრცეში, ძრავების საიმედოდ დაცვა გადამწყვეტია მათი გამართულად და ხანგრძლივი ფუნქციონირების უზრუნველსაყოფად, განსაკუთრებით ასინქრონული ძრავების, რომელიც უამრავი პროცესის განუყოფელი ნაწილია. ძრავის დაცვის ძველი ელექტრომექანიკური რელეები ათწლეულების მანძილზე აკმაყოფილებდნენ მათ მიმართ წაყენებულ მოთხოვნებს. თუმცა უწყვეტი ტექნოლოგიური წინსვლის და განვითარების ფონზე, საჭირო ხდება ახალი, დღევანდელ სტანდარტებზე მორგებული დაცვის

საშუალებები, რომლებიც საიმედოდ დაიცავს ძრავებს და მის კომპონენტებს. სწორედ ამიტომ, ძველი სისტემები აქტიურად იცვლება უფრო დახვეწილი, ციფრული ტექნოლოგიებით. ერთ-ერთი ასეთი წინსვლაა SEL-710 ტიპის ძრავის დაცვის რელე, რომელიც გვთავაზობს უამრავ უპირატესობას ელექტრომექანიკურ რელეებთან შედარებით.

SEL-710 ტიპის ძრავის დაცვის რელე ერთ-ერთია იმ ციფრულ ტექნოლოგიათაგან, რომლებიც აქტიურად ანაცვლებენ ელექტრომექანიკურ დაცვის საშუალებებს, იგი კომპლექსურად უმკლავდება თავის თავში იმ მის მიმართ წაყენებულ უამრავ მოთხოვნას, რასაც რიგ შემთხვევაში, არა ერთი, არამედ რამოდენიმე ელექტრომექანიკური რელეს ერთობაც კი შეიძლება არ იყოს საკმარისი, რაც არ არის პრაქტიკული

სამონტაჟო კუთხით. (სურ. 1 და 2)-ზე თქვენ ხედავთ განსხვავებას ელექტრომექანიკური და ციფრული რელეს გამოყენებით შესრულებულ პანელებს შორის რაც ნათელს ხდის ამ მხრივ ციფრული რელეების უპირატესობას.



სურ. 1. ძველი ელექტრომექანიკური რელეები



სურ. 2. ციფრული დაცვის რელეები

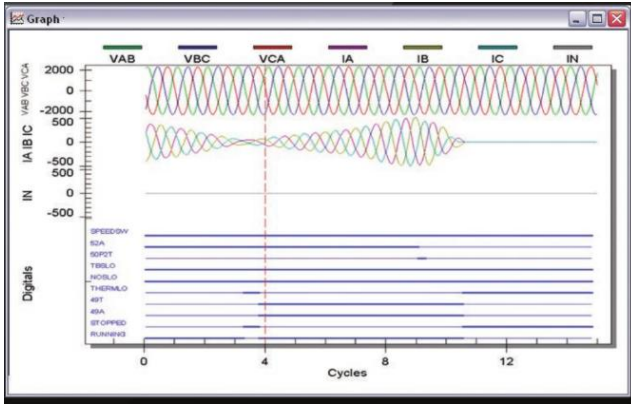
მისი პრაქტიკულობის და სამონტაჟო უპირატესობის გარდა, ციფრულ რელეებს კოლოსალური უპირატესობა გააჩნიათ ფუნქციურ ნაწილში, რადგან ელექტრომექანიკური რელეები შედგება ბევრი დეტალისგან ეს იწვევს დაყოვნებულ, რიგ შემთხვევებში კი ყალბ, არასელექტიურ გამორთვებსაც კი, მაშინ როცა თანამედროვე რელეების ციფრულად კონფიგურირება საშუალებას გვაძლევს თითქმის ნულამდე დავიყვანოთ დაგვიანებული და არასელექტიური გამორთვები. (სურ. 3)



სურ. 3. SEL-710 ტიპის ძრავის დაცვის რელე

SEL-710 იძლევა მარტივი, ყველასათვის ხელმისაწვდომი გზებით კონფიგურირების საშუალებას და ამასთანავე უზრუნველყოფს ძრავის ყოვლისმომცველ დაცვას ისეთი ფუნქციებით, როგორიცაა ტემპერატურისგან, გადამტანისგან, ფაზათაშორის მოკლედ შერთვისგან და ერთფაზა მიწასთან მოკლედ შერთვისგან დაცვა. ძველ რელეებში გამოყენებული უფრო მარტივი, მექანიკური მეთოდების ნაცვლად ის იყენებს ციფრულ ალგორითმებს, ძრავების უფრო ზუსტი და საიმედო დაცვისთვის, რაც ამაღლებს მის მგრძნობიარობას და სწრაფმოქმედებას. გარდა ამისა, SEL-710 ტიპის რელეს აქვს რეალურ დროში მონიტორინგისა და დიაგნოსტიკის უწყვეტი საშუალება, რაც საშუალებას იძლევა გაკონტროლდეს ძრავის პარამეტრები (დენი, ძაბვა) მუშა პროცესში, ხოლო რაიმე ავარიის შემთხვევაში, SEL-710 ტიპის რელეს გააჩნია ხარვეზების ჩაწერის და აღრიცხვის შესაძლებლობა. აღნიშნული ფუნქცია იძლევა სასურველ დროს დეტალური ანალიზის გაკეთების და ავარიის პრევენციისთვის მისაღები ზომების დაგეგმვის საშუალებას.

სურ. 4-ზე ნაჩვენებია რელედან ამოღებული ძრავის გაშვების დიაგრამა.



სურ. 4. ციფრული რელეს ჩანაწერი

1.1. ძრავის დაცვის რელეებისთვის საჭირო ფუნქციები

ძრავის დაცვის რელეები პროგრამულად შეიძლება დაჯგუფდეს შემდეგ მიზნობრივ კატეგორიებად:

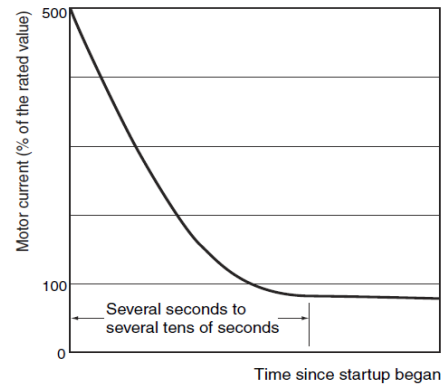
- უშუალოდ ძრავის დაცვა;
- ძრავთან დაკავშირებული, დატვირთვების დაზიანების მინიმუმამდე შემცირება (ასეთ შემთხვევაში, უნდა აირჩეს ძრავის დაცვის რელე, რომელიც შესაფერისია დატვირთვისთვის და არა ძრავისთვის.)

ძრავის დაცვის რელეებს ჩაშენებული, გადატვირთვის ელემენტები და დროის ელემენტი, (overcurrent elements), რომლებიც უმნიშვნელოვანესი კომპონენტებია ძრავის დაცვის საკითხში.

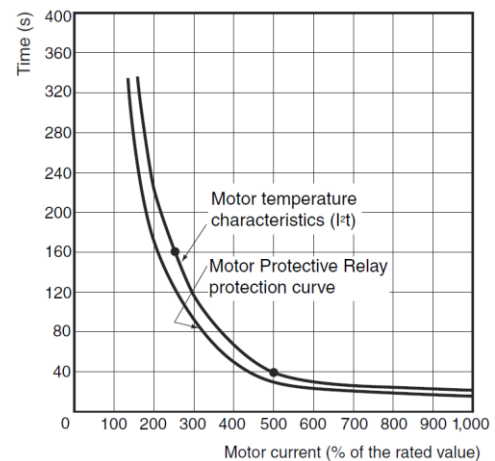
1.2. გადატვირთვის და დროის ელემენტი

ძრავა თუ გადატვირთულია და ჭარბი დენი მიეწოდება დიდი ხნის განმავლობაში, შეიძლება დაიწვას, ამიტომ, გადატვირთვის დენი მყისიერად უნდა დაფიქსირდეს, რომ ძრავი გამოირთას და მოხდეს მისი დაზიანებისგან დაცვა.

სამწუხაროდ, ჭარბი დენის ნომინალურიდან დაახლოებით 500%-ით გადახრის შემთხვევაში, ასინქრონულმა ძრავამ გაშვებიდან რამდენიმე წამიდან რამდენიმე ათეულ წამამდე შეიძლება იმუშაოს, როგორც ეს ნაჩვენებია სურ. 5-ზე.



სურ. 5. ძრავის დენის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი



სურ. 6. ძრავის ტემპერატურის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი

თუ ძრავის გაშვებისას ჭარბი დენის ელემენტი მუშაობს ამ მომენტში, ძრავა ჩართვისთანავე გაითიშება და არ გაეშვება. სწორედ ამიტომ საჭიროა ძრავის დაცვის რელეებს ჰქონდეთ გადატვირთვის დენის ელემენტი, რომელიც აღმოაჩენს ნომინალური დენისგან გადახრას და დროის ელემენტი, რომელიც არ იმუშავებს მყისიერად, არამედ მასზე მიცემული შესაბამისი დროის დანაყენის გადაჭარბების შემდეგ ძრავს ამორთავს.

სურ. 6 გვიჩვენებს $I^2 T$ ძრავის ტემპერატურის მახასიათებლის დენის კვადრატზე დამოკიდებულების მრუდს.

ძრავი იმუშავებს ნორმალურად როდესაც იგი მუშაობს ამ მრუდის ქვემოთ ზონაში.

1.3. ძირითადი მახასიათებლები და უპირატესობები

- კონკრეტული ძრავის შესაძლებლობის მაქსიმალური ოპტიმიზაცია სტატორისა და როტორისთვის განკუთვნილი თბური ელემენტების საშუალებით.

- სტატორისა და გარე ტემპერატურის მუდმივი მონიტორინგი, მგრძნობიარე და უსაფრთხო დაცვისთვის.

- გადატვირთვის დენის ელემენტები სრული სარეზერვო დაცვისთვის.

SEL-710 ძრავის დაცვის რელე უზრუნველყოფს დაცვის, მონიტორინგის, კონტროლის და კომუნიკაციის ფუნქციებს. ACSELERATOR, QuickSet®, SEL-5030 პროგრამული უზრუნველყოფის გამოყენებით. SEL-710 ძრავის დაცვის რელეს გააჩნია ისეთი დამატებითი სტანდარტული ფუნქციები, როგორიცაა Modbus RTU, MIRRORED BITS® კომუნიკაციები, ამომრთველის ცვეთის მონიტორინგი, 12 გარე RTD-ის მხარდაჭერა (SEL-2600), IRIG-B შეყვანის შესაძლებლობა, გაფართოებული SELOGIC კონტროლის განტოლებები, კონფიგურირებადი ეტიკეტები და SEL-2812 თავსებადი ბოჭკოვანი სერიები. სურვილისამებრ შეიძლება ასევე დაემატოს ფუნქციები ფართო შეთავაზებიდან, მათ შორის IEC 61850, Modbus TCP/IP, DeviceNet™, IRIG-B დროის კოდის შეყვანა ან PTC შეყვანა, 10 შიდა RTD, გაფართოებული ციფრული/ანალოგური I/O, პორტები დამატებითი EIA-232 ან EIA-485 საკომუნიკაციო პორტები.

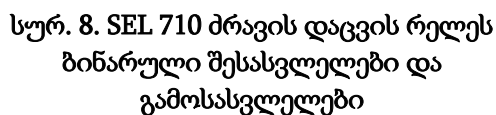
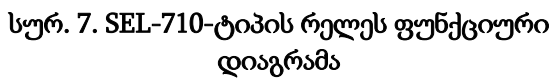
1.4. ფუნქციური მახასიათებლების მიმოხილვა

SEL-710 ძრავის დაცვის რელეს გამოყენება შეიძლება ექსტრემალურ

პირობებში სამუშაო ტემპერატურის დიაპაზონით -40°-დან +85°C-მდე. SEL-710 შექმნილია და დატესტილია მოქმედ სტანდარტებზე, ვიბრაციაზე, ელექტრომაგნიტური თავსებადობასა და არახელსაყრელი გარემო პირობებზე. დაცვის ფუნდამენტური პრინციპია აღმოაჩინოს და რეაგირება ჰქონდეს პარამეტრების ნომინალური მნიშვნელობიდან გადახრისას, რათა შეძლოს ძრავის დაცვა დაზიანებისგან.

სურ. 7-ზე მოცემულია SEL-710-ტიპის რელეს ფუნქციური დიაგრამა რომელიც გვიჩვენებს სტანდარტული ან დამატებითი ფუნქციებით შეკვეთის შემთხვევაში ამ ტიპის რელეს ფუნქციურ შესაძლებლობებს:

- თანმიმდევრული მოვლენების ჩამწერი;
- ძრავის გაშვების ანგარიშები;
- SEL ASCII, Ethernet, Modbus TCP/IP;
- IEC 61850, Modbus RTU, Telnet, FTP;
- SNTP და DeviceNet კომუნიკაციები;
- წინა პანელზე რვა LED ნათურა, რომელთაგან ექვსი არის პროგრამირებადი;
- დამატებითი საკონტაქტო შემყვანები I/O სიგნალებისთვის;
- კონტაქტორები, ანალოგური შემყვანი, ანალოგური გამომავალი, და RTD შემყვანებისთვის;
- ელემენტზე დამყარებული საათი, IRIG-B დრო, SNTP სინქრონიზაცია;
- მყისიერი გაზომვა;
- ოთხი პროგრამირებადი დილაკი თითოეული ორი LED-ით.
- გაფართოებული SELOGIC კონტროლის განტოლებები;
- დიფერენციალური დაცვა.



ამრიგად, SEL-710 ტიპის ძრავის დაცვის რელე წარმოადგენს მნიშვნელოვან წინსვლას ტრადიციულ ელექტრომექანიკურ რელეებთან შედარებით, რაც გთავაზობთ უამრავ უპირატესობას დაცვის, საიმედოობისა და ოპერაციული ეფექტურობის თვალსაზრისით. ციფრული ტექნოლოგიების საშუალებით SEL-710 უზრუნველყოფს

მველ ელექტრომექანიკურ რეღეებთან შედარებით, SEL-710 არა მხოლოდ აუმჯობესებს ძრავის დაცვას, არამედ ამცირებს საექსპლუატაციო ხარჯებს, ზრდის მათი მუშაობის ხანგრძლივობას და გთავაზობთ უფრო მეტ მოქნილობას განვითარებად საჭიროებებთან ადაპტაციისთვის. მისი კომპაქტური დიზაინი, მოსახერხებელი ინტერფეისი და ფართო კომუნიკაციის პარამეტრები კიდევ უფრო ხაზს უსვამს მის უპირატესობას ძრავის დაცვაში. იმის გამო, რომ ძრავების მწარმოებლები აგრძელებენ განვითარებას, SEL-710 ძრავის დაცვის რეღეზე გადასვლა არის საუკეთესო არჩევანი მათი დაცვის საიმედოობის, ეფექტურობისა და პროგნოზირებადი მოვლა-პატრონობისთვის.

1. <https://selinc.com/>
2. ლაოშვილი დ. ელექტრომომარაგების სისტემების რელეური დაცვა და ავტომატიკა//გამომცემლობა:მერკური. 1993.
3. [Protection and Control of Modern Power Systems](#)

THE ADVANTAGE OF THE MODERN DIGITAL SEL-710 RELAY FOR ASYNCHRONOUS MOTOR PROTECTION OVER THE OLD COMPARED TO ELECTROMECHANICAL RELAY.

G. Khutsishvili, M. Dvalidze.

“Energy”. №1(112). 2025. Tbilisi. p. 88-93. geo. sum geo. engl.rus.

The article discusses the process and benefits of replacing older electromechanical motor protection relays with SEL-710 type relays, especially for induction motors. The improved protection, control and monitoring capabilities of the SEL-710 type relays, which exceed the limited capabilities of older electromechanical relays, are discussed. The article provides an example of a SEL-710 type relay configuration, which also emphasizes its practicality, accuracy and ease of integration with existing systems, as well as technical advantages, such as its improved protection functions, communication capabilities, which in turn are a prerequisite for obtaining detailed information about what happened in an emergency situation.

Ill. 8., bibl. 3.

ПРЕИМУЩЕСТВО СОВРЕМЕННОГО ЦИФРОВОГО РЕЛЕ SEL-710 ДЛЯ ЗАЩИТЫ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПЕРЕД СТАРЫМ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИМ РЕЛЕ.

Г.Хуцিশвили, М. Двалидзе..

“Энергия”. № 1(112).2025 . Тбилиси. с. 88-93. груз. реф. груз.англ. рус.

Рассматривается процесс и преимущества замены старых электромеханических реле защиты двигателя на реле типа SEL-710, особенно для асинхронных двигателей. Обсуждаются улучшенные возможности защиты, управления и мониторинга реле типа SEL-710, которые превышают ограниченные возможности старых электромеханических реле. Приводится пример конфигурации реле типа SEL-710, который подчеркивает его практичность, точность и простоту интеграции с существующими системами, а также технические преимущества, такие как его улучшенные функции защиты, возможности связи, которые, в свою очередь, являются предпосылкой для получения подробной информации о том, что произошло в аварийной ситуации.

Илл. 8, лит. 3 наз.

რედაქციაში სტატიის მიღების წესები

ჟურნალში გამოსაქვეყნებელი სამეცნიერო სტატია ექვემდებარება პლაგიატზე შემოწმებას (წარმოდგენილი უნდა იყოს ცნობა).

ჟურნალის რედაქციაში შემოსატანი მასალა უნდა შეიცავდეს:

სტატიის ტექსტი იწერება ორ სვეტად !

Paper size – A4. გვერდის ველები – ზევიდან, ქვევიდან - (2.5 მმ), მარცხნიდან და მარჯვნიდან – 2 მმ. A-4

შრიფტები: ქართული - Sylfaen, ინგლისური და რუსული - Times New Roman. ზომა - 11; ინტერვალი - აზვაციის დაშორება - 0,75. ტექსტი სწორდება სვეტის სიგანეზე. დანაყოფების დასახელება მუქად.

ფორმულები უნდა აიკრიბოს რედაქტორში: Microsoft Equation 3.0.

გრაფიკული ნაწილი უნდა შესრულდეს *.jpg ან *.bmp. ფორმატში (300–600dpi). განმარტებითი წარწერა გრაფიკულ ნაწილს მიეთითოს ქვევით – 10 შრიფტით. განმარტებითი წარწერა და ნომერი ცხრილებს მიეთითოს ზევით – 10 შრიფტით.

ნაშრომის სტრუქტურა

პირველ სტრიქონზე:

სტატიის ენაზე სტატიის დასახელება.

შრიფტები: ქართული - Sylfaen, ინგლისური და რუსული - Times New Roman. ზომა - 11. ტექსტი სწორდება გვერდის შუაში (მუქად).

ერთი სტრიქონის გამოტოვებით:

ავტორის სახელი, გვარი, სამეცნიერო ხარისხი, სამეცნიერო წოდება, E-mail

შრიფტები: ქართული - Sylfaen, ინგლისური და რუსული - Times New Roman. ზომა - 11. ინტერვალი - 1.

ტექსტი სწორდება გვერდის მარცხენა მხარეზე. (გვარი და სახელი - მუქად).

შემდეგ სტრიქონზე:

ორგანიზაციის დასახელება, ქალაქი, ქვეყანა და ელექტრონული ფოსტის მისამართი. შრიფტები:

ქართული - Sylfaen, ინგლისური და რუსული - Times New Roman. ზომა - 11. ინტერვალი - 1. ტექსტი სწორდება გვერდის მარცხენა მხარეზე.

ორი და მეტი ავტორის შემთხვევაში ყოველი ავტორი და მისი მონაცემები უნდა აიკრიფოს ახალ სტრიქონზე.

ერთი სტრიქონის გამოტოვებით:

ანოტაცია: სტატიის ენაზე. მოცულობა არ უნდა აღემატებოდეს 500-700 სიმბოლოს:

შრიფტები: ქართული - Sylfaen, ინგლისური და რუსული - Times New Roman. ზომა - 11. ინტერვალი - 1. ტექსტი სწორდება გვერდის სიგანეზე. (“ანოტაცია” - მუქად).

შემდეგ სტრიქონზე:

საკვანძო სიტყვები: უნდა იყოს 4-5 საკვანძო სიტყვა (სიტყვათშეთანხმება დასაშვებია არა უმეტეს ორი სიტყვისა);

შრიფტები: ქართული - Sylfaen, ინგლისური და რუსული - Times New Roman. ზომა - 11. ინტერვალი - 1.5

ტექსტი სწორდება გვერდის სიგანეზე. (“საკვანძო სიტყვები” - მუქად).

პირველი იწერება ანოტაცია და საკვანძო სიტყვები სტატიის ენაზე.