

620.9(05)

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

კავშირი  
"მეცნიერება და ენერჯეტიკა"

ენერჯეტიკა

სამეცნიერო-ტექნიკური  
რეზერვუარული ჟურნალი

2(110)/2024

---

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.გუდიაშვილი, თ.კიზირია, გ.კოხრეიძე, გ.ღეკიშვილი, მ.ღომსაძე-კუჭავა, მ.მადრაძე, თ.მიქიაშვილი, თ.მუსელიანი, ლ.მებონია, დ.ნამგალაძე, ს.ნემსაძე, ა.ყუბანიშვილი, ნ.ქევნიშვილი, 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.საროპულოსი (საბერძნეთი), ა.სარუხანიანი (სომხეთი), ა.კულიევი (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.Gudiashvili, T.Kiziria, N.Kevkhashvili, G.Kokhreidze, A.Kubaneishvili, 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.Гудиашвили, Т.Кизирия, Г.Кохреидзе, А.Кубанейшвили, Н.Кувхишвили, К.Кутателадзе, Г.Лекишвили, М.Ломсадзе-Кучава, М.Маградзе, Т.Микиашвили, Т.Муселиანი, Л.Мებონია, Д.Намგალადзе, С.Немсадзе, Л.Шатакишвили, А.Читანავა, А.Чиковანი, Р.Чихლაძე, Б.Чუნაშვილი, Т.Джишკარიანი, Н.Чახვაშვილი (ответственный редактор), З.Скворцова (Россия), К.Сейхан (Турция), П.Псаропулос (Греция), А.Саруханян (Армения), А.Кулиев (Азербайджан).

**ნომრის მომზადებაში მონაწილეობდნენ:**

ტექნ. მეცნიერებათა აკადემიური დოქტორი ნ.ბარაბაძე, ე.ზამბახიძე, ბ.ბურჭულაძე (ნომრის კომპიუტერული აწყობა-დაკაბადონება), ი.თუმანიშვილი (ტექსტის რედაქტირება), ჟურნალ "ენერჯის" 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<sup>ა</sup> / 4 - 645

© "ენერჯია". 2011

www.Energyonline.ge

ს ა რ ჩ მ შ ი

გ. კოხრიძე, ზ. გაჩეჩილაძე, გოჩა კოხრიძე, გ. ქადაგიშვილი. <i>მაღალი ძაბვის მუდმივი დენით ენერჯიის გადაცემა და არატრადიციული განახლებადი ენერჯიების ელექტრულ ენერჯიაში გარდაქმნისა და ქსელთან მიერთების ტექნოლოგიების დამუშავება.</i> .....	83 5
თ. მუსელიანი, ი. ვახტანგაძე, ბ. ჯინჭველეიშვილი. <i>გამანაწილებელ ქსელში ბატარეას ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემების შერჩევისა და მათი მდებარეობის ანალიზი.</i> .....	11
გ. კოხრიძე, გ. ხორბალაძე, გოჩა კოხრიძე, გ. ქადაგიშვილი. <i>რკინიგზის ელექტრომომარაგების მართვადი გამმართველი და ინვერტორული აგრეგატებში პროცესების მათემატიკური და კომპიუტერული მოდელირების უნივერსალური მეთოდების დამუშავება.</i> .....	24
ნ. თინიკაშვილი, ზ. გაჩეჩილაძე, გ. ხორბალაძე, გოჩა კოხრიძე. <i>ელექტრო-ენერგეტიკული ქსელის მოწესრიგება და არსებული გამოწვევები</i> .....	30
ი. ვახტანგაძე. <i>გენერაციის ადეკვატურობის შეფასება პროგრამა Antares-ის გამოყენებით</i> .....	35
თ. კოხრიძე. <i>ახალი თაობის მუდმივი დენის ზეგამტარული ელექტრო-ენერგეტიკული სისტემის აგების იდეოლოგიური საფუძვლები.</i> .....	40
თ. კოხრიძე. <i>სკინ-ეფექტის მათემატიკური მოდელი.</i> .....	45
რ. მიქაუტაძე, გ. არაბიძე, მ. არაბიძე. <i>შავი ზღვის წყალქვეშა კაბელის მნიშვნელობა საქართველოსთვის.</i> .....	50
თ. შუბლაძე, ქ. მჭედლიძე, მ. ჯიხვაძე. <i>წყალბადის როლი სინთეზური საწვავის წარმოების სტრატეგიებში.</i> .....	56
თ. კოხრიძე. <i>ახალი თაობის ენერჯიის ზეგამტარული ინდუქციური მაგროვებელი.</i>	61
<b>K. Kiguradze, Iv. Grdzeldze. Correlation-regression analysis of energy consumption of an industrial enterprise.</b> .....	64
ლ. პაპავა, მ. რაზმაძე, გ. გუგულაშვილი, გ. ხარშილაძე. <i>ენერგოდამზოგავი ტექნოლოგიის გამოყენება მაღალი სისუფთავის ნეონისა და ჰელიუმის მისაღებად.</i> ...	72
ლ. ხუნწარია, მ. გოგბერაშვილი, ჯ. ხუნწარია. <i>მონაცემთა უდანაკარგო ეკონომიური კოდირება უოლშის გარდასახვის საფუძველზე.</i> .....	77
ს. ჯანელიძე. <i>ბლოკჩეინი და მისი გამოყენება ენერგეტიკის სექტორში.</i> .....	83
სტატიების შემოტანის წესები. ....	90



მაღალი ძაბვის მუდმივი დენით ენერჯიის გადაცემა და არატრადიციული განახლებადი ენერჯიების ელექტრულ ენერჯიაში გარდაქმნისა და ქსელთან მიერთების ტექნოლოგიების დამუშავება

\*გივი კობრეიძე - პროფესორი, ემერიტუსი

E-mail: [gmgmgkf@mail.ru](mailto:gmgmgkf@mail.ru)

ზვიად გაჩეჩილაძე - აკადემიური დოქტორი

E-mail: [zviad.gachechiladze@gse.com.ge](mailto:zviad.gachechiladze@gse.com.ge)

\*\*გოჩა კობრეიძე - საქართველოს ენერჯეტიკის აკადემიის ნამდვილი წევრი

E-mail: [gocha.kokhreidze@gse.com.ge](mailto:gocha.kokhreidze@gse.com.ge)

გალინა ქადაგიშვილი - აკადემიური დოქტორი, ასისტენტ-პროფესორი

E-mail: [g.qadagishvili26@gmail.com](mailto:g.qadagishvili26@gmail.com)

\* საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

\*\*სააქციო საზოგადოება „საქართველოს სახელმწიფო ელექტროსისტემა“

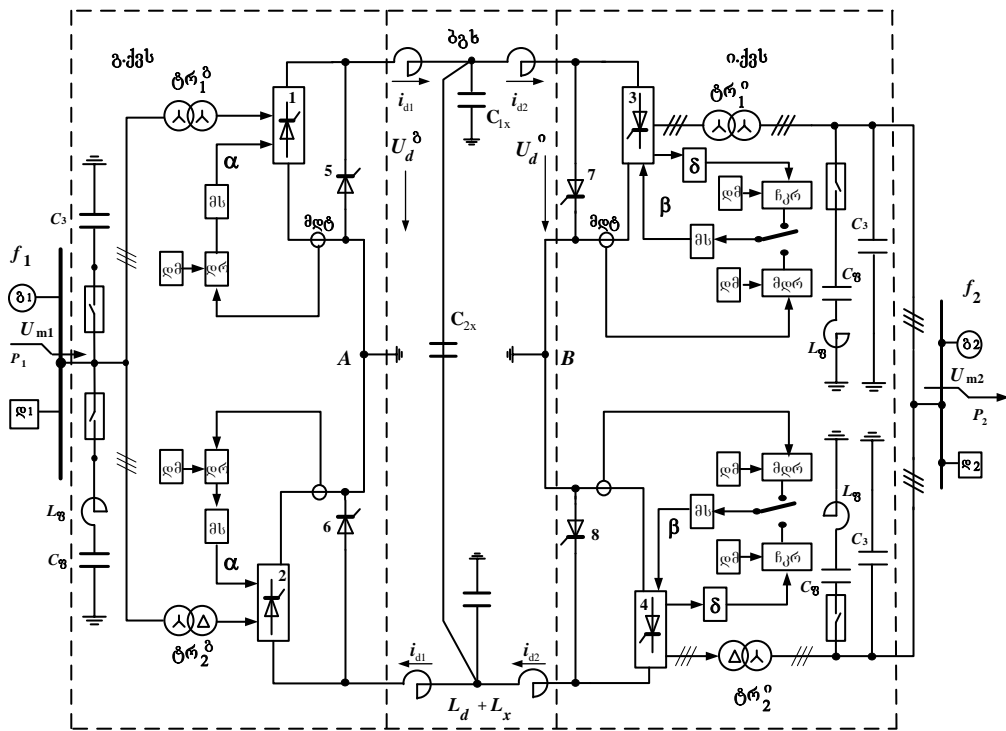
*ანოტაცია.* სამეცნიერო-საინჟინრო ნაშრომში წარმოდგენილია IGBT-ტრანზისტორული მოდულების შემცველი ორ ბოგირა გარდამქმნელებიანი მუდმივი დენის ბიპოლარული გადაცემი ხაზის (მდგ) ელექტრული სქემა [1]. სამუშაოში განიხილება შემდეგი რეჟიმები: ყველა რეგულატორების გარეშე სქემის მუშაობა; ინვერტორის ჩაქრობის კუთხის რეგულატორის არსებობისას მუშაობა; გამმართველი დენის რეგულატორით და ინვერტორის ჩაკეტვის კუთხის რეგულატორით მუშაობა. ძირითად სქემაში გათვალისწინებულია ორი ერთ ბოგირა გარდამქმნელების მიმდევრობითი ჩართვა და შესაბამისი სამფაზა ორი ტრანსფორმატორის მეორად მხარეზე ხაზური ძაბვების ერთმანეთის ტოლობა. მიღებულია მეტად სრულყოფილი 12-ფაზა გარდაქმნა და გვაქვს ერთმანეთის მიმართ  $30^{\circ}$ -ით დაძრული სამფაზა ძაბვების სისტემა. ამის გამო გამართულ ძაბვას გააჩნია 12-ის ჯერადი ჰარმონიკები. თითოეული ბოგირის გამართულ ძაბვაში  $(2k+1) \cdot 6$ ,  $k=0,1,2,3,\dots$  რიგის ჰარმონიკები იმყოფებიან საწინააღმდეგო ფაზაში, ურთიერთ კომპენსირდებიან და ამიტომ არ არსებობენ ორთავე ბოგირის ჯამურ ძაბვაში. სქემაში მიწა გამოყენებულია, როგორც დენსადენი. მიწაში მუდმივი დენის და ცვლადი დენის გავრცელების სურათი ერთმანეთისაგან ძლიერ განსხვავდება. ნაშრომში აგრეთვე წარმოდგენილია ჰიბრიდული ავტონომიური ელექტროენერჯეტიკული სისტემების ქსელთან პარალელური მუშაობის რეჟიმების განგარიშების, მართვისა და ოპტიმიზაციის თეორიის განვითარება, რაც საშუალებას იძლევა ენერჯიის არატრადიციული და განახლებადი წყაროების ეფექტური გარდაქმნისა და გამოყენების ტექნოლოგიების დანერგვას ელექტროტექნიკაში.

საკვანძო სიტყვები: *IGBT-ტრანზისტორული მოდულები, მუდმივი დენის გადაცემა (მდგ), ბიპოლარული ხაზი, ძალური ტრანსფორმატორები, გამმართველი და ინვერტორული ქვესადგურები, ძაბვის ჰარმონიკები, ჰიბრიდული სისტემა.*

*სამუშაოს შინაარსი*

მუდმივი დენის გადაცემის (მდგ) მუშაობის რეჟიმებს განვიხილავთ ნახ. 1-ზე ნაჩვენები დამუშავებული სქემის საფუძველზე. ამ სქემაზე [1] ნაჩვენებია ბიპოლარული ხაზი გამართვისა და ინვერტირების გარდამქმნელების შუა A და B წერტილების დამიწებით.

ნახ. 1-ზე ძირითადი ძალოვანი წრედის გარდა ნაჩვენებია ტირისტორების (IGBT - ტრანსისტორული მოდულების) მართვის და პროცესების ოპტიმიზაციის ავტომატური მოწყობილობები, მოქმედი ორთავე ქვესადგურზე [1,2].



ნახ. 1. მდგ-ის ერთიანი გარდამქმნელი სისტემის დამუშავებული სქემა. გ1 – გადაცემის სისტემის გენერატორი; გ2 – მიმღები სისტემის გენერატორი; დ1, დ2 – შესაბამისი სისტემის დატვირთვები; ტრ<sup>ბ</sup><sub>1</sub>, ტრ<sup>ბ</sup><sub>2</sub>, ტრ<sup>ი</sup><sub>1</sub>, ტრ<sup>ი</sup><sub>2</sub> – შესაბამისად გამართვის და ინვერტირების ქვესადგურების ძალოვანი ტრანსფორმატორები; 1, 2, 3, 4 – შესაბამისად გამართველი და ინვერტირების ქვესადგურების ბოგირული სქემები; 5, 6, 7, 8 – შესაბამისად ბოგირების ბლოკირების ტირისტორები; დმ – დაყენების მოწყობილობა; მს – მართვის სისტემა; მდტ – მუდმივი დენის ტრანსფორმატორი; დრ – დენის რეგულატორი; δ – ტირისტორის ჩაკეტვის კუთხე; β – ტირისტორის წინწრების კუთხე; ჩკრ – ჩაკეტვის კუთხის რეგულიატორი; მდრ – მინიმალური დენის რეგულატორი; α – ტირისტორის მართვის კუთხე; გ.ქგს, ი.ქგს, ბ.გ.ს. – შესაბამისად გამართვისა და ინვერტირების ქვესადგური და ბიპოლარული გადაცემის ხაზი; f<sub>1</sub>, f<sub>2</sub> – პირველი და მეორე სისტემის სიხშირეები; U<sub>m1</sub>, U<sub>m2</sub> – პირველი და მეორე სისტემის ძაბვები; C<sub>გ</sub>, C<sub>ფ</sub> – შესაბამისად კომპენსატორის და ფილტრის ტევადობები; L<sub>ფ</sub> – ფილტრის ინდუქციურობა; U<sub>d</sub><sup>ბ</sup>, U<sub>d</sub><sup>ი</sup> – შესაბამისად, გამართველი ქვესადგურის გამოსავალზე და ინვერტორული ქვესადგურების შესავალზე ძაბვები; i<sub>d1</sub>, i<sub>d2</sub> – ბიპოლარული ხაზში გამავალი მუდმივი დენები; L<sub>d</sub>, L<sub>x</sub> – ხაზში ჩართული დროსელების (რეაქტორების) და ხაზის ინდუქციურობები.

მდგ-ისათვის კაბელური ხაზი აუცილებელია გამოყენებული იქნას იქ, სადაც არ შეიძლება ან ძალიან გაძნელებულია საჭირო გადამცემი ხაზის აგება: ფართო ზედაპირის მქონე წყლის სივრცის გადაკვეთისათვის (ზღვები,

წყალსაცავები); მთის პირობებში, დიდ ქალაქებში სიღრმეში სიმძლავრის შეყვანისათვის. ყველა ამ შემთხვევაში სპეციალისტების ყურადღება დათმობილია მუდმივი დენის გადაცემასთან.

მუდმივი დენის ხაზის გამტარუნარიანობა არ არის დამოკიდებული ხაზის სიგრძეზე. ცვლადი დენის შემთხვევაში კი გამტარუნარიანობა მცირდება მისი სიგრძის გაზრდით. ცვლადი დენის შორეულ ხაზებზე დიდი სიმძლავრეების გადაცემისათვის საჭიროებას წარმოადგენს დაყენებული იქნას ძვირადღირებული გრძივი კომპენსაციის მძლავრი კონდენსატორული ბატარეების დანადგარები [3].

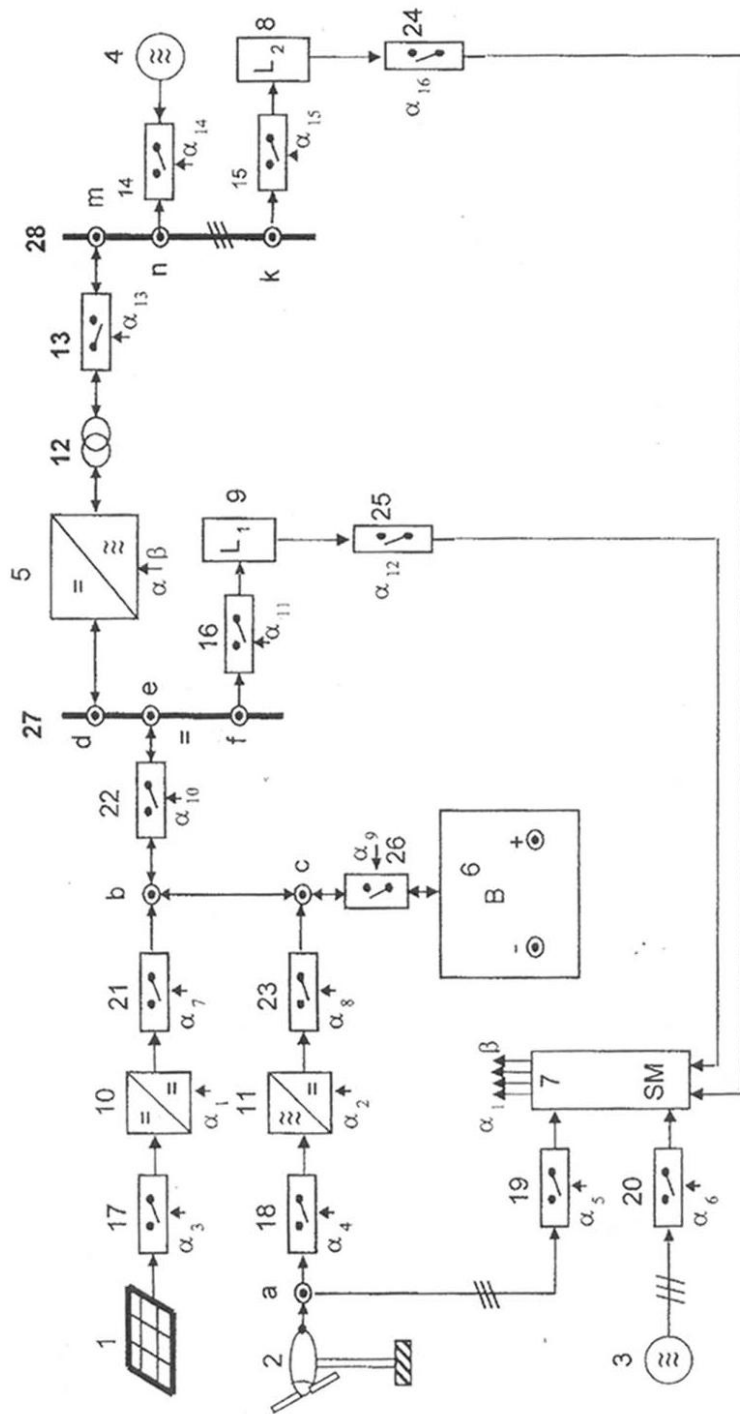
მზის, ქარის, დიზელგენერატორების და აკუმულატორული ბატარეის ენერჯიების ერთდროული ან სელექციური გზით გამოყენება წარმოადგენს ძირითად საფუძველს, როგორც მუდმივი, ასევე ცვლადი ძაბვის ჰიბრიდული ენერგოსისტემის განვითარებისათვის.

ნახ. 2-ზე წარმოდგენილია თანამედროვე ჰიბრიდული პარალელური ენერგოსისტემის განზოგადებული პერსპექტიული სტრუქტურული სქემა. იგი შედგება ფოტოელექტრული გარდამქმნელისაგან-1; მართვადი საკომუტაციო უკონტაქტო აპარატურისაგან 13 ÷ 26; ქარის გენერატორისაგან - 2, აკუმულატორული ბატარეისაგან - 6; დიზელ-გენერატორისაგან - 3-4; დენის სამფაზა ინვერტორისაგან - 5; მუდმივ ძაბვად გარდამქმნელისაგან-10; სამფაზა ცვლადი დენის გამმართველისაგან - 11; სამფაზა ძალოვანი ტრანსფორმატორისაგან - 12; მართვის სისტემისაგან - 7; მუდმივი დენის დატვირთვისგან - 9; ცვლადი დენის დატვირთვისაგან - 8; მუდმივი ძაბვის ქსელისაგან - 27; ცვლადი ძაბვის ქსელისაგან - 28.

ნახ. 2-ზე წარმოდგენილი დამუშავებული პრინციპული ელექტრული სქემების საფუძველზე ჩატარებულია მათში

მიმდინარე ელექტრომაგნიტური პროცესების გაანგარიშება და დამუშავებული მათემატიკური და კომპიუტერული მოდულირების მეთოდიკა [4].

წარმოდგენილ ენერგოსისტემაში გარდამავალი პროცესების გაანგარიშებისა და გამოკვლევისათვის ვუშვებთ, რომ გამმართველი და ინვერტორული ქვესადგურების კომუტატორები იდეალურია და ვენტილებად გამოყენებულია IGBT-იზოლირებული საკეტანი ბიპოლარული სწრაფ მომქმედი ტრანზისტორული მოდულები. მოცემულ პარამეტრებად და სიდიდეებად წარმოდგენილია შესაბამისი  $n$  ელემენტების აქტიური წინაღობები -  $R_n$ , ინდუქციურობები -  $L_n$ , და ურთიერთ-ინდუქციურობები -  $M_{kk}, M_{kn}$ , მზისა და აკუმულატორული ბატარეების ელექტრომომძრავებელი ძალები (ე.მ.ძ.) -  $E_p, E_B$ , გარდამქმნელების გამოსავალზე ნომინალური ძაბვები -  $U_n$ ; ფოტოელექტრული გარდამქმნელის დენი -  $J$ ; ნახევარგამტარული გარდამქმნელების კომუტაციური ფუნქციები -  $\Phi(t)$ ; ინვერტირებული დენის კუთხური სიხშირე -  $\omega$ ; ძალოვანი ტრანსფორმატორის პირველადი და მეორადი გრაგნილების ხვიათა რიცხვები -  $W_1, W_2$ . უცნობ სიდიდეებად წარმოდგენილია: სქემის ყველა შტოში დენების მყისა მნიშვნელობები -  $I_n$ ; წრედის შესაბამისი ელემენტების შესავალზე და გამოსავალზე ძაბვების მყისა მნიშვნელობები -  $U_n$ . წარმოდგენილი სამეცნიერო-საინჟინრო სამუშაო ჩატარდა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ელექტროენერგეტიკის სამეცნიერო-საინჟინრო რესპუბლიკურ ცენტრში და სს „საქართველოს სახელმწიფო ელექტროსისტემაში“.



ნახ. 2. თანამედროვე ჰიბრიდული პარალელური ენერჯის სტრუქტურული სქემა

დასკვნა

IGBT-ტრანზისტორული მოდულების შემცველი ორბოგირა გარდამქმნელებიანი მუდმივი დენის ბიპოლარული ხაზით ენერჯის გადაცემის პრინციპული

ელექტრული სქემის (ნახ.1) დამუშავება ენერჯის აღრიცხვიანობის ეფექტურობის გაუმჯობესების პირობებში საშუალებას მოგვცემს, საქართველოს სახელმწიფო ელექტროსისტემის გაერთიანებულ მაგი-



სტრალური გადამცემი ხაზის ექსპლუატაციის ტექნიკურ-ეკონომიკურ მაჩვენებლების გაუმჯობესებას. შექმნილია აკუმულიატორული ბატარეების, ქარის და მზის ფოტოელექტრული სადგურების და სამფაზა ცვლადი დენის ქსელის ერთობლივი პარალელური მუშაობის ერთიანი სისტემა. ჩატარებულია ერთიანი სისტემის მუშაობის დინამიკური პროცესების რეჟიმების მართვა და ოპტიმიზაცია. თითოეული რეჟიმებისათვის ჩატარებულია მათემატიკური და კომპიუტერული მოდელირება.

#### ლიტერატურა

1. კობრეიძე გ., გაჩეჩილაძე ზ., ბერაძე ნ., კობრეიძე გოჩა. IGBT-ტრანზისტორული მოდულების შემცველი ორ ბოგირა გარდამქმნელებიანი მუდმივი დენის ბიპოლარული ხაზით ენერჯიის გადაცემის პრინციპული ელექტროსქემის დამუშავება ელექტროენერჯიის აღრიცხვიანობის ეფექტურობის გაუმჯობესების პირობებში// ენერჯია. №2(106). 2023.
2. კობრეიძე გ., გაჩეჩილაძე ზ., ბერაძე ნ., კობრეიძე გოჩა, ქადაგიშვილი გ. მუდმივი დენის გადამცემის ერთ ბოგირა ნახევარწრედის ექვივალენტური სქემა და გარე მახასიათებლების აგება ელექტრული ენერჯიის აღრიცხვიანობისა და დამყარებული პროცესების ოპტიმალური რეგულირების სხვადასხვა რეჟიმებში// ენერჯია. № 4(108). 2023.
3. კობრეიძე გ., გაჩეჩილაძე ზ., ბერაძე ნ., კობრეიძე გოჩა, ქადაგიშვილი გ. მუდმივი დენის ორ ბოგირა ბიპოლარული გადამცემი ხაზის ერთიანი IGBT-ტრანზისტორული მოდულებიანი გარდამქმნელი სისტემის ზოგიერთი თავისებურებანი, მუშაობის რეჟიმების მდგრადობა და ძირითადი პარამეტრები// ენერჯია. № 1(109). 2024.
4. ფხაკაძე შ. ელექტრული და ელექტრონული წრედების საფუძველზე ჰიბრიდული ავტონომიური ელექტროსისტემების პარალელური მუშაობის რეჟიმების მართვა და ოპტიმიზაცია. დისერტაცია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად// სტუ. თბილისი. საქართველო. 2013.

**HIGH VOLTAGE DIRECT CURRENT POWER TRANSMISSION AND DEVELOPMENT OF TECHNOLOGIES FOR CONVERTING NON-TRADITIONAL RENEWABLE ENERGIES INTO ELECTRICAL ENERGY AND THEIR INTEGRATION INTO THE GRID.**

*G. Kokhreidze, Z. Gachechiladze, Gocha Kokhreidze, G. Qadagishvili.*

“Energy”. №2(110). 2024. Tbilisi. p. 5-10. geo. sum geo. engl.rus.

This scientific-engineering paper presents the electrical schematic of a bipolar direct current (DC) transmission line with dual-converter systems containing IGBT-transistor modules [1]. The study examines the following operational modes: operation without any regulators; operation with an inverter extinguishing angle regulator; operation with a current control regulator and an inverter lock angle regulator. The basic scheme involves the sequential connection of two single-converter transformers and the equalization of linear voltages on the secondary sides of two corresponding three-phase transformers. The system achieves a highly efficient 12-phase conversion, resulting in a three-phase voltage system that is offset by  $30^\circ$  relative to each other. Consequently, the applied voltage exhibits harmonics that are multiples of 12. In each coil's balanced voltage  $(2k+1) \cdot 6$ , where  $k=0,1,2,3,\dots$ , the order harmonics are in opposite phases, canceling each other out and thus do not appear in the total voltage of the two coils. The ground serves as the return path for current in the scheme. The distribution patterns of DC and alternating current (AC) in the ground differ significantly. The paper also introduces a hybrid autonomous power system based on non-traditional and renewable energies (solar, wind) and discusses the development of the theory for the calculation, management, and optimization of its operational modes during parallel operation with the grid. This advancement facilitates the effective implementation of technologies for converting and utilizing non-traditional and renewable energy sources in the fields of power engineering and electrical engineering. *Ill. 2, bibl. 4.*

**ПЕРЕДАЧА ЭНЕРГИИ С ПОСТОЯННЫМ ТОКОМ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ НЕТРАДИЦИОННЫХ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ЭНЕРГИЙ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И ПРИСОЕДИНЕНИЯ ЕЕ К СЕТИ.**

*Г.Кохреидзе, З. Гачечиладзе, Гоча Кохреидзе, Г. Кадагишвили*

“Энергия”. № 2(110).2024 . Тбилиси. с. 5-10. груз. реф. груз.англ. рус.

В работе представлена электрическая схема преобразовательной системы двухмостовой биполярной передающей линии постоянного тока (ППТ) с IGBT- транзисторными модулями [1]. Рассмотрены следующие режимы: работа схемы без всех регуляторов; работа с присутствием регулятора угла угасания инвертора; работа регулятора управляемого тока и регулятора угла угасания инвертора. В схеме предусмотрены последовательное соединение двух одномостовых преобразователей и соответственно равенства линейных напряжений на вторичной стороне двух трехфазных трансформаторов. Получено более полноценное 12-фазное преобразование и система трехфазных напряжений, сдвинутые относительно друг от друга на  $30^\circ$ - эл.градусом. По этому выпрямленному напряжению имеют 12-кратной гармоника. В выпрямленных напряжениях каждого моста гармоника порядка  $(2k+1) \cdot 6$ ,  $k=0,1,2,3,\dots$  находятся в противоположных фазах, взаимно компенсируются и поэтому не существуют в суммарном напряжении обоих мостов. Земля в схеме использована как токопровод. В земле картина распространения постоянного и переменного тока сильно отличаются друг от друга. Также представлено развитие теории расчета, управления и оптимизации режимов при параллельной работе гибридной автономной электроэнергетической системы к приемной сети. Все полученные результаты дают возможность эффективного внедрения технологии преобразования и применения нетрадиционных и возобновленных источников энергии в электроэнергетике и в электротехнике. *Илл. 2, лит. 4 назв.*

გამანაწილებელ ქსელში ბატარეას ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემების შერჩევისა და მათი მდებარეობის ანალიზი

თენგიზ მუსელიანი - პროფესორი

E-mail: [museliani@yahoo.com](mailto:museliani@yahoo.com)

ირაკლი ვახტანგაძე - ასისტენტ პროფესორი

E-mail [i.vakhtangadze@gtu.ge](mailto:i.vakhtangadze@gtu.ge)

ბორის ჯინჭველეიშვილი - დოქტორანტი

E-mail: [jinchveleishvili.boris22@gtu.ge](mailto:jinchveleishvili.boris22@gtu.ge)

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

უნივერსალური ათობითი კლასიფიკაცია, კოდი - 621.31, 621.32, 621.38, 621.397, 621.398

*ანოტაცია.* არსებული ელექტროგადამცემი ქსელების მოდერნიზაციის ნაცვლად ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემების გამოყენება უკიდურესად მნიშვნელოვანს ხდის პარამეტრების სწორად გამოთვლას და განაწილების სისტემაში მოცემული მოწყობილობის ჩართვის წერტილის განსაზღვრას. ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემების არასწორმა შერჩევამ შეიძლება გამოიწვიოს მისი გამოყენების ეკონომიკური არაეფექტურობა. შენახვის სისტემების არასწორმა განთავსებამ შეიძლება გამოიწვიოს გამანაწილებელი ქსელის სიმძლავრის შემცირება.

ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემის შერჩევა უმთავრესად დაფუძნებულია ნორმირებული გამოსასვლელი სიმძლავრის განსაზღვრაზე, ნომინალურ ენერგოტევადობაზე მარეგულირებელი ზემოქმედების ხანგრძლივობაზე. ძალზედ მნიშვნელოვანია მარეგულირებელი, ტექნიკური, ორგანიზაციული და მეთოდოლოგიური დოკუმენტები, რომლებიც განსაზღვრავს მოთხოვნებს ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემების შერჩევის, მათი ადგილმდებარეობის, შესრულებული ფუნქციების ან დიზაინის შესახებ.

სამეცნიერო და ტექნიკური ჟურნალების ანალიზმა, რომელიც ეძღვნება ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემების ფუნქციონალური შესაძლებლობების მიმოხილვას და პრაქტიკულ გამოყენებას, აჩვენა ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემების ელექტროქიმიური ტიპის შენახვის ქვესისტემებით და მათი მდებარეობების გამართლებული შერჩევის მეთოდების ნაკლებობა. სტატიაში შემოთავაზებულია ენერჯიის შენახვის პარამეტრების არჩევანი ოპტიმიზაციისთვის საწარმოთა ელექტრომომარაგების სისტემები ეკონომიკური პარამეტრების მიხედვით.

*საკვანძო სიტყვები:* ბატარეას ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემა, გამანაწილებელი ქსელი, ხელოვნური ინტელექტი, სიმძლავრე, დატვირთვა, დამუხტვა, განმუხტვა.

*ძირითადი ნაწილი*

1. ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემების შერჩევის მიდგომებისა და მათი მდებარეობის ანალიზი ელექტროგამანაწილებელ ქსელებში

შესაძლებელია მოწყობილობის ენერჯიის ინტენსივობა განსახილველ სამუშაოში

განისაზღვრება ელექტროენერჯიის მოცულობით, რომელიც უნდა მიეწოდოს ქსელს და გამოითვლება ფორმულით:

$$E_{გადაც} = \sum_{i=1}^{12} P_i$$

სადაც 12 სთ ელექტროენერჯიის დეფიციტის ხანგრძლივობაა დატვირთვის

საკვლევი გრაფიკისათვის. უნდა აღინიშნოს, რომ სამუშაოში გათვალისწინებული არ არის ელექტროენერჯიის დანაკარგები ელექტროენერჯიის დამაგროვებელ სისტემაში, გარდა ამისა არ არის მიღებული ეკონომიური მაჩვენებლების დასაბუთება.

ენერჯიის დამაგროვებელი მოწყობილობის ძირითადი პარამეტრების გაანგარიშება ხორციელდება ექსპერიმენტული დატვირთვის დიაგრამების გამოყენებით, ავტონომიური ელექტროსადგურის დატვირთვის გრაფიკის გასწორებისა და მკვეთრად ცვალებადი ბუნების მქონე დატვირთვის კვანძებში დაბალი სიხშირის რხევების ჩახშობის მიზნით. ეს პრობლემა მოგვარებულია იზოლირებული მიკროენერგეტიკული სისტემებისთვის ავტონომიური ელექტროსადგურებით.

დამაგროვებელი მოწყობილობის ნორმირებული გამომავალი აქტიური სიმძლავრე განისაზღვრება ჩახშობილი ჰარმონიკის სიმძლავრის ცვლილების დიაგრამიდან. ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემის ნომინალური ენერგოტევადობა განისაზღვრება დამაგროვებლის ენერჯიის ცვლილების დიაგრამიდან. ამავე დროს, სტატუსს აკლია შემოთავაზებული გადაწყვეტილებების ეფექტურობის რაოდენობრივი შეფასება და დასაბუთება.

უცხოურ სამეცნიერო პუბლიკაციებში წარმოდგენილია სამუშაოების დიდი რაოდენობა, რომლებიც ეძღვნება გამანაწილებელ ქსელებში პარამეტრების გამოთვლისა და განაწილებული ენერჯიის წყაროების და/ან ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემების ადგილმდებარეობის განსაზღვრის პრობლემას გამანაწილებელ ქსელში. ამ პრობლემის

გადასაჭრელად გამოყენებული მეთოდები შეიძლება კლასიფიცირდეს შემდეგნაირად:

- ანალიტიკური მიდგომა - შესასწავლი სისტემა წარმოდგენილია მათემატიკური განტოლებებისა და ალგორითმების სისტემის სახით, რის შემდეგაც გამოითვლება მისი პირდაპირი რიცხვითი ამონახსნები. ეს მიდგომა შესაფერისია მცირე და მარტივ სისტემებთან მუშაობისთვის, მცირე რაოდენობის მდგომარეობის ცვლადებით, ზუსტი გადაწყვეტილებების სწრაფი მოძიებისას. ეს მიდგომა არ იყენებს კონკრეტულ მათემატიკურ პროგრამირებას;

- კლასიკური ოპტიმიზაციის მიდგომა (მათემატიკური ოპტიმიზაცია) მიდგომა, რომელიც ეფუძნება ოპტიმალური ამოხსნის ძიებას რიცხვითი მეთოდების გამოყენებით. მათემატიკური ოპტიმიზაციის უპირატესობა ოპტიმალურის გადაწყვეტილებების მიღებაა რთული პრობლემებისთვის. თუმცა, პრობლემის სირთულის და განზომილების მატებასთან ერთად, უფრო და უფრო მეტი გამოთვლითი დროა საჭირო;

- ხელოვნური ინტელექტი, მათ შორის მეტაევრისტული ოპტიმიზაციის ალგორითმები ანალიტიკური და რიცხვითი მეთოდებისგან განსხვავებით, ხელოვნური ინტელექტი არ საჭიროებს რთულ გამოთვლებს ან რთულ მათემატიკურ მოდელებს ან ალგორითმებს. ხელოვნური ინტელექტის მიდგომა ეფუძნება გადაწყვეტის სივრცის ძიებას ზოგიერთი ბუნებრივი პროცესის და ქცევის სიმულაციის გზით. ხელოვნური ინტელექტი, კლასიკური მიდგომისგან განსხვავებით, არ იძლევა ოპტიმალური გადაწყვეტის (გლობალური ოპტიმუმის) პოვნის გარანტიას, თუმცა მისი დახმარებით მიღებული გამოსავალი

ზოგადად დამაკმაყოფილებელი იქნება, კონკრეტული ხელოვნური ინტელექტის ალგორითმის შესაძლებლობებიდან გამომდინარე. რთული ანალიტიკური განტოლებებისა და მათემატიკური მოდელების წვდომის არარსებობის გამო, ხელოვნური ინტელექტის გამოყენებისას გამოთვლითი დრო მცირდება ანალიტიკურ მიდგომასთან შედარებით, რაც განსაკუთრებით შესამჩნევია ამოხსნის სივრცის განზომილების ზრდისას;

- ჰიბრიდული მეტაევრისტული მიდგომა - აქვს უპირატესობა სხვა მიდგომებთან შედარებით და, შესაბამისად, შეიძლება დაიყოს ცალკეულ კატეგორიად. ორი ან მეტი მეტაევრისტული ალგორითმის კომბინაციის საფუძველზე სხვა ოპტიმიზაციის მეთოდებთან, რომლებსაც აქვთ განსხვავებული უპირატესობები, ის გთავაზობთ საუკეთესო გადაწყვეტას მეტაევრისტული მიდგომის შეზღუდვების აღმოფხვრის გზით. ეს მეთოდოლოგია შესაძლებელს ხდის საიმედოდ და ეფექტურად განახორციელოს გლობალური ოპტიმიზაცია, გადაჭრას სხვადასხვა მრავალკრიტერიუმისანი პრობლემები RS-თან მიმართებაში, როგორც შეზღუდვებით, ასევე მის გარეშე, და მივიღოთ მაღალი ხარისხის შედეგები.

პარამეტრების გამოთვლა და ელექტროენერჯიის დამაგროვებლის ადგილმდებარეობის განსაზღვრა ხორციელდება სამი კრიტერიუმის მიხედვით: პიკური დატვირთვების გათანაბრება, ძაბვის პროფილის გათანაბრება და განაწილებელი ენერჯიის წყაროებიდან განახლებული ენერჯიების წყაროების ბაზაზე დაფუძნებული აქტიური სიმძლავრის ნაკადის კონტროლი.

პირველი კრიტერიუმისათვის დამაგროვებლის სიმძლავრე განისაზღვრება ქსელში საშუალო დღეღამური დატვირთვის  $P_{\text{საშ}}$  მნიშვნელობის მიხედვით ფორმულით:

$$P_{\text{გააგ}} = \begin{cases} (P_t - P_{\text{საშ}}) \frac{E}{S}, & E \leq S \\ (P_t - P_{\text{საშ}}), & E > S \end{cases} \quad (1)$$

$$P_{\text{დაგ}} = \begin{cases} (P_{\text{საშ}} - P_t) \frac{E}{S}, & E \leq S \\ (P_{\text{საშ}} - P_t), & E > S \end{cases}$$

სადაც  $E$  - ენერჯიის დამაგროვებლის საანგარიშო ენერგოტევადობაა;  $S$  - დატვირთვის გრაფიკის პიკური ნაწილის დაფარვისათვის საჭირო ენერგოტევადობაა; სასაზღვრო პირობა  $E \leq S$  წარმოადგენს განმუხტვის მაქსიმალური სიღრმის შეზღუდვას, როცა ენერჯიის დამაგროვებელი სისტემის ენერგოტევადობა  $E$  ნაკლებია დატვირთვის გრაფიკის პიკური ნაწილის დაფარვისათვის საჭირო  $S$  ენერგოტევადობაზე. სადაც  $S$  გამოითვლება ფორმულით:

$$S = \sum_j (P_j - P_{\text{საშ}}) \cdot \Delta T, \quad j \in (t | P_t \geq P_{\text{საშ}}) \quad (2)$$

სადაც  $\Delta T$  - დატვირთვის გრაფიკზე დღეღამური ინტერვალია.

უნდა აღინიშნოს, რომ პიკური დატვირთვების გათანაბრებამ განსახილველ ქსელის

კვანძში საშუალო დღიურ დატვირთვისათან, განტოლების შესაბამისად (1), შეიძლება გამოიწვიოს დამაგროვებელი მოწყობილობის პარამეტრების დაუსაბუთებელი გადაჭარბება.

მეორე და მესამე კრიტერიუმებსათვის დამაგროვებლის პარამეტრები განისაზღვრება ძაბვის მოცემულ  $U_{\text{მაქ}}$  და  $U_{\text{მინ}}$  საზღვრებში ცვლილების შესაბამისად და

აქტიური სიმძლავრის  $P$  ნაკადის მოცემული ზღვრის შესაბამისად, რომელიც შეზღუდულია ქსელის გამტარუნარიანობით (სახელდობრ ძაბვით ქსელის კვანძებში).

ელექტროენერჯიის დამაგროვებლის ოპტიმალური პარამეტრების და ადგილმდებარეობის განსაზღვრა ნომინალური მნიშვნელობიდან ძაბვის გადახრის მინიმუმაციის, დატვირთვის სიმძლავრის პიკური მნიშვნელობის მინიმუმაციისა და ელექტროენერჯიის დამაგროვებლის ხარჯების მინიმუმაციის კრიტერიუმების მიხედვით, გაზომილი ყოველდღიური დატვირთვის შაბლონების ანალიზის საფუძველზე. სადისტრიბუციო ქსელის კომპანია დაბალი ძაბვის ქსელისთვის 0.4 კვ ძაბვით. ვინაიდან ეს ნამუშევარი განიხილავს დაბალი ძაბვის ქსელს, გარდამქმნელის ნომინალური გამომავალი აქტიური სიმძლავრე შეირჩევა შესწავლილი ქსელის კვანძებში ადგილობრივი ერთფაზა დატვირთვის მონაცემების შესაბამისად. ამ დროს, დამაგროვებლის ნომინალური ენერგოტევადობა  $E_{\text{ნომ}}$  განისაზღვრება დამუხტვისა  $P_k^c$  და განმუხტვის  $P_k^d$  კოეფიციენტების გადაანგარიშებით ელექტროენერჯიაში, გამოსახულებებით:

$$P_k^c \leq \gamma_c E_{\text{ნომ}}, P_k^d \leq \gamma_d E_{\text{ნომ}} \quad (3)$$

შესწავლილია სატრანსფორმატორო ქვესადგურების დაბალი ძაბვის სალტეებზე დამაგროვებელი მოწყობილობების გამოყენება მზის პანელების მუშაობით გამოწვეული ძაბვის გადახრების შესამცირებლად და პიკური დატვირთვის გასათანაბრებლად. დადებითი ძაბვის მიუღებელი გადახრების შემთხვევაში, დამაგროვებლის ნომინალური ენერგოტევადობა განისაზღვრება ჭარბი ელექტროენერჯიით, რომელიც

უნდა დაგროვდეს მითითებული ძაბვის მოცემული საზღვრების უზრუნველსაყოფად. პიკური დატვირთვის გასათანაბრებლად და უარყოფითი ძაბვის მიუღებელი გადახრების თავიდან ასაცილებლად, დამაგროვებლის ნომინალური ენერგოტევადობა განისაზღვრება ელექტროენერჯიის დეფიციტით, რომელიც უნდა მიეწოდოს ქსელს ძაბვის განსაზღვრული საზღვრების უზრუნველსაყოფად. შედეგად, ნომინალური  $i$ -ური დამაგროვებლის ენერგოტევადობა განისაზღვრება შემდეგნაირად:

$$S_i = N_h \cdot P_{LPL}, \quad (4)$$

სადაც  $N_h$  - პიკური დატვირთვის ხანგრძლივობაა  $P_{LPL}$  სიმძლავრით ქსელის  $i$ -ურ კვანძში.

ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემის ოპტიმალური პარამეტრების და ადგილმდებარეობის განსაზღვრა ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემის ხარჯების მინიმუმაციის, საოპერაციო ხარჯების მინიმუმაციის, საიმედოობის უზრუნველყოფის ხარჯების მინიმუმაციისა და ტექნიკური შეზღუდვების დარღვევის რაოდენობის მინიმუმაციის კრიტერიუმების მიხედვით. დამაგროვებელი უნდა იქნას გამოყენებული ერთდროულად სამი ამოცანისთვის: პიკური დატვირთვის გასწორება, ძაბვის გადახრების შემცირება და საიმედოობის გაზრდა.

## 2. ელექტროენერჯიის დამაგროვებლის სისტემების გამოყენება ხელმისაწვდომი სიმძლავრის ტექნოლოგიური მიერთების გაზრდისათვის

პასიურ გამანაწილებელ ქსელებში, რომლებიც არ შეიცავენ განაწილებულ ენერჯიის წყაროებს ელექტროენერჯიის დამაგროვებლების გამოყენების ხარჯზე შესაძლებელია გაიზარდოს ელექტრო-



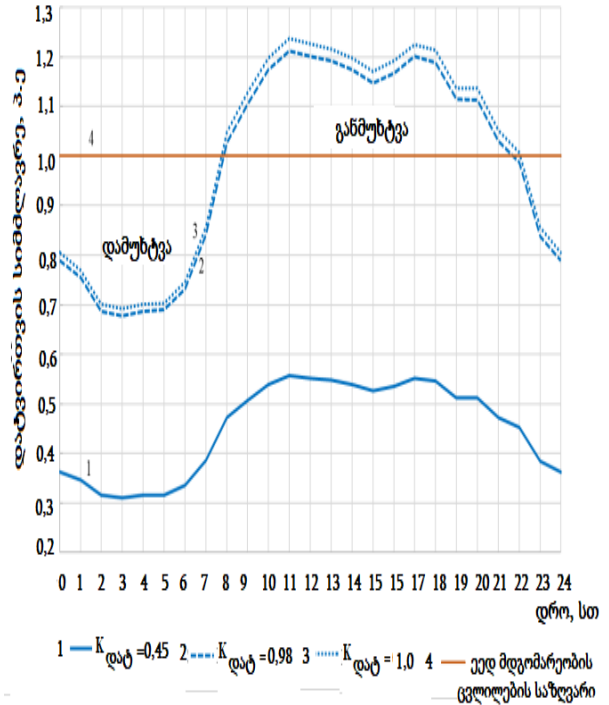
ენერჯიის რაოდენობა  $W_{\text{გ}}$ , რომელიც დღეღამის განმავლობაში შეიძლება გადაცემული იქნეს დატვირთვაზე. ამ ეფექტს მიღებულია ეწოდოს „ტექნოლოგიური მიერთების ხელმისაწვდომი სიმძლავრის გაზრდა“.

„პიკური დატვირთვების გასწორება“ ფიზიკურად მდგომარეობს ელექტროქსელური მოწყობილობების დღეღამური დატვირთვის გაზრდაში. დროის იმ პერიოდში, როცა სატრანსფორმატორო ქვესადგურის ტრანსფორმატორი დაუტვირთავია, არის სატრანსფორმატორო ქვესადგურის 0,4 კვ ძაბვის სალტეებზე ჩართული ელექტროენერჯიის დამაგროვებლის დამუხტვის შესაძლებლობა, ტრანსფორმატორის დატვირთვის კოეფიციენტის მაქსიმალურ მნიშვნელობამდე გაზრდით, რომელიც ასევე შეზღუდული უნდა იყოს დატვირთვის გრაფიკის უთანაბრობით. ამასთან ერთად პიკური დატვირთვის პერიოდში ელექტროენერჯიის დამაგროვებლის სისტემის განმუხტვა საშუალებას იძლევა დატვირთვაზე გადავცეთ ელექტროენერჯიის დამატებითი მოცულობა.

ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემების პარამეტრების და მათი მდებარეობის შესაძლო ვარიანტების შედარება ქსელის  $P_{\text{max}}$  სიმძლავრის გაზრდის მიზნით ტექნოლოგიური კავშირის ხელმისაწვდომი სიმძლავრის  $P_{\text{ტექ.მიერ.}}$  გაზრდის კრიტერიუმის მიხედვით განხორციელდება TP ტრანსფორმატორზე დატვირთვის ანალიზის საფუძველზე.

ტექნოლოგიური კავშირის ხელმისაწვდომი სიმძლავრის გაზრდის პრობლემის გადაწყვეტა განიხილება ყოველდღიური აქტიური ენერჯიის მოხმარების გრაფიკის მაგალითის გამოყენებით, რომელიც შეესაბამება

ზამთრის დღის მაქსიმალურ დატვირთვას. საკონტროლო გაზომვის შედეგები ფარდობით ერთეულებში წარმოდგენილია ნახაზზე.



ნახაზი. სატრანსფორმატორო ქვესადგურის დატვირთვის დღეღამური გრაფიკი ფარდობით ერთეულებში

აღსანიშნავია, რომ ყველა გაანგარიშება წარმოებს ფარდობით ერთეულებში. ელექტროენერჯიის რაოდენობა, რომელიც საჭიროა დატვირთვის დღეღამური გრაფიკის პიკური ნაწილის დასაფარავად აღნიშნულია  $E_{\text{აიკ}}$ ; ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემების ქვესისტემის ნომინალური ენერგოტევადობა აღნიშნულია როგორც  $E_{\text{გედს}}$ ; ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემების ენერგეტიკული ეფექტურობის კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს დანაკარგებს გარდაქმნისა და დაგროვების ქვესისტემებში და ასევე ითვალისწინებს კონკრეტული დამაგროვებლის განმუხტვის დასაშვებ სიღრმეს აღნიშნულია  $\eta_{\text{გედს-ით}}$ ; ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი

სისტემების გამოსასვლელი ნორმირებული აქტიური სიმძლავრე, რომელიც შეესაბამება ენერჯიის გარდაქმნელის ნომინალურ სიმძლავრეს, აღნიშნულია  $P_{ფედ}$ -ით. სატრანსფორმატორო ქვესადგურის ნომინალური სიმძლავრე  $S_{ნომ}$ ,  $\cos\varphi=1$ -ის დროს, რომელსაც ნახ.1-ზე შეესაბამება ხაზი 4, აღნიშნულია  $P_{ნომ}$ -ით.

სატრანსფორმატორო ქვესადგურის დატვირთვის სიმძლავრე, რომლის ცვლილებას ნახ.7-ზე შეესაბამება ხაზი 1-3 აღნიშნულია  $P_{დატ}$ -ით. სატრანსფორმატორო ქვესადგურის ტრანსფორმატორის დატვირთვის კოეფიციენტი, რომელიც ტოლია დატვირთვის საშუალო დღეღამური დატვირთვის ცვლილების  $\{P_{დატ,i}|i=0,24\}$  ფარდობისა სატრანსფორმატორო ქვესადგურის ტრანსფორმატორის ნომინალურ სიმძლავრე  $P_{ნომ}$ -თან აღნიშნულია როგორც

$$K_{დატ} = \sum_{i=0}^{24} \frac{P_{დატ,i}}{t_i} / P_{ნომ}$$

ტექნოლოგიური მიერთების ხელმისაწვდომი სიმძლავრე, რომლის დროსაც დღეღამის განმავლობაში არ მოხდება სატრანსფორმატორო ქვესადგურის ტრანსფორმატორის გადატვირთვა და შეესაბამება დატვირთვის კოეფიციენტის სიდიდეს აღნიშნულია შესაბამისად  $P_{ტექ.ა}$

და  $K_{დატ}^{მაქს}$ .

ნახ. 1-ზე წარმოდგენილი დატვირთვის გრაფიკისათვის დამატებით შეიძლება გამოვყოთ დროის ორი ინტერვალი, რომლებიც შეესაბამებიან ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემების დამუხტვისა და განმუხტვის რეჟიმებს.

დამუხტვის რეჟიმი, რომელიც განსაზღვრავს ელექტროენერჯიის დამაგროვებელ სისტემაში დამაგროვებელი

ელემენტის ენერგოტევადობას, გრძელდება დროის ინტერვალში

$$t_{აინ} \in \{P_{დატ}^{K_{დატ}=1} \leq P_{ნომ}\}$$

განმუხტვის რეჟიმი, რომელიც ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემის შემადგენლობაში განსაზღვრავს დამაგროვებელი ელემენტის განმუხტვის დენს და გარდაქმნელის სიმძლავრეს გრძელდება დროის ინტერვალში

$$t_{მაქს} \in \{P_{დატ}^{K_{დატ}=1} > P_{ნომ}\}$$

გარდა ამისა დროის ზრდა (გადასვლა  $t_0$  წერტილიდან  $t_1$  წერტილზე) ბიჯით 1 სთ აღნიშნულია  $\Delta T$ -თი.

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ ტექნოლოგიური მიერთების ხელმისაწვდომი სიმძლავრის გაზრდისათვის მნიშვნელოვან ფაქტორს წარმოადგენს სატრანსფორმატორო ქვესადგურის ტრანსფორმატორის დატვირთვის კოეფიციენტი. როგორც საკვლევი დღეღამური დატვირთვის გრაფიკიდან ჩანს მოცემული სატრანსფორმატორო ქვესადგურისათვის ტრანსფორმატორის დატვირთვის კოეფიციენტი ნორმალურ რეჟიმში შეადგენს 0,45 (ხაზი 1 ნახ-1-ზე). მაშინ დავუშვებთ რა რომ დატვირთვის ზრდა დროის ზრდასთან ერთად ხდება თანაბრად. პირველ ეტაპზე მოითხოვება განისაზღვროს ტექნოლოგიური მიერთების ხელმისაწვდომი სიმძლავრე  $K_{დატ} = 0,45$ -ის დროს, რომელიც გამოითვლება ფორმულით:

$$P_{ტექ.ა} = P_{ნომ} - მაქს\{P_{დატ,i}^{K_{დატ}=0,45}\}_{i=0,24}$$

(5)

შემდეგ მოითხოვება განისაზღვროს  $E_{აიკ}$  და  $E_{ფედ}$  ენერგოტევადობები. ცხადია, რომ, როცა  $K_{დატ}=1$ , მაშინ ელექტროენერჯიის რაოდენობა, რომელიც შეიძლება დაგროვილი იქნეს (დამუხტვის არე ნახ.1-



ზე) და რომელიც მოითხოვება შემდეგ გაცემული იქნეს (განმუხტვის არე ნახ.1-ზე) ერთნაირი იქნება. ამასთანავე გათვალისწინებული უნდა იქნეს, რომ ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემის ენერგეტიკული ეფექტურობის კოეფიციენტი იქნება <1 და შესრულებული უნდა იქნეს პირობა  $E_{პოკ} < E_{გედს}$ .

გაანგარიშების პირველ ეტაპზე დასაშვებია მივიღოთ  $K_{დატ} = 0.98$ . მაშინ ქსელის კვანძისათვის დატვირთვის დღეღამური გრაფიკის პიკური ნაწილის დაფარვისათვის საჭირო ენერგოტევადობა განისაზღვრება, როგორც:

$$E_{პოკ} = \sum_{j=t}^T (P_{დატj}^{K_{დატ}=0.98} - P_{ნომ}) \Delta T, \quad t \leq t_{მაქს} \leq T \quad (6)$$

ამ დროს ელექტროენერჯიის რაოდენობა, რომელიც შეიძლება დაგროვილი იქნეს ელექტროენერჯიის დამაგროვებელ სისტემის მიერ ელექტრული ქსელის მოცემულ სისტემაში  $K_{დატ} = 0.98$  დროს შეადგენს

$$E_{გედს} = \sum_{j=t}^T (P_{ნომ} - P_{დატj}^{K_{დატ}=0.98}) \Delta T, \quad t \leq t_{ნომ} \leq T \quad (7)$$

ენერგოტევადობა, რომელიც შეიძლება გასცეს ელექტროენერჯიის დამაგროვებელმა სისტემამ დატვირთვის საკვლევი გრაფიკისათვის, ტოლი იქნება:

$$E'_{გედს} = E_{გედს} \cdot \eta_{გედს} \quad (8)$$

რადგანაც დატვირთვის გრაფიკის არათანაბრობას აქვს სქოქასტური ხასიათი, საჭიროა შევასრულოთ ტრანსფორმატორის მაქსიმალური დატვირთვის გაანგარიშების კორექტულობა:

$$\Delta W_{სქ} = E'_{გედს} - E_{პოკ} \geq 0. \quad (9)$$

(9) პირობის შესრულება ამტკიცებს, რომ ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემის ენერგოტევადობა საკმარისია პიკური დატვირთვა დაფარვით სიმძლავრით

$$მაქს\{P_{დატი}^{K_{დატ}=0.98}\}_{i=[0,24]}$$

და ხანგრძლივობით

$$t_{მაქს} \in \{P_{დატი}^{K_{დატ}=0.98} > P_{ნომ}\}.$$

იმ შემთხვევაში, თუ  $\Delta W_{სქ} < 0$ , მაშინ უნდა შევამციროთ დატვირთვის კოეფიციენტის მიღებული საანგარიშო მნიშვნელობა და ენერგოტევადობის გაანგარიშება შევასრულოთ განმეორებით (6) და (7) გამოსახულებებით.

შემდგომში მოითხოვება განსაზღვრული იქნეს ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემის გამოსასვლელი აქტიური სიმძლავრე ხანგრძლივობით  $t_{მაქს}$ . ტრანსფორმატორის დასაშვები

დატვირთვის  $K_{მაქს}^{დატ}$  დროს, როგორც:

$$P_{შდს} = მაქს\{P_{დატი}^{K_{დატ}=0.98}\}_{i=[0,24]} - P_{ნომ} \quad (10)$$

(5)-(10) გამოსახულებები საშუალებას იძლევიან გაანგარიშებული იქნეს ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემების პარამეტრები „პასიური“ გამანაწილებელი ქსელებისათვის ტექნოლოგიური მიერთების ხელმისაწვდომი სიმძლავრის გაზრდის მიზნით ელექტროენერჯიის განახლებადი წყაროების ბაზის გარეშე.

ტექნოლოგიური მიერთების ხელმისაწვდომი სიმძლავრის გაზრდის კოეფიციენტი შეიძლება განსაზღვრული იქნეს როგორც ტრანსფორმატორის დასაშვები დატვირთვის  $K_{მაქს}^{დატ}$  დროს განსაღვრული ელექტროენერჯიის დამაგროვებლის ნორმირებული გამოსასვლელი აქტიური სიმძლავრის ფარდობა ტექნოლოგიური მიერთების ფაქტიურ ხელმისაწვდომ სიმძლავრესთან.

$$K_{\text{ტექ}} = \frac{P_{\text{ჯგუფ}}}{P_{\text{ტექ}}} \quad (11)$$

მაშინ ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემის განთავსების ყველაზე უფრო მიზანშეწონილ ადგილს წარმოადგენს კვანძი, სადაც ტექნოლოგიური მიერთების ხელმისაწვდომი სიმძლავრე ელექტროენერჯიის დამაგროვებლის დაყენების შედეგად მაქსიმალურად გაიზრდება

$$K_{\text{ტექ},i} \geq k_{\text{ტექ},i}, i=1,2,\dots, n$$

სადაც  $n$  - განსახილველი უბნის კვანძების რაოდენობაა.

*3. ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემების გამოყენება ძაბვის გადახრის შემცირებისათვის სატრანსფორმატორო ქვესადგურის 0,4 კვ ძაბვის სალტებზე*

ცნობილია, რომ რეაქტიული სიმძლავრის მოთხოვნის გაზრდას მიყვავართ ქსელის გამტარუნარიანობის შემცირებასთან და ქსელის კვანძებში ძაბვის სიდიდის შემცირებასთან. მეორე მხრივ ძნელია პროგნოზირება დღელამის განმავლობაში განახლებადი ენერჯიის წყაროების ბაზაზე ენერჯიის გამანაწილებელი წყაროების სიმძლავრეების ცვალებადობის შესახებ, რომელმაც შეიძლება მიგვიყვანოს ქსელის ძაბვის დაუშვებელ გაზრდამდე.

ტრადიციულად გამანაწილებელ ქსელებში ძაბვის რეგულირების ამოცანა წყდება გამანაწილებელ ქსელში ოპტიმალური რეაქტიული სიმძლავრის განაწილებით აქტიური სიმძლავრის დამაკარგების მინიმიზაციის კრიტერიუმით. ამასთანავე გამანაწილებელ ქსელში რეაქტიული სიმძლავრის კომპენსაციას აქვს ძაბვის მიხედვით სუსტი მარეგულირებელი ეფექტი მოცემული კლასის ძაბვის ხაზებისათვის გამომდინარე X/R ფარდობის დაბალი

მნიშვნელობიდან. სინამდვილეში ფარდობა X/R მაღალი ძაბვის ხაზებში შეიძლება იყოს 5-8 ჯერ მეტი ვიდრე დაბალი ძაბვის ხაზებში, ტრანსფორმატორებში კი ეს თანაფარდობა კიდევ უფრო მეტია.

ელექტროენერჯიის დააგროვებელი სისტემების განთავსების ადგილის შერჩევის ამოცანის გადაწყვეტის დროს ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემებზე მინიმალური დანახარჯების კრიტერიუმის ან ელექტრული ენერჯიის დანაკარგების მინიმიზაციის ოპტიმიზაციის მეთოდებით, ძაბვის დაუშვებელი გადახრის წარმოშობის თავიდან აცილებისათვის უზრუნველყოფილი უნდა იქნეს შემდეგი სახის სასაზღვრო პირობების არსებობა:

$$U_{\text{მინ}} \leq U_j \leq U_{\text{მაქს}}, J= 1,2,\dots, N, \quad (12)$$

სადაც  $U_{\text{მინ}}$ ,  $U_{\text{მაქს}}$  - ძაბვის მიხედვით ქვედა და ზედა დასაშვები ზღვრებია;  $J$  - ქსელის საკვლევი კვანძის ნომერია, რომელიც შეიცავს  $N$  კვანძს.

თუ ოპტიმიზაციის ამოცანა შეიცავს გამანაწილებელ ქსელში ძაბვის გადახრის შემცირების კრიტერიუმებს, მაშინ დამაგროვებლის განთავსება მიზანშეწონილია ელექტრული ქსელის იმ კვანძში, სადაც ყველზე უფრო დიდია ძაბვის გადახრა მოცემული გადახრის მინიმიზაციის მიზნით [48].

$$\Delta U_{\text{გადახ}}^{\text{რეაქ}} = \sqrt{\frac{1}{n_d} \sum_{d=1}^{n_d} \text{მაქს}(|U_{p,h,k}| - U_{\text{ნომ}})^2} \rightarrow \text{მინ} \quad (13)$$

სადაც  $n_d$  - დღის საკვლევი პერიოდის რიგითი ნომერია;  $K_d$  -  $n_d$  დღის განმავლობაში დროის ზრდის ბიჯია ( $k \in K_d$ ); ( $h \in H_m$ )  $H_m$  - საკვლევი სქემის კვანძის ნომერია;  $p = 1,2,3$  - ფაზის ნომერია;  $U_{p,h,k}$  - ძაბვის გაზომილი მნიშვნელობა;  $U_{\text{ნომ}}$  - ქსელის ნომინალური ძაბვაა.

ამასთანავე ქსელის გამტარუნარიანობის ამაღლების მიზნით ელექტროენერჯიის დამაგროვებლების სისტემების პარამეტრების შესაძლო ვარიანტებისა და მათი განთავსების ადგილის შედარების დროს სატრანსფორმატორო ქვესადგურის 0,4 კვ ძაბვის სალტეებზე ძაბვის გადახრის შემცირების კრიტერიუმის მიხედვით საჭიროა ქსელში გათვალისწინებული იქნეს სიმძლავრეთა ნაკადის განაწილებისა და ძაბვის დონის გავლენა.

ასევე საჭიროა აღინიშნოს, რომ ნომინალური სიმძლავრე და განახლებადი ენერჯიების ბაზაზე ენერჯიის განაწილების წყაროების გენერატორის დატვირთვის კოეფიციენტი წარმოადგენენ სტატიკურ უმნიშვნელო ფაქტორებს.

ამგვარად, ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემის განთავსება შეიძლება მოხდეს ქსელის ყველაზე უფრო „პრობლემურ“ კვანძში მთელ ქსელში ძაბვის რეზულტიური დონის ყველაზე უფრო გაუმჯობესებისათვის.

კორელიაციის კოეფიციენტი, რომელიც განსაზღვრავს ქსელის  $i$ -ური კვანძისათვის მოცემული ძაბვიდან გადახრას, განისაზღვრება ფორმულით:

$$k_{კორი} = \frac{(U_i - U_{ნომ}) \cdot (U_{მაქს} - U_i) \cdot |P_i|}{(U_{ნომ} - U_{მინ}) \cdot (U_{მაქს} - U_{ნომ}) \cdot \sum_{j=1}^n |P_j|} \quad (14)$$

სადაც  $U_i$ - $i$ -ურ კვანძში ძაბვის მოქმედი მნიშვნელობაა;  $U_{ნომ}$  - მოცემული კვანძის ნომინალური ძაბვაა;  $U_{მინ}$  და  $U_{მაქს}$  - განსახილველ კვანძში ძაბვის ცვლილების ზედა და ქვედა საზღვრებია;  $P_i$  - მოცემულ  $i$ -ურ კვანძში დატვირთვის სიმძლავრეა;  $P_j$  - ქსელის მოცემულ უბანზე გამავალი ჯამური სიმძლავრეა.

(14) ტოლობის ანალიზის საფუძველზე შეიძლება გაკეთდეს დასკვნა, რომ კოეფიციენტი  $k_{კორი}$  განსაზღვრავს  $i$ -ურ

კვანძში ძაბვის გადახრას ნომინალური ძაბვიდან, არამედ გვიჩვენებს ყველაზე უფრო დატვირთულ კვანძში მკვებავი ძაბვის საერთო დამახინჯებაში ძაბვის ცვლილების წვლილს. იმ შემთხვევაში თუ  $k_{კორი}$  იღებს უარყოფით მნიშვნელობას, მაშინ მოცემულ კვანძში არ შეესაბამება მოცემულ ზღვრულ მნიშვნელობას.

ამგვარად, რაც უფრო მეტია ჯამური

მნიშვნელობა  $K_{კორ} = \sum_{i=1}^n K_{კორი}$ , მით უფრო

ახლოსაა მთელი ქსელის ძაბვის დონეები ნომინალურ მნიშვნელობასთან.  $n$  - ქსელის განსახილველი უბნის კვანძების რაოდენობაა. იდეალური მნიშვნელობა  $K=1$  შეესაბამება ქსელის ყველა განსახილველ უბანზე ძაბვების ტოლობას ნომინალურ მნიშვნელობასთან ქსელის კვანძებში ძაბვის გადახრის შემცირების მიზნით ელექტროენერჯიის დამაგროვებლებისა და მათი განთავსების ადგილის შერჩევის დროს მაქსიმალური დატვირთვისა და მინიმალური გენერაციის რეჟიმებში, ასევე მინიმალური დატვირთვისა და მაქსიმალური გენერაციის რეჟიმებში მოითხოვება  $k_{კორი}$  მნიშვნელობის გაანგარიშება ქსელის ყველა განსახილველი უბნისათვის. ყველაზე უფრო ეფექტურია ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემის დაყენება ქსელის  $j$ -ურ უბანზე უმცირესი კოეფიციენტით  $k_{კორj} \leq k_{კორi}$ , სადაც  $i=1,2,\dots,n$ . შედეგად მოცემულ კვანძში  $k_{კორ}$  ჯამური მნიშვნელობა მაქსიმალურად იქნება გაზრდილი, რაც განსაზღვრავს ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემისათვის მაქსიმალურ ეფექტურობას განსახილველი რეჟიმებისათვის.

დატვირთვის (გენერაციის სიმძლავრე ქსელის  $j$ -ურ კვანძში, რომლის დროსაც მოცემულ კვანძში ძაბვა იმყოფება



დასაშვებ საზღვრებში  $U_{\text{მინ}} \leq U_j \leq U_{\text{მაქს}}$ . აღნიშნულია როგორც  $P_{\text{დატ.ჯ}} (P_{\text{გენ.ჯ}})$ .

დატვირთვის სიმძლავრე ქსელის  $j$ -ურ კვანძში, რომლის დროსაც ქსელის მოცემულ კვანძში ძაბვა ნაკლებია მოცემულ მინიმალურ მნიშვნელობაზე  $U_j < U_{\text{მინ}}$ , აღნიშნულია როგორც  $P_{\text{დატ.მაქს}}$ . მოცემული დატვირთვის არსებობის ხანგრძლივობა შეადგენს  $t_{\text{მაქს}} \in \{U_j < U_{\text{მინ}}\}$ . ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემების მარეგულირებელი ზემოქმედებას ამ შემთხვევაში ეწოდება დადებითი.

ქსელის  $j$ -ურ კვანძში გენერაციის სიმძლავრე, რომლის დროსაც ძაბვა მოცემულ კვანძში მეტია მოცემულ მაქსიმალურ მნიშვნელობაზე  $U_j > U_{\text{მაქს}}$ , აღნიშნულია, როგორც  $P_{\text{გენ.მაქს}}$ . მოცემული დატვირთვის არსებობის ხანგრძლივობა შეადგენს  $t_{\text{მაქს}} \in \{U_j > U_{\text{მაქს}}\}$ . ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემების მარეგულირებელი ზემოქმედებას ამ შემთხვევაში ეწოდება უარყოფითი.

დამატებით დროის ზრდა (გადასვლა  $t_0$ -დან  $t_1$ -ზე) ბიჯით 1 სთ არნიშნულია  $\Delta T$ -თი. ენერგეტიკული ეფექტურობის კოეფიციენტი  $\eta_{\text{AB}}$ , რომელიც ითვალისწინებს განმუხტვის დასაშვებ სიღრმეს და დაგროვების კონკრეტული ქვესისტემის „დაძველების“ მარაგს, აღნიშნულია როგორც  $\eta_{\text{AB}}$ . გარდაქმნის ქვესისტემის ეფექტურობის კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს დანაკარგებს გარდაქმნელსა და დამაგროვებელ ელემენტში აღნიშნულია როგორც  $\eta_{\text{გარდ}}$  ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემის ენერგეტიკული ეფექტურობის საერთო კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ყველა ჩამოთვლილ ფაქტორებს აღინიშნება როგორც  $\eta_{\text{შვდ}} = \eta_{\text{AB}} \eta_{\text{გარდ}}$ .

დადებითი მარეგულირებელი ზემოქმედების შემთხვევისათვის მაქსიმალური დატვირთვისა და მინიმალური გენერაციის რეჟიმში დამაგროვებლის ნომინალური ენერგოტევადობა  $E_{\text{შვდ}}^+$  განისაზღვრება მოცემულ ქსელის  $j$ -ურ კვანძში დატვირთვის მაქსიმუმის ხანგრძლივობით:

$$E_{\text{შვდ}}^+ = \frac{\sum_{i=t_1}^{t_2} (P_{\text{დატ.მაქს},i} - P_{\text{დატ.ჯ}}) \Delta T}{\eta_{\text{შვდ}}}, \quad t_1 \leq t_{\text{მაქს}} \leq t_2 \quad (15)$$

ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემების დადებითი მარეგულირებელი სიმძლავრე  $P_{\text{შვდ}}^+$  მოცემული  $j$ -ური კვანძისათვის განისაზღვრება როგორც:

$$P_{\text{შვდ}}^+ = \text{მაქს}\{P_{\text{დატ.მაქს},i}\}_{i=[t_1, t_2]} - P_{\text{დატ.ჯ}} \quad (16)$$

ანალოგიურად უარყოფითი მარეგულირებელი ზემოქმედების შემთხვევისათვის მინიმალური დატვირთვისა და მაქსიმალური გენერაციის რეჟიმში დამაგროვებლის ნომინალური ენერგოტევადობა  $E_{\text{შვდ}}^-$  განისაზღვრება ქსელის მოცემულ  $j$ -ურ კვანძში დატვირთვის მაქსიმუმის ხანგრძლივობით:

$$E_{\text{შვდ}}^- = \frac{\sum_{i=t_1}^{t_2} (P_{\text{გენ.მაქს},i} - P_{\text{გენ.ჯ}}) \Delta T}{\eta_{\text{შვდ}}} \eta_{\text{გარდ}}, \quad t_1 \leq t_{\text{მინ}} \leq t_2 \quad (17)$$

ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემების უარყოფითი მარეგულირებელი სიმძლავრე  $P_{\text{შვდ}}^-$  მოცემული  $j$ -ური კვანძისათვის განისაზღვრება როგორც:

$$P_{\text{შვდ}}^- = \text{მაქს}\{P_{\text{გენ.მაქს},i}\}_{i=[t_1, t_2]} - P_{\text{გენ.ჯ}} \quad (18)$$

ამგვარად, ძაბვის დადებითი დაუშვებელი გადახრის თავიდან აცილების შემთხვევისათვის ელექტროენერჯიის დამაგროვებლის ნომინალური ენერგოტევადობა განისაზღვრება ელექტრო-

ენერჯიის სიჭარბით, რომელიც საჭიროა დაგროვებული იქნას ძაბვის მოცემული საზღვრების უზრუნველყოფისათვის.

ძაბვის უარყოფითი დაუშვებელი გადახრის თავიდან აცილებისა და პიკური დატვირთვების გაწონასწორების შემთხვევისათვის ელექტროენერჯიის დამაგროვებლის ნომინალური ენერგოტევადობა განისაზღვრება ელექტროენერჯიის დეფიციტით, რომელიც საჭიროა გაცემული იქნას ქსელში იქნას ძაბვის მოცემული საზღვრების უზრუნველყოფისათვის.

(15)-(18) ტოლობები იძლევიან საშუალებას განსაზღვრული იქნეს ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემების მარეგულირებელი ზემოქმედების საჭირო სახე (დადებითი ან უარყოფითი), გაანგარიშებული იქნას პარამეტრები და განისაზღვროს ელექტროენერჯიის დამაგროვებლების განთავსების ყველაზე უფრო მიზანშეწონილი ადგილი მთელი ქსელის ძაბვის დონეების გაუმჯობესების მიზნით.

### დასკვნა

1. უცხოურ სამეცნიერო პუბლიკაციებში წარმოდგენილია სამუშაოების დიდი რაოდენობა, რომლებიც ეძღვნება პარამეტრების გამოთვლის პრობლემას და გამანაწილებელ ქსელებში ელექტროენერჯიის დამაგროვებლების ადგილმდებარეობის განსაზღვრას. განხილული მიდგომების შედეგები უზრუნველყოფს ელექტროენერჯიის დამაგროვებლების ხარჯების მინიმიზაციას, მაგრამ არ იძლევა მაქსიმალური ტექნიკური სარგებელის გამოყენების გარანტიას.

2. შემოთავაზებულია ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი ო სისტემებისა და მათი ადგილმდებარეობის არჩევა განხორციელდეს ტექნოლოგიური კავში-

რის ხელმისაწვდომი სიმძლავრის გაზრდის კრიტერიუმების მიხედვით, სატრანსფორმატორო ქვესადგურზე დატვირთვის გავლენისა და ძაბვის გადახრების შემცირების გათვალისწინებით. ქვესადგურის 0,4 კვ ძაბვის სალტეებზე განახლებადი ენერჯიის წყაროების ბაზაზე არსებული განაწილებული ენერჯიის წყაროების მიმდებარედ, შესასწავლ გამანაწილებელ ქსელებში ნაკადის განაწილების სიმძლავრის და ძაბვის დონის კომპლექსური გავლენის გათვალისწინებით.

3. დამუშავებულია ანალიტიკური მეთოდიკა ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემებისა და მათი ადგილმდებარეობის შერჩევისათვის 6-20 კვ ძაბვის მქონე გამანაწილებელი ელექტრო ქსელების გამტარუნარიანობის გაზრდის მიზნით. ეს მეთოდოლოგია ცნობილი მეთოდოლოგიებისაგან განსხვავდება ვარიანტების შედარების კრიტერიუმებით: ტექნოლოგიური კავშირის ხელმისაწვდომი სიმძლავრის გაზრდა ტრანსფორმატორის ქვესადგურზე დატვირთვის გავლენის გათვალისწინებით და ძაბვის გადახრების შემცირება ქვესადგურის 0.4 კვ სალტეებზე განახლებადი ენერჯიების ბაზაზე არსებული განაწილებული ენერჯიის წყაროების მიმდებარედ, რომელიც ითვალისწინებს სიმძლავრეთა ნაკადის განაწილებისა და ქსელში ძაბვის დონის კომპლექსურ გავლენას.

ლიტერატურა

1. Сокольникова Т.В., Суслов К.В., Ломбарди П. Определение оптимальных параметров накопителя для интеграции возобновляемых источников энергии в изолированных энергосистемах с активными потребителями// Вестник ИрГТУ. 2015. №10 (105).
2. Латоцкий И.В., Смоленцев Н.И. Выбор параметров накопителя энергии и оптимизация системы электроснабжения предприятия//Ползуновский вестник. 2016. №4(2).
3. Балув Д.Ю., Зырянов В.М., Кирьянова Н.Г., Пранкевич Г.А. Методика расчета основных параметров накопителя энергии по экспериментальным нагрузочным диаграммам// Вестник ИрГТУ. 2018. №5 (22).
4. Герасимов С.Е., Меркурьев А.Г. Регулирование напряжения в распределительных сетях/ С-Пб., Центр подготовки кадров СЗФ АО «ГВЦ Энергетики». 1998.
5. ელექტრონული ჟურნალის ინტერნეტ მისამართი (2022)  
[https://energyonline.ge/index.php?option=com\\_content&view=article&id=252&Itemid=236&lang=en](https://energyonline.ge/index.php?option=com_content&view=article&id=252&Itemid=236&lang=en)
6. სამეცნიერო-ტექნიკური რეფერებადი ჟურნალი „ენერჯია“. №3-4(103-104). 2022.
7. სამეცნიერო-ტექნიკური რეფერებადი ჟურნალი „ენერჯია“. №1(105). 2023. გვ. 13.
8. სამეცნიერო-ტექნიკური რეფერებადი ჟურნალი ენერჯია (2023). №2(106)/2023.
9. ელექტრონული ჟურნალი, სერია „ენერჯეტიკის თანამედროვე პრობლემები და მათი გადაჭრის გზები“ 3(107)/2023. ელექტრონული ჟურნალის ინტერნეტ მისამართი -  
[https://energyonline.ge/2020/Konf\\_1\\_23.pdf](https://energyonline.ge/2020/Konf_1_23.pdf)  
გვ. 42-45.
10. საერთაშორისო ელექტრონული ჟურნალის ინტერნეტ მისამართი (2023)  
<https://www.iosrjournals.org/iosr-ieee/Papers/Vol18-Issue4/Ser-1/C1804011215.pdf>

**ANALYSIS OF THE SELECTION AND LOCATION OF BATTERY ENERGY STORAGE SYSTEMS IN THE DISTRIBUTION NETWORK.**

*T. Museliani, I. Vakhtangadze, B. Jintchveleishvili.*

“Energy”. №2(110). 2024. Tbilisi. p. 11-23. geo. sum geo. engl.rus.

The use of electricity collection systems instead of modernization of existing power transmission networks makes it extremely important to correctly calculate the parameters and determine the switching point of the given device in the distribution system. Incorrect selection of battery energy storage systems can lead to economic inefficiency of its use. Improper placement of storage systems can lead to reduced capacity of the distribution network.

The selection of the energy storage system is mainly based on the determination of the rated output power, the duration of the regulatory impact on the nominal energy capacity. Very important are the regulatory, technical, organizational and methodological documents that determine the requirements for the selection of battery energy storage systems, their location, performed functions or design.

The analysis of scientific and technical journals devoted to the review and practical application of the functional possibilities of energy storage systems showed the lack of justified selection methods of storage subsystems of the electrochemical type of energy storage systems and their locations. The article proposes a choice of energy storage parameters for optimization of enterprise power supply systems according to economic parameters.

*Ill. 1, bibl. 10.*

**АНАЛИЗ ВЫБОРА И РАСПОЛОЖЕНИЯ АККУМУЛЯТОРНЫХ СИСТЕМ НАКОПЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ.**

*T. Муселиани, И. Вахтангадзе, Б. Джинчвелеишвили.*

“Энергия”. № 2(110).2024 . Тбилиси. с. 11-23. груз. реф. груз.англ. рус.

Использование систем сбора электроэнергии вместо модернизации существующих сетей электропередачи делает крайне важным правильный расчет параметров и определение точки включения данного устройства в распределительную сеть. Неправильный выбор аккумуляторных систем накопления энергии может привести к экономической неэффективности ее использования. Неправильное размещение аккумуляторных систем накопления энергии приведет к снижению пропускной способности распределительной сети.

Выбор системы накопления энергии в основном базируется на определении номинальной выходной мощности, длительности регулирующего воздействия на номинальную энергетическую емкость. Большое значение имеют нормативно-технические и организационно-методические документы, определяющие требования к выбору аккумуляторных систем накопления энергии, их местоположению, выполняемым функциям или конструкциями.

Анализ научно-технических журналов, посвященных рассмотрению и практическому применению функциональных возможностей систем накопления энергии, показал отсутствие обоснованных методов выбора подсистем накопления электрохимического типа систем накопления энергии и мест их расположения. В статье предлагается выбор параметров накопителей энергии для оптимизации систем электроснабжения предприятий по экономическим параметрам.

*Илл. 1, лит. 10 назв.*

რკინიგზის ელექტრომომარაგების მართვადი გამმართველი და ინვერტორული აგრეგატებში პროცესების მათემატიკური და კომპიუტერული მოდელირების უნივერსალური მეთოდების დამუშავება

\*გივი კობრეიძე - პროფესორი, ემერიტუსი

E-mail: [gmgmgkf@mail.ru](mailto:gmgmgkf@mail.ru)

გიორგი ხორბალაძე - აკადემიური დოქტორი

E-mail: [Giorgi.khorbaladze@gse.com.ge](mailto:Giorgi.khorbaladze@gse.com.ge)

\*\*გოჩა კობრეიძე - საქართველოს ენერჯეტიკის აკადემიის ნამდვილი წევრი

E-mail: [gocha.kokhleidze@gse.com.ge](mailto:gocha.kokhleidze@gse.com.ge)

გალინა ქადაგიშვილი - აკადემიური დოქტორი, ასისტენტ-პროფესორი

E-mail: [g.qadagishvili26@gmail.com](mailto:g.qadagishvili26@gmail.com)

\*საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

\*\*სააქციო საზოგადოება „საქართველოს სახელმწიფო ელექტროსისტემა“

*ანოტაცია.* წინამდებარე სტატიაში წარმოდგენილია ნაწილი შესრულებული სამეცნიერო-საინჟინრო სამუშაოებისა მუდმივი დენის წვევის ქვესადგურების ბაზაზე ლოკომოტივში არსებული ავტომატურად რეგულირებადი ასინქრონული მოკლედ შერთულ როტორიანი წვევის ძრავების სხვა და სხვა რეჟიმებში მუშაობის პროცესების მენეჯმენტისათვის მათემატიკური და კომპიუტერული მოდელირების უნივერსალური მეთოდების დამუშავების შესახებ. დამუშავდა ერთიანი გარდამქმნელი სისტემის მოდერნიზებული ელექტრული სქემები და ჩატარდა ელექტრომაგნიტური და ელექტრომექანიკური გარდამავალი და დამყარებული ერთიანი პროცესების სრული მათემატიკური და კომპიუტერული მოდელირება. წვევის ძრავების ექსპლუატაციის პროცესების სრულყოფილი შესწავლისათვის და შესაბამისი შედეგების საინჟინრო სიზუსტით მისაღებად, მათემატიკური და კომპიუტერული მოდელირებისას გათვალისწინებული იქნა: მაღალი ძაბვის ქსელი თავისი პირველადი პარამეტრებით; ძალური სამფაზა ტრანსფორმატორის აქტიური წინაღობები, ფანტვის და ურთიერთ ინდუქციურობები; კათოდური და ანოდური რეაქტორები; სამფაზა ძირითადი მართვადი და რეაქტიული ენერჯიის კომპენსაციისათვის საჭირო უკუ მართვადი გამმართველი აგრეგატები; სამფაზა ძაბვის სიხშირული რეგულირების ინვერტორული აგრეგატი; გენერატორულ რეჟიმში გადასული ასინქრონული მანქანის აგზნებისათვის სამფაზა ვარსკვლავად შეერთებული კონდენსატორული დანადგარები; საკონტაქტო და სალიანდაგო წრედების პარამეტრები; სწრაფმოქმედი IGBT-იზოლირებული საკეტიანი ბიპოლარული ტრანზისტორული მოდულები, რომელთა ფაზიდან ფაზამდე გადართვის პროცესში კომუტაციის კუთხე, მისი მნიშვნელოვნად სიძვირის გამო, მხედველობაში არ მიიღება. დადგენილი იქნა ელექტრომომრავი შემადგენლობის დაძვრის, წვევის და რეკუპერაციული დამუხრუჭების რეჟიმების პირობებში მიმღები ქსელის და წვევის ძალური ტრანსფორმატორის პირველადი და მეორადი გრაგნილების ფაზური ძაბვების ტალღური დიაგრამები; IGBT-ტრანზისტორული მოდულების იმპულსური მართვის ალგორითმები; დენებისა და ძაბვების მიხედვით შესაბამისი კომუტაციური ფუნქციების n-რიგის ჰარმონიკებისათვის განზოგადებული გამოსახულებები.

საკვანძო სიტყვები: *IGBT-ტრანზისტორული მოდულები; ელექტრომომრავი შემადგენლობა, n-რიგის ჰარმონიკები, სამფაზა ძაბვის ინვერტორი, სამფაზა ძაბვის გამმართველი, საკონტაქტო და სალიანდაგო წრედები, კომპიუტერული მოდელირება.*



*შესავალი*

უკანასკნელ პერიოდში, საქართველოს რკინიგზის მაგალითზე, გაზრდილია ინტერესი ინოვაციური გზით მუდმივი დენის წევის ქვესადგურების ბაზაზე ლოკომოტივში არსებული ავტომატურად რეგულირებადი ასინქრონული მოკლედშერთულ როტორიანი წევის ძრავების სხვადასხვა რეჟიმში ელექტრომაგნიტური და ელექტრო-მექანიკური არასიმეტრიული გარდამავალი და დამყარებული ერთიანი პროცესების მათემატიკური და კომპიუტერული მოდელირების საფუძველზე დინამიკური პროცესების ანალიზისა და ავტომატური მართვის სპეციფიკური საკითხების დამუშავების შესახებ.

*თემის აქტუალობა*

აქტუალურია ძაბვის ინვერტორული სიხშირული რეგულირების ასინქრონული მოკლედშერთულ როტორიანი წევის ძრავის ავტომატურად მართვის გაერთიანებული ელექტრული სქემების შექმნა IGBT-სწრაფმოქმედ ტრანზისტორული მოდულების ბაზაზე.

*სამუშაოს მიზანი*

მუდმივი დენის წევის ქვესადგურების ბაზაზე ლოკომოტივში არსებული ავტომატურად რეგულირებადი მოკლედშერთულ როტორიანი ასინქრონული წევის ძრავის დინამიკური პროცესების მართვის გაერთიანებული ელექტრული სქემების დამუშავება IGBT- სწრაფმოქმედ ტრანზისტორული მოდულების ბაზაზე; ინოვაციური გზით წევის ძრავების დაძვრის, წევის და რეკუპერაციული დამუხრუჭების რეჟიმებში ელექტრომაგნიტური და ელექტრომექანიკური არასიმეტრიული გარდამავალი და დამყარებული ერთიანი პროცესების მათემატიკური და კომპიუტერული

მოდელირების საფუძველზე პროცესების ანალიზისა და ავტომატური მართვის სპეციფიკური საკითხების დამუშავება;

*ნაშრომის ძირითადი შედეგები და მეცნიერული სიახლე*

სრულად იქნა შესწავლილი და დამუშავებული მუდმივი დენის წევის ქვესადგურების და IGBT- ტრანზისტორული მოდულების ბაზაზე ავტომატურად რეგულირებადი ასინქრონული მოკლედშერთული როტორიანი წევის ძრავების დაძვრის, წევის და რეკუპერაციული დამუხრუჭების რეჟიმში დინამიკური პროცესების ანალიზისა და ავტომატური მართვის სპეციფიკური საკითხები.

*მიღებული შედეგების გამოყენების სფერო*

დინამიკური პროცესების მიმართ ჩატარებული კომპიუტერული მოდელირების სამუშაოების მიღებული შედეგების ექსპლუატაციაში დანერგვა უზრუნველყოფს გაერთიანებულ გარდამქმნელი სისტემის ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების ამაღლებას, რაც საქართველოს რკინიგზას საშუალებას მისცემს განახორციელოს მძიმე წონიანი სატვირთო შემადგენლობების ნორმალური, ეფექტური ექსპლუატაცია და ამ გზით უზრუნველყოს პერსპექტივაში მნიშვნელოვნად გაზრდილი ტვირთნაკადების გადაზიდვები.

*სამუშაოს შინაარსი*

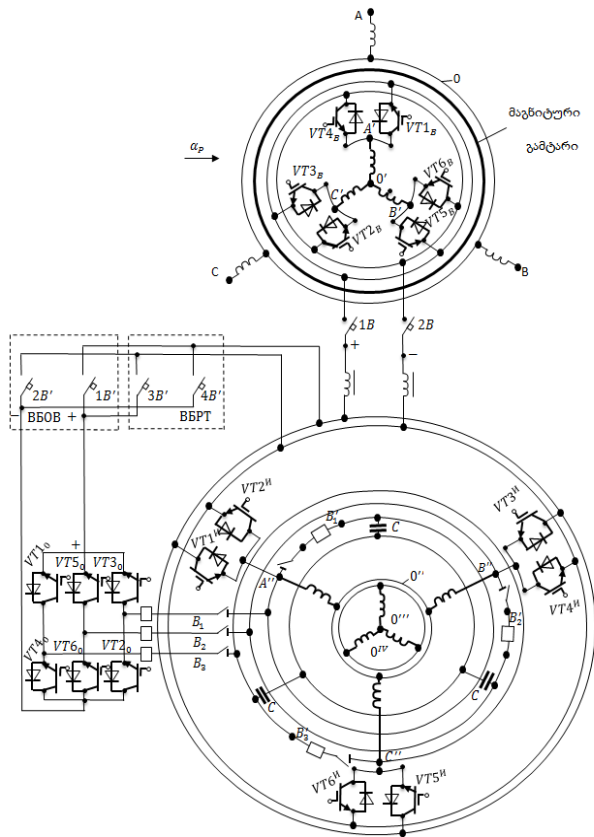
განხილულია ავტომატურად რეგულირებადი ასინქრონული წევის ძრავები IGBT- ტრანზისტორული მოდულებიანი ნახევარგამტარული კომუტატორებით[1]. ისინი წარმოადგენენ ძირითად განსახილველ ერთიან გარდამქმნელ სისტემას, რომელიც შეიცავს მაღალი ძაბვის ქსელს, მუდმივი დენის წევის ქვესადგურის ძალური სამფაზა ტრანსფორმატორს, მართვადი ძირითად სამფაზა გამმართველ

აგრეგატს, კათოდურ და ანოდურ რეაქტორებს, სამფაზა ძაბვის ინვერტორულ და უკუ გამმართველ აგრეგატებს, სამფაზა ვარსკვლავად შეერთებულ კონდენსატორულ დანადგარებს და ლოკომოტივში არსებულ სამფაზა ავტომატურად მართვადი მოკლედშერთულ როტორიან ასინქრონულ წევის ძრავებს.

დამუშავებულია ძაბვის ინვერტორული სიხშირული რეგულირების ასინქრონული წევის ძრავის მართვის გაერთიანებული პრინციპული ელექტრო-

სქემა უკუ მართვადი გამმართველი აგრეგატისა და კონდენსატორული დანადგარის გათვალისწინებით (ნახ.1). მოცემულია აგრეთვე ძირითადი სქემის სხვადასხვა რეჟიმების შესაბამისი ელექტრული სქემები. წარმოდგენილია შესაბამისი ტალღური დიაგრამები, იმპულსური მართვის ალგორითმები და დენების მიხედვით კომუტაციური ფუნქციების დროზე დამოკიდებულების გამოსახულებები [2].

$$\left. \begin{aligned} \rho_{kBi}^H(t) &= \frac{8}{\pi\gamma} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \cos \frac{n\pi}{6} \sin \frac{n\gamma}{6} \cdot \sin n \left\{ \omega_0 t - \left[ \alpha + \frac{\gamma}{2} + \pi + (k-1) \frac{2\pi}{3} \right] \right\}; \\ & \quad k = 1, 2, 3; \quad n = m = 1, 3, 5, 7, \dots \\ \rho_{kni}^C(t) &= \frac{4}{\pi} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \cos \frac{n\pi}{6} \sin n \left[ \omega_0 t - (k-1) \frac{2\pi}{3} \right]; \\ & \quad k = 1, 2, 3; \quad n = m = 1, 3, 5, 7, \dots \\ \rho_{koi}^L(t) &= \frac{4}{\pi} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \cos \frac{n\pi}{6} \sin n \left\{ \omega_0 t - \left[ \pi + (k-1) \frac{2\pi}{3} \right] \right\}; \\ & \quad k = 1, 2, 3; \quad n = m = 1, 3, 5, 7, \dots \end{aligned} \right\} (1)$$



ნახ. 1. ძაბვის ინვერტორული სიხშირული რეგულირების ასინქრონული წევის ძრავის მართვის უნიფიცირებული ჩაშენებული ელექტრული სქემა უკუ მართვადი გამმართველი აგრეგატისა და კონდენსატორული დანადგარის გათვალისწინებით

წარმოდგენილი ელექტრული სქემისათვის (ნახ.1) კირხჰოფის პირველი და მეორე კანონის გამოყენებით ელექტრული სიდიდეების მყისა მნიშვნელობებისათვის დაწერილ დიფერენციალურ ინტეგრალური განტოლებათა სისტემაში ცვლადთა

კომპლექსური გარდაქმნის მეთოდის [1,2] საფუძველზე, ზოგიერთი არა რთული ტრიგონომეტრიული გარდაქმნების შედეგად მივიღებთ შემდეგი პირველი რიგის განტოლებათა სისტემას მატრიცულ ფორმაში:

$$\begin{pmatrix} \frac{3}{2} U_m \sin(\omega t + \psi_u) - R^I I_d^I + X_d^I(t) i^c \\ -\frac{3}{2} U_m \cos(\omega t + \psi_u) - R^I I_q^I + X_q^I(t) i^c \\ Z_{\text{მბ}}^c(t) i^c - X_{\text{მბ}}^P(t) I_d^P - X_{\text{მბ}}^P(t) \cdot I_q^P \\ - X_d^P(t) i^c - R^P I_d^P \\ X_q^P(t) i^c + R^P I_q^P \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (L_s^I + \frac{3}{2} M^{11}) & 0 & -M_d^I(t) & 0 & 0 \\ 0 & (L_s^I + \frac{3}{2} M^{11}) & M_q^I(t) & 0 & 0 \\ M_d^I & M_q^I & L_{\text{მბ}}^c(t) & L_{\text{მბ}}^P(t) & L_{\text{მბ}}^P(t) \\ 0 & 0 & M_d^P(t) & (L_s^P + \frac{3}{2} M^{PP}) & 0 \\ 0 & 0 & M_q^P(t) & 0 & -(L_s^P + \frac{3}{2} M^{PP}) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} dI_d^I / dt \\ dI_q^I / dt \\ di^c / dt \\ dI_d^P / dt \\ dI_q^P / dt \end{pmatrix} \quad (2)$$

(2)-გამოსახულებაში შემავალი ექვივალენტური ცვლადი კომპლექსური პარამეტრები განისაზღვრებიან ნახ. 1-ზე ნაჩვენები ერთიანი ელექტრული სქემის პირველადი მოცემული პარამეტრების

მიხედვით. (2)-მატრიცული განტოლებათა სისტემის ამოხსნის შედეგად ვღებულობთ კომპლექსური დენების მოქმედ  $d, q$  მდგენელების წარმოებულების მიმართ შესაბამის მატრიცულ განტოლებას:

$$\frac{dI_d^I}{dt} = \frac{\Delta_{I_d^I}(t)}{\Delta(t)}; \frac{dI_q^I}{dt} = \frac{\Delta_{I_q^I}(t)}{\Delta(t)}; \frac{di^c}{dt} = \frac{\Delta_{i^c}(t)}{\Delta(t)}; \frac{dI_d^P}{dt} = \frac{\Delta_{I_d^P}(t)}{\Delta(t)}; \frac{dI_q^P}{dt} = \frac{\Delta_{I_q^P}(t)}{\Delta(t)}. \quad (3)$$

(3) გამოსახულებებიდან განისაზღვრება თითოეული სამიებელი კომპლექსური დენების  $d, q$  მდგენელების ინტეგრალური გამოსახულებები, რაც წარმოადგენენ მოცემული გაერთიანებული გარდამქმნელი სისტემისათვის მიმდინარე ელექტრომაგნიტური და ელექტრო-

მექანიკური გარდამავალი და დამყარებული ერთიანი პროცესების კომპიუტერული მოდელირების მყარ საფუძველს.

დასკვნა

ჩატარებული სამუშაოების შედეგად მიღებული იქნა არა სიმეტრიული გარდამავალი და დამყარებული პროცესების გაანგარიშების სრული მათემატიკური და კომპიუტერული მოდელი კომპლექსური რეზულტირებული საძიებელი ცვლადების  $d$ ,  $q$  - მდგენელების მიმართ. მოდელირებისას გამოირიცხა წევის ძალური ტრანსფორმატორის მეორადი გრაგნილისა და ძრავის გრაგნილების თითოეულ ნეიტრალური წერტილების მიმართ ნულოვანი ფაზური ძაბვები. მიღებული იქნა სრული მათემატიკური მოდელის დეტერმინანტის (განმსაზღვრელის) განზოგადებული გამოსახულება გაწრფივებული ექვივალენტური კოეფიციენტების მიხედვით.

ლიტერატურა

1. კობრეიძე გ., კობრეიძე გოჩა, ბერაძე ნ., მურჯიკნელი გივი, ყურაშვილი იზოლდა. სარკინიგზო ელექტრული ტრანსპორტის ელექტრომომარაგების გარდამქმნელ სისტემაში დინამიკური პროცესების საანგარიშო ელექტრული სქემის დამუშავება IGBT- ტრანზისტორული მოდულებიანი მართვადი სამფაზა უკუ გამმართველი აგრეგატის გათვალისწინებით/ „ენერჯია“ №1(105). 2023.
2. კობრეიძე გ., კობრეიძე გოჩა, ბერაძე ნ., მურჯიკნელი გივი, ყურაშვილი იზოლდა. სარკინიგზო ცვლადი დენის ელექტრული ტრანსპორტის ელექტრომომარაგების გაერთიანებულ გარდამქმნელ სისტემაში IGBT- ტრანზისტორული მოდულებიანი მართვადი სამფაზა უკუ გამმართველი აგრეგატის გათვალისწინებით იმპულსური მართვის ალგორითმების დამუშავება/ „ენერჯია“. №1(105). 2023.

**DEVELOPMENT OF UNIVERSAL METHODS FOR MATHEMATICAL AND COMPUTER MODELING OF PROCESSES IN CONTROLLED RECTIFIER AND INVERTER UNITS FOR RAILWAY POWER SUPPLY.**

*G. Kokhreidze, G. Khorbaladze, Gocha Kokhreidze, G. Qadagishvili.*

“Energy”. №2(110). 2024. Tbilisi. p. 24-29. geo. sum geo. engl.rus.

This article presents part of the scientific-engineering work conducted on the development of universal methods of mathematical and computer modeling for managing the operation processes of automatically regulated asynchronous short-circuited rotor traction motors in locomotives, based on direct current (DC) traction substations. The study developed modernized electrical circuits of a unified converter system and performed comprehensive mathematical and computer modeling of electromagnetic and electromechanical transients, as well as steady-state processes within this system. To achieve accurate engineering results in the study of traction motor operation processes, the following were considered in the mathematical and computer modeling: the high-voltage network with its primary parameters; active resistances, leakage, and mutual inductances of the power three-phase transformer; cathode and anode reactors; main three-phase controlled and reverse controlled units required for reactive power compensation; an inverter unit for three-phase voltage frequency regulation; three-phase star-connected capacitor banks for excitation of the asynchronous machine in generator mode; parameters of the contact and track circuits; and high-speed IGBT-insulated gate bipolar transistor modules, where the commutation angle is negligible and therefore not considered during phase-to-phase switching. The study determined the waveform diagrams of the phase voltages in the primary and secondary windings of the receiving network and the traction power transformer under conditions of traction, and recuperative braking modes of the electric rolling stock; developed pulse control algorithms for the IGBT-transistor modules; and provided generalized expressions for n-order harmonics of the relevant commutation functions based on currents and voltages.

*Ill. 1, bibl.2.*

**РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНЫХ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО И КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ В УПРАВЛЯЕМЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫХ И ИНВЕРТОРНЫХ АГРЕГАТАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ**

*Г.Кохреидзе, Г. Хорбаладзе, Гоча Кохреидзе, Г. Кадагшвили*

“Энергия”. № 2(110).2024 . Тбилиси. с. 24-29. груз. реф. груз.англ. рус.

В статье представлены на основе тяговой подстанции постоянного тока часть завершенных научно-инженерных работ по разработке универсальных методов математического и компьютерного моделирования процессов, в разных режимах работы автоматически регулируемых трехфазных асинхронных тяговых двигателей с короткозамкнутым ротором, расположенные в локомотиве. Разработаны модернизированные электрические схемы единой преобразовательной системы и проведено полноценное математическое и компьютерное моделирование электромагнитных и электромеханических переходных и установившихся процессов. При математическом и компьютерном моделировании были учтены: сеть высокого напряжения со своими первичными параметрами; активные сопротивления; индуктивности рассеяния и взаимные индуктивности; катодный и анодный реакторы; трехфазные основные управляемые и для компенсации реактивной мощности управляемые обратные выпрямительные агрегаты; инверторный агрегат частотного регулирования трехфазного напряжения; звездное соединение конденсаторной трехфазной установки, для возбуждения асинхронной машины, находящейся в генераторном режиме при рекуперативном торможении поездов; IGBT-транзисторные биполярные модули с изолированными затворами, угол коммутации который в расчете не принимается во внимание, в связи пренебрежительно малых их значениям; волновые диаграммы всех фазных напряжений в условиях сдвига, тяги и рекуперативного торможения; алгоритмы импульсного управления IGBT- транзисторных модулей; обобщенные выражения в функции времени гармоников n-го порядка коммутационных функцией по току и по напряжения.

*Илл. 1, лит. 4 назв.*

ელექტროენერგეტიკული ქსელის მოწესრიგება და არსებული გამოწვევები

ნათია თინიკაშვილი - მაგისტრანტი

E-mail: [natia.tinikashvili@gse.com.ge](mailto:natia.tinikashvili@gse.com.ge)

ზვიად გაჩეჩილაძე - აკადემიური დოქტორი

E-mail: [zviad.gachechiladze@gse.com.ge](mailto:zviad.gachechiladze@gse.com.ge)

გიორგი ხორბალაძე - აკადემიური დოქტორი

E-mail: [giorgi.khorbaladze@gse.com.ge](mailto:giorgi.khorbaladze@gse.com.ge)

გოჩა კოხრეიძე - საქართველოს ენერგეტიკის აკადემიის ნამდვილი წევრი

E-mail: [gocha.kokhreidze@gse.com.ge](mailto:gocha.kokhreidze@gse.com.ge)

სს „საქართველოს სახელმწიფო ელექტროსისტემა“

*ანოტაცია.* განხილულია ელექტროენერგეტიკული ქსელის მოწესრიგების საკანონმდებლო ჩარჩო, რაც მოიცავს ქსელის მფლობელი სუბიექტების იდენტიფიცირებას და ქსელის მიკუთვნების კრიტერიუმების განსაზღვრავს. ამასთანავე, აქცენტი გაკეთებულია სისტემის სამ ძირითად გამოწვევაზე, რომელთა წარმატებით გადაწყვეტა კრიტიკულად მნიშვნელოვანია ელექტროენერგეტიკული სისტემის მოწესრიგებისთვის.

*საკვანძო სიტყვები:* ელექტროენერგეტიკული ქსელის მოწესრიგება, გადამცემი სისტემის ოპერატორი, გამანაწილებელი სისტემის ოპერატორი, ქსელის მიკუთვნების კრიტერიუმები, ქსელის დანაკარგები, მსხვილი მომხმარებელი, მწარმოებელი, კანონმდებლობასთან შესაბამისობა.

„ერთის მხრივ, საქართველოსა და მეორეს მხრივ, ევროკავშირს და ევროპის ატომური ენერჯის გაერთიანებას და მათ წევრ სახელმწიფოებს შორის ასოცირების შესახებ შეთანხმების“ XXV-ე დანართის გათვალისწინებით<sup>1</sup>, საქართველო, ეროვნულ კანონმდებლობას ენერგეტიკის დარგში, აახლოებს ევროკავშირის კანონმდებლობას და საერთაშორისო სამართლებრივ ინსტრუმენტებს. აღნიშნული პროცესის ფარგლებში, საქართველოს პარლამენტმა, 2019 წელს მიიღო ენერგეტიკისა და წყალმომარაგების შესახებ ახალი კანონი (შემდგომ - „კანონი“), რომელმაც საფუძველი ჩაუყარა საქართველოში ელექტრო-

ენერგეტიკული ქსელის მოწესრიგების ძირითად პრინციპებს.

კანონმა, ელექტროენერგეტიკული ქსელის მესაკუთრედ ცნო ელექტროენერჯის გადამცემი და გამანაწილებელი სისტემის ოპერატორები და დაადგინა მათთვის ქსელის მიკუთვნების კრიტერიუმები. კერძოდ, გადამცემი სისტემის ოპერატორის ელექტრულ ქსელს მიეკუთვნება ყველა ის ელექტროენერგეტიკული მოწყობილობები, ტრანსფორმატორები და ელექტროენერჯის გადამცემ სისტემაში არსებული მიწოდების პუნქტების დამაკავშირებელი, 110 კვ-ზე მაღალი ძაბვის საფეხურის ხაზები (აგრეთვე ტელეკომუ-

<sup>1</sup> ასოცირების შესახებ შეთანხმება ერთის მხრივ, საქართველოსა და მეორეს მხრივ, ევროკავშირს და ევროპის ატომური ენერჯის გაერთიანებას და მათ

წევრ სახელმწიფოებს შორის <https://matsne.gov.ge/ka/document/view/2496959?publication=4>

ნიკაციისა და საინფორმაციო ტექნოლოგიების აღჭურვილობები და სხვა ინფრასტრუქტურა), რომლებიც საჭიროა გადამცემი ქსელის ფუნქციონირებისათვის.<sup>2</sup> მეორეს მხრივ, გამანაწილებელი სისტემის ოპერატორის ელექტროქსელს მიეკუთვნება ყველა ის ელექტროენერგეტიკული მოწყობილობები, ტრანსფორმატორები და ელექტროენერჯიის გამანაწილებელ სისტემაში არსებული მიწოდების პუნქტების დამაკავშირებელი, არაუმეტეს 110-კვ-იანი ძაბვის საფეხური, საშუალო და დაბალი ძაბვის ხაზები (აგრეთვე ტელეკომუნიკაციისა და საინფორმაციო ტექნოლოგიების აღჭურვილობებისა და სხვა ინფრასტრუქტურისგან), რომლებიც საჭიროა გამანაწილებელი ქსელის ფუნქციონირებისათვის, გარდა ელექტროენერჯიის გადამცემი ქსელის კატეგორიისთვის მიკუთვნებული ინფრასტრუქტურისა.<sup>3</sup>

შესაბამისად ითვლება, რომ სს „საქართველოს სახელმწიფო ელექტროსისტემის“, როგორც გადამცემი სისტემის ოპერატორის ლიცენზიის მქონე სუბიექტის კუთვნილებაში, უნდა იყოს 110 კვ-ზე მაღალი ძაბვის საფეხურის ხაზები/შესაბამისი მოწყობილობები, ხოლო გამანაწილებელი სისტემის ოპერატორების, სს „თელასის“ და სს „ენერჯო-პროჯორჯის“ - 110 და 110 კვ-ზე დაბალი ძაბვის საფეხურის ხაზები/შესაბამისი მოწყობილობები.

ელექტროენერგეტიკული ქსელის გამიჯვნისა და მოწესრიგების მიზნე-

ბისათვის, აუცილებელია აღინიშნოს, რომ საქართველოს მთავრობის გადაწყვეტილებით, ცალკეული 110-კვ-იანი ან 110 კვ-ზე დაბალი ძაბვის საფეხურის ხაზი/ქვესადგური, რომელიც გამოიყენება სასისტემო ან/და სისტემათაშორისი ტრანზიტისთვის, შესაძლებელია გაყვანილ იქნეს ელექტროენერჯიის გადამცემი ქსელის კატეგორიაში, რაც ცალსახად მიეთითება გადამცემი სისტემის ოპერატორის ლიცენზიაში.<sup>4</sup>

კანონმდებლობის შესაბამისად, ქსელის მოწესრიგების მიზნით მნიშვნელოვანი ნაბიჯებია წინ გადადგმული. გადამცემი ქსელის წესების მოთხოვნათა შესაბამისად, 2023 წ. გადამცემი სისტემის ოპერატორმა, იჯარის ხელშეკრულებით გადასცა სს „თელასს“ და სს „ენერჯო პროჯორჯიას“ (მათი სალიცენზიო არეალის შესაბამისად) მის მფლობელობაში მყოფ ელექტროენერგეტიკულ ქსელზე არსებული 35 კვ ძაბვამდე არსებული 15 მიერთების წერტილი. ამ გზით მომხმარებელსა და გადამცემი სისტემის ოპერატორს შორის გაჩნდა გამანაწილებელი სისტემის ოპერატორი.

ამას გარდა, გამანაწილებელი სისტემის ოპერატორები მათი სალიცენზიო არეალის მიხედვით, ჩაითვალებენ 110 კვ ძაბვამდე არსებული ყველა იმ მიერთების წერტილის მფლობელად, რომელთა მეშვეობითაც 2021 წ. 1 ივლისამდე ახორციელებდნენ 0.4-35 კვ ძაბვის ქსელზე მიერთებული

<sup>2</sup> საქართველოს კანონი ენერგეტიკისა და წყალმომარაგების შესახებ, მუხლი 3, ქვეპუნქტი „3“  
<https://matsne.gov.ge/ka/document/view/4747785?publication=9>

<sup>3</sup> საქართველოს კანონი ენერგეტიკისა და წყალმომარაგების შესახებ, მუხლი 3, ქვეპუნქტი „ჯ“

<https://matsne.gov.ge/ka/document/view/4747785?publication=9>

<sup>4</sup> საქართველოს კანონი ენერგეტიკისა და წყალმომარაგების შესახებ, მუხლი 3, ქვეპუნქტი „3“  
<https://matsne.gov.ge/ka/document/view/4747785?publication=9>



მომხმარებლებისთვის ელექტროენერჯიის მიწოდებას/განაწილებას.<sup>5</sup>

აღნიშნული ღონისძიებების გატარების მიუხედავად, ჯერ კიდევ არსებობს ისეთი საკითხები, რომელთა მოგვარებაც ქსელის მოწესრიგებისთვის კრიტიკულად მნიშვნელოვანია. წინამდებარე სტატიაში განხილულია ასეთი სამი ძირითადი შემთხვევა.

*I შემთხვევა:*

ზოგიერთი მსხვილი მომხმარებელი და მწარმოებელი ფლობს ელექტროენერჯეტიკულ ქსელს, რის გამოც ისინი ფაქტობრივად მონაწილეობენ ელექტროენერჯიის გადაცემის ან/და განაწილების საქმიანობებში (მათი ქსელი გამოიყენება ელექტროენერჯიის გადაცემისთვის ან და განაწილებისთვის). აღნიშნული ქეისი ხასიათდება რიგი სამართლებრივი გამოწვევებით.

უპირველ ყოვლისა, ელექტროენერჯიის გადაცემა და განაწილება კანონით დადგენილი ექსკლუზიური საქმიანობებია და მათი განხორციელება დაუშვებელია საქართველოს ენერჯეტიკისა და წყალმომარაგების მარეგულირებელი ეროვნული კომისიის მიერ გაცემული შესაბამისი ლიცენზიის გარეშე. ამასთანავე, კანონით დადგენილი იმპერატიული ნორმების შესაბამისად, ქსელის მესაკუთრეები უნდა იყვნენ სისტემის ოპერატორები და არა მომხმარებელი/ მწარმოებელი.

დამატებით უნდა აღინიშნოს, რომ მწარმოებლებსა და მსხვილ მომხმარებლებს ქსელის ფლობის გამო უფიქსირდებათ ქსელის დანაკარგები, რაზეც ისინი ფინანსურად არიან პასუხისმგებელნი. დიდი ალბათობით, ასეთი შემთხვევები მწარმოებლებისა ან/და მსხვილი მომხმარებლებისთვის კიდევ უფრო მტკივნეული

გახდება, როდესაც საქართველოს მთავრობის 2020 წლის 16 აპრილის №246 დადგენილებით დამტკიცებული „ელექტროენერჯიის ბაზრის მოდელის კონცეფციის“ მე-16 მუხლის 2<sup>1</sup> პუნქტით დადგენილ ვადაში, საქართველოში ამოქმედდება ელექტროენერჯიის საბალანსო და დამხმარე მომსახურებების ბაზარი.<sup>6</sup> საბალანსო და დამხმარე მომსახურებების ბაზრის არსებობის პირობებში, მათი ქსელის დანაკარგები შექმნის/გაზრდის მათ უბალანსობას. შესაბამისად, მათ მოუწევთ ისეთი ქსელის არსებობით გამოწვეული უბალანსობის ღირებულების გადახდა, რომელიც მათ კანონის შესაბამისად არ უნდა ეკუთვნოდეთ. აგრეთვე, ნაკლებია იმისი ალბათობა, რომ ნახსენები სუბიექტები შეძლებენ უბალანსობის თავიდან არიდებას შესაბამისი ნომინაციების დაცვით, რადგან მათ არ გააჩნიათ მათ ქსელებში გადაცემული/განაწილებული ელექტროენერჯიის მოცულობის პროგნოზირების შესაძლებლობები. მაგალითისთვის, შესაძლოა, რომ მწარმოებელი უბალანსობაში გავიდეს მაშინაც კი, როდესაც სადგური არ აწარმოებს ელექტროენერჯიას (გაჩერებულ მდგომარეობაში), რადგან მის კუთვნილებაში არსებული ქსელი გამოიყენება გადაცემის/ განაწილების საქმიანობებისთვის.

პირველი შემთხვევის გათვალისწინებით რეკომენდირებულია დაიდენტიფიცირდეს ყველა ის ქსელი და მასთან დაკავშირებული მოწყობილობა, რომელიც კანონის მიხედვით არ უნდა ეკუთვნოდეს მწარმოებელს ან/და მსხვილ მომხმარებელს და გადაეცეს შესაბამისი სისტემის ოპერატორს, ქსელის კუთვნილების კრიტერიუმისა და სალიცენზიო არეალის შესაბამისად.

<sup>5</sup> გადაცემი ქსელის წესები, მუხლი 324<sup>3</sup>  
<https://matsne.gov.ge/ka/document/view/2322689?publication=22>

<sup>6</sup> „ელექტროენერჯიის ბაზრის მოდელის კონცეფცია“  
<https://www.matsne.gov.ge/ka/document/view/4852064?publication=11>



აღნიშნული რეკომენდაციის გათვალისწინებით, ფაქტობრივი გარემოებები შესაბამისობაში მოვა კანონმდებლობასთან და ქსელის დანაკარგები ლეგიტიმურად განაწილდება გადამცემი/ გამანაწილებელი სისტემის ოპერატორებს შორის.

### II შემთხვევა

ამ ეტაპზე არსებობის ისეთი შემთხვევები, როდესაც მსხვილი მომხმარებელი ან/და მწარმოებელი მიერთებულია არა შესაბამისი სისტემის ოპერატორის ქსელზე, არამედ სხვა მსხვილი მომხმარებლის/მწარმოებლის ქსელზე. ასეთი შემთხვევები მნიშვნელოვნად ართულებს მოხმარებული, წარმოებული, გადაცემული და განაწილებული ელექტროენერჯიის ზუსტად აღრიცხვის პროცესს. ელექტროენერგეტიკული ქსელის მოწესრიგებით კი, ყველა სუბიექტი მიუერთდება შესაბამის სისტემის ოპერატორს და აღმოიფხვრება არსებული გამოწვევა.

### III შემთხვევა

გადამცემი სისტემის ოპერატორი ფლობს ზოგიერთ ქსელს, რომელიც უნდა ეკუთვნოდეს გამანაწილებელი სისტემის ოპერატორს და პირიქით, რაც შეუსაბამოა მოქმედ კანონმდებლობასთან. აღნიშნულის აღმოსაფხვრელად მნიშვნელოვანია, რომ დაინტიფიცირდეს 110 და 110 კვ-ზე დაბალი ძაბვის საფეხურის ხაზები და შესაბამისი მოწყობილობები, გადაეცეს შესაბამის გამანაწილებელი სისტემის ოპერატორს (მათი სალიცენზიო არეალის მიხედვით). ასევე, დაინტიფიცირდეს 110 კვ-ზე მაღალი ძაბვის საფეხურის ხაზები, რომლებიც ამ ეტაპზე ეკუთვნის გამანაწილებლებს და გადაეცეს გადამცემი სისტემის ოპერატორს (გსო). გადამცემი სისტემის ოპერატორის

სალიცენზიო პირობების მიხედვით, გსო ვალდებულია საკუთრებაში ჰქონდეს ან ფლობდეს გადამცემ ქსელს იმგვარი სამართლებრივი საფუძვლით, რომელიც მას ანიჭებს უფლებას, მართოს და ოპერირება გაუწიოს ქსელის აქტივებს.<sup>7</sup>

აღნიშნული ღონისძიებების გატრებით და რეკომენდაციების გათვალისწინებით, საქართველოს ელექტროენერგეტიკული სისტემა შესაბამისობაში მოვა კანონით დადგენილ იმპერატიულ ნორმებთან, რაც საბოლოო ჯამში გაზრდის ელექტროენერგეტიკული ქსელის ეფექტურობას, საიმედოობას და ენერგეტიკული უსაფრთხოების დონეს.

### ლიტერატურა

1. ასოცირების შესახებ შეთანხმება ერთის მხრივ, საქართველოსა და მეორეს მხრივ, ევროკავშირს და ევროპის ატომური ენერჯიის გაერთიანებას და მათ წევრ სახელმწიფოებს შორის.
2. საქართველოს კანონი ენერგეტიკისა და წყალმომარაგების შესახებ.
3. „ქსელის წესების“ დამტკიცების შესახებ, საქართველოს ენერგეტიკისა და წყალმომარაგების მარეგულირებელი ეროვნული კომისიის, 2014 წლის 17 აპრილის, №10 დადგენილება.
4. „ელექტროენერჯიის ბაზრის მოდელის კონცეფციის დამტკიცების შესახებ“. საქართველოს მთავრობის 2020 წლის 16 აპრილის №246 დადგენილება.
5. სს „საქართველო სახელმწიფო ელექტრო-სისტემაზე“ ელექტროენერჯიის გადაცემის ლიცენზიის გაცემის შესახებ“, საქართველოს ენერგეტიკისა და წყალმომარაგების მარეგულირებელი ეროვნული კომისიის 2021 წლის 13 მაისის №20/1 გადაწყვეტილება.

<sup>7</sup> საქართველოს ენერგეტიკისა და წყალმომარაგების მარეგულირებელი ეროვნული კომისიის გადაწყვეტილება სს

„საქართველო სახელმწიფო ელექტრო-სისტემაზე“ ელექტროენერჯიის გადაცემის ლიცენზიის გაცემის შესახებ, მუხლი 4, პუნქტი 2.

**THE ORGANIZATION OF THE ELECTRICITY GRID AND CURRENT CHALLENGES.**

*N. Tinikashvili, G. Khorbaladze, Z. Gachechiladze, I. Chomakhidze, G. Kokhreidze.*

“Energy”. №2(110). 2024. Tbilisi. p. 30-34. geo. sum geo. engl.rus.

In article examines the legislative framework for organizing the electricity grid. This includes identifying grid-owning entities and establishing the criteria for grid affiliation. Furthermore, it focuses on three main challenges within the system that must be successfully resolved for effective organization of the electricity grid.

*Bibl. 5.*

**ОРГАНИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ И ТЕКУЩИЕ ВЫЗОВЫ**

*Н. Тиникашвили, Г. Хорбаладзе, З. Гачечиладзе, И. Чомахидзе, Г. Кохреидзе*

“Энергия”. № 2(110).2024 . Тбилиси. с. 30-34. груз. реф. груз.англ. рус.

Рассматривается законодательная основа для организации электрической сети, включающая в себя идентификацию субъектов, владеющих сетью и установление критериев для принадлежности сети. Кроме того, акцент делается на трех основных проблемах в системе, которые необходимо успешно решить для эффективной организации электрической сети.

*Лит. 5 назв.*

გენერაციის ადეკვატურობის შეფასება პროგრამა Antares-ის გამოყენებით

ირაკლი ვახტანგაძე - ასისტენტ პროფესორი

E-mail: [irakli.vakhtangadze@gse.com.ge](mailto:irakli.vakhtangadze@gse.com.ge)

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

*ანოტაცია.* განხილულია ელექტროენერჯიის გენერაციის ადეკვატურობის შეფასების ერთ-ერთი მეთოდი, რომელიც გამოიყენება სხვადასხვა ქვეყნის გადამცემი სისტემის ოპერატორების მიერ, ასევე წარმოდგენილია ადეკვატურობის შეფასების სხვადასხვა მაჩვენებლები, აგრეთვე ის ფაქტორები, რასაც გავლენა აქვს ადეკვატურობის შეფასების პროცესზე. გარდა ამისა, მოცემულია საანგარიშო მოდელში შემავალი როგორც ტექნიკური, ისე ეკონომიკური ინფორმაცია და განხილულია მიღებული შედეგები. მსგავსი ტიპის მოდელირებას ძირითადად ახორციელებს გადამცემი სისტემის ოპერატორი, რომელიც უჩვენებს მოკლე, საშუალო და გრძელვადიან პერსპექტივაში, ელექტროსისტემაში ენერჯიის მოსალოდნელი დეფიციტის ან პროფიციტის სიდიდეებს. მსგავსი კვლევები არის მნიშვნელოვანი, რადგან დაინტერესებულ მხარეებს აძლევს შესაძლებლობას მიიღონ ეფექტური გადაწყვეტილებები ელექტროსისტემის დაგეგმვისთვის.

*საკვანძო სიტყვები:* გენერაციის ადეკვატურობის შეფასება, გადამცემი სისტემის ოპერატორი, ელექტროსისტემა.

გენერაციის ადეკვატურობის ანალიზი ტარდება იმისათვის, რომ შეფასდეს ელექტროსისტემის გენერაციის უნარი/შესაძლებლობა დაფაროს სისტემის ჯამური მოხმარება. არსებობს ადეკვატურობის შეფასების რამდენიმე ძირითადი მაჩვენებელი/ინდექსი, რომელიც ჩვეულებრივ გამოიყენება ამ უნარის შესაფასებლად (LOLE, LOLP, EENS) და შესაბამისი ანალიზისთვის შემუშავებულია ანგარიშის დეტერმინისტული და ალბათური მეთოდები. გენერაციის ადეკვატურობის შესაფასებლად გამოყენებულ იქნა კომპიუტერული პროგრამა Antares. აღნიშნული პროგრამა იძლევა შესაძლებლობას ელექტროსადგურების მინიმალური ფასის და ელექტროსისტემის ადეკვატურობის ძირითადი მაჩვენებლების გათვალისწინებით, განახორციელოს ჯამური მომხმარებლის დაფარვა.

1. LOLE (Loss of load expectation) - დატვირთვის შეზღუდვის მოლოდინი - საანგარიშო პერიოდის მანძილზე საათების ის მოსალოდნელი რაოდენობა, რა დროსაც

ვერ განხორციელდება შიდა გენერაციის წყაროების მიერ მომხმარებლის სრულად დაფარვა (განზომილება სთ/წელი).

2. LOLP (Loss of load probability) - დატვირთვის შეზღუდვის ალბათობა - საანგარიშო პერიოდის დროის ის შესაძლო რაოდენობა, რა დროსაც ვერ განხორციელდება შიდა გენერაციის წყაროების მიერ მომხმარებლის სრულად დაფარვა (განზომილება %).

3. EENS (Expected Energy Not Served) - მიუწოდებელი ენერჯიის მოსალოდნელი სიდიდე - ელექტროენერჯიის ის მოსალოდნელი მოცულობა, რომლის მიწოდებაც ვერ განხორციელდება მომხმარებლისთვის ენერჯიის დეფიციტის გამო (განზომილება მგვტ.სთ).

სიმულაციის საშუალებით, გენერაციის ადეკვატურობის ანგარიში Monte-Carlo მეთოდის გამოყენებით ნიშნავს: ელექტროსისტემის ისეთ რეჟიმს, როდესაც გენერაცია ვერ ფარავს ჯამურ მოხმარებას, არის შემთხვევითი ხდომილების კომბინაციის შედეგი. მაგალითად წელიწადის ნებისმიერ

დროს, დეფიციტი შეიძლება გამოწვეულ იქნას მოხმარების მოსალოდნელზე მეტად ზრდით, რომელიც შეიძლება გამოწვეულ იქნას გარემო ტემპერატურის მკვეთრი შემცირებით ან ზრდით, ასევე გენერაციის მკვეთრი შემცირებით, მაგალითად, ელექტროსადგურების

გაუთვალისწინებული შეკეთებით, მშრალი ჰიდროლოგიით და ქარის სადგურების მცირე გამომუშავებით.

პროგრამა Antares, ადეკვატურობის შეფასების ანგარიშის ფარგლებში ტექნიკური პარამეტრების გარდა, ასევე იყენებს ეკონომიკურ პარამეტრებსაც (გენერაციის ღირებულება), რომელი არ

წარმოადგენს ადეკვატურობის პარამეტრს, მაგრამ არის მნიშვნელოვანი ნებისმიერი სახის ეკონომიკური წონასწორობის შეფასებისთვის. პროგრამა Antares-ში შემუშავებული მოდელი წარმოადგენს კონკურენტუნარიანი ბაზრის მსგავს მოდელს.

პროგრამა Antares-ში შეტანილი ინფორმაცია იყო ორ კატეგორიად - მოხმარება და ელექტროსადგურები. მოდელში მოხმარების დასაფარად გამოყენებულია ხუთი ჰიდრო სადგური, ერთი თბოსადგური და ერთი ქარის სადგური. მათი პარამეტრები მოცემულია ქვემოთ ცხრილში.

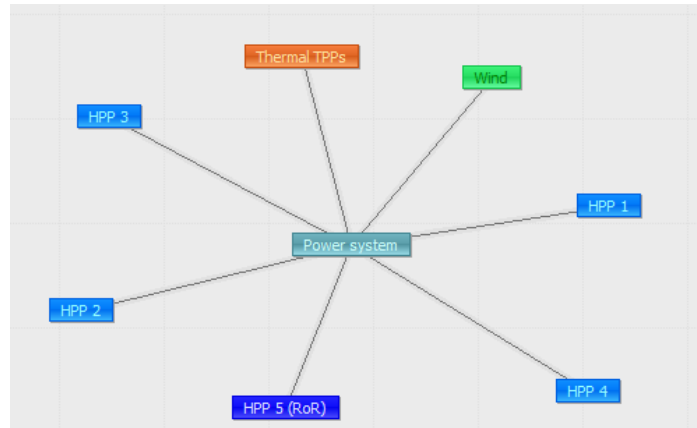
Antares-ის მოდელში შემავალი ელექტროსადგურების ძირითადი მონაცემები

ცხრილი

დასახელება	რეგულირების ტიპი	დადგმული სიმძლავრე - მგვტ	საშუალო გამომუშავება თვეში (მგვტ.სთ)
ჰესი 1	მარეგულირებელი	1600	900000
ჰესი 2	მარეგულირებელი	150	69000
ჰესი 3	მარეგულირებელი	455	257000
ჰესი 4	მარეგულირებელი	225	129000
ჰესი 5	არამარეგულირებელი	250	108000
თბოსადგური	მარეგულირებელი	250	182000
ქარის სადგური	არამარეგულირებელი	20	7330

აღნიშნული სადგურების მიერ გენერირებული ენერჯია გამოიყენება ჯამური მოხმარების დასაფარად, როგორც ზედა ცხრილშია მოცემული, ქარის სადგური და მოდინებაზე მომუშავე ჰესი 5 წარმოადგენს არამარეგულირებელ სადგურებს და მოდელში მათი გამომუშავება არის პროგრამაში შეტანილი გენერაციის პროფილის მიხედვით, ხოლო ჰესი 1, ჰესი 2, ჰესი 3 და ჰესი 4 წარმოადგენს მარეგულირებელ ჰიდროსადგურებს და შესაბამისად მათი საშუალებით ხორ-

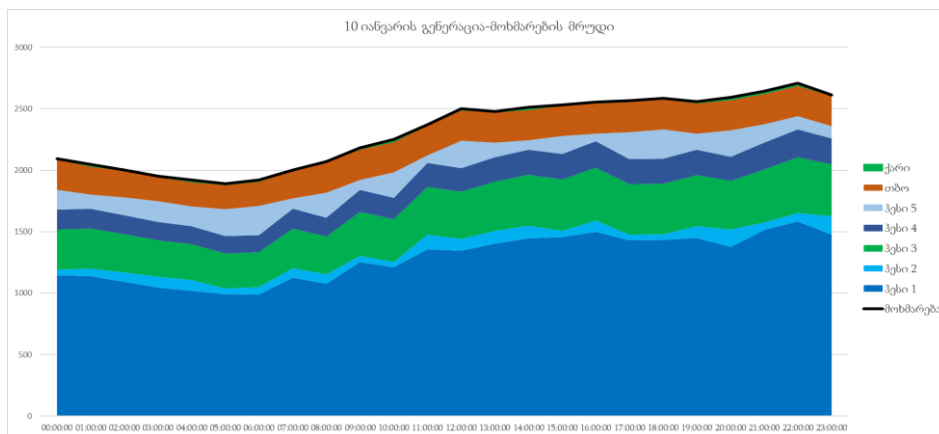
ციელდება ელექტროსისტემის დაბალანსება. დაბალანსების მიზნით ასევე გამოიყენება თბოსადგურიც, რომელსაც ჰიდროსადგურისგან განსხვავებით აქვს ტექნიკური შეზღუდვა, კონკრეტულად ამ მაგალითისთვის აღნიშნული თბოსადგურის მინიმალური გამომუშავებაა 200 მგვტ და შესაბამისად ის გამომუშავებას არეგულირებს 200 მგვტ-დან 250 მგვტ-ის ფარგლებში. ამასთან, ამ თბოსადგურისთვის ზღვრული დანახარჯები (Marginal cost) დაშვებულ იქნა როგორც 40 €/მგვტ.სთ.



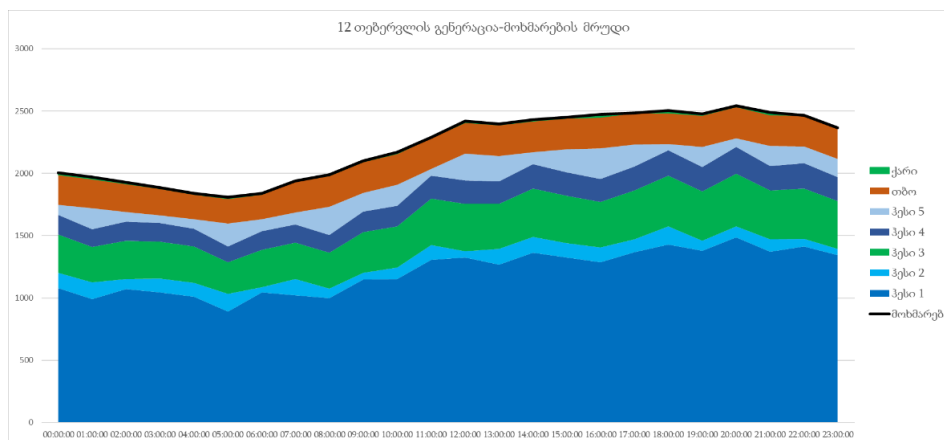
ნახ. 1. Antares-ის მოდელში შემავალი მოხმარება და ელექტროსადგურები

ქვემოთ მოცემული მრუდები წარმოადგენს სიმულაციის შედეგებს, მთლიანი სიმულაციის პერიოდიდან აღებულია რამდენიმე დღის მრუდი (ნახ. 2,

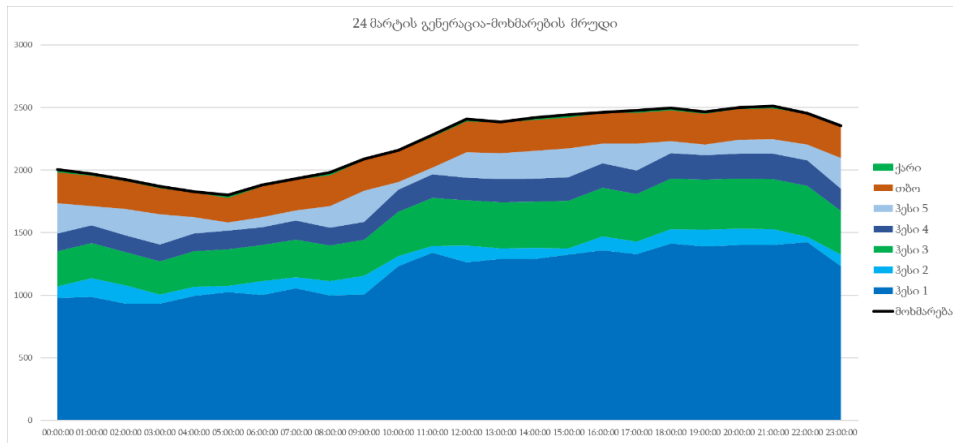
3 და 4), სადაც გენერაციის ტიპების მიხედვით წარმოდგენილია მოხმარების დაფარვა.



ნახ. 2. გენერაცია-მოხმარების ბალანსი 10 იანვრის სიმულაციური დღისთვის



ნახ. 3. გენერაცია-მოხმარების ბალანსი 12 თებერვლის სიმულაციური დღისთვის



ნახ. 4. გენერაცია-მოხმარების ბალანსი 24 მარტის სიმულაციური დღისთვის

როგორ შედეგებიდან ჩანს, მოდელირებული გენერაციის წყაროები სრულად ფარავს მოხმარებას და აღნიშნული პერიოდის მანძილზე არ ფიქსირდება მოხმარებლისთვის მიუწოდებელი ენერჯია (ENS). შესაბამისად ადეკვატურობის მაჩვენებლები არიან

ნულის ტოლი და ელექტროენერგეტიკული სისტემის გენერაცია არის მოხმარების ადეკვატური.

ლიტერატურა

1. “ელექტროენერჯიის მიწოდების უსაფრთხოების წესები”. საქართველოს ეკონომიკისა და მდგრადი განვითარების მინისტრო. 2020 წლის 2 დეკემბერი.

## ASSESSMENT OF GENERATION ADEQUACY USING ANTARES SOFTWARE.

*I. Vakhtangadze.*

“Energy”. №2(110). 2024. Tbilisi. p. 35-39. . geo. sum geo. engl.rus.

One of the methods for assessing the adequacy of electricity generation used by transmission system operators in different countries is considered. Various assessment indicators and factors influencing its process are presented. In addition, both technical and economic information included in the reporting model is provided and the results obtained are discussed. A similar type of modeling is usually performed by the transmission system operator, which shows short-term, medium-term and long-term estimates of the expected energy deficit or surplus in the power system. Such studies are important because they allow stakeholders to make effective decisions on power system planning. There are several main adequacy indices (LOLE, LOLP, EENS) commonly used to assess the above requirement. For the corresponding analysis, deterministic and probabilistic methods have been developed and. Antares computer software was used. The mentioned program makes it possible to cover the total load, taking into account the least-cost optimization and the main indicators of the power system adequacy.

*Ill. 4, bibl. 1.*

**ОЦЕНКА АДЕКВАТНОСТИ ГЕНЕРАЦИИ С ПОМОЩЬЮ ПО ANTARES.**

*И.Вахтангадзе.*

“Энергия”. № 2(110).2024 . Тбилиси. с. 35-39. груз. реф. груз.англ. рус.

Рассмотрен один из методов оценки достаточности генерации электроэнергии, который используется операторами передающих систем разных стран. Представлены различные показатели оценки и факторы, влияющие на ее процесс. Кроме того, приводится как техническая, так и экономическая информация, включенная в модель отчетности, и обсуждаются полученные результаты. Аналогичный тип моделирования обычно выполняется оператором системы передачи, который показывает краткосрочные, среднесрочные и долгосрочные оценки ожидаемого дефицита или избытка энергии в энергосистеме. Такие исследования важны, поскольку они позволяют заинтересованным сторонам принимать эффективные решения по планированию энергосистемы. Существует несколько основных индексов адекватности (LOLE, LOLP, EENS) обычно используемых для оценки вышеупомянутого требования. Для соответствующего анализа разработаны детерминированные и вероятностные методы и использовалось компьютерное программное обеспечение Antares. Упомянутая программа дает возможность покрывать общую нагрузку, учитывая оптимизацию с наименьшими затратами и основные показатели адекватности энергосистемы.

*Илл. 4, лит. 1.*

ახალი თაობის მუდმივი დენის ზეგამტარული ელექტროენერგეტიკული სისტემის აგების იდეოლოგიური საფუძვლები

თამაზ კობრიძე - ტექნ. მეცნ. დოქტორი, პროფესორი  
E-mail: kthamaz@gmail.com.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

*ანოტაცია.* შექმნილია ახალი თაობის მუდმივი დენის ზეგამტარული ელექტრო-ენერგეტიკული სისტემის აგების იდეოლოგიური საფუძვლები. განხილულია სისტემა: უკონტაქტო მუდმივი დენის გენერატორი - მუდმივი ძაბვის ზეგამტარული ტრანსფორმატორი მბრუნავი მაგნიტური ველის აგზნებით ამამალლებელ რეჟიმში - მუდმივი დენის ზეგამტარული კაბელი - მუდმივი ძაბვის ზეგამტარული ტრანსფორმატორი მბრუნავი მაგნიტური ველის აგზნებით დამადაბლებელ რეჟიმში - დატვირთვა. სიმძლავრის განშტოებისათვის სისტემაში ჩართულია მუდმივი ძაბვის ზეგამტარული ტრანსფორმატორი მბრუნავი მაგნიტური ველის აგზნებით. დამუშავებულია უკონტაქტო მუდმივი დენის გენერატორის ელექტრული სქემა მართვადი ნახევრადგამტარიანი კომუტატორით. დამუშავებულია მუდმივი ძაბვის ზეგამტარული ტრანსფორმატორის ელექტრული სქემა მბრუნავი მაგნიტური ველის აგზნებით. მართვადი ნახევრადგამტარიანი კომუტატორი შესრულებულია GTO- ჩამკეტი ტირისტორების ბაზაზე. ნაჩვენებია, რომ ახალი თაობის მუდმივი დენის ზეგამტარული ელექტროენერგეტიკული სისტემა ხასიათდება მნიშვნელოვნად შემცირებული მასაგაბარიტული პარამეტრებით, მაღალი საიმედოობით და ტექნიკო-ეკონომიური მაჩვენებლებით.

*საკვანძო სიტყვები:* ზეგამტარული, უკონტაქტო, კომუტატორი, ტირისტორი, ნახევრადგამტარიანი, მაგნიტური ველი, კაბელი.

ნახ. 1-ზე ნაჩვენებია ახალი თაობის მუდმივი დენის ელექტროენერგეტიკული სისტემის პრინციპული სქემა.

უკონტაქტო მუდმივი დენის გენერატორის (უმდგ) ძაბვა ამალდება ზეგამტარული ტრანსფორმატორის - 1 (ზგტ1) საშუალებით და სიმძლავრე გადაეცემა მუდმივი დენის ზეგამტარული კაბელით (ზგტ). ზეგამტარული ტრანსფორმატორი - 2(ზგტ2) ადაბლებს ძაბვას და სიმძლავრე მიეწოდება დატვირთვას (დ). დატვირთვა შეიძლება იყოს მუდმივი დენის ქსელი, მუდმივი დენის ძრავები, პასიური, აქტიური დატვირთვები. ზეგამტარული ტრანსფორმატორი - 3 (ზგტ3) ემსახურება სიმძლავრის განშტოებას. მუდმივ ძაბვაზე ელექტრული ენერჯიის გადაცემის ასეთი სისტემა მუშაობს. მდგრადად რეაქტიული

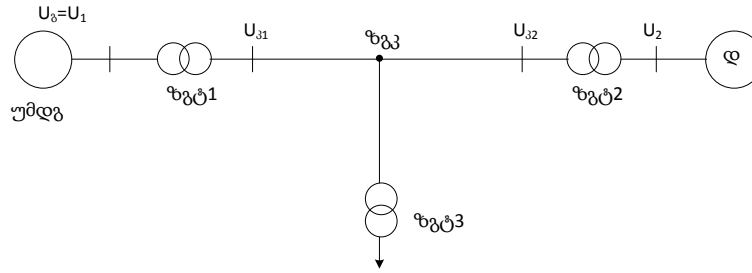
სიმძლავრის გარეშე, მინიმალური ძაბვის ვარდნით და სიმძლავრის დანაკარგებით.

ამჟამად აქტუალურია მუდმივი დენით ელექტრული ენერჯიის გადაცემა, განხორციელებული უშუალოდ უკონტაქტო მუდმივი დენის გენერატორიდან.

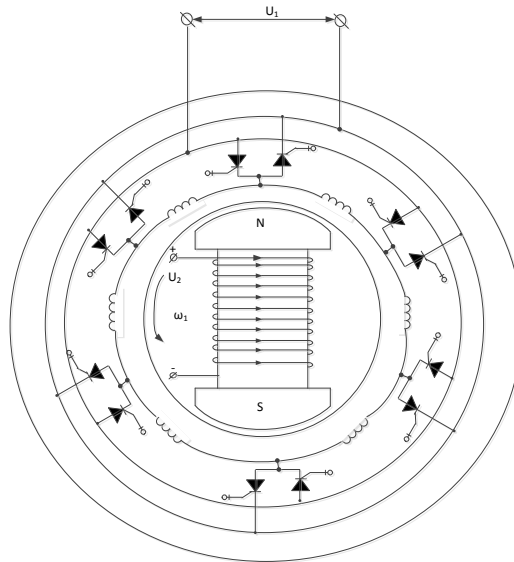
ნახ. 2-ზე ნაჩვენებია უკონტაქტო მუდმივი დენის გენერატორის ელექტრული სქემა მართვადი ნახევრადგამტარიანი კომუტატორით, შესრულებული მძლავრი თანამედროვე სრულად მართვადი ვენტილებით. ასეთი მუდმივი დენის გენერატორი ხასიათდება მაღალი საიმედოობით და ტექნიკო-ეკონომიური მაჩვენებლებით.

ნახ. 3-ზე ნაჩვენებია მუდმივი ძაბვის ზეგამტარული ტრანსფორმატორის ელექტრული სქემა [1].

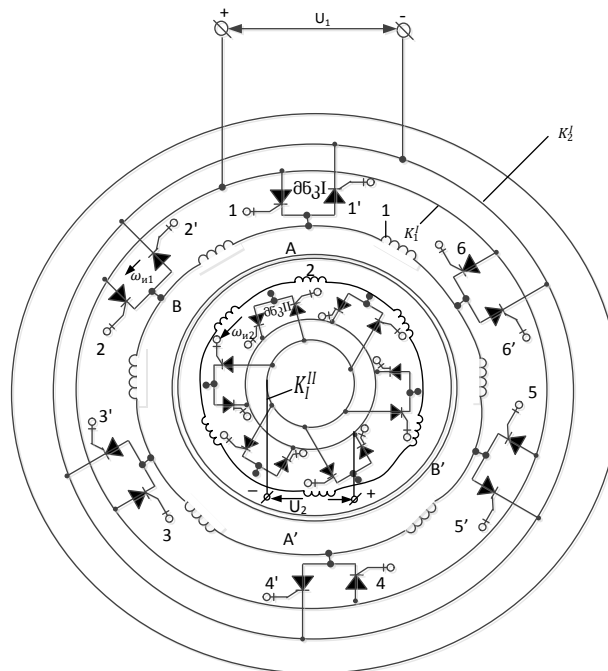




ნახ. 1. სახალი თაობის მუდმივი დენის ელექტროენერგეტიკული სისტემა



ნახ. 2. უკონტაქტო მუდმივი დენის გენერატორი



ნახ. 3. მუდმივი ძაბვის ზეგამტარული ტრანსფორმატორი მბრუნავი მაგნიტური ველის აგზუნებით

მუდმივი ძაბვის ზეგამტარული ტრანსფორმატორის დანიშნულებას წარმოადგენს ერთი სიდიდის მუდმივი ძაბვის გარდაქმნა მეორე სიდიდის მუდმივი ძაბვაში (ამაღლება ან დადაბლება).

ზგტ-ს გააჩნია პირველად 1 და მეორადი 2 ძალოვანი გრაგნილები ექვსი მიმდევრობით შეერთებული ურთიერთ შორის სექციებისგან. თითოეული სექციის გრაგნილთან მიერთებულია მარვადი ნახევრადგამტარული კომუტატორები (მნკ I და მნკII), რაც ახდენს ასეთ მუდმივი ძაბვის ზგტ-ს რეგულირებადს. ზგტ-ის ძალოვანი პირველადი და მეორადი გრაგნილები წარმოადგენენ შეკრულ გრაგნილებს.

მნკ I და მნკII შედგება პირდაპირი და უკუ ჩართული ნახევრადგამტარული გადამრთველებისგან (ნგ).

ნგ-ად გამოიყენება GTO- ჩამკეტი ტირისტორები. ზგტ-ის პირველადი გრაგნილის მნკ I შედგება  $N=6$  პირდაპირი (1-6) და  $N=6$  უკუ ჩართული ნგ-ისგან. პირდაპირად ჩართული ტირისტორების ანოდები შეერთებულია დენგამტარი სალტისმაგვარი  $K_1^I$  რგოლთან და მის გავლით „+“ დადებით მომჭერებთან კომუტატორების შესასვლელზე, ხოლო კათოდები იგივე ტირისტორების პირველადი გრაგნილის სექციების გავლით შეერთებულია უკუ ჩართულ ტირისტორებთან და მის გავლით დენგამტარი სალტისმაგვარი  $K_2^I$  რგოლთან, რომლის გავლით შეერთებულია „-“ უარყოფით მომჭერთან. სალტისმაგვარი რგოლთან მიწოდებულია პირველადი მუდმივი ძაბვა ზგტ-ის -  $U_1$ . ანალოგიურად მოწყობილია მნკ ზგტ-ის მეორადი გრაგნილის, რომლის გამოსასვლელი მომჭერები შეერთებულია დენგამტარი სალტისმაგვარი  $K_1^{II}$  და  $K_2^{II}$  რგოლებთან შეერთებული ზგტ-ის გამოსასვლელ მომჭერებთან, რომლიდანაც მოიხსნება მუდმივი გამოსასვლელი ძაბვა  $U_2$ .

მბრუნავი მაგნიტური ველი ზგტ-ში წარმოიქმნება პირველადი მხარეს  $U_1$  მუდმივი ძაბვის მიწოდების დროს, მნკI-ის პირდაპირი და უკუ ტირისტორების გადართვის შედეგად, როცა მიეწოდება

დენური იმპულსები ტირისტორების მართვად ელექტროდებზე. დროის პირველ ინტერვალში დადებითი დენური იმპულსები მიეწოდება დიამეტრულად განლაგებული პირდაპირი და უკუ 1 და 4' ტირისტორებს, ამ შემთხვევაში ყველა დანარჩენი ტირისტორები მნკI-ის ჩაკეტილია. პირველადი დენი ზგტ-ის გაივლის დადებითი „+“ მომჭერებიდან A წერტილის გავლით, განშტოვდება AA' პარალელურ შტოებზე, შემდეგ 4' ტირისტორის ანოდის გავლით მიაღწევს ზგტ-ის უარყოფითი „-“, მომჭერს. A და A' წერტილები განსაზღვრავენ მაგნიტური ველის სივრცულ მიმართულებას.

$\Delta t = \frac{2\pi}{\omega_u N}$  დროის ინტერვალის შემდეგ 1 და 4' ტირისტორებზე მიეწოდება ჩამკეტი იმპულსები, ხოლო მეზობელ პირდაპირ 2 და დიამეტრულად განლაგებულ უკუ 5' ტირისტორებს მიეწოდება დადებითი დენური იმპულსები, და ისინი გაიღება. მნკI-ის ყველა დანარჩენი ტირისტორები ამ შემთხვევაში ჩაკეტილია. დენი, დროის ამ ინტერვალში გაივლის ზგტ-ის „+“ მომჭერიდან 2 ტირისტორის ანოდის გავლით, შემდეგ განშტოვდება B წერტილის გავლით BB' პარალელურ შტოებზე, 5' უკუ ტირისტორის ანოდის გავლით მიაღწევს ზგტ-ის „-“ უარყოფით მომჭერს. მაგნიტური ველის სივრცული მიმართულება ამ შემთხვევაში განისაზღვრება B და B' წერტილებით, რომლებიც დაძრულია A და A' წერტილების მიმართ წრეზე  $\frac{2\pi}{N}$  კუთხეზე. ამ კუთხეზე ზგტ-ის პირველადი გრაგნილის მაგნიტური ველი შემობრუნებულია სივრცეში. დროის მესამე ინტერვალში ჩაიკეტება მნკI-ის 2 და 5' ტირისტორები და გაიღება 3 და 6' ტირისტორები და ზგტ-ის მაგნიტური ველი შემობრუნდება სივრცეში კიდევ  $\frac{2\pi}{N}$  კუთხეზე. დროის N ინტერვალის გავლით ზგტ-ის მაგნიტური ველი გააკეთებს ერთ ბრუნს.

$$\frac{2\pi}{N} N = 2\pi, T \text{ დროის განმავლობაში}$$

$$T = \Delta t N = \frac{2\pi}{\omega_u N} N = \frac{2\pi N}{2\pi f_u N} = \frac{1}{f_u}$$

სადაც  $f_u$  - ტირისტორების მართვადი ელექტროდებზე მიწოდებული, იმპულსების სიხშირე.

ზეგამტარული ტრანსფორმატორის მაგნიტური ველის ბრუნვის კუთხური სიჩქარე:

$$\omega_{\text{მII}} = \omega_u = 2\pi f_u$$

მბრუნავი მაგნიტური ველი ინდუქციურებს ზგტ-ის მეორადი ძალოვანი გრაგნილის პარალელურ შტოებში ელექტრომომძრავებელ ძალას (ე.მ.ძ.), ხოლო მეორადი გრაგნილის კომუტატორი მნკII კომუტირებს ე.მ.ძ. კუთხური სიჩქარით  $\omega_u'' = \omega_u'$  და კომუტატორის გამოსავალ მომჭერებზე წარმოიშვება მუდმივი ძაბვა  $U_2$ .

უქმი სვლის რეჟიმში ზგტ-ის პირველადი და მეორადი ძაბვებისათვის გვექნება:

$$\begin{aligned} U_1 &= E_1 = W_1 \omega_u \phi \sin \alpha \\ U_2 &= E_2 = W_2 \omega_u \phi \sin \alpha \end{aligned} \quad (1)$$

ძაბვა ერთ ხვიაზე:

$$\begin{aligned} U_{1w=1} &= \frac{U_1}{W_1} = \omega_u \phi \sin \alpha \\ U_{2w=1} &= \frac{U_2}{W_2} = \omega_u \phi \sin \alpha \end{aligned} \quad (2)$$

ერთ ხვიაზე ძაბვის სიდიდე პროპორციულია  $\omega_u$ . ვირჩევთ  $\omega_u \gg 314$  რად/წმ. შეიძლება მივიღოთ მნიშვნელოვანი შემცირება მასაგაბარიტული მაჩვენებლების მუდმივი დენის ზეგამტარული ტრანსფორმატორის, შედარებით ზეგამტარულ ტრანსფორმატორთან, გათვლილი  $f = 50$  ჰც სიხშირის მუშაობაზე.

(1) განტოლებიდან ჩანს, რომ  $\alpha$  რეგულირების კუთხის ცვლილებით იცვლება ზგტ-ის ძაბვის სიდიდე.

უკონტაქტო რეგულირებადი ზეგამტარული ტრანსფორმატორების გამოყენება ერთი სიდიდის მუდმივი ძაბვის გარდაქმნისათვის სხვა სიდიდის მუდმივი ძაბვაში აჩენს ფართო პერსპექტივას მათი გამოყენებისათვის მუდმივი დენის ელექტროენერგეტიკული სისტემაში.

ლიტერატურა

1. Кохреидзе Т. Инновационные управляемые электромеханические системы с бесконтактными двигателями постоянного тока. Тбилиси: Технический университет. 2016.

**IDEOLOGICAL BASIS FOR CONSTRUCTING A NEW GENERATION SUPERCONDUCTING ELERIC POWER SYSTEM BASED ON DIRECT CURRENT.**

*T. Kokhreidze.*

“Energy”. №2(110). 2024. Tbilisi. p. 40-44. geo. sum geo. engl.rus.

The ideological foundations of construction of a new generation superconducting electric power system on direct current are created. The following system is considered: a contactless direct current generator - a superconducting direct voltage transformer with a rotating magnetic excitation field increasing in the mode - a superconducting direct current cable - a superconducting direct voltage transformer with a rotating magnetic excitation field decreasing in the mode - load. A superconducting direct voltage transformer with a rotating magnetic excitation field is connected to the power take-off system. An electric circuit of a contactless direct current generator with a controlled semiconductor switch has been developed. An electric circuit of a superconducting direct voltage transformer with a rotating magnetic excitation field has been developed. Controlled semiconductor switches are made on the basis of gate turn-off thyristors - GTO. It is shown that a new generation superconducting direct current electric power system is characterized by a significant decrease in weight and size parameters, high reliability and technical and economic indicators.

*Ill. 3, bibl. 1.*

**ИДЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ НА ПОСТОЯННОМ ТОКЕ СВЕРХПРОВОДЯЩЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ.**

*T. Кохреидзе.*

“Энергия”. № 2(110).2024 . Тбилиси. с. 40-44. груз. реф. груз.англ. рус.

Созданы идеологические основы построения на постоянном токе сверхпроводящей электро-энергетической системы нового поколения. Рассматривается система: бесконтактный генератор постоянного тока - сверхпроводящий трансформатор постоянного напряжения с вращающимся магнитным полем возбуждения повышающемся в режиме - сверхпроводящий кабель постоянного тока - сверхпроводящий трансформатор постоянного напряжения с вращающимся магнитным полем возбуждения понижающемся в режиме - нагрузка. В системе для отбора мощности подключен сверхпроводящий трансформатор постоянного напряжения с вращающимся магнитным полем возбуждения. Разработана электрическая схема бесконтактного генератора постоянного тока с управляемым полупроводниковым коммутатором. Разработана электрическая схема сверхпроводящего трансформатора постоянного напряжения с вращающимся магнитным полем возбуждения. Управляемые полупроводниковые коммутаторы выполнены на базе запираемых тиристоров - ГТО. Показано, что на постоянном токе сверхпроводящая электроэнергетическая система нового поколения характеризуется значительным снижением массогабаритных параметров, высокой надежностью и технико-экономическими показателями.

*Илл. 3, лит. 1 назв.*

სკინ-ეფექტის მათემატიკური მოდელი

თამაზ კობხრიძე - ტექნ. მეცნ. დოქტორი, პროფესორი  
E-mail: kthamaz@gmail.com.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

*ანოტაცია.* სკინ-ეფექტის მათემატიკური მოდელის მოსაყვანად, გამოყენებულია ელექტრომაგნიტური ველის ძირითადი განტოლებები. განხილულია საკითხი იმის შესახებ, თუ როგორ ნაწილდება ელექტროდენი ცილინდრული გამტარის განივკვეთში დიდი სიხშირის ცვლადი დენის შემთხვევაში. შესწავლილია გამტარის ზედაპირული ფენის ელექტრული არე, როდესაც სიხშირე დიდია. ნაჩვენებია, რომ გამტარის სიღრმისაკენ გადანაცვლების დროს ელექტრული ვექტორისა და დენის ძალის სიმკვრივის ფაზა ხაზოვნად იცვლება და მათი ამპლიტუდები ექსპონენციალური კანონით იკლებენ. მაგალითისთვის განხილულია სკინ-ეფექტი ასინქრონულ ძრავაში მოკლედ შერთული როტორით.

*საკვანძო სიტყვები:* სკინ-ეფექტი, ელექტრული არე, დენის ძალის სიმკვრივე, ასინქრონული ძრავა.

განვიხილოთ საკითხი იმის შესახებ, თუ როგორ ნაწილდება გამტარის განივკვეთში ცვლადი დენი. საკითხი საინტერესოა როგორც თეორიული, ისე ტექნიკური თვალსაზრისით. ჩვენ ახლა ვნახავთ, რომ ერთგვაროვან გამტარში ცვლადი (მუდმივი დენის საწინააღმდეგოდ) გამტარის განივკვეთში თანაბრად კი არ ნაწილდება, არამედ მის ზედაპირზე ხდება კონცენტრირებული. ამ მოვლენას „სკინ-ეფექტი“ ეწოდება (ინგლისურად „სკინ“ ტყავს ნისნავს; გამტარის „ტყავზე“ დენი კონცენტრირებული ხდება). იგი იწვევს გამტარის წინააღმდეგობისა და სხვა სიდიდეების შეცვლას.

სკინ ეფექტის მათემატიკური მოდელის მოსაყვანად, გამოვიყენოთ ელექტრომაგნიტური ველის შემდეგი ძირითადი განტოლებები:

$$r_o t E = -\mu \frac{\partial H}{\partial t} = -\frac{\partial B}{\partial t} \quad (1)$$

$$r_o t H = j + \varepsilon \frac{\partial E}{\partial t} \quad (2)$$

სადაც  $\mu$  - მაგნიტური შეღწევადობა;

$j = \gamma E$  - გამოხატავს გამტარის დენის სიმკვრივის პროპორციულ დამოკიდებულებას მისივე შინაგანი ველის  $E$  დამაბულობასთან, ომის კანონის ყველაზე უფრო ზოგად და მარტივ ჩამოყალიბებას წარმოადგენს;  $\gamma = \frac{1}{\rho}$  - ხვედრითი გამტარობა;  $\rho$  - ხვედრითი წინააღმდეგობა;  $\varepsilon$  - დიელექტრიკული შეღწევადობა.

(2) ტოლობა შეგვიძლია ასე გადავწეროთ:

$$r_o t H = \gamma E + \varepsilon \frac{\partial E}{\partial t} \quad (3)$$

რადგან გამტარებში ჩანაცვლების დენი არა ჩნდება, ამიტომ ეს ტოლობა ამ შემთხვევაში შემდეგი სახით უნდა დაიწეროს:

$$r_o t H = \gamma E \quad (4)$$

ე.ი. გამტართათვის

$$\varepsilon \frac{\partial E}{\partial t}$$

გამოხატულება უმნიშვნელოდ შეგვიძლია ჩავთვალოდ. ვიგულისხმობთ, რომ ერთგვაროვანი ნივთიერების გამტართან გვაქვს საქმე. (1) და (4) ტოლობანი გვამღებენ:

$$r_o t r_o t E = -\mu \frac{\partial}{\partial t} (r_o t H) = -\mu \gamma \frac{\partial E}{\partial t} \quad (5)$$

თუ შემოვიღებთ აღნიშვნას

$$\Delta E = \frac{\partial^2 E}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 E}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 E}{\partial z^2} \quad (6)$$

და მხედველობაში მივიღებთ

$$gr_a dU = i \frac{\partial U}{\partial x} + j \frac{\partial U}{\partial y} + k \frac{\partial U}{\partial z}$$

ტოლობას, შემდეგ ტოლობასთან ერთად:

$$\begin{aligned} r_o t E &= i r_o t_x E + j r_o t_y E + k r_o t_z E \\ &= i \left( \frac{\partial E_z}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial z} \right) + j \frac{\partial E_x}{\partial z} \\ &\quad - \frac{\partial E_z}{\partial x} + k \left( \frac{\partial E_y}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial y} \right), \end{aligned}$$

სადაც  $i, j, k$  -ერთეული ვექტორები, მაშინ ადგილი აქვს შემდეგ ტოლობას:

$$r_o t r_o t E = grad \operatorname{div} E - \Delta E \quad (7)$$

თუ გამტარის შიგნით მოცულობით ტვირთებს ადგილი არა აქვს ( $\rho = 0$ ), მაშინ  $\operatorname{div} E = 0$ , რის გამო (7) ტოლობა შემდეგ სახეს მიიღებს:

$$r_o t r_o t E = -\Delta E.$$

ესა და (5) ტოლობა ასეთ გამტართათვის ვგაძლევს:

$$\Delta E = \mu \gamma \frac{\partial E}{\partial t} \quad (8)$$

სრულიად ანალოგიურად შეგვიძლია მივიღოთ  $H$  მაგნიტური ვექტორისათვის შემდეგი გამოხატულება:

$$\Delta H = \mu \gamma \frac{\partial H}{\partial t} \quad (9)$$

დავკმაყოფილდეთ ცვლად არეთა განხილვით, რომელთა ყოველი წერტილის დაძაბულობანი დროის სინუსოიდალურ ფუნქციას წარმოადგენენ. გამოვხატოთ ეს დაძაბულობანი კომპლექსური ფორმით:

$E = E_o(x, y, z)e^{j\omega t}$ ;  $H = H_o(x, y, z)e^{j\omega t}$ , სადაც  $E_o$  და  $H_o$  დროისაგან დამოუკიდებელი კომპლექსური ვექტორებია.

თუ  $E$ -ს ამ მნიშვნელობას (8) ტოლობაში შევიტანთ და მიღებულ გამოხატულებას  $e^{j\omega t}$ -ზე შევკვეცავთ, გვექნება:

$$\Delta E_o = \mu \gamma j \omega E_o = 2jP^2 E_o, \quad (10)$$

სადაც

$$P^2 = \frac{1}{2} \mu \gamma \omega. \quad (11)$$

განვიხილოთ, ამას გარდა

$$r_o t H = j + \varepsilon \frac{\partial E}{\partial t}$$

განტოლება. ომის დიფერენციალური  $j=yE$

განტოლებისა და

$$E = E_o e^{j\omega t}; \quad \frac{\partial E}{\partial t} = j\omega E_o e^{j\omega t} = j\omega E$$

ტოლობათა თანახმად, გვექნება:

$$r_o t H = YE + \varepsilon j \omega E = (y + \varepsilon j \omega) E;$$

ამის გამო

$$\operatorname{div} r_o t H = (y + \varepsilon j \omega) \operatorname{div} E;$$

რადგან

$$\operatorname{div} r_o t H = 0,$$

ამიტომ ამ ტოლობაში

$$\operatorname{div} E = \frac{\rho}{\varepsilon} = 0,$$

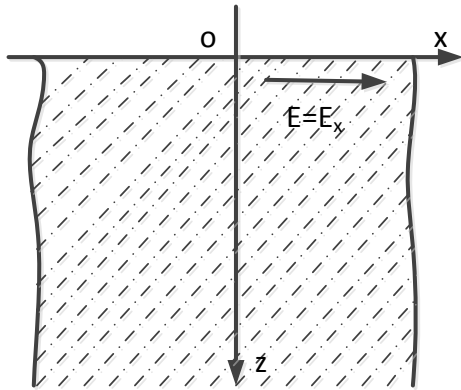
საიდანაც ჩანს, რომ ასეთ დენთათვისაც ელექტრობის მოცულობითი  $\rho$  სიმკვრივე უდრის ნულს.

პრაქტიკულად დიდ ინტერესს წარმოადგენს საკითხი, იმის შესახებ, თუ როგორ ნაწილდება ელექტროდენი ცილინდრული გამტარის განივკვეთში დიდი სიხშირის ცვლადი დენის შემთხვევაში. ამას ჩვენ ადვილად გამოვარკვევთ, თუ წინასწარ შევისწავლით გამტარის ზედაპირული ფენის ელექტრულ არეს, როდესაც  $\omega$  სიხშირე დიდია. თუ ეს ფენა საკმაოდ თხელია, მაშინ მისი მცირე ნაწილი შეიძლება ბრტყელ ფენად ჩაითვალოს.

ამგვარად წარმოვიდგინოთ, რომ განსახილველი გამტარის ზედაპირის ნაწილი თანხვდება  $Z = 0$  სიბრტყეს და ელექტრულ არეს (ნახაზი) (და, მაშასადამე, ელექტროდენსაც) აქვს  $x$  ღერძის მიმართულება ( $E_y = E_z = 0$ ). ამის გარდა, წარმოვიდგინოთ, რომ ფენის შიგნით მოთავსებული არეს რომელიმე წერტილში დაძაბულობა დამოკიდებულია მხოლოდ მის  $Z$  კოორდინატზე და არა  $x$  და  $y$



კოორდინატებზე. მაშინ (10) ტოლობა შემდეგ სახეს მიიღებს:



ნახაზი.

როგორც ცნობილია, ამ სწორხაზოვანი განტოლების ზოგადი ამოხსნაა:

$$E_{ox} = Ae^{kz} + Be^{-kz}$$

სადაც A და B - ინტეგრაციის მუდმივებია, ხოლო k-არის

$$k^2 = 2jP^2$$

განტოლების ფესვი, ე.ი.

$$k = P\sqrt{2j} = P(1 + j);$$

ამგვარად

$$E_{ox} = Ae^{Pz}e^{jPz} + Be^{-Pz}e^{-jPz},$$

სადაც P, (11) ტოლობის ძალით, ნამდვილი სიდიდეა.

თუ ელექტრული ვექტორის ამპლიტუდიდან მის სრულ კომპლექსურ გამოხატვაზე გადავალთ, გვექნება:

$$E_x - E_{ox}e^{j\omega t} = Be^{-Pz}e^{j(\omega t - Pz)}. \quad (12)$$

წარმოსახვითი ნაწილის გადაგდება მოგვცემს:

$$E_x = Be^{-Pz} \cos(\omega t - Pz). \quad (13)$$

ამიტომ დენის ძალის სიმკვრივე შეიძლება შემდეგი ფორმულით იქნას გამოხატული

$$j_x = yE_x = j_0 e^{-Pz} \cos(\omega t - Pz), \quad (14)$$

სადაც  $j_0 = yB$  -თი აღნიშნულია დენის ძალის სიმკვრივის ამპლიტუდი.

$$\Delta E_{ox} = \frac{\partial^2 E_{ox}}{\partial z^2} = 2jP^2 E_{ox};$$

ამგვარად გამტარის სიღრმისაკენ გადანაცვლების დროს ელექტრული ვექტორისა და დენის ძალის სიმკვრივის ფაზა ხაზოვნად იცვლება და მათი  $Be^{-Pz}$  და  $yBe^{-Pz}$  ამპლიტუდები ექსპონენციალური კანონით იკლებენ. ამასთან ერთად დენის ძირითადი ნაწილი შეიძლება  $\frac{1}{P}$  სისქის მქონე ზედაპირულ ფენაში გამავალად ჩაითვალოს, რადგან ამ სიღრმეზე დენის ძალის სიმკვრივე e-ჯერ უფრო ნაკლებია, ვიდრე გამტარის ზედაპირზე.

$$P = \sqrt{\frac{1}{2}\mu\gamma\omega}$$

ტოლობა გვიჩვენებს, რომ რაც უფრო მეტია  $\omega$ , მით უფრო მეტია P და მით უფრო ნაკლებია გამტარი ფენის სისქე a.

$$a = \frac{1}{P} \sqrt{\frac{2}{\mu\gamma\omega}} \text{ სმ}. \quad (15)$$

გამტარის ზედაპირზე დენის კონცენტრაცია ამავე გამტარის წინააღმდეგობისა და თვითინდუქციის შეცვლას იწვევს. ამგვარად, ცვლად დენტათვის ეს სიდიდეები მუდმივ სიდიდეებს კი არ წარმოადგენენ, არამედ დენის სიხშირეზე არიან დამოკიდებული. ასეთ შემთხვევაში გამტარის სრულ წინააღმდეგობად უნდა ჩავთვალოდ იმ ნაწილის წინააღმდეგობა, რომელშიაც დენი გადის, რადგან დენის სიხშირის გაზრდის დროს დენის გამტარი ზედაპირული ფენის სისქე კლებულობს, ამიტომ წინააღმდეგობა ამავე დროს უნდა მატულობდეს.

ამ გარემოების მხედველობაში მიღებით გამტარის აქტიური წინააღმდეგობის ნამატო შემდეგნაირად შეგვიძლია გამოვიანგარიშოთ.

ვიგულისხმობთ, რომ მოცემულია ცილინდრული გამტარი, რომლის განივკვეთია S, რადიუსია r და მაგენტური

განვლადობა  $\mu$ . ამას გარდა დაუშვათ, რომ ამავე გამტარის წინააღმდეგობა მუდმივი დენისადმი არის

$$R_o = \rho \frac{\ell}{S} = \frac{\ell}{\gamma s} = \frac{\ell}{\pi \gamma r^2},$$

თუ ამავე გამტარში  $f$  სიხშის დროს ცვლადი „დენის ჩაძირვის“ სიღრმეა

$$a = \sqrt{\frac{2}{\mu \gamma \omega}} = \sqrt{\frac{1}{\pi \mu \gamma f}} = \frac{1}{\sqrt{\pi \mu \gamma f}},$$

მაშინ თანახმად ზემოდმიღებული შედეგისა, ამ სიხშირის დენისადმი გამტარის წინააღმდეგობა იქნება:

$$R_f = \rho \frac{\ell}{\pi r^2 - \pi(r-a)^2} = \rho \frac{\ell}{2\pi r a - \pi a^2} = \frac{\ell}{\pi \gamma (2ra - a^2)};$$

ამ წინააღმდეგობათა ფარდობა გვაძლევს:

$$\frac{R_f}{R_o} = \frac{r^2}{2ra - a^2};$$

ეს არის ფორმულა, რომლის საშუალებითაც  $R_f$  შეიძლება იქნას გამოანგარიშებული თუ ცნობილია  $R_o$ , გამტარის  $d = 2r$  დიამეტრი,  $\mu$ ,  $\gamma$  და  $f$ .

რაც შეეხება გამტარის თვითინდუქციას, იგი დენის სიხშირის ზრდასთან ერთად მცირდება. ეს ასეც უნდა იყოს, რადგან, როგორც  $W = L \frac{i^2}{2}$  ტოლობა გვეუბნება, გამტარის თვითინდუქცია პროპორციულია დენის მაგნეტური არეს ენერჯიისა. დენის მაგნეტური არეს ენერჯია კი კლებულობს, რადგან მთელი დენი გამტარის ზედაპირულ ფენაში იყრის თავს, რის გამო შიგნით არსებული მაგნეტური არე ნულის ტოლი იქნება. გამტარის გარეთ არსებული არეს ხასიათი კი განიკვეთში დენის განაწილებაზე არ იქნება დამოკიდებული, რადგან ეს განაწილება მთელს განიკვეთში სიმეტრიულია. იმავე გარემოებას ხელს შეუწყობს გამტარის გამტარებელი ფენის შემცირებაც.

მაგალითისათვის განვიხილოდ სკინ-ეფექტი ასინქრონულ ძრავაში მოკლედ შერთული როტორით.

მუშაობის პროცესში ასინქრონული ძრავა მოკლედ შერთული როტორით, შეიძლება წარმოვიდგინოთ ცვალებადი სრიალით. როცა სრიალი განსხვავებულია ნულისგან, აღიძვრება სკინ-ეფექტი როტორის ღეროებში. აღნიშნული ეფექტის ანგარიში სრულდება „ეფექტური კვეთის“ შემოყვანით ცვლად დენზე. აღნიშნული წარმოდგენა გულისხმობს, რომ ღეროების ეკვივალენტური აქტიური წინაღობა იზრდება როტორის დენის სიხშირის გაზრდით.

დაუშვათ ასინქრონული ძრავას როტორის თითოეული ღეროს აქტიური წინაღობა ტოლია  $R$ , ხოლო როტორში ღეროების რიცხვი -  $m$ . მაშინ ეკვივალენტური წინაღობა ყველა  $m$  ღეროების, ჩართული პარალელურად მოკლედ შერთული როტორში ტოლი იქნება  $\frac{R}{m}$ .

წარმოვიდგინოთ, რომ თითოეული ღეროს კვეთი გავყოთ დიდი რიცხვის ( $N$ ) წვრილი გამტარებზე. დაუვათ ანალიზის გამარტივების მიზნით აქტიური წინაღობა ყველა წვრილი გამტარების ერთნაირია, მაშინ აქტიური წინაღობა თითოეული წვრილი გამტარის მუდმივ დენზე ტოლი იქნება  $\frac{R}{m} \cdot N$ .  $N$ -ის საკმაოდ დიდი მნიშვნელობის დროს სკინ-ეფექტის მოვლენა წვრილ გამტარში შეიძლება მხედველობაში არ მივიღოთ. მაგრამ, რაც მნიშვნელოვანია, წვრილ გამტარში არა მხოლოდ დენის ძალა, არამედ დენის სიმკვრივის ვექტორის ფაზა იქნება განსხვავებული.

ელექტრომაგნიტური პროცესები როტორში შეიძლება წარმოდგენილი იქნეს (როტორის ღეროების დანაწილების

გათვალისწინებით წვრილი გამტარებად) შემდეგი მაღალი რიგის ერთტიპიური განტოლებათა სისტემით [1]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\psi_1}{dt} + \frac{R}{m} \cdot N \cdot i_1 &= 0, \\ \frac{d\psi_2}{dt} + \frac{R}{m} \cdot N \cdot i_2 &= 0, \\ \dots\dots\dots \\ \frac{d\psi_n}{dt} + \frac{R}{m} \cdot N \cdot i_n &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

სადაც  $n = m \cdot N$ -როტორის ყველა ღეროებში წვრილი გამტარების საერთო რიცხვი,  $\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_n$  – წვრილი გამტარების ნაკადთაგადაბმულობა;  $i_1, i_2, \dots, i_n$  წვრილ გამტარებში დენის

ძალა. (16)-ში წვრილი სადენების წინაღობა, ტოლია  $\frac{R}{m} \cdot N$ , შეიძლება დამოკიდებული იქნეს მასალაზე, ტემპერატურაზე, კვეთის ფართობზე (N-დან), მაგრამ, რაც მთავარია, ეს წინარობა არ იქნება დამოკიდებული სიხშირისგან.

ლიტერატურა

1. Кохреидзе Т. Инновационные управляемые электромеханические системы с бесконтактными двигателями постоянного тока. Тбилиси:Технический университет. 2016.

**MATHEMATICAL MODEL OF THE SKIN EFFECT.**

*T. Kokhreidze.*

“Energy”. №2(110). 2024. Tbilisi. p.45-49. geo. sum geo. engl.rus.

To obtain a mathematical model of the skin effect, the basic equations of the electromagnetic field are used. The issue of how the electric current is distributed in the cross section of a cylindrical conductor when high-frequency alternating current passes through it is discussed. The electric field of the surface layer of the conductor at high frequency is investigated. It is shown that the phase of the electric vector and the current density change linearly when moving into the depth of the conductor, and their amplitudes decrease exponentially. As an example, the skin effect in an asynchronous motor with a squirrel-cage rotor is considered.

*Ill. 1, bibl. 1.*

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СКИН-ЭФФЕКТА.**

*T. Кохреидзе.*

“Энергия”. № 2(110).2024 . Тбилиси. с. 45-49. груз. реф. груз.англ. рус.

Для получения математической модели скин-эффекта используются основные уравнения электромагнитного поля. Обсуждается вопрос о том, как распределяется электроток в поперечном сечении цилиндрического проводника при прохождении переменного тока высокой частоты. Исследуется электрическое поле поверхностного слоя проводника при высокой частоте. Показано, что фаза электрического вектора и плотность силы тока при переходе в глубину проводника изменяются линейно, а их амплитуды убывают экспоненциально. В качестве примера рассмотрен скин-эффект в асинхронном двигателе с короткозамкнутым ротором.

*Илл. 1, лит. 1*

შავი ზღვის წყალქვეშა კაბელის მნიშვნელობა საქართველოსთვის

რომეო მიქაუტაძე - დოქტორანტი

E-mail: [romeomikautadze@gmail.com](mailto:romeomikautadze@gmail.com)

გია არაბიძე - პროფესორი

E-mail: [power@gtu.ge](mailto:power@gtu.ge)

მარგალიტა არაბიძე - ასოცირებული პროფესორი

E-mail: [marabidze@moesd.gov.ge](mailto:marabidze@moesd.gov.ge)

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

*ანოტაცია.* განხილულია შავი ზღვის წყალქვეშა კაბელის პროექტი და მისი მნიშვნელობა საქართველოსთვის. სამხრეთ კავკასიის რეგიონში საქართველოს მნიშვნელოვანი გეოპოლიტიკური მდებარეობა გააჩნია რაც ქვეყანას აძლევს შესაძლებლობას გახდეს განახლებადი ენერჯის წყაროების ჰაბი და უზრუნველყოს განახლებადი წყაროების მიერ წარმოებული ენერჯის ტრანზიტი აღმოსავლეთიდან დასავლეთის მიმართულებით. გამომდინარე იქედან, რომ საქართველოს აღმოსავლეთ პარტნიორები ორიენტირებულები არიან ენერჯის განახლებადი წყაროების ათვისებით, ამ პროექტით მათ მიეცემა შესაძლებლობა მოახდინონ განახლებადი ელექტროენერჯის რეალიზაცია ისეთ ბაზარზე, სადაც მოთხოვნა მწვანე ენერჯის წყაროებზე მუდმივად მზარდია. სტატიაში მოცემულია შავი ზღვის წყალქვეშა კაბელის ტექნიკური პარამეტრები, მისი როლი ელექტრული ენერჯის ექსპორტისა და იმპორტის დივერსიფიკაციაში. ეს პროექტი სარგებელს მოუტანს, როგორც საქართველოს ეკონომიკას, ასევე ენერჯოსექტორსა და გააძლიერებს რეგიონალურ თანამშრომლობას ევროპის ელექტროენერჯის სადისტრიბუციო ქსელთან.

*საკვანძო სიტყვები:* განახლებადი ენერჯია, ენერჯეტიკული უსაფრთხოება, შავი ზღვის წყალქვეშა კაბელი, ენერჯეტიკული პროექტები.

*შესავალი*

ნებისმიერი ქვეყნის, მათ შორის საქართველოს, ენერჯეტიკის მთავარი ამოცანაა უზრუნველყოს მოსახლეობისათვის და ბიზნესის სექტორისათვის სხვადასხვა ტიპის ხარისხიანი ენერჯის საიმედო და უწყვეტი მიწოდება ხელმისაწვდომ ფასად მოკლე, საშუალო და გრძელვადიან პერსპექტივაში, ეროვნული უსაფრთხოების და მდგრადი განვითარების ინტერესების დაცვით. 2000-იანი წლების დასაწყისში საქართველოს მოსახლეობას და ბიზნეს-სექტორს ელექტროენერჯია გეგმიურად (გრაფიკით) მიეწოდებოდა. ამის მთავარი მიზეზი ენერჯის არასაკმარისი გენერაცია და მოშლილი ინფრასტრუქტურა იყო. როდესაც ქვეყანაში ენერჯეტიკული

დამოუკიდებლობა და უსაფრთხოება უმთავრესი პრიორიტეტი გახდა და ამ მიზნით დაიწყო ისეთი აუცილებელი ზომების გატარება, როგორცაა: ადგილობრივი ენერჯორესურსების რაციონალური ათვისება; კონკურენტული ბაზრისა და საინვესტიციო გარემოს შექმნა; ენერჯოეფექტური ღონისძიებების ინტენსიური გამოყენება და იმპორტირებული ენერჯიაშემცველების დივერსიფიცირება სურათი რადიკალურად შეიცვალა. იმ დროისთვის და დღესაც ქვეყანა მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული იმპორტირებულ რესურსებზე, კერძოდ ადგილობრივი რესურსებით (ელექტროენერჯით) ენერჯიაზე მოთხოვნა მხოლოდ 20%-მდე კმაყოფილდება. დანარჩენი 80% მოდის იმპორტირებულ საწვავზე და სხვა

ნავთობპროდუქტებზე (გაზზე, ბენზინზე, დიზელზე და ა.შ). უნდა აღინიშნოს, რომ საქართველოში წარმოებულ ელექტროენერჯია საკმაოდ მაღალია განახლებადი რესურსის, კერძოდ ჰიდრორესურსის წილი, რომელსაც ელექტროენერჯიის საერთო გენერაციაში დაახლოებით 75-80% უკავია. აქედან ნახევარზე მეტი დიდ მარეგულირებელ ჰიდროელექტროსადგურებზე მოდის.

#### *შავი ზღვის წყალქვეშა კაბელის ისტორია*

საქართველოს გააჩნია დიდი პოტენციალი გახდეს რეგიონალური ჰაბი განახლებადი ენერჯიისთვის, განავითაროს განახლებადი ენერჯიის წყაროები და უზრუნველყოს არამხოლოდ საკუთარი მოთხოვნის დაკმაყოფილება, არამედ ელექტროენერჯიის დიდი მოცულობით ექსპორტიც. ინფრასტრუქტურის გაძლიერება და განახლება ხელს შეუწყობს ქვეყანას აიმაღლოს ენერგეტიკული უსაფრთხოება და გაზარდოს ექსპორტისა და ტრანზიტის შესაძლებლობები.

შავი ზღვის წყალქვეშა კაბელი მნიშვნელოვანი პროექტია, რომლის მეშვეობითაც ქვეყანა შეძლებს დაუკავშირდეს ევროპის ენერგოქსელს და გახდეს მისი ნაწილი, მიიღოს ეკონომიკური სარგებელიც და მოახდინოს განახლებადი ენერჯიის წყაროებით ნაწარმოები ელექტროენერჯიის რეალიზაციაც. პროექტი ასევე სარგებლიანია ევროპის ენერგოქსელისთვისაც, რომელიც დამატებით მიიღებს განახლებადი ენერჯიის წყაროებიდან წარმოებულ ელექტროენერჯიას მისაღებ ფასად. გლობალური მასშტაბით ყოველივე ეს ასევე დადებითად აისახება ემისიების შემცირებაზეც.

ამჟამად არ არსებობს ელექტროენერჯიის ან ბუნებრივი გაზის ინფრასტრუქტურული პროექტები, რომლებიც ოფიციალურად ჩაითვლება ევროკავშირის სტრატეგიის ხუთი მიმართულების (დეკარბონიზაცია და განახლებადი ენერჯია, ენერგოეფექტურობა, შიდა ენერგობაზარი, ენერგეტიკული უსაფრთხოება, კვლევა ინოვაცია და კონკურენტუნარიანობა) ფარგლებში განსაზღვრული მიზნების მისაღწევ აუცილებელ პროექტებად, რომლებიც კლასიფიცირებულია, როგორც საერთო ინტერესის პროექტები. საქართველოს გეოგრაფიული მდებარეობის გამო, ურთიერთ დამაკავშირებელი ქსელების განვითარება ევროკავშირის წევრ სახელმწიფოებთან ან ენერგეტიკული გაერთიანების კონტრაქტის მხარეებთან დღეისათვის შესაძლებელია მხოლოდ შავი ზღვის წყალქვეშა კაბელის პროექტის მეშვეობით.

შავი ზღვის წყალქვეშა კაბელის პროექტის თავდაპირველი ინიციატორები იყვნენ საქართველოსა და რუმინეთის ელექტროენერჯიის გადამცემი სისტემის ოპერატორები. 2022 წ. 17 დეკემბერს საქართველოს, რუმინეთის, აზერბაიჯანის რესპუბლიკისა და უნგრეთის მთავრობებს შორის ხელი მოეწერა შეთანხმებას მწვანე ენერჯიის განვითარებისა და გადაცემის სფეროში თანამშრომლობის თაობაზე. 2023 წ. ივლისში მიღებულ იქნა შეთანხმება ხელშეკრულების წევრი სახელმწიფოების მიერ ერთობლივი საწარმოს დაფუძნების თაობაზე, რომელიც პასუხისმგებელი იქნება პროექტის შემდგომ განვითარებაზე. აღსანიშნავია, რომ ბულგარეთმა გამოთქვა სურვილი, გახდეს ხელშეკრულების მონაწილე მხარე.

ამჟამად მიმდინარეობს პროექტის ტექნიკურ-ეკონომიკური კვლევა, რომელსაც იტალიური კომპანია CESI ახორციელებს. კვლევა 2024 წ. ივლისის ბოლოსათვის დასრულდება. ხელმისაწვდომია პროექტის სკოპინგის ანგარიში. პროექტის ფარგლებში მსოფლიო ბანკის მიერ გამოყოფილია \$35 მლნ დოლარის ოდენობის სესხი, რომელითაც დაფინანსდება შავი ზღვის ფსკერის გეოფიზიკური და გეოტექნიკური კვლევისა და გარემოზე და სოციალური ზემოქმედების შეფასების სამუშაოები, რაც დაგეგმილია 2025 წ.

*პროექტის მიმოხილვა*

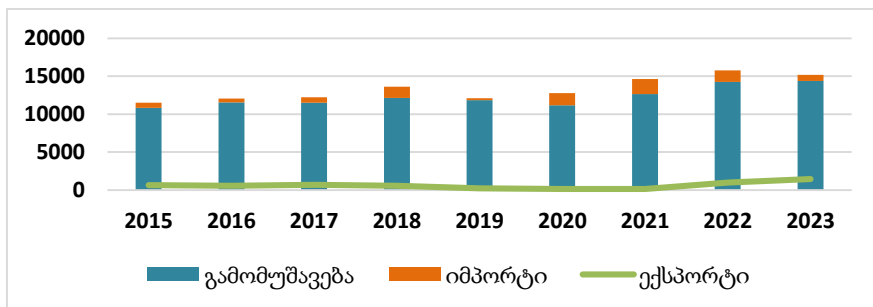
2023 წ. საქართველოში გამომუშავებული იქნა -14395 მლნ. კვტ.სთ ელექტროენერჯია. გამომუშავებული ელექტროენერჯიის 76%-ი მოდის განახლებად (ჰიდრო და ქარი) ენერჯიის წყაროებზე. ამავე პერიოდში განხორციელებული იქნა -789 მლნ. კვტ.სთ ელექტროენერჯიის იმპორტი, მათ შორის -7 76 მლნ. კვტ.სთ (98,3%) აფხაზეთისთვის (რუსეთიდან). ტრანზიტმა და ექსპორტმა შესაბამისად შეადგინა -3444 და -1468 მლნ. კვტ.სთ.

2024 წლის 6 თვის მონაცემების მიხედვით (იანვარი-ივნისი) საქართველომ 5,823 მლნ. კვტ.სთ ელექტრული ენერჯია აწარმოა, -4,529 მლნ. კვტ.სთ ელექტროენერჯიის იმპორტი განახორციელა, ძირითადად აფხაზეთისთვის. ჯამურმა ექსპორტმა -397,5 მლნ. კვტ.სთ შესადგინა. ამავე პერიოდისთვის საქართველომ - 331 მლნ. კვტ.სთ ელექტროენერჯიის ტრანზიტი განახორციელა.

გრაფიკზე მოცემულია ელექტროენერჯიის იმპორტის, ექსპორტისა და ტრანზიტის მნიშვნელობები 2015-2023 წწ.

როგორც მოყვანილ გრაფიკზე ჩანს, ტრანზიტით გატარებული ელექტროენერჯიის მოცულობა მზარდი ტემპით ხასიათდება, რაც მეტყველებს იმაზე, რომ, ერთის მხრივ, საჭიროა შიდა ინფრასტრუქტურის გაძლიერება სატრანზიტო შესაძლებლობების გაზრდის მიზნით, ხოლო, მეორეს მხრივ, ახალი სატრანზიტო გზების მოძიება, სწორედ ასეთი მარშრუტი იქნება შავი ზღვის წყალქვეშა კაბელი.

საქართველოს გადამცემი ქსელის განვითარებას ათწლიანი გეგმის (2023-2033)



გრაფიკი. ელექტროენერჯიის იმპორტი, ექსპორტი და ტრანზიტი 2015-2023 წლებში (მლნ.კვტ.სთ)



მიხედვით 2033 წლისთვის რეაბილიტირებული ელექტროგადამცემი ხაზების სიგრძე 1400 კმ იქნება, რაც უზრუნველყოფს ქსელის საიმედოობის ამაღლებას. ამასთან ქვეყანას შეეძლება შეასრულოს სატრანზიტო ჰაზის ფუნქცია და უზრუნველყოს 1000 მგვტ-ზე მეტი სიმძლავრის მიმოცვლა, როგორც აღმოსავლეთ-დასავლეთის, ასევე ჩრდილოეთ-სამხრეთის მიმართულებით.

2033 წლისთვის საერთაშორისო ელექტროგადამცემი ქსელების განვითარების საბოლოო მიზანია ტრანსსასაზღვრო გადაცემის მოცულობის 5550 მგვტ-მდე გაზრდა, რაც საქართველოს ენერგეტიკული სისტემის პიკური დატვირთვისა 185%-მდე და განახლებადი ენერჯიის წყაროების დადგმული სიმძლავრის 85%-მდეა.

აღსანიშნავია, რომ ენერგეტიკული გაერთიანების სხვა წევრებთან ან ევროკავშირის წევრ სახელმწიფოებთან დამაკავშირებელი ხაზების ნაკლებობის გამო, საბითუმო ფასებს შორის სხვაობის ინდიკატორები (ე.ი. საორიენტაციო ზღვარი 2 ევრო/მგვტ.სთ) არ არის სრულად გამოყენებადი.

შავი ზღვის წყალქვეშა კაბელის პირველადი კვლევების საფუძველზე კაბელის სიგრძე იქნება 1155 კმ (40 კმ სახმელეთო და 1115 კმ წყალქვეშა), სიღრმე - 2 კმ, სიმძლავრე - 1500 მგვტ-მდე. პროექტის ღირებულება არსებული გათვლებით შეადგენს 3 მლრდ. ევროს და მისი დასრულება 2030 წლისათვის მოხდება.

შავი ზღვის სატრანზიტო შესაძლებლობების შესწავლის კონტექსტში ასევე მნიშვნელოვანია შავი ზღვით ენერჯიის გადაცემის დაგეგმვის პროექტი (BSTP – Black Sea Transmission Planning). პროექტის მიზანია შავი ზღვის აუზის ქვეყნების

ფარგლებში ელექტროენერჯიით ვაჭრობის გაძლიერების პოტენციალის, უკეთესი რეგიონალური ინტეგრაციის და გაუმჯობესებული ბაზრების ოპერირების გამოკვლევა. მასში მონაწილეობენ უკრაინის, მოლდოვის, ბულგარეთის, თურქეთის და საქართველოს გადამცემი სისტემის ოპერატორების წარმომადგენლები. პროექტი შემუშავდა ამერიკის ენერგეტიკული ასოციაციის (USEA – United States Energy Association) და ამერიკის შეერთებული შტატების საერთაშორისო განვითარების სააგენტოს (USAID – United States Agency for International Development) ორგანიზაციული და ფინანსური მხარდაჭერით. პროექტის კონსულტანტ მხარეს წარმოადგენს ენერგეტიკული საკოორდინაციო ცენტრი EKC (სერბეთი). პროექტი მოიცავს გადამცემი ქსელის დაგეგმვის სხვადასხვა არეალს. BSTP პროექტის მნიშვნელოვან ქვერეგიონალურ პროექტს წარმოადგენს, სომხეთი-საქართველოს ქვერეგიონალური გადაცემის დაგეგმვის პროექტი, რომლის ძირითადი მიმართულებაა სომხეთისა და საქართველოს დამაკავშირებელი, პერსპექტიული მუდმივი დენის ჩანართის ეკონომიკური სარგებლის შეფასება. პროექტის ფარგლებში მიმდინარე კვლევა მოიცავს აღნიშნული სისტემათაშორისი კავშირის ტექნიკურ და ეკონომიკურ შეფასებას, რომელიც ხორციელდება ელექტროენერჯიის ბაზრის, გადამცემი ქსელისა და ეკონომიკური ანალიზის გზით. 2020 წლის თებერვალში, EKC-მ წარმოადგინა საქართველო-სომხეთის ტრანსსასაზღვრო კავშირის ეკონომიკური ანალიზის საწყისი ანგარიში, ასევე ამავე წლის მაისში კონსულტანტმა წარმოადგინა აღნიშნული კავშირის ეკონომიკური ანალიზის ბაზისური სცენარის წინასწარი

შედეგები. ხოლო 2021 წლის სექტემბერში წარმოადგინეს ამავე კვლევის ფინალური ანგარიში. BSTP პროექტის ფარგლებში 2020 წ. შეიქმნა ქვე-ჯგუფი, საქართველოს და რუმინეთის გადამცემი სისტემის ოპერატორების მონაწილეობით. აღნიშნული ქვე-ჯგუფის შექმნის მიზანი იყო შავი ზღვის წყალქვეშა კაბელის პროექტის ფარგლებში, რუმინული და ქართული გადამცემი სისტემის ოპერატორების მონაწილეობით 2 ტექნიკური კვლევის ჩატარება:

- 1) HVDC ტექნოლოგიების მიმოხილვა;
- 2) დამყარებული რეჟიმების ანალიზი.

ხსენებული კვლევები დასრულებულია და მისი შედეგები დადასტურებული.

#### დასკვნა

შავი ზღვის წყალქვეშა კაბელის პროექტს უდიდესი მნიშვნელობა აქვს როგორც ევროპის, ისე საქართველოსა და მთლიანად სამხრეთ კავკასიის რეგიონისთვის. კაბელი იძლევა შესაძლებლობას არა მხოლოდ მოხდეს მიწოდების მარშრუტებს დივერსიფიკაცია, არამედ მას აქვს დიდი პოტენციალი ხელი შეუწყოს განახლებადი ენერჯის წყაროების განვითარებას საქართველოსა და მთლიანად რეგიონში. პროექტის სარგებელი მოიცავს სხვადასხვა სფეროს, კერძოდ:

- პირველ რიგში, ეს არის ენერგეტიკული უსაფრთხოების გაზრდა. კაბელი მონაწილე ქვეყნებს ენერჯის წყაროების დივერსიფიკაციის საშუალებას მისცემს. შესაბამისად მოხდება იმპორტისა და ექსპორტის წყაროების დივერსიფიკაცია;

- განახლებადი ენერჯის წყაროების გადაცემის ხელშეწყობით, კაბელი ხელს

შეუწყობს რეგიონში უფრო სუფთა და მდგრად ენერჯის წარმოებას.

- პროექტი განამტკიცებს მონაწილე ქვეყნებს შორის ეკონომიკურ და პოლიტიკურ კავშირებს, რაც ხელს შეუწყობს რეგიონულ თანამშრომლობას და ტრანსსასაზღვრო სავაჭრო კავშირების დამყარებას.

- პროექტი დადებითად აისახება ევროპულ ბაზარზე განახლებადი ენერჯების ფასებზე.

- ევროპის მიმართულებით ელექტროენერჯის ბაზრის გაფართოება წახალისებს ინვესტიციებს გენერაციისა და გადაცემის ინფრასტრუქტურაში, ხელს შეუწყობს სამუშაო ადგილების შექმნას მშენებლობისა და ექსპლუატაციის ეტაპებზე. საბოლოო ჯამში ყოველივე ეს ქვეყნის ეკონომიკურ ზრდაზე დადებითად აისახება.

#### ლიტერატურა

1. საქართველოს სახელმწიფო ელექტრო-სისტემა - შავი ზღვის წყალქვეშა კაბელის პროექტი;  
<https://www.gse.com.ge/proektebi/saerashoris-o-proektebi/Savi-zRvis-wyalqveSa-kabelis-proeqti>
2. საქართველოს ენერგეტიკისა და წყალმომარაგების მარეგულირებელი ეროვნული კომისია - ენერგეტიკული მონაცემები საქართველოში;  
<https://data.gnerc.org/>
3. Pietkova M., Weekly data: A submarine electricity cable is coming under the Black Sea – Energy monitor, Energy Monitor. December 2022;  
<https://www.energymonitor.ai/networks-grids/submarine-electricity-cable-under-black-sea/>
4. საქართველოს ენერგეტიკისა და კლიმატის ეროვნული ინტეგრირებული გეგმა.  
<https://www.economy.ge/?page=projects&s=49>

**THE IMPORTANCE OF THE BLACK SEA SUBMARINE CABLE FOR GEORGIA.**

*R.Mikautadze, G.Arabidze, M.Arabidze.*

“Energy”. №2(110). 2024. Tbilisi. p. 50-55. geo. sum geo. engl.rus.

The paper discusses the Black Sea underwater cable project and its significance for Georgia. Georgia's important geopolitical location in the South Caucasus region provides the country with the opportunity to become a hub for renewable energy sources and ensure the transit of energy produced by renewable sources from East to West. Since Georgia's eastern partners are focused on utilizing renewable energy sources, this project will allow them to market renewable electricity in a market where the demand for green energy sources is constantly growing. The article presents the technical parameters of the Black Sea underwater cable, its role in diversifying the export and import of electrical energy. This project will benefit Georgia's economy as well as the energy sector and strengthen regional cooperation with the European electricity distribution network.

*Ill. 1, bibl. 4.*

**ЗНАЧЕНИЕ ПОДВОДНОГО ЧЕРНОМОРСКОГО КАБЕЛЯ ДЛЯ ГРУЗИИ.**

*Р. Микутадзе, Г. Арабидзе, М. Арабидзе.*

“Энергия”. № 2(110).2024 . Тбилиси. с. 50-55. груз. реф. груз.англ. рус.

Обсуждается проект подводного черноморского кабеля и его значение для Грузии. Грузия имеет важное геополитическое положение в регионе Южного Кавказа, что дает стране возможность стать центром возобновляемых источников энергии и обеспечить транзит энергии, производимой возобновляемыми источниками, с востока на запад. В связи с тем, что восточные партнеры Грузии ориентированы на использование возобновляемых источников энергии, этот проект даст им возможность продавать возобновляемую электроэнергию на рынке, где спрос на экологически чистые источники энергии постоянно растет. В статье представлены технические параметры черноморского подводного кабеля, его роль в диверсификации экспорта и импорта электрической энергии. Проект принесет пользу как грузинской экономике, так и энергетическому сектору, а также укрепит региональное сотрудничество с европейской распределительной сетью электроэнергии.

*Илл. 1. лит. 4.*

წყალბადის როლი სინთეზური საწვავის წარმოების სტრატეგიებში

თორნიკე შუბლაძე - დოქტორანტი

E-mail: [tshubladze07@gmail.com](mailto:tshubladze07@gmail.com)

ქეთევან მჭედლიძე - ასოცირებული პროფესორი

E-mail: [getevanmchedlidze@gmail.com](mailto:getevanmchedlidze@gmail.com)

მაია ჯიხვაძე - ასოცირებული პროფესორი

E-mail: [Jixvadzemaia@gmail.com](mailto:Jixvadzemaia@gmail.com)

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

*ანოტაცია.* ნაშრომი განიხილავს წყალბადის H<sub>2</sub>-ის როლს, ნახშირბადის ემისიებსა და მათ გავლენას გლობალურ დათბობასა და ეკონომიკაზე. გარდა ამისა, სტატია ხაზს უსვამს წყალბადის H<sub>2</sub>-ის წარმოების მნიშვნელობას, როგორც საფუძველს სინთეზური საწვავის და მომავალი ენერგეტიკული სისტემების განვითარებაში. განახლებადი წყაროებიდან წყალბადს H<sub>2</sub>-ს აქვს პოტენციური გამოვიყენოთ ნახშირბადთან ერთად სინთეტიკური თხევადისაწვავის წარმოებისათვის. მიუხედავად იმისა, რომ H<sub>2</sub> წარმოების ტრადიციული მეთოდები დაკავშირებულია ემისიებთან, H<sub>2</sub>-ის მდგრადი წარმოების ტექნიკას შეუძლია ხელი შეუწყოს დაბალი ნახშირბადოვანი საწვავის წარმოებას.

*საკვანძო სიტყვები:* წყალბადის მიღება, სინთეზური საწვავი, ნახშირბადის ემისია.

*შესავალი*

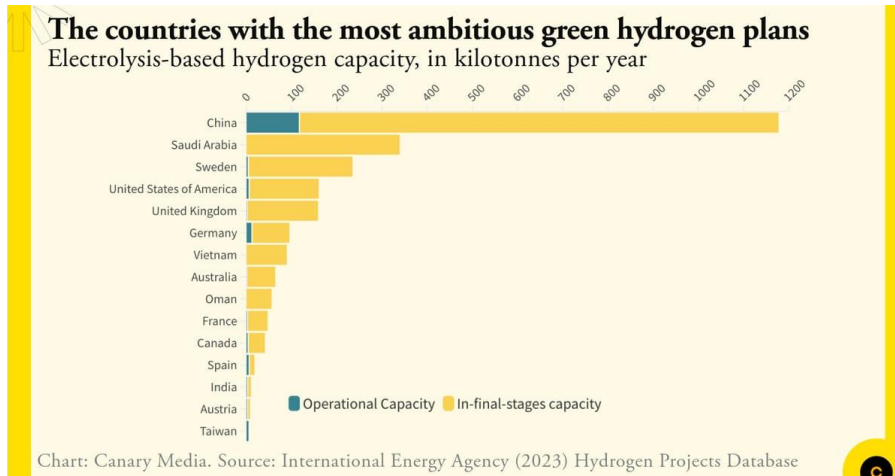
თითქმის ყველა თანამედროვე ენერგეტიკული სისტემა კრიტიკულად არის დამოკიდებული წიაღისეულ საწვავზე. ეს განპირობებულია წიაღისეული საწვავის ღირებულებით და ხელმისაწვდომობით სხვა პირველადი და მეორადი ენერჯიის წყაროებთან შედარებით ან უალტერნატივობიდან გამომდინარე როდესაც არ არის არჩევანი. გამოსავალი არის სინთეზური საწვავი, რომელიც იწარმოება განახლებადი ენერჯიის წყაროების საშუალებით ქიმიური გარდაქმნის გზით, როგორცაა ქარი, მზის ან ბიომასა თხევად ან აირისებრ საწვავად. ეს საწვავი დიდი იმედის მომცემია, რადგან მათი გამოყენება შესაძლებელია არსებულ ინფრასტრუქტურაში, რაც გვთავაზობს გზას ისეთი სექტორების დეკარბონიზაციისთვის, როგორცაა ტრანსპორტი და მრეწველობა, თუმცა, სინთეზური საწვავის ეფექტური და მდგრადი წარმოება

დამოკიდებულია წყალბადის სუფთა და უხვი წყაროს ხელმისაწვდომობაზე და უშუალოდ იმ გზებზე თუ საიდანაა მიღებული წყალბადი. სინთეზური საწვავის წარმოებისთვის, ჩვეულებრივ, საჭიროა ბუნებრივი ნედლეულის ჰიდროგენიზაცია ან ნახშირბადის მოცილება, რადგან ჩვეულებრივ საწვავს, როგორცაა ბენზინი და ბუნებრივი აირი, უფრო მაღალი წყალბადის შემცველობა აქვს, ვიდრე ნედლეულს. დამატებული წყალბადის წყარო წყალია. ნახშირბად-წყალბადთან შედარებით დაბალი თანაფარდობის საწვავის წარმოებისთვის ნებისმიერი კონვერტაციისას, ნედლი წიაღისეული საწვავის ჰიდროგენიზაცია შეიძლება იყოს პირდაპირი, არაპირდაპირი ან პიროლიზით, ცალკე ან კომბინაციით. პირდაპირი ჰიდროგენიზაცია გულისხმობს ნედლეულის წყალბადის ზემოქმედებას მაღალი წნევით. არაპირდაპირი ჰიდროგენიზაცია გულისხმობს ნედლეულის

ორთქლზე რეაქციას, სისტემაში წარმოქმნილი წყალბადით. პიროლიზის დროს ნახშირბადის შემცველობა მცირდება ნედლი ნახშირწყალბადის გაცხელებით, სანამ იგი თერმულად არ დაიშლება, გამოხდელი აქროლადი კომპონენტები მყარი ნახშირბადის მისაღებად, გაზებთან

და სითხეებთან ერთად, რომლებსაც აქვთ წყალბადის უფრო მაღალი ფრაქციები, ვიდრე ორიგინალური მასალა. საწვავი, რომელიც სუფთად დაიწვება, მოითხოვს გოგირდისა და აზოტის ნაერთების მოცილებას აირის, თხევადი და მყარი პროდუქტებისგან.

მსოფლიოს ქვეყნები წყალბადის წარმოების მიხედვით



ჩინეთი ამჟამად წყალბადის უდიდესი მომხმარებელი და მწარმოებელი მსოფლიოში. წყალბადის უმეტესობა, რომელსაც დღეს აწარმოებს, წიაღისეულ საწვავზე დაფუძნებული, მაგრამ ქვეყანას აქვს დიდი გეგმები გააფართოოს მწვანე წყალბადის წარმოება და გამოიყენოს საწვავი ისეთი სექტორების დეკარბონიზაციისთვის, როგორცაა ფოლადის და ქიმიკატების წარმოება.საუდის არაბეთი სიაში შემდეგია, იმის წყალობით, რომ ამჟამად აშენებს მსოფლიოში უდიდეს მწვანე წყალბადის პროექტს. ACWA Power-ს, Air Products-სა და Neom-ს შორის ერთობლივი საწარმო, უზარმაზარი ობიექტი მოიცავს "4 გიგავატამდე მზის და ქარის ენერჯიას დღეში 600 ტონამდე" მწვანე წყალბადის წარმოებისთვის. ეს ნიშნავს, რომ ობიექტს შეეძლება წელიწადში 200 კილოტონაზე მეტი მწვანე წყალბადის

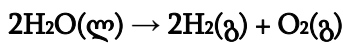
წარმოება, თუ ის ყოველდღიურად იმუშავებს. კონტექსტში, მწვანე წყალბადის უმსხვილეს ქარხანას, ჩინეთის სინძიანის რეგიონში, წელიწადში 44 კილოტონაზე ოდნავ მეტი სიმძლავრე აქვს. ქარისა და მზის ენერჯიის მერყევი ბუნების გათვალისწინებით, ამ განახლებადი ენერჯიის წყაროებზე დაფუძნებული წყალბადის წარმოება მიჰყვება უაღრესად დინამიურ პროფილს. ელექტროლიზის სისტემებს შეუძლიათ საკმარისად გაუმკლავდნენ ელექტროენერჯიის ამ ცვალებად რეჟიმს, მაგრამ შემდგომი ქიმიური წარმოების პროცესები მოითხოვს მუდმივ ნედლეულის ნაკადებს სინთეზური რეაქციებისთვის. ამიტომ წყალბადის შენახვის სისტემები უნდა დაიხვეწოს და მოხდეს მარაგების დაგროვება. ზემოთ მოცემული ნახაზი და დიაგრამა ზედა ნაწილი გვიჩვენებს



წყალბადის წარმოებისა და შენახვის ზოგადი პროცესის სქემას ქარის ენერჯისგან ელექტროლიზის ან ელექტროქსელიდან.

განახლებადი ენერჯისგან წყალბადის მიღება მოიცავს პროცესს, რომელსაც ეწოდება ელექტროლიზი, სადაც წყალი (H<sub>2</sub>O) იყოფა მის შემადგენელ ელემენტებად, წყალბადად (H<sub>2</sub>) და ჟანგბადად (O<sub>2</sub>), ელექტროენერჯის გამოყენებით. ეს ელექტროენერჯია შეიძლება მიღებულ იქნეს განახლებადი ენერჯისგან, როგორცაა მზის, ქარის ან ჰიდროელექტროენერჯია. აი, როგორ მუშაობს პროცესი და რამდენიმე გამოთვლა და დასაბუთება:

ელექტროლიზის პროცესი: ელექტროლიზის დროს წყალი ელექტრულ დენის გავლენით იყოფა წყალბადის და ჟანგბადის გაზად ელექტროდებში. საერთო რეაქცია შეიძლება წარმოდგენილი იყოს შემდეგნაირად:



ენერგეტიკული მოთხოვნები: ელექტროლიზისთვის საჭირო ელექტროენერჯის რაოდენობა დამოკიდებულია ელექტროლიზის პროცესის ეფექტურობაზე და წარმოებული წყალბადის სასურველ სისუფთავეზე. ზოგადად, უფრო მაღალი სისუფთავის წყალბადი მეტ ენერჯიას მოითხოვს [1].

**განგარიშება**

დავუშვათ, რომ გვინდა 1 კგ წყალბადის გაზის წარმოება.

წყალბადის გაზის მოლური მასა (H<sub>2</sub>) = 2 გ/მოლი

ამიტომ 1 კგ წყალბადის გაზი = 1000 გ / (2 გ/მოლი) = 500 მოლი H<sub>2</sub>

ელექტროლიზის რეაქციის სტოქიომეტრიის მიხედვით, 1 მოლი H<sub>2</sub>

წარმოიქმნება 2 მოლი ელექტრონის მოხმარებით.

ასე რომ, 500 მოლი H<sub>2</sub>-ის წარმოებისთვის, ჩვენ გვჭირდება 500 \* 2 = 1000 მოლი ელექტრონი.

ფარადეის მუდმივი (F) = 96485 C/mol (მუხტი საჭიროა ელექტრონების ერთი მოლის გადასატანად)

საჭირო ჯამური დამუხტვა = 1000 მოლი \* 96485 C/mol = 96485000 C

ახლა, დავუშვათ ელექტროლიზის პროცესის ეფექტურობა (η)-ს მნიშვნელობები ჩვეულებრივ მერყეობს 60%-დან 80%-მდე კომერციული ელექტროლიზატორებისთვის.

ავიღოთ ეფექტურობა 70% (0.70) ჩვენი განგარიშებისთვის.

საჭირო ენერჯია (E) = მთლიანი დამუხტვა \* ძაბვა / ეფექტურობა

დავუშვათ სტანდარტული ძაბვა 1,48 ვ წყლის ელექტროლიზისთვის.

ამიტომ საჭირო ენერჯია = (96485000 C \* 1.48 V) / 0.70 ≈ 2.03 \* 10<sup>8</sup> ჯ

ამის კვტ/სთ-ად გადაქცევა (რადგან ეს უფრო პრაქტიკული ერთეულია ელექტროენერჯისთვის):

საჭირო ენერჯია ≈ 2,03 \* 10<sup>8</sup> ჯ \* (1 კვტ.სთ / 3,6 \* 10<sup>6</sup> ჯ) ≈ 56,4 კვტ.სთ

ეს ნიშნავს, რომ ელექტროლიზის გზით 1 კგ წყალბადის გაზის წარმოებისთვის საჭიროა დაახლოებით 56,4 კვტ/სთ ელექტროენერჯია [2,3].

**დასაბუთება**

განახლებადი ენერჯის წყარო: დასაბუთება ელექტროლიზისთვის გამოყენებული ელექტროენერჯის წყაროშია. განახლებადი ენერჯის წყაროების გამოყენებით, როგორცაა მზის, ქარის ან ჰიდროელექტროენერჯია, პროცესი ხდება



ეკოლოგიურად სუფთა, რადგან ის არ არის დამოკიდებული წიაღისეულ საწვავზე და არ წარმოქმნის სათბურის გაზების ემისიას ექსპლუატაციის დროს.

#### ენერგოეფექტურობა

მიუხედავად იმისა, რომ პროცესი მოითხოვს ენერჯიას, ელექტროლიზის ტექნოლოგიის მიღწევები აუმჯობესებს ეფექტურობას, რაც

წყალბადის წარმოებას უფრო ეკონომიკურად სიცოცხლისუნარიანს ხდის. გარდა ამისა, როგორც განახლებადი ენერჯიის ტექნოლოგიები უფრო ეფექტური და ეკონომიური ხდება, წყალბადის წარმოებისთვის საჭირო ენერჯიის საერთო რაოდენობა მცირდება.

ენერჯიის შენახვა: განახლებადი ენერჯიის ელექტროლიზით წარმოებული წყალბადი შეიძლება ინახებოდეს და გამოყენებულ იქნას როგორც სუფთა ენერჯიის გადამზიდავი, რაც უზრუნველყოფს ენერჯიის განაწილების მოქნილობას და უზრუნველყოფს განახლებადი ენერჯიის წყაროების ინტეგრაციას არსებულ ენერგეტიკულ ინფრასტრუქტურაში.

#### დასკვნა

ამჟამად, წყალბადი იწარმოება წიაღისეული საწვავისგან, რადგან წარმოების ხარჯები კორელაციაშია საწვავის ფასებთან, რომელიც რჩება მისაღებ დონეზე. უფრო კონკრეტულად, ის ძირითადად წარმოიქმნება მსუბუქი ნახშირწყალბადების ორთქლის რეფორმირების შედეგად, რაც იწვევს სათბურის აირების გამოყოფას. ევროკავშირის ენერგეტიკული სტრატეგია ორიენტირებულია ნახშირბადის ემისიების შემცირებაზე, რის გამოც მნიშვნელოვანი განვითარება ხდება წყალბადის წარმოების ტექნოლოგიებში განახლებადი რესურსებიდან,

როგორცაა ქარის მზის ელექტრო სადგურები. განახლებადი წყაროების საშუალებით, საიდანაც წყალბადის წარმოებაა შესაძლებელი, მსოფლიოს ყველა რეგიონს აქვს შესაძლებლობა აწარმოოს წყალბადი. ანალიზის საფუძველზე, ბიომასაზე დაფუძნებული ტექნოლოგიები იძლევა წყალბადის მსგავსი გამოსავლიანობის საშუალებას, რაც მიიღება წყალზე დაფუძნებული ტექნოლოგიებით, მაგრამ უფრო მაღალი ენერგოეფექტურობით და დაბალი საოპერაციო ხარჯებით. ამიტომ, წყალბადის წარმოებისთვის განახლებადი საკვები და ენერჯიის მდგრადი წყაროები, რომლებიც ჩაანაცვლებს ჩვეულებრივ წიაღისეულ საწვავს და ამჟამინდელ ენერგოსისტემას, შესაძლებელს გახდის ეგრეთ წოდებული წყალბადის ეკონომიის მიღწევას, მაგრამ არა უპირველეს ყოვლისა ტექნოლოგიური, სამეცნიერო, ეკონომიკური და სოციალური ბლოკირების წინაშე. წყალბადის წარმოებისთვის განახლებადი ენერჯიის გამოყენებით, ჩვენ შეგვიძლია შევამსუბუქოთ გარემოზე ზემოქმედება, შევამციროთ დამოკიდებულება წიაღისეულ საწვავზე და ხელი შევუწყოთ გადასვლას მდგრადი ენერგეტიკული მომავლისკენ.

#### ლიტერატურა

1. Hydrogen Production: Fundamentals and Case Studies" by Juan M. Coronado, Abhoyjit S. Bhowan,
2. Hydrogen Production and Remediation of Carbon and Pollutants" edited by Eric Lichtfouse, Jan Schwarzbauer, and Didier Robert.
3. Advances in Hydrogen Production, Storage and Distribution" edited by Adolfo Iulianelli and Angelo Basile

**THE ROLE OF HYDROGEN IN SYNTHETIC FUEL PRODUCTION STRATEGIES**

*T.Shubladze, K.Mchedlidze, M.Jikhvadze.*

“Energy”. №2(110). 2024. Tbilisi. p. 56-60. geo. sum geo. engl.rus.

This paper examines the role of hydrogen H<sub>2</sub>, carbon emissions and their global warming and economics. Furthermore, the article underlines the importance of hydrogen H<sub>2</sub> production as a basis in the development of synthetic fuels and future energy development. Hydrogen H<sub>2</sub> from renewable sources has the potential to be used with carbon to produce synthetic liquid fuels. Although H<sub>2</sub> production technology can be considered with emissions, sustainable H<sub>2</sub> production techniques can contribute to low carbon.

*Ill. 1, Bibl. 3.*

**РОЛЬ ВОДОРОДА В СТРАТЕГИЯХ ПРОИЗВОДСТВА СИНТЕТИЧЕСКОГО ТОПЛИВА**

*Т.Шубладзе, К. Мchedlidze, М.Джихвадзе.*

“Энергия”. № 2(110).2024 . Тбилиси. с. 56-60. груз. реф. груз.англ. рус.

Рассматривается роль водорода H<sub>2</sub>, выбросов углерода и их глобального потепления в экономике. Кроме того, подчеркивается важность производства водорода H<sub>2</sub> как основы для разработки синтетического топлива и будущего развития энергетики. Водород H<sub>2</sub> из возобновляемых источников потенциально может быть использован вместе с углеродом для производства синтетического жидкого топлива. Хотя технологию производства H<sub>2</sub> можно рассматривать с учетом выброса, а устойчивые методы производства могут способствовать снижению выбросов углерода.

*Илл. 1, лит. 3 назв.*

ახალი თაობის ენერჯიის ზეგამტარული ინდუქციური მაგროვებელი

თამაზ კობრიძე - ტექნ. მეცნ. დოქტორი, პროფესორი  
E-mail: kthamaz@gmail.com.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

*ანოტაცია.* განხილულია ახალი თაობის ენერჯიის ზეგამტარული ინდუქციური მაგროვებელი (ეზგიმ) ტოროიდული ტიპის და სიხშირული გარდამქმნელით, მზრუნავი მაგნიტური ველით ზეგამტარული ტრანსფორმატორის საფუძველზე. ნაჩვენებია, რომ ეზგიმ შეიძლება გამოყენებული იქნეს ელექტროენერგეტიკული სისტემის სტატიკური და დინამიკური მდგრადობის გაუმჯობესებისათვის, პიკური დატვირთვის დაფარვისათვის, ქსელში განსაზღვრულ წერტილებში ძაბვის შენარჩუნებისათვის და აგრეთვე ელექტრული ენერჯიის შენახვისათვის.

მიღებულია ტოროიდული გრაგნილის ინდუქციურობის საანგარიშო გამოსახულება. შედგენილია ეზგიმ-ის ელექტრული ჩანაცვლების სქემა და განტოლებები გარდამავალ რეჟიმებში. ჩატარებულია ანალიზი, როგორც სტაციონალურ ისე გარდამავალ პროცესებში.

*საკვანძო სიტყვები:* ზეგამტარული, ინდუქციური, მაგროვებელი, ტოროიდული, გარდამქმნელი, სტაციონალური, გარდამავალი.

ენერჯიის ზეგამტარული ინდუქციური მაგროვებელი, შეიძლება გამოყენებული იქნეს ელექტროენერგეტიკული სისტემის სტატიკური და დინამიკური მდგრადობის გაუმჯობესებისათვის, პიკური დატვირთვის დაფარვისათვის, ქსელში განსაზღვრული წერტილებში ძაბვის შენარჩუნებისათვის და აგრეთვე ელექტროენერჯიის შენახვისათვის.

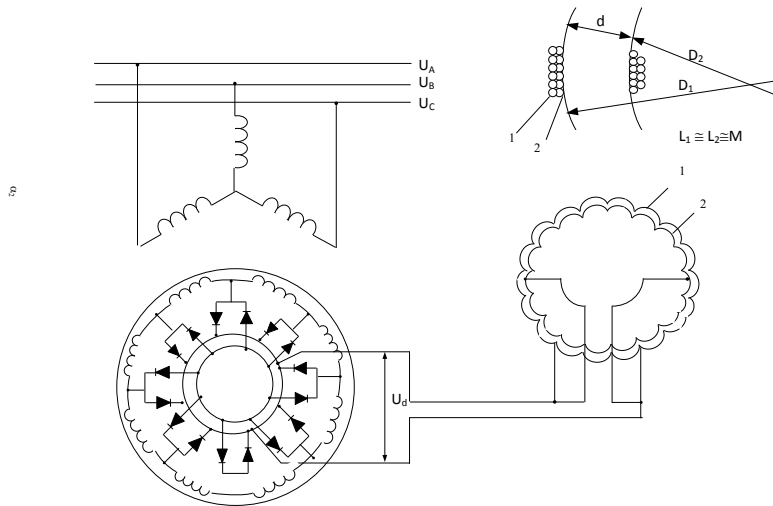
ეზგიმ-ს სიხშირული გარდამქმნელის მონაწილეობით შეუძლია გენერირება, როგორც აქტიური სიმძლავრის მდგრადი მუშაობის უზრუნველყოფისათვის, ისე რეაქტიული სიმძლავრის, ქსელის ძაბვის სტაბილიზაციისათვის.

განხილულია ტოროიდული ეზგიმ-ი. ტოროიდული ეზგიმ-ი მაგნიტური ველის საკმარისი ერთგვაროვნებით და მაგნიტური ველის თვითდაეკრანების თვისების უპირატესობით ხასიათდება, შედარებით სხვა სახის გრაგნილებისაგან (ცილინდრული, სფერული და სხვა).

ნახ. 1-ზე ნაჩვენებია ეზგიმ-ის და გარდამქმნელის ჩართვის სქემა ქსელში.

გარდამქმნელი ეზგიმ-ში შესრულებულია ელექტრომანქანური ტიპის ზეგამტარული ტრანსფორმატორით, ჩაშენებული მართვადი ნახევრადგამტარიანი კომპუტატორით, მზრუნავი მაგნიტური ველით [1]. ასეთი გარდამქმნელები ხასიათდებიან კომპაქტურობით და მაღალი ტექნიკო-ეკონომიური მაჩვენებლებით, შედარებით ჩვეულებრივ სამფაზა ტრანსფორმატორულ-გამმართველ დანადგართან.

პირველადი სამფაზა განაწილებული გრაგნილი შეერთებულია ვარსკვლავად და მიერთებულია სამფაზა დენის ქსელთან. მეორადი განაწილებული გრაგნილი შეკრულია და შედგება N მიმდევრობით შეერთებული სექციებისაგან მართვადი ნახევრადგამტარიანი კომპუტატორით (ნახ.1, n=9). გარდამქმნელის ასეთი შესრულება იძლევა საშუალებას მინიმუმამდე დავიყვანოთ ძაბვის ჰარმონიკების მნიშვნელობა, რაც აუცილებელია ეზგიმ-ში დანაკარგების შემცირებისათვის, გამოწვეული მაღალი რიგის ჰარმონიკებით.



ნახ. 1. ეზგიმ-ის და გარდამქმნელის ჩართვის სქემა ქსელში

თუ შემოვიღებთ უგანზომილებო პარამეტრს

$$K = \frac{D_1}{D_2},$$

სადაც  $D_1, D_2$  - გარე და შიდა დიამეტრები, მაშინ მუშა მოცულობა, რომელშიც წარმოიქმნება მაგნიტური ველი, განისაზღვრება გამოსახულებით:

$$V = \frac{\pi^2}{16} (K - 1)^2 (K + 1) D_2^3 \quad (1)$$

ეზგიმ-ის მაგნიტური ველის ხვედრითი ენერჯია

$$W_{bz} = \frac{B_{კრ}^2}{2\mu_0},$$

სადაც  $B_{კრ}$  - კრიტიკული მაგნიტური ინდუქცია;  $\mu_0$  - სიცარიელეს მაგნიტური შეღწევადობა

ეზგიმ-ის მუშა მოცულობისათვის მივიღებთ

$$V = \frac{W}{W_{bz}} = \frac{2\mu_0}{B_{კრ}^2} W, \quad (2)$$

სადაც  $W$  - ტოროიდის მაგნიტური ველის სრული ენერჯია. (1) და (2) გამოსახულებიდან მივიღებთ

$$D_2 = \sqrt{\frac{32\mu_0 W}{\pi^2 (K-1)^2 (K+1) B_{კრ}^2}} \quad (3)$$

$$d = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{32\mu_0 W}{\pi^2 (K+1) B_{კრ}^2}} \quad (4)$$

ტოროიდული გრაგნილის ინდუქციურობისათვის მივიღებთ

$$L = \mu_0 \frac{\pi^2}{32} (K + 1)(K - 1) \frac{1}{d} D_2^3 \quad (5)$$

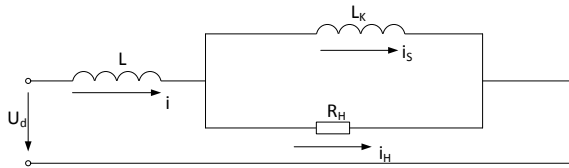
ეზგიმ-ის ელექტრული ჩანაცვლების სქემა გარდამავალ რეჟიმებში ნაჩვენებია ნახ. 2-ზე.

გარდამავალ პროცესებში განტოლებას გააჩნია შემდეგი სახე:

$$U_d = L \frac{di}{dt} + L_k \frac{di_s}{dt}; \quad U_d = L \frac{di}{dt} + i_H R_H; \quad i = i_H + i_s, \quad (6)$$

სადაც  $L_k$  - ეზგიმ-ის კინეტიკური ინდუქციურობა [2];  $R_H$  - ეზგიმ-ის ნორმალური წინაღობა;  $i_H$  - დენის აქტიური მდგენელი, ან დენი ნორმალური ელექტრონებისაგან;  $i_s$  - დენის ზეგამტარული მდგენელი.

სტაციონალურ რეჟიმში  $i = const$ . წინაღობა  $R_H$  დამოკლებულია ინდუქციურობით,  $i_H = 0$ ,  $U_d = 0$ . თუ გრაგნილი კარგავს ზეგამტარობას ( $L_k \rightarrow \infty$ ;  $i_s \rightarrow 0$ ;  $i \rightarrow I_H$ ), მაშინ დენი გაივლის წინაღობაში  $R_H = R_{H0}$ . მაღალი დენის სიმკვრივეს მიყვავართ გრაგნილის დაზიანებასთან. ელექტროდინამიკური აფეთქების აცილების მიზნით



ნახ. 2. ეზგიმ-ის ელექტრული ჩანაცვლების სქემა გარდამავალ რეჟიმებში

ეზგიმ შესრულებულია ორი ტრანს-პონირებული ერთფენიანი გრაგნილებით, ჩართული პარალელურად. გრაგნილები მაგნიტურად დაკავშირებულია (ნახ. 1).

ერთ-ერთ გრაგნილში ზეგამტარული მდგომარეობის დაკარგვის შემთხვევაში

მთლიან დატვირთვას იღებს გრაგნილი, რომელიც იმყოფება ზეგამტარულ მდგომარეობაში.

ლიტერატურა

1. Кохреидзе Т. Инновационные управляемые электромеханические системы с бесконтактными двигателями постоянного тока. Тбилиси:Технический университет. 2016.
2. Лутидзе Ш.И. Новая электротехника. М.; Лонгфелло. 2010.

**SUPERCONDUCTING INDUCTIVE ENERGY STORAGE OF THE NEW GENERATION**

*T.Kokhreidze.*

“Energy”. №2(110). 2024. Tbilisi. p. 61-63. geo. sum geo. engl.rus.

Based on a superconducting transformer with a rotating magnetic field, a toroidal superconducting inductive energy storage (SIES) and a frequency converter are considered. It is shown that SIES can be used to improve the static and dynamic stability of electric power systems, cover peak loads, maintain voltage at certain points in networks, and store electrical energy.

Expressions for calculating the inductance of a toroidal winding are obtained. An equivalent electrical circuit and SIES equations in transient processes are compiled. An analysis is carried out both in stationary and transient processes.

*Ill. 2, bibl. 2..*

**СВЕРХПРОВОДЯЩИЙ ИНДУКТИВНЫЙ НАКОПИТЕЛЬ ЭНЕРГИИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ.**

*T. Кохреидзе.*

“Энергия”. № 2(110).2024 . Тбилиси. с. 61-63. груз. реф. груз.англ. рус.

На основе сверхпроводящего трансформатора с вращающимся магнитным полем рассматривается сверхпроводящий индуктивный накопитель энергии (СПИНЭ) тороидального типа и преобразователь частоты. Показано, что СПИНЭ могут быть применены для улучшения статической и динамической устойчивости электроэнергетических систем, покрытия пиковых нагрузок, поддержания напряжения в определенных точках в сетях, а также для хранения электрической энергии.

Получены выражения для расчета индуктивности тороидальной обмотки. Составлена электрическая схема замещения и уравнений СПИНЭ в переходных процессах. Проведен анализ как в стационарных, так и в переходных процессах.

*Илл.2, лит. 2 наз.*

## Correlation-regression analysis of energy consumption of an industrial enterprise

\*Konstantine Kiguradze - Student

E-mail: [konstantine.kiguradze@gmail.com](mailto:konstantine.kiguradze@gmail.com)

\*\*Ivane Grdzeldze - 12th grade student

E-mail: [vanikogrdzeldze@gmail.com](mailto:vanikogrdzeldze@gmail.com)

\*Caucasus University, Tbilisi, Georgia

\*\*The first experimental public school, Tbilisi, Georgia,

*Annotation.* In order to assess the background technical condition of the enterprise, the raw (unprocessed) data on the manufactured products and the corresponding consumed energy have been analyzed. The basic model of electricity consumption has been developed using the one-factor correlation-regression method of the data. Based on a complete statistical analysis, recommendations were developed, which were implemented in the enterprise, and data monitoring for the next 6 months of the year was carried out.

*Keywords:* Correlation, regression, analysis, energy conservation

### Introduction

The policy of economy of energy resources, focused on the energy efficiency of the production of products, is extremely important in all branches of the country's economy. Rational use of energy is achieved by the following measures: modernization of outdated and inefficient power plants and equipment; replacement with modern highly efficient equipment; optimization of production modes; correct organization of energy accounting; rational consumption of energy; Improving the energy audit methodology and others.

The assessment of the current state of energy and energy efficiency of industrial enterprises significantly determines the planning of the further measures that will increase the energy characteristics of the enterprise.

The main characteristics of the energy efficiency of the industrial enterprise and the production of products are the specific cost of energy resources for the released products and the total costs of energy. The specific cost of energy resources in the cost structure of products determines an important determinant of energy costs. The dynamics of total costs provide a means of determining the indicators of real energy consumption reduction measures under the conditions of

operation of enterprises with frequently changing modes.

The main purpose of conducting energy audits of industrial enterprises is to assess the current state and forecast of energy efficiency. In this direction, one- and two-factor physical models of research according to the specific and total costs of energy resources (electrical and thermal energy, heating) are successfully used [1].

The main product of the enterprise is a "sandwich panel" of different thicknesses for construction purposes, which consists of three layers: an inner heat-insulating layer of polyurethane of different thicknesses and two protective aluminum thin (0.3 mm thick) layers. Electric energy is used as the main source of energy. There are several production facilities of different capacities operating in the country.

The purpose of the energy audit of the enterprise is to evaluate the current state of energy consumption of the technological process, to discover the sources of energy losses and to develop recommendations for their elimination.

### Main Part

a. Development of the basic model of electricity consumption



The main product of the enterprise is a "sandwich panel" of different thicknesses for construction purposes, which consists of three layers: an inner heat-insulating layer of polyurethane of different thicknesses and two protective aluminum thin (0.3 mm thick) layers. Several such productions of different capacities are operating in the country. Electricity and natural gas or only electricity

are used as energy sources. The industrial enterprise (X) mainly consumes electrical energy for the production of products for technological purposes. Table 1 shows the data of produced products (P, m<sup>3</sup>/month) and consumed energy (E, kWh/month) in base (Z) and monitoring (Z+1) years. In the same years, the values of specific indicators of electricity consumption (E/p, kWh/month) are also given

Table 1. Indicators of production and energy consumption in base and monitoring years

Month	Product production and electro energy consumption					
	Base (Z) year			Monitoring (Z+1) year		
	Manufactured products by accounting (counting) P <sub>1</sub>	Consumed electro energy with a counter E <sub>1</sub>	Specific rate E <sub>1</sub> /P <sub>1</sub>	Manufactured products by accounting (counting) P <sub>2</sub>	Consumed electro energy with a counter E <sub>2</sub>	Specific rate E <sub>2</sub> /P <sub>2</sub>
	m <sup>3</sup> /Month	kWh/Month	kWh/Prod	m <sup>3</sup> /Month	kWh	kWh/Prod
1	2	3	4	5	6	7
1	20459	35502	1.735	24551	35629	1.45
2	5902	31006	5.253	23589	31025	1.32
3	28756	39899	1.388	35945	40125	1.12
4	26890	37999	1.413	31461	41001	1.30
5	10080	33010	3.275	21583	31559	1.46
6	25789	38001	1.474	31463	39856	1.27
7	16540	37010	2.238	168592	219195	
8	18460	34121	1.848	28099	36533	
9	7458	30999	4.156			
10	14125	35111	2.486			
11	5247	30998	5.908			
12	8525	34041	3.993			
	188231	417697				

The raw (unprocessed) data of the enterprise (Table 1) is checked for the possible presence of rough type (missing) data using the student statistic [2] and the homogeneity of the variance

rows is confirmed. The results of initial statistical values and data homogeneity testing for the base and monitoring years are presented in Table 2.

Determining the current indicators of energy efficiency in production is crucial for guiding subsequent steps in energy research. To develop a fundamental model of energy consumption, raw data from the base year—specifically, data on production volumes and

energy consumption—are utilized (see Table 1). The table shows that production volumes fluctuate significantly (by a factor of 5.5) from month to month, due to changes in the market production program. As a result, both general and specific energy consumption indicators vary accordingly.

At the initial stage of the energy audit, it is effective to develop a simple one-factor regression model to explore the relationship between energy consumption (either total or specific) and production output. Typically, the corresponding equation takes the form of a linear relationship [1]:

$$E = a \cdot P + C \tag{1}$$

where E – is monthly energy consumption; P - the number of products produced in the same period; a - proportionality coefficient between product production and energy consumption; C- non-productive energy, which does not depend on the amount of production of products (it is a constant amount). The main

production process is accompanied by other "additional" processes with energy consumption, which are non-productive - they do not directly participate in the creation of product.

Table 2. Initial statistical values and testing data for homogeneity

Name	Base year (12 months)		Monitoring year (6 months)	
	P,	E	P,	E
Total: m <sup>3</sup> /month and kWh/month.	188231	417697	168592	219195
average: m <sup>3</sup> /month; kWh/month.	15686	34808	28099	36533
Minimum: m <sup>3</sup> /month; kWh/month.	5247	30998	21583	31025
Maximum: m <sup>3</sup> /month; kWh/month.	28756	39899	35945	41001
Median: m <sup>3</sup> /month; kWh/month.	15332	36060	28006	40536
Evaluation of variation row dispersion: (m <sup>3</sup> /month) <sup>2</sup> ; (kWh/month) <sup>2</sup> .	71561299	9044646	31913021	19960754
Variation row stan.gad. Estimate: m <sup>3</sup> /month and kWh/month.	8459	3007	5649	4468
Dispersion of arithmetic mean: (m <sup>3</sup> /month) <sup>2</sup> ; (kWh/month) <sup>2</sup> .	5963442	753721	26594184	16633962
Standard deviation of arithmetic mean: m <sup>3</sup> /month; kWh/month.	2442	868	5157	4078
Student statistics	1.5	1.7	1.39	1.23
t(0.95;k=12-1) and t(0.95;k=6-1) from the table of quantiles of the Student's distribution	2,2	2,2	2.78	2.78
Conclusion: the variation row does not contain "raw" (wrong) data	1.5<2.2	1.7<2.2	1.39<2.78	1.23<2.78

The ratio of the energy spent directly on the production of products to the total energy consumption gives us the energy efficiency of the production process: ( $\eta$ ) that is

$$\eta = \frac{a \cdot P}{a \cdot P + C} = \frac{E - C}{E} \quad (2)$$

Based on the data of Table 1 processed by the method of least squares, the regression models between the base year of production electricity consumption and the produced products have a specific form:

$$E = f(P) = 0.3319 \cdot P + 29602 \text{ kWh/month} \quad (3)$$

Where as it was mentioned, the first component is the technological cost of energy, which depends on the amount of produced products, and then - 29602 is a constant amount. The coefficient 0.3319 represents the value of electricity consumed per unit of production. Graphic representation of the

basic model (regression equation) is shown in Fig. 1. The quality of the base model (average error of approximation) was checked according to the average value of the relative deviation from the approximation line of each base data [3]:

$$\bar{A} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \left| \frac{E_i - \hat{E}_i}{E_i} \right|$$

where n is the number of data; E<sub>i</sub> - current data and  $\hat{E}_i$  - the value obtained by the regression equation.

$\bar{A} = 2,5\% < 10\%$  is obtained by calculation, which indicates a high degree of approximation of raw data.

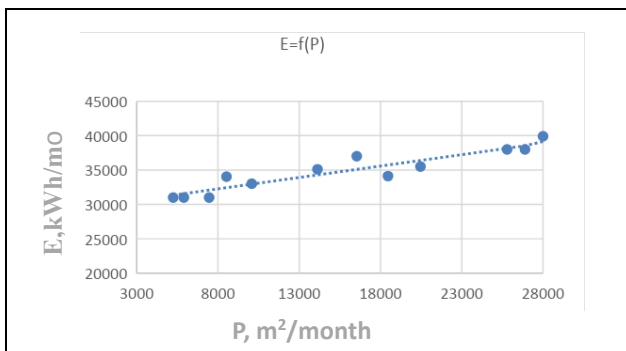


Fig. 1. Dependence between electricity and manufactured products (base model)

The statistical relationship between the produced products and the consumed energy is close (strong), which is indicated by the very high correlation coefficient between them,

$$r=0.94. \left( r = \sqrt{R^2} = \sqrt{0.8815} = 0.94 \right)$$

According to the high coefficient of determination  $R^2=0.8815$ , 88% of the variation in electricity consumption -var(E)- is explained by the variation of manufactured products - var(P), and only 12% is explained by the influence of other factors not considered in the model.

On the graph of the model function (Fig. 1) from the regression line, the lower area of the data scatter includes the values of electricity consumption with low indicators: (20459; 35502), (5902; 31006), (26890; 37999), (10080; 33010), (25789; 38001) , (18460,34121), (7458;30999) and (5247;30998). This can be related to the operational services of persons with the specified qualifications of the technological line. Through appropriate training and education, the transition to optimal operation indicators and the assessment of energy saving potential are achieved, for which the optimal service extracts from common data should be processed by the method of least squares, and as a result, the regression equation corrected by optimal operation is obtained:

$$E_{opt} = 0.3283 \cdot P + 29018, \text{ kWh/month} \quad (4)$$

Fig. 2 shows the relationship between electricity and manufactured products in the form of a corrected basic model.

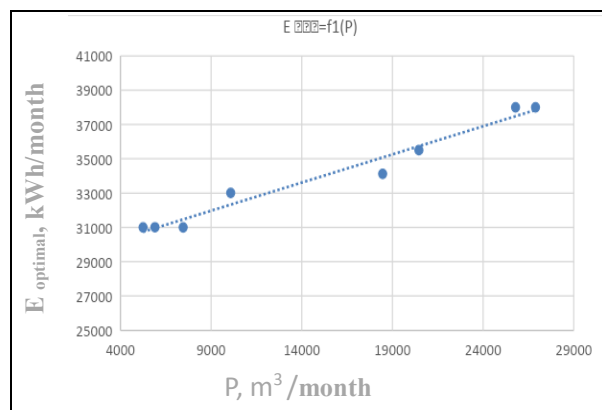


Fig. 2. Dependence between electricity and manufactured products (adjusted base model)

In this case, the relationship between electricity and manufactured products (adjusted basic model) is characterized by a stronger correlation coefficient  $r=0.98$ .

Comparing equations (4) and (3) gives us the energy saving potential ( $\Delta E$ ):

$$\Delta E = E - E_{opt} = 0.0036 \cdot P + 584 \text{ kWh/month} \quad (5)$$

From the total consumption of 417,697 kWh/year of the enterprise, the potential saving with optimal operation (calculated by formula (5)) amounts to 7,686 kWh/year (1.84%).

Fig. 3 The dependence of the consumed specific energy on the produced products is shown. As can be seen from the graph, the specific consumption of electrical energy decreases along with the increase in the generated products, and vice versa - the decrease in the generated products leads to an increase in the specific consumption of electricity, which reduces the energy efficiency indicator of the enterprise. Increasing the specific cost of energy in the range  $E/P=1.39 \div 5.91$  kWh/m<sup>3</sup>.prod. It is due to a significant share of non-productive energy consumption in the range of 5247÷28756 m<sup>3</sup>/month of production.

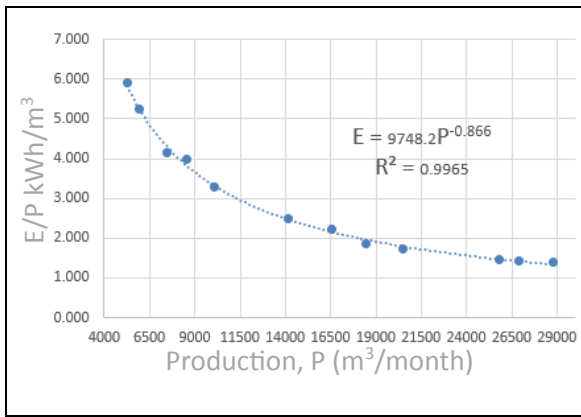


Fig. 3. Dependence of specific energy consumption according to manufactured products

Thus, a background check of the current state of the enterprise from an energy point of view showed that the production operates with a wide range of output fluctuations (caused by market demand fluctuations) and therefore with significantly different energy efficiency. Therefore, in order to increase the energy efficiency of production, it is important:

In the enterprise, the cost of electricity (for technological process and lighting) is recorded by one common electricity meter. To separate the amount of energy spent on lighting from the total consumption, an estimation method is used using data on the number of lamps, type of lighting devices, power and working hours. The average value of the lighting load according to the months was 1940 kWh/month, which varies from 5% to 6.2% of the total electricity consumption during the change of the generated products. By modernizing the lighting system - replacing the existing Varvara lamps with LED type lamps, it is possible to save non-productive energy consumption of 776 kWh/month and increase the energy efficiency of the enterprise.

After the modernization of the lighting system, the adjusted regression equation of electricity consumption will take the form:

$$E^* = f(P) = 0.3319 \cdot P + 29602 - 776 = 0,3319 \cdot P + 28826 \text{ kWh/month}$$

The analysis of the basic model of energy consumption showed:

1. The specific rate of electricity consumed in the technological process, kWh/m<sup>3</sup>prod, changes in a wide range of the number of

products produced, which is largely due to the high rate of the constant value of the free term of the regression equation;

2. It is possible to reduce the specific cost of energy consumption by increasing the production of products of the technological line, which the technological line of the enterprise has the means of; The relative size of the free member is inversely proportional to the output of the product and is recommended for high-performance operation;

3. In connection with increasing the performance of the technological line of the enterprise (it will be necessary to increase the existing warehouse space for storing excess products;

4. The measure to reduce the size of the free term of the base model of the regression equation is the modernization of the lighting system using energy-efficient LED lamps;

5. Reducing the confusion (dispersion) of experimental data from the regression line of the base model by filtering the complete data, obtaining samples with a low specific cost and processing them using the regression method. This is possible on the basis of trainings of service personnel in the enterprise. As a result, a corrected base model is obtained.

By implementing the listed recommendations, the enterprise continues its work in the next year with new improved technological indicators and continues to monitor with the correlation-regression method to obtain quantitative results.

#### b. Correlation-regression analysis of the monitoring period

In order to check the results of the introduction of energy efficient measures, the observations of 6 months of the monitoring year are used as initial data. (Fig.3) The data is processed by the correlation-regression method [4,5]. The table shows the increased indicators of production compared to the base year (paragraph 2 of recommendations). For example, the average value of production in the 6 months of the monitoring year is 28,099

kWh/month, 5 times higher than the corresponding data of the base year (19,646 kWh/month).

Table 3. Raw data for the monitoring year

Year of monitoring - raw (unprocessed) data	
manufactured products, P <sub>0</sub> m <sup>3</sup> /month	consumed energy E <sub>0</sub> kWh/month
24551	35629
23589	31025
35945	40125
31461	41001
21583	31559
31463	39856
168592	219195
28098.7	36532.5

Table 4. Indicators of energy efficiency (energy saving) of the monitoring year

Note: in the table E<sub>0</sub> is the actual electricity consumption by months in the monitoring year according to the table

Monitoring results					
I event Basic modeling function $E_1=0.3319 \cdot P+29602$			II event Model function (lighting modernization) $E_2=0.3319 \cdot P+28826$		
Reported energy consumption. kWh/month	saving E <sub>0</sub> -E <sub>1</sub> kWh/month	Cumulative amount of saving kWh/month	Reported energy consumption. kWh/month	saving E <sub>0</sub> -E <sub>2</sub> kWh/month	Cumulative amount of saving kWh/month
37750	-2121	-2121	36974	-1345	-1345
37431	-6406	-8528	36655	-5630	-6976
41532	-1407	-9935	40756	-631	-7607
40044	957	-8978	39268	1733	-5874
36765	-5206	-14184	35989	-4430	-10304
40044	-188	-14373	39268	588	-9717
233568	-14373	-14373	228912	-9717	-9717
III event Model function (optimal operation) $E_3=0.3319 \cdot P+29018$			total measure Total savings, kWh/month		
E <sub>3</sub>	E <sub>0</sub> -E <sub>3</sub>			E <sub>0</sub> -(E <sub>1</sub> +E <sub>2</sub> +E <sub>3</sub> )	
37078	-1449	-1449		-4916	-4916
36762	-5737	-7186		-17774	-22690
40819	-694	-7880		-2732	-25422
39347	1654	-6226		4344	-21077
36104	-4545	-10771		-14181	-35259
39347	509	-10262		908	-34351
229457	-10262	-10262		-34351	-34351

### Conclusion

Based on the energy consumption data of the one-year period of the enterprise's operation, as a result of processing with the correlation-regression method, an image of the base model was obtained. Based on the analysis, the current background technical condition of the enterprise's energy consumption is established and a package of energy-efficient measures to increase the enterprise's competitiveness is developed. In the next monitoring year, the enterprise operates under the conditions of already implemented energy efficient measures in the monitoring year.

Cumulative saving indicators corresponding to 6 months, according to the measures taken, are equal to: negative 10262 kWh, by increasing the production (Measure I); negative 9717 kWh, with the modernization of the lighting system (Measure II); negative 10262 kWh, with optimal operation (measure III) and negative 34351 kWh, with total measure (measure IV).

The developed methodology of enterprise energy consumption analysis can be used in other enterprises even if the enterprise consumes electricity along with other types of energy (for example, organic heating). Specifically, the analysis is carried out using the multi-factor correlation-regression method.

### Reference

1. Mikiashvili T. Energy audit. manual. Tbilisi.: Publishing house "Technical University". 2010. 217 p.
2. Oleynik B.N. Precise calorimetry. Publ. of standards. M. 1973.
3. Skhirtladze I, Tughushi T, Osidze A, Civadze A, Nadareishvili M. Probability theory and mathematical statistics. Tbilisi.: Ganatleba, 1999. 284 p.
4. Base V.P. Correlation-regression analysis using Excel program. Textbook Yekaterinburg. 2005.
5. Shanigin S.I. Correlation and regression analysis. Textbook for the University of Yurait. 2024. 70 p.

სამრეწველო საწარმოს ენერჯიის მოხმარების კორელაციურ-რეგრესიული ანალიზი.

კ.კიდეურაძე, ივ. გრძელიძე.

„ენერჯია“. №2(110). 2024. თბილისი. გვ. 64-71. ინგლ. ანოტ. ქართ. ინგლ. რუს.

საწარმოს ფონური ტექნიკური მდგომარეობის შესაფასებლად გაანალიზებულია მისი ერთი წლის მუშაობის მახასიათებელი ნედლი (დაუმუშავებელი) მონაცემები წარმოებული პროდუქციისა და შესაბამისი მოხმარებული ენერჯიის შესახებ.

მონაცემების ერთფაქტორიანი კორელაციურ-რეგრესიული მეთოდით დამუშავებულია ელექტროენერჯიის მოხმარების საბაზისო მოდელი. სრული სტატისტიკური ანალიზის საფუძველზე შემუშავებულია რეკომენდაციები, რომლებიც დაინერგა საწარმოში და ჩატარებულია მომდევნო წლის 6 თვის მონაცემების მონიტორინგი.

დანერგილი ღონისძიებების განხორციელებით მიღებულია ენერჯიის ჯამური დაზოგვის მნიშვნელობა --34352 კვტ.სთ.

ილ. 3, ცხრ. 4, ლიტ. 5.



**КОРРЕЛЯЦИОННО-РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ.**

*К.Кигурадзе, Ив. Грдзелидзе*

“Энергия”. №2(110). 2024. Тбилиси. с. 64-71. англ. реф. груз.англ. рус.

С целью оценки фонового технического состояния предприятия проанализированы исходные (необработанные) данные о выпускаемой продукции и соответствующей потребленной энергии. Базовая модель потребления электроэнергии была разработана с использованием однофакторного корреляционно-регрессионного метода данных. На основе полного статистического анализа были разработаны рекомендации, которые были внедрены на предприятии, и проведен мониторинг данных за последующие 6 месяцев года.

*Илл. 3, табл.4, лит. 5 назв.*

ენერგოდამზოგავი ტექნოლოგიის გამოყენება მაღალი სისუფთავის ნეონისა და ჰელიუმის მისაღებად

ლუიზა პაპავა - ასოცირებული პროფესორი

E-mail: [Papava1949@gmail.com](mailto:Papava1949@gmail.com)

მარინე რაზმაძე - ასოცირებული პროფესორი

E-mail: [marina.razmadze30@mail.ru](mailto:marina.razmadze30@mail.ru)

გივი გუგულაშვილი - ასოცირებული პროფესორი

E-mail: [g.gugulashvili@gtu.ge](mailto:g.gugulashvili@gtu.ge)

გიორგი ხარშილაძე - სტუდენტი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

*ანოტაცია.* ნეონ-ჰელიუმის კონცენტრატის გადამუშავების კლასიკური ტექნოლოგიის გან-ხილვა გვიჩვენებს, რომ მსუბუქი ინერტული აირების მისაღებად შესაძლებელია ენერჯიის ხვედრითი დანახარჯების შემცირება. ნეონისა და ჰელიუმის ნარევი აირის ნაკადის გადა-მუშავებისას გამოვლენილია რეზერვები საექს-პლუატაციო ხარჯების შესამცირებლად. შემოთა-ვაზებულია სქემაში მემბრანული მოდულის ჩართვა, რომელშიც მიმდინარეობს ერთდრო-ულად ნეონის ნაკადის გამოყოფა და ნარევის გამდიდრება ჰელიუმით. ნეონისა და ჰელიუმის მიღების ტექნოლოგიის ეფექტურობა იზრდება კრიოგენული ადსორბენტების მუშაობის ციკლის ხანგრძლივობის გაზრდით და კომპრესორების რიცხვის შემცირებით.

*საკვანძო სიტყვები:* ნეონი, ჰელიუმი, სეპარატორი, კომპრესორი, აბსორბერი, მემბრა-ნული მოდული.

*შესავალი*

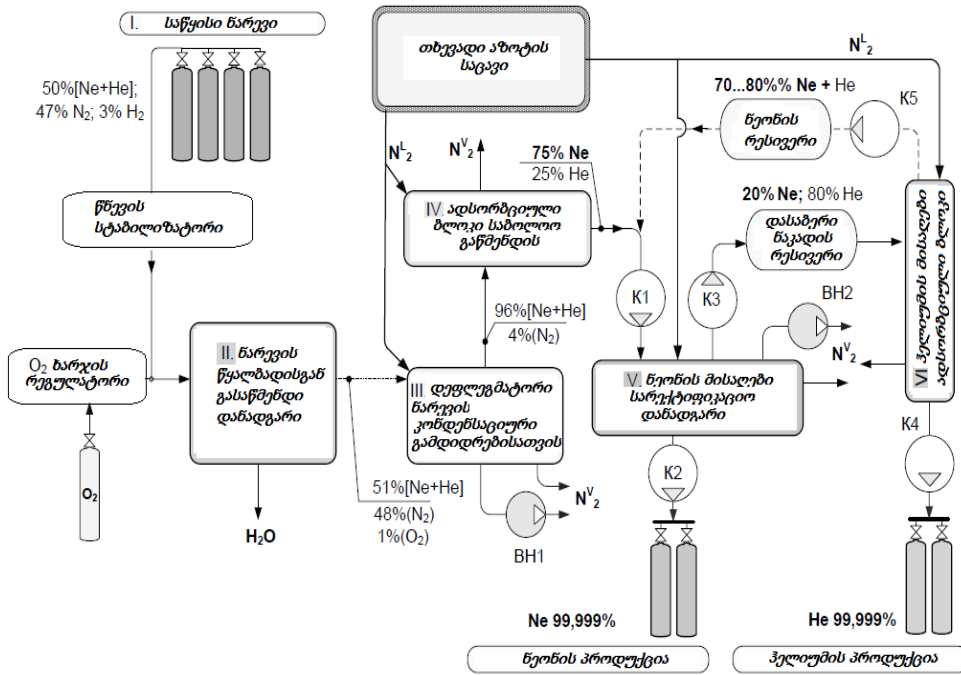
მსუბუქი ინერტული აირების (Ne და He) მოპოვებისათვის ნედლეულს იღებენ ერთდრო-ულად ატმოსფეროდან ჟანგბადის გამოყოფის პროცესში. როგორც წესი, დიდ სარეკტიფიკაციო დანადგარებს შეუძლიათ აწარმოონ ნეონ-ჰელიუმის ნარევი პროდუქტების შემცველობით, დაახლოებით 50%-ის ფარგლებში. კონცენტ-რატში სჭარბობს აზოტი და წყალბადი. წყალბადისაგან ( $H_2$ ) გაწმენდა, ჩვეულებრივ, ხორციელდება დაჟანგვის რეაქციით  $2H_2+O_2\rightarrow 2H_2O$ . ნეონი და ჰელიუმი ინერტული აირებია, ამიტომ მათი გამოყოფა ქიმიური მეთოდებით შეუძლებელია. ეს შესაძლებელია მხოლოდ ფიზიკური მეთოდებით. გამდიდრების პროცესები და გაწმენდა ტარდება  $T= 30...78K$  ტემპერატურაზე. სეპარაციის კრიოგენული უზრუნველყოფა ასეთ

ტემპერატურულ დონეზე დაკავშირე-ბულია მნიშვნელოვან საექსპლუატაციო დანახარჯებთან. ამიტომ გაზრდილი კონკურენციის პირობებში და ენერგო-მატარებლებზე ხარჯების ზრდის პირო-ბებში ძალზე აქტუალური ხდება ენერგო-დაზოგვის ტექნოლოგიების გამოყენება.

*ძირითადი ნაწილი*

მაღალი სისუფთავის მქონე ნეონის მიღების ტექნოლოგიური თანმიმდევრობა ნეონისა და ჰელიუმის წარმოების ინდივიდუალური ეტაპები სქემატურად ნაჩვენებია ნახ. 1-ზე. პროცესი შეიძლება დაიყოს რამდენიმე სტადიად:

I. ბალონების მიღება საწყისი ნარევით, რომელიც მიწოდებულია რამდენიმე წყაროდან (ჩვეულებრივ მეტალურგიული საწარმოების ჟანგბადის საამქროებიდან).



ნახ. 1. ნეონ-ჰელიუმის ნარევის გადამუშავების ტექნოლოგიური თანმიმდევრობის გამარტივებული სქემა:

K1...K5 – მემბრანული კომპრესორები; BH1...BH2– ვაკუუმ ტუმბოები; N2L – თხევადი აზოტი; N2 V აირადი აზოტი

II. ნარევის გაწმენდა წყალბადისგან ქიმიური მეთოდებით. რეაქციის პროდუქტის (H<sub>2</sub>O) შთანთქმა და მოცილება კონდენსაციისა და ადსორბციის მეთოდებით გარემო ჰაერის ტემპერატურაზე.

III. ნარევის გამდიდრება მასში შემავალი აზოტის კონდენსაციის გზით დეფლუგმატორში T=68...77,4 K ტემპერატურაზე.

IV. ნარევის ღრმა (საბოლოო) გაწმენდა აზოტისა და სხვა მინარევებისაგან ადსორბერებში თხევადი აზოტის ტემპერატურაზე (T = 77,4 K);

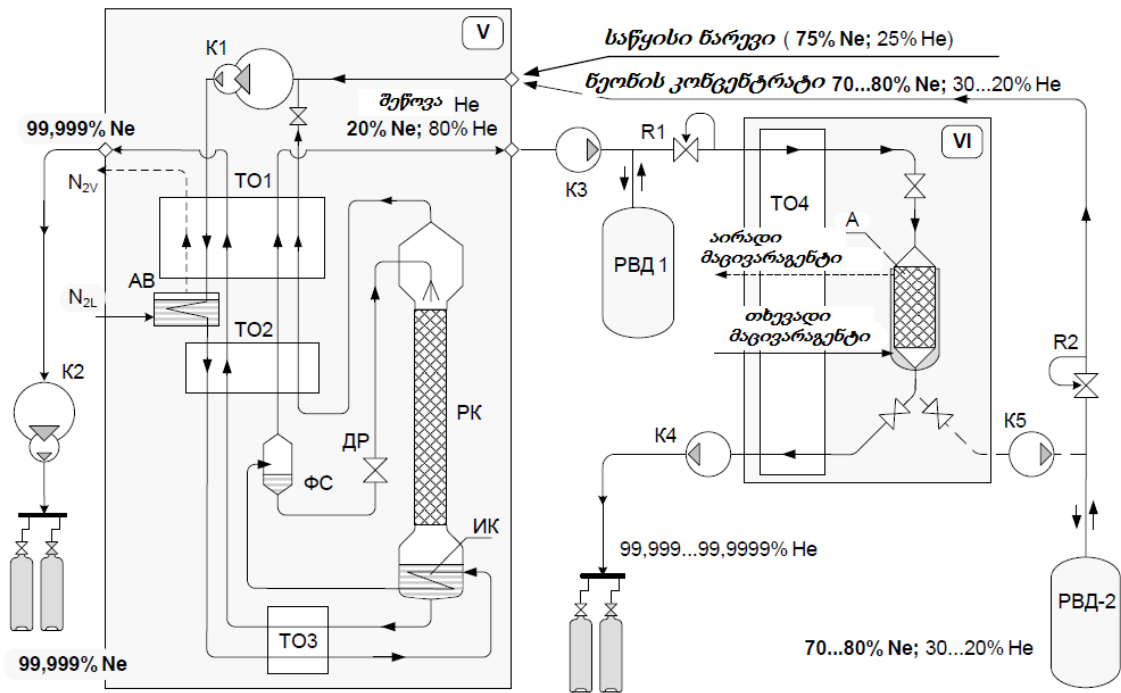
V. ნეონ-ჰელიუმის ნარევის გამოყოფა სვეტში T≈ 30 K ტემპერატურაზე, რომელსაც თან ახლავს სუფთა ნეონის და ჰელიუმის გამოყოფა (yHe ≈ 80 %).

VI. ადსორბერში ნაკადის დამუშავება თხევადი აზოტის ტემპერატურაზე (T= 77,4 K), რასაც თან ახლავს სუფთა ჰელიუმის და

ნეონის კონცენტრა-ტის წარმოება (yNe ≈ 75%).

დანადგარის პრინციპული სქემა ნეონ-ჰელიუმის ნარევის გამოსაყოფად ნაჩვენებია ნახ. 2-ზე.

საცირკულაციო კომპრესორში K1 ხვდება გასუფთავებული ნეონ-ჰელიუმის ნარევი ბუნებრივი პროცენტული შემადგენლობით (დაახლოებით 75% Ne და 25% He) და წნევით P=0,13 მპა (აბს.). დაჭირხვნის შემდეგ P=2,5 მპა წნევაზე ნაკადი თანდათანობით ცივდება რეკუპერატორულ თბომცვლელში TO1 აზოტის აბაზანაში AB და დაბალტემპერატურულ თბომცვლელში TO2 40 K-ზე დაბალ ტემპერატურაზე. ამ პირობებში დაჭირხნილი ნარევის ნაკადში ნეონი ნაწილობრივ იკუმშება. ნარევის გაცივების პროცესი T=30...31 K ტემპერატურაზე მიმდინარეობს თბომცვლელში TO3, შემდეგ კი IR კლაკნილაში.



ნახ. 2. მაღალი სისუფთავის ნეონის და ჰელიუმის წარმოების კომპლექსის კლასიკური სქემა

რექტიფიკაციური კოლონის RK კუბის მდლურე ნეონთან თბური კონტაქტის შედეგად, ნარევის დიდი ნაწილი გადადის თხევად მდგომარეობაში. ნეონისა და ჰელიუმის ორთქლსითხიანი ნარევი სეპარატორში  $\Phi C$  განცალკევდება. ამის შედეგად ნეონის აირი კონცენტრაციით 20% Ne და დანარჩენი 80% ჰელიუმი აერთმევა სეპარატორის ზედა ნაწილს, როგორც ქვეპროდუქტი. სეპარატორში ჰელიუმის ნაკადი იკუმშება K3 კომპრესორში და გროვდება მაღალი წნევის რესივერში RVD 1 შემდგომი გადამუშავებისათვის.

სეპარატორის  $\Phi C$  ქვედა ნაწილიდან გა-მოიყოფა სითხე, რომლის 98% წარმოადგენს ნეონს, დანარჩენი 2% ჰელიუმი. ნეონით გამ-დიდრებული ნარევი დროსელირებას განიცდის  $\Delta P$  ვენტილზე და მიეწოდება რექტიფიკაციური კოლონის PK საკონტაქტო

სივრცეს. ჰელიუმით გამდიდრებული აირის ნაკადი სარექტიფიკაციო კოლონის ზედა ნაწილიდან PK ხვდება საცირკულაციო კომპრესორის K1 შესასვლელში.

რექტიფიკაციური კოლონის PK კუბში მიიღება სუფთა პროდუქციული ნეონი, რომელიც ორთქლდება დაბალ-ტემპერატურულ თბომცვლელებში TO3, ხოლო შემდეგ თანმიმდევრულად ხურდება TO2 და TO1 თბომცვლელებში  $T=260...280$  K ტემპერატურაზე. TO2 და TO1 თბომცვლელებში ასევე გადის სეპარატორიდან  $\Phi C$  ამოსული აირის ნაკადი და სარექტიფიკაციო კოლონიდან PK გამოსული ჰელიუმის ნაკადი.

ჰელიუმის ადსორბციული მეთოდით მიღების ტემპერატურული დონის ოპტიმიზაცია შემდეგნაირად მიმდინარეობს: როგორც ნახ. 2-დან ჩანს, ნეონის მიღებისას წარმოიქმნება ჰელიუმი 80%-

იანი შემადგენლობით. ეს აირი დანადგარიდან გამოდის და გროვდება მაღალი წნევის რესივერში PBD 1. ამ ნაკადის გადამუშავება რექტიფიკაციის გზით V ბლოკში არაეფექტურია, რადგან ამოღებული აირის დაბრუნება V კონტურში გადასამუშავებლად გამოიწვევს ჰელიუმის დაგროვებას და სარექტიფიკაციო კოლონის PK მუშაობის უნარის დაქვეითებას. ასეთი ნარევის უტილიზაციას აწარმოებენ VI ცალკე ბლოკში ადსორბციის გზით. გასაცივებულ ადსორბერში A ჰელიუმის ნარევის ნაკადის გატარებისას იღებენ სუფთა ჰელიუმს. ნეონი, რომელიც ნარევის ნაკადშია, შთაინთქმება სორბენტში. ადსორბერის გაჯერების შემდეგ მას ახურებენ და იღებენ 70...80%-იან ნეონის კონცენტრატს. ეს ძვირფასი პროდუქტი შემდგომში ბრუნდება V ბლოკში მაღალი სისუფთავის ნეონის მისაღებად.

ნეონის წარმოების ხარისხი და ნარჩენების პროცენტული შემცველობა წარმოდგენილია ცხრილში.

მიღებული ნეონის ხარისხი და ნარჩენების შემცველობა, %

ცხრილი		
ნეონი	Ne	99,999
წყალბადი	H <sub>2</sub>	0,00005
ჰელიუმი	He	0,0005
აზოტი	N <sub>2</sub>	0,0001
ჟანპბადი	O <sub>2</sub>	0,00005
ნახშირბადის ოქსიდი	CO+CO <sub>2</sub>	0,0001
წყალი	H <sub>2</sub> O	0,0001

### დასკვნა

წარმოდგენილი ტექნოლოგიის გამოყენება საშუალებას იძლევა He-Ne ნარევის გადამუშავების ეკონომიური მაჩვენებლები მნიშვნელოვნად გაიზარდოს. ეს დადებითი ეფექტი ხორციელდება ნეონ-ჰელიუმის ნარევის მემბრანულ მოდულში

მრავალსაფეხურიანი გაყოფის გზით, სადაც ჩართულია ადსორბერები. ამრიგად კრიოგენულ ტექნიკაში ასეთი ტექნოლოგიის დანერგვა მნიშვნელოვან ენერგოეფექტურობას მოუტანს სახალხო მეურნეობის მთელ რიგ დარგებს.

### ლიტერატურა

1. მეგრელიძე თ., ჯაფარიძე ზ., სულაძე ს., გუგულაშვილი გ., გოლეთიანი გ., ტეფნაძე ა., კვირიკაშვილი გ., ომიძე ზ. მაცივარი მანქანები (დგუმიანი კომპრესორები). ტექნიკური უნივერსიტეტი. თბილისი: 2009.
2. მეგრელიძე თ., სადალაშვილი ე., ბერუაშვილი გ., გუგულაშვილი გ. რთული ციკლის მქონე მაცივარი მანქანების მუშაობის ოპტიმალური რეჟიმების შესწავლა/ საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის შრომები. №2(480). 2011. თბილისი.
3. მეიერი. სამაცივრო მოწყობილობების სახელმძღვანელო. AC. ICCT. 2004.
4. საზომი ხელსაწყოები სისტემის გაუმართაობის აღმოსაფხვრელად. დანფოსი A/S (RC-SM/MWA). 09-200.2.
5. მაცივარაგენტ Honeywel-ის თვისებები. Honeywel ინტერნაციონალი, აშშ. 2006.
6. ბერნშტეინი ა.ს.. თერმოელექტრული გენერატორები. 2005.
7. რეგელი ა. თერმოელექტრული გენერატორები. 2007.
8. კარჩევსკი ა.ი. თერმოელექტრული მასალები. 2008.
9. სამოილევჩი ა.გ. ენერჯის გარდაქმნის თერმოელექტრული და თერმომანტიური მეთოდები. 2003.
10. იორდანიშვილი ე.კ. თერმოელექტრული ენერჯის წყაროები. 2012.

**USING ENERGY EFFICIENT TECHNOLOGY TO OBTAIN NEON AND HELIUM WITH HIGH PURITY.**

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

“Energy”. №2(110). 2024. Tbilisi. p. 72-76. geo. sum geo. engl.rus.

The classical technology for processing neon and helium concentrate is considered and the possibility of reducing specific energy costs for the production of light inert gases is shown. When processing a flow of mixed gases of neon and helium, reserves for reducing operating costs were identified. It is proposed to include a membrane module in the processing scheme, in which the helium flow is simultaneously separated and the mixture is enriched with helium. The efficiency of helium and neon production technology is increased by increasing the operating cycle of cryogenic adsorbents and simultaneously reducing the number of compressors.

*Ил. 2, табл. 1, bibl. 10.*

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ НЕОНА И ГЕЛИЯ С ВЫСОКОЙ ЧИСТОТОЙ.**

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

“Энергия”. № 2(110).2024 . Тбилиси. с. 72-76. груз. реф. груз.англ. рус.

Рассмотрена классическая технология переработки концентрата неона и гелия и для получения легких инертных газов показана возможность уменьшения удельных энергетических затрат. При переработке потока смешанных газов неона и гелия выявлены резервы уменьшения эксплуатационных затрат. В схему переработки предложено включение мембранного модуля, в котором осуществляется одновременно выделение потока гелия и обогащение смеси гелием. Эффективность технологии получения гелия и неона повышается за счет увеличения продолжительности рабочего цикла криогенных адсорбентов и одновременного уменьшения количества компрессоров.

*Илл. 2, табл. 1, лит. 10.*



მონაცემთა უდანაკარგო ეკონომიური კოდირება უოლშის გარდასახვის საფუძველზე

ლალი ხუნწარია - ტექნ. მეცნ. კანდიდატი, აკადემიური დოქტორი, პროფესორი

E-mail: l\_khuntsaria@gtu.ge

მანანა გოგბერაშვილი - ტექნ. მეცნ. კანდიდატი, აკადემიური დოქტორი, ასოც. პროფესორი

E-mail: m.gogberashvili@gtu.ge

ჯანიკო ხუნწარია - ტექნ. მეცნ. კანდიდატი, აკადემიური დოქტორი, პროფესორი

E-mail: j.khuntsaria@gtu.ge

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

*ანოტაცია:* მონაცემთა უდანაკარგო ეკონომიური კოდირების მიზნით წრფივი ორთოგონალური გარდასახვების გამოყენების მიზნით ჩატარებულია სხვადასახვა სახის გარდასახვების შედარებითი ანალიზი. კერძოდ, დისკრეტული კოსინუსური და უოლშის გარდასახვების ურთიერთშედარების საფუძველზე დასაბუთებულია მხოლოდ უოლშის გარდასახვის გამოყენების შესაძლებლობა, ვინაიდან ის უზრუნველყოფს აღდგენილი მონაცემების 100%-იან სიზუსტეს. ნაჩვენებია, რომ ეს გარემოება განპირობებულია უოლშის გარდასახვის საბაზო მატრიცების ელემენტების მთელი რიცხვებით (+1 და -1) წარმოდგენით. დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის გამოყენებისას მონაცემების აღდგენა ხდება 0,1% სიზუსტით, რაც დაუშვებელია უდანაკარგო კოდირების სისტემებისთვის.

საკვანძო სიტყვები: *წრფივი გარდასახვა, კორელაცია, ტრანსფორმანტა, ეკონომიური კოდირება, უდანაკარგო კოდირება.*

სხვადასახვა სახის სიგნალების წყაროს (მონაცემები, ტექსტური ფაილი, ციფრული გამოსახულება, ციფრულად წარმოდგენილი მუსიკა, სატელევიზიო გადაცემა და სხვ.) ეკონომიური კოდირების ამოცანას წარმოადგენს ისეთი კოდერის შექმნა, რომელიც უზრუნველყოფს ციფრული სიგნალის შეკუმშულ (ეკონომიურ) აღწერას, რაც ნიშნავს მათ წარმოდგენას, რაც შეიძლება მცირე რაოდენობის ორობითი სიმბოლოების (ბიტების) სახით. ეს, თავის მხრივ, იწვევს სიგნალების გადასაცემად გამოყენებული გარემოს გამტარუნარიანობისა და მახსოვრობის (არქივირების) მოწყობილობების ტევადობების ეკონომიურად გამოყენების შესაძლებლობას.

დღეისათვის აქტუალური გახდა ციფრული სიგნალების უდანაკარგო ეკონომიური კოდირების პრობლემა. უდანაკარგო კოდირებისას დეკოდირების

შედეგად აღდგენილი მონაცემები საწყისი მონაცემების იდენტურია და იგი შეიძლება გამოყენებული იყოს სამხედრო და სამედიცინო დანიშნულების, სახეთა ამოცნობის ავტომატური სისტემებისა და სხვა სახის მონაცემების დამახსოვრებისა და გადაცემის მოწყობილობებში, რომლის დროსაც დაუშვებელია ინფორმაციის თუნდაც უმნიშვნელო დანაკარგი. უდანაკარგო კოდირების მაგალითს წარმოადგენს აგრეთვე კომპიუტერული პროგრამების ტექსტური მონაცემების უდანაკარგო წარმოდგენა, ვინაიდან ასეთ ფაილებში სრულიად მიუღებელია თუნდაც ერთი ბიტის დაკარგვა, ან შეცვლა. კომპიუტერული პროგრამული ტექსტების უდანაკარგო ეკონომიური კოდირება შესაძლებელია მათში ცარიელი ადგილებისა და გამოყენებული შრიფტის შესახებ ინფორმაციის მოცილების საშუალებით [1, 2].



მონაცემთა უდანაკარგო ეკონომიური კოდირების მიზნით დამუშავებულია მრავალი ალგორითმი, კერძოდ: კოდირება ჰაფმანის ცვლადი სიგრძის კოდების გამოყენებით; არითმეტიკული კოდირება; კოდირების ზიგა-ლემპელის მეთოდი; გამეორებათა სიგრძის კოდირება და სხვა [1].

მონაცემთა უდანაკარგო ეკონომიური კოდირება, როგორც წესი, ემყარება შესაბამისი სიგნალების სტატისტიკურ (კორელაციურ) თავისებურებებს, რის გამოც ამ შემთხვევაში ხორციელდება სიგნალებში არსებული სტატისტიკური სიჭარბის შეკუმშვა (იდეალურ შემთხვევაში განულება).

ციფრული გამოსახულება (იგი შეიძლება განვიხილოთ როგორც გამოსახულების დისკრეტული ანათეზების, ანუ მონაცემების ერთობლიობა) იკავებს სულ უფრო მეტ ადგილს საინფორმაციო სივრცეში. ინტერნეტის განვითარებამ, მძლავრი კომპიუტერების, ციფრული კამერების, სკანერებისა და პრინტერების წარმოების ტექნოლოგიაში პროგრესთან ერთად კაცობრიობა მიიყვანა ციფრული გამოსახულებების ფართოდ გამოყენების აუცილებლობასთან, რაც განპირობებულია სიგნალების ციფრული სახით გადაცემისა და დამახსოვრების (არქივირების) მეთოდების მთელი რიგი უპირატესობებით შესაბამის ანალოგურ მეთოდებთან შედარებით [3].

სიგნალების მონაცემების ციფრული სახით გადაცემისა და არქივირების მეთოდების შთამბეჭდავი უპირატესობები შესაბამის ანალოგურ მეთოდებთან შედარებით გარკვეული ხარკის გაღებასთან აღმოჩნდა დაკავშირებული, რაც, უპირველეს ყოვლისა, განპირობებულია გადაცემის სისტემების გამტარუნარიანობისა და მახსოვრობის

მოწყობილობების მოცულობის გაზრდის აუცილებლობით. ეს კი პრაქტიკულად შეუძლებელია გადაცემის სისტემების გამტარუნარიანობისა და მახსოვრობის მოწყობილობების ტევადობების შეზღუდული რესურსების გამო, მითუმეტეს მომხმარებელთა მიერ მზარდი ინფორმაციული ნაკადების მოთხოვნების პირობებში. ეს პრობლემა განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ციფრული გამოსახულებების მონაცემების გადაცემისა და დამახსოვრების შემთხვევაში მათი მაღალი ინფორმაციულობის გამო. ამიტომ სტანდარტიზაციის შესაბამისი საერთაშორისო ორგანიზაციების მიერ რეკომენდირებული იქნა შესაბამისი მონაცემების ეკონომიური (ეფექტური) მრავალი მეთოდი, რომლებიც უზრუნველყოფს გადასაცემი (შესანახი) ორობითი სიმბოლოების რაოდენობის შემცირებას მონაცემების გარკვეული სიზუსტით აღდგენის შემთხვევაში [3].

ციფრული გამოსახულებების მონაცემების ეკონომიური კოდირების მეთოდებიდან გამორჩეულია წრფივი ორთოგონალური გარდასახვები, კერძოდ, კი - დისკრეტული კოსინუსური, ფურიეს, ჰაარის, უოლშისა და სხვა გარდასახვები. მათი გამოყენებისას გამოსახულებების მონაცემთა შეკუმშვა რეალიზდება მონაცემთა სტატისტიკური და ადამიანის მხედველობის ფსიქოფიზიოლოგიური თავისებურებების ერთობლივი გათვალისწინების საფუძველზე. ფსიქოფიზიოლოგიური თავისებურებების გათვალისწინება კი გამორიცხავს უდანაკარგო ეკონომიური კოდირების შესაძლებლობას, ვინაიდან ამ შემთხვევაში შეკუმშვის ეფექტურობის გაუმჯობესების მიზნით ხორციელდება გარდასახვის სივრცის (ტრანსფორმანტას) კოეფიციენტების დაკვანტვა ამ მიზნით სპეციალურად შედგენილი დაკვანტვის

მატრიცების გამოყენებით. გარდა ამისა, აღსანიშნავია ის ფაქტი, რომ ყველა წრფივი ორთოგონალური გარდასახვის საბაზო მატრიცა, გარდა უოლშისა, შეიცავს წილადი რიცხვებისგან შედგენილ ელემენტებს, რაც ამცირებს გარდასახვის კოეფიციენტების გამოთვლის სიზუსტეს. [4-6].

აღნიშნული ნაკლისგან თავისუფალია უოლშის გარდასახვა, რომლის საბაზო მატრიცა  $[W]$  შედგება მხოლოდ  $+1$  და  $-1$  ელემენტებისგან.

როგორც ცნობილია, გამოსახულებების კოდირების მეთოდი წრფივი გარდასახვების საფუძველზე მიეკუთვნება ჯგუფურ მეთოდებს, რომელთა გამოყენების შემთხვევაში ხორციელდება გარკვეული რაოდენობის საწყისი ელემენტებისგან შედგენილი მონაცემების მასივის გარდასახვა.

სანიშნავად განვიხილოთ 8 ელემენტისგან შედგენილი ვექტორ-სტრიქონის სახით წარმოდგენილი მონაცემების  $[f(x)]$  ერთობლიობის ( $x=0,1,\dots,7$ ) გარდაქმნა 8x8 ზომის დისკრეტული კოსინუსური ( $[C]$ ) და უოლშის ( $[W]$ ) პირდაპირი გარდასახვების საბაზო მატრიცების გამოყენებით, რომლის შედეგადაც ვექტორ-სტრიქონის სახით ფორმირდება გარდასახვის კოეფიციენტების ერთობლიობის შესაბამისი ტრანსფორმანტები  $[F(u)]$  ( $u=0,1,\dots,7$ ) და შევაფასოთ შესაბამისი  $[C]^{-1}$  და  $[W]^{-1}$  მატრიცების გამოყენებით მათი უკუგარდასახვების შედეგად აღდგენილი  $[f'(x)]_c$  და  $[f'(x)]_w$  მონაცემების განსხვავებები საწყის  $[f(x)]$  მონაცემებთან შედარებით. დისკრეტული კოსინუსური და უოლშის პირდაპირი და უკუგარდასახვების 8x8 ზომის შესაბამისი მატრიცა.

განვიხილოთ ვექტორ-სტრიქონის სახით წარმოდგენილი საწყისი მასივის მონაცემების რვა ელემენტის მიმდევრობა

$$[f(x)] = [26, 23, 21, 19, 17, 15, 14, 12].$$

ამ მიმდევრობის დისკრეტული კოსინუსური და უოლშის გარდასახვების შესაბამისი კოეფიციენტების ერთობლიობის (ტრანსფორმანტების) ფორმირების მიზნით უნდა განხორციელდეს შემდეგი მატრიცული გამრავლების ოპერაციები:

$$[F(u)]_c = [f(x)]_x [C] \text{ და } [F(u)]_w = [f(x)]_x [W],$$

რის შედეგადაც მივიღებთ:

$$[F(u)]_c = [52, 13, 1, 2, 0, 1, 0, 0] \text{ და}$$

$$[F(u)]_w = [147, 31, 3, 15, 1, 1, 1, 9].$$

მონაცემების  $[f'(x)]_c$  და  $[f'(x)]_w$  აღდგენის მიზნით უნდა განხორციელდეს  $[F(u)]_c$  და  $[F(u)]_w$  ტრანსფორმატების მატრიცული გამრავლება უკუგარდასახვის შესაბამის  $[C]^{-1}$  და  $[W]^{-1}$  მატრიცებზე:

$$[f'(x)]_c = [F(u)]_c [C]^{-1}$$

$$\text{და } [f'(x)]_w = [F(u)]_w [W]^{-1}.$$

შედეგად მივიღებთ:

$$[f'(x)]_c = [24, 31, 25, 20, 14, 9, 5, 5] \text{ და}$$

$$[f'(x)]_w = [26, 23, 21, 19, 17, 15, 14, 12].$$

თუ ერთმანეთს შევადარებთ საწყის  $[f(x)]$  და აღდგენილ  $[f'(x)]_c$  და  $[f'(x)]_w$  მასივებს, მაშინ შეიძლება გამოვთვალოთ აღდგენის შეცდომების  $[e(x)]_c$  და  $[e(x)]_w$  მასივების ელემენტები:

$$[e(x)]_c = [2, -8, -4, -1, 3, 6, 9, 7] \text{ და } [e(x)]_w = [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0],$$

$$\text{სადაც } e(x) = f(x) - f'(x).$$

მიღებული შედეგების მიხედვით ადვილი დასადგენია, რომ მონაცემთა განხილული მასივის დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის საფუძველზე დამუშავების შედეგად საწყისი მასივი აღდგება 0,1% ცდომილებით. რაც შეეხება უოლშის გარდასახვას, ამ შემთხვევაში არანაირ შეცდომას არ აქვს ადგილი.

მიუხედავად იმისა, რომ განხილულ შემთხვევაში დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის გამოყენებისას აღდგენის შეცდომების მნიშვნელობები მცირეა, ისინი

$$\begin{aligned}
 [C] &= \begin{bmatrix} 0,354 & 0,354 & 0,354 & 0,354 & 0,354 & 0,354 & 0,354 & 0,354 \\ 0,490 & 0,416 & 0,278 & 0,098 & -0,098 & -0,278 & -0,416 & -0,490 \\ 0,462 & 0,191 & -0,191 & -0,462 & -0,462 & -0,191 & 0,191 & 0,462 \\ 0,416 & -0,098 & -0,490 & -0,278 & 0,278 & 0,490 & 0,098 & -0,416 \\ 0,354 & -0,354 & -0,354 & 0,354 & 0,354 & -0,354 & -0,354 & 0,354 \\ 0,278 & -0,490 & 0,098 & 0,416 & -0,416 & -0,098 & 0,490 & -0,278 \\ 0,191 & -0,462 & 0,462 & -0,191 & -0,191 & 0,462 & -0,462 & 0,191 \\ 0,098 & -0,278 & 0,416 & -0,490 & 0,490 & -0,416 & 0,278 & -0,098 \end{bmatrix}, \\
 [W] &= \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 \end{bmatrix}, \\
 [C]^{-1} &= \begin{bmatrix} 0,354 & 0,490 & 0,462 & 0,416 & 0,354 & 0,278 & 0,191 & 0,098 \\ 0,354 & 0,416 & 0,191 & -0,098 & -0,354 & -0,490 & -0,462 & -0,278 \\ 0,354 & 0,278 & -0,191 & -0,490 & -0,354 & 0,098 & 0,462 & 0,416 \\ 0,354 & 0,098 & -0,462 & -0,278 & 0,354 & 0,416 & -0,191 & -0,490 \\ 0,354 & -0,098 & -0,462 & 0,278 & 0,354 & -0,416 & -0,191 & 0,490 \\ 0,354 & -0,278 & -0,191 & 0,490 & -0,354 & -0,098 & 0,462 & -0,416 \\ 0,354 & -0,416 & 0,191 & 0,098 & -0,354 & 0,490 & -0,462 & 0,278 \\ 0,354 & -0,490 & 0,462 & -0,416 & 0,354 & -0,278 & 0,191 & -0,098 \end{bmatrix}, \\
 [W]^{-1} &= \frac{1}{8} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 \end{bmatrix}.
 \end{aligned}$$

ისინი მაინც დაუშვებელია მონაცემთა უდანაკარგო კოდირების სისტემებისთვის ამრიგად, უოლშის გარდასახვა ერთადერთია წრფივ ორთოგონალურ გარდასახვებს შორის, რომელიც შეიძლება გამოყენებული იყოს მონაცემთა უდანაკარგო კოდირების მიზნით. მითუმეტეს,

რომ მისთვის დამახასიათებელია ტრანსფორმანტებში არსებული ეგრეთ წოდებული მატრიცული სიჭარბე, რომელიც შეიძლება გამოყენებული იყოს კოდირების ეფექტურობის ამაღლების მიზნით.

მონაცემთა უდანაკარგო ეკონომიური კოდირების მიზნით წრფივი ორთოგონალური გარდასახვებიდან მხოლოდ უოლშის გარდასახვა შეიძლება იყოს გამოყენებული, ვინაიდან მისი საბაზო მატრიცები, განსხვავებით სხვა გარდასახვებიდან, შეიცავს მხოლოდ +1 და -1 ელემენტებს (მთელ რიცხვებს). კერძოდ, გამოსახულებების ეკონომიური კოდირებისთვის პრაქტიკაში გამოყენებული დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის შემთხვევაში მონაცემები აღდგება შეცდომებით (დაახლოებით 0,1% ცდომილებით), რაც დაუშვებელია მონაცემთა უდანაკარგო კოდირების სამხედრო, სამედიცინო და სხვა მსგავსი დანიშნულების სისტემებისთვის. ამასთანავე, უოლშის გარდასახვის შესაბამისი ტრანსფორმანტებისთვის დამახასიათებელია მატრიცული სიჭარბე, რაც განპირობებულია შესაბამისი საბაზო მატრიცების სტრუქტურით და რომლის შემცირება (იდეალურ შემთხვევაში კი მოცილება) უზრუნველყოფს მონაცემთა უდანაკარგო კოდირების ეფექტურობის ამაღლებას.

#### ლიტერატურა

1. ხუნწარია ჯ., სტეპერმანი ვ., ხუნწარია ლ. სიგნალების წყაროს კოდირების პრინციპები. თბილისი: ტექნიკური უნივერსიტეტი. 2009.
2. Сэломон Д. Сжатие данных, изображений и звука. М.: Техносфера. 2004.
3. ხუნწარია ჯ., ხომტარია კ., ხუნწარია ლ., აბულაძე ვ. ტელეკომუნიკაციის პირველადი, საარხო და საბაზო სიგნალები. თბილისი: ტექნიკური უნივერსიტეტი. 2009.
4. გოგბერაშვილი მ., აბულაძე ვ., ხუნწარია ჯ. ციფრულ გამოსახულებათა კოდირების ადაპტური ალგორითმი. საერთაშორისო სამეცნიერო-პრაქტიკული კონფერენციის „თანამედროვე გამოწვევები და მიღწევები ინფორმაციულ და საკომუნიკაციო ტექნოლოგიებში“ სტატიები. თბილისი//სტუ-ს გამომცემლობა. 2023.
5. Хунцария Дж. М., Хирьянов Ю. А., Хунцария Л.Дж. Компрессия изображений на примере стандарта JPEG. – Тбилиси, GESJ: Computer Science and Telecommunications. N4(27). 2010.
6. ხუნწარია ჯ., გოგბერაშვილი მ., ხუნწარია ლ., აბულაძე ვ. დისკრეტული კოსინუსური გარდასახვის მთავარი კოეფიციენტების მასივის ადაპტური ენტროპიული კოდირება. თბილისი. სტუ-ს შრომები. №2(496) 2015.

**COST-EFFECTIVE LOSSLESS CODING OF DATA BASED ON WALSH TRANSFORM**

*L.Khuntsaria, M.Gogberashvili, J.Khuntsaria.*

“Energy”. №2(110). 2024. Tbilisi. p. 77-82. geo. sum geo. engl.rus.

In order to use linear orthogonal transformations for lossless economic coding of data, a comparative analysis of different types of transformations has been conducted. In particular, on the basis of mutual comparison of discrete cosine and Walsh transformations, the possibility of using only Walsh transformation is justified, since it ensures 100% accuracy of the restored data. It is shown that this circumstance is due to the representation of the elements of the base matrices of the Walsh transformation with integers (+1 and 1) When using the discrete cosine transform, the data is recovered with an accuracy of 0.1%, which is unacceptable for lossless coding systems.

*Bibl. 6.*

**ЭКОНОМИЧНОЕ КОДИРОВАНИЕ ДАННЫХ БЕЗ ПОТЕРЬ НА ОСНОВЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ УОЛША.**

*Л.Хунцария, М. Гогберашвили, Дж.Хунцария.*

“Энергия”. № 2(110).2024 . Тбилиси. с. 77-82. груз. реф. груз.англ. рус.

С целью использования линейных ортогональных преобразований для экономичного кодирования данных без потерь был проведен сравнительный анализ различных типов преобразований. В частности, на основе взаимного сравнения дискретных косинусных преобразований и преобразований Уолша, обоснована возможность использования только преобразования Уолша, поскольку оно обеспечивает 100% точность восстанавливаемых данных. Показано, что это обстоятельство обусловлено представлением элементов базовых матриц преобразования Уолша целыми числами (+1 и -1). При использовании дискретного косинусного преобразования данные восстанавливаются с точностью 0,1%, что неприемлемо для систем кодирования без потерь.

*Лит. 6 назв.*

ბლოკჩეინი და მისი გამოყენება ენერჯეტიკის სექტორში

სალომე ჯანელიძე - დოქტორანტი

E-mail: [Janelidze.salome@gtu.ge](mailto:Janelidze.salome@gtu.ge)

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

*ანოტაცია.* სტატია განიხილავს ბლოკჩეინ-ტექნოლოგიის როლსა და პოტენციალს ენერჯეტიკის სექტორში. ტექნოლოგიის იმ ძირითადი მახასიათებლების ანალიზის საფუძველზე, როგორცაა დეცენტრალიზაცია, გამჭვირვალობა და მონაცემთა დაურღვევლობა, ნაჩვენებია, თუ როგორ შეუძლია ბლოკჩეინს გააუმჯობესოს ენერჯეტიკული პროცესები და საბაზრო ურთიერთობები. სტატია მიმოიხილავს ბლოკჩეინის გამოყენების პოტენციურ არეალებს, როგორცაა თანასწორთა შორის (peer-to-peer) ვაჭრობა, მიკროქსელები და განახლებადი ენერჯის სერტიფიცირება. სტატიაში ასევე განხილულია ბლოკჩეინის პრაქტიკულ დანერგვასთან დაკავშირებული გამოწვევები და შესაძლო სარგებელი ენერჯეტიკული სექტორისთვის.

*საკვანძო სიტყვები:* ბლოკჩეინი, ენერჯეტიკა, P2P ვაჭრობა, მიკროქსელები, განახლებადი ენერჯია, დეცენტრალიზაცია.

*შესავალი*

ბლოკჩეინ-ტექნოლოგია ბოლო წლების განმავლობაში ერთ-ერთ მნიშვნელოვან ინოვაციად იქცა, რომელსაც პოტენციალი აქვს, გარდაქმნას სხვადასხვა სექტორი, მათ შორის, ენერჯეტიკულიც. ტექნოლოგიის საფუძველი არის მონაცემთა განაწილებული სისტემა, რომელიც უზრუნველყოფს ტრანზაქციების უსაფრთხოებასა და გამჭვირვალობას ცენტრალური შუამავლის გარეშე. ტრანზაქციების აღრიცხვა ხორციელდება საჯარო დავთარში, მათი დადასტურებისთვის კი აუცილებელია სისტემის მონაწილეთა კონსენსუსი. ბლოკჩეინ-ტექნოლოგიის ორი მნიშვნელოვანი მახასიათებელი და უპირატესობაა შესაძლებლობა, შეინახოს თითოეული ტრანზაქციის ისტორია და უზრუნველყოს ტრანზაქციასთან დაკავშირებული ანგარიშსწორება. ანგარიშსწორება შესაძლებელია როგორც ვირტუალურ, ასევე, რეალურ ვალუტაში [2]. ბლოკჩეინის ერთ-ერთი მთავარი უპირატესობაა ის, რომ ინფორმაციის მანიპულირება პრაქტიკულად შეუძლებელია, რაც განსაკუთრებულად მნიშვნელოვანია ისეთ

სფეროებში, სადაც სანდოობა და გამჭვირვალობა კრიტიკულია.

ენერჯეტიკულ სექტორში მიმდინარე დიგიტალიზაციის პროცესი უმნიშვნელოვანესია ენერჯეტიკული დარგის გარდაქმნისთვის, ვინაიდან იგი საფუძველს უყრის ბაზრის ახალ მოდელებსა და ვაჭრობის შესაძლებლობებს [6]. მსოფლიოს ბევრი ქვეყანა ცდილობს განახლებადი ენერჯიების წახალისებასა და ენერჯეტიკული ბაზრების დეცენტრალიზაციას. ბლოკჩეინს აქვს პოტენციალი, ამ კუთხით მნიშვნელოვანი როლი შეასრულოს. აღნიშნული ტექნოლოგია საშუალებას იძლევა, განხორციელდეს მომხმარებლებს შორის პირდაპირი ტრანზაქციები და გააუმჯობესდეს ელექტროქსელების ეფექტიანობა, რაც, საბოლოოდ, ხელს შეუწყობს ელექტრო-ენერჯეტიკული ბაზრების ოპტიმიზაციასა და წიაღისეული საწვავის ჩანაცვლებას განახლებადი ენერჯით.

წინამდებარე სტატიის მიზანია მიმოიხილოს ბლოკჩეინის როლი ენერჯეტიკის სექტორში, მისი ძირითადი

მხასიათებლები, გამოყენების შესაძლებლობები და გამოწვევები.

### ბლოკჩეინ-ტექნოლოგია

ბლოკჩეინ-ტექნოლოგია დაკავშირებულია ბიტკოინის განვითარებასთან. პირველად აღნიშნული ტექნოლოგიის შესახებ 2008 წ. გახდა ცნობილი, როდესაც „სატოში ნაკამოტოს“ ფსევდონიმით გამოქვეყნდა ნაშრომი „ბიტკოინი: თანასწორების ელექტრონული ფულის სისტემა“, 2009 წ. კი უშუალოდ ბლოკჩეინის პირველი ბლოკი შეიქმნა [1]. ბლოკჩეინ-ტექნოლოგიის მიზანია, ჩაანაცვლოს ურთიერთობების ცენტრალიზებული სისტემა, სადაც ტრანზაქციების აღრიცხვა და დადასტურება ხორციელდება ცენტრალური რეგისტრატორის მიერ. ცენტრალიზებული სისტემის ნაცვლად, ბლოკჩეინი იძლევა საშუალებას, ტრანზაქციების რეგისტრაცია განხორციელდეს საჯარო დავთარში, მათი დადასტურებისთვის კი აუცილებელია სისტემის მონაწილეთა კონსენსუსი.

ბლოკჩეინს გააჩნია მონაცემების ჯაჭვისებური სტრუქტურა, რომელიც საიმედოდ ინახავს მონაცემებს და რომელთა შეცვლა პოსტ-ფაქტუმ, პრაქტიკულად, შეუძლებელია. შუამავლის გარეშე ფუნქციონირების მიზნით, ბლოკჩეინი ეყრდნობა ტრანზაქციის მომხმარებელთა მიერ დადასტურების (ვერიფიკაციის) პროცესს, რომლის მიზანია, მომხმარებლებს შორის შედგეს კონსენსუსი ტრანზაქციის ნამდვილობაზე [3]. ბლოკჩეინის თითოეული ბლოკი შეიცავს გარკვეულ ინფორმაციას, როგორცაა ტრანზაქციის მონაცემები, დროის აღნიშვნა და წინა ბლოკის უნიკალური კოდი, რომელიც ცნობილია როგორც „ჰეში“. ჰეში არის მათემატიკური ფუნქცია, რომელიც ტრანზაქციის

დეტალებს სპეციალურ კოდად გარდაქმნის. ამგვარად, ბლოკების უწყვეტი ჯაჭვის შექმნა უზრუნველყოფს ტრანზაქციების ისტორიის ცვლილებებისგან დაცვას.

ბლოკჩეინის უსაფრთხოების მექანიზმების ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი მხასიათებელია კონსენსუსის მექანიზმები, რომლებიც ტრანზაქციის ნამდვილობას ადასტურებს. ორი ძირითადი კონსენსუსის მექანიზმია: „სამუშაოს დადასტურება“ (proof of work) და „ფსონის დადასტურება“ (proof of stake). „სამუშაოს დადასტურება“ იყენებს ე.წ. „მინინგის“ პროცესს, რომლის დროსაც კომპიუტერული ალგორითმები რთულ მათემატიკურ ამოცანებს ხსნიან ჯაჭვში ახალი ბლოკის დასამატებლად. ეს პროცესი ენერგოინტენსიურია და დიდ რესურსებს მოითხოვს. მეორე მხრივ, „ფსონის დადასტურება“ ნაკლებ ენერჯიას საჭიროებს და შემთხვევითობის პრინციპით შერჩეულ ვალიდატორებს იყენებს ტრანზაქციის დადასტურებისთვის.

ბლოკჩეინ-ტექნოლოგიის ერთ-ერთი ყველაზე პერსპექტიული ელემენტი „ჭკვიანი“ კონტრაქტებია, რომლებიც საშუალებას იძლევა, მათი აღსრულება მოხდეს ავტომატურად, შუამავლის გარეშე. „ჭკვიანი“ კონტრაქტის გავრცელებული განმარტების თანახმად, იგი წარმოადგენს დაპირებების კრებულს, რომლებიც ჩამოყალიბებულია ციფრული ფორმით და შეიცავს პროტოკოლებს, რომლის ფარგლებშიც მხარეები ასრულებენ თავიანთ ვალდებულებებს [4]. გარკვეული პირობის შესრულების შემდგომ, კონტრაქტი ავტომატურად აღსრულდება და ეს პროცესი არ საჭიროებს შუამავლის ჩარევას. აღნიშნული ინოვაცია განსაკუთრებულად მნიშვნელოვანია ისეთ სფეროში,



როგორც ენერგეტიკა, სადაც სიზუსტე და სისწრაფე უმნიშვნელოვანესია.

ბლოკჩეინ-ტექნოლოგიას აქვს პოტენციალი, გარდატეხა მოახდინოს ენერგეტიკის სექტორში, როგორც არსებული პროცესების ოპტიმიზაციის გზით, ასევე, სრულიად ახალი სახის ურთიერთობების ჩამოყალიბების შესაძლებლობის შექმნით. ბლოკჩეინ-ტექნოლოგიების ენერგეტიკის სექტორში გამოყენებამ შეიძლება ხელი შეუწყოს სისტემური პროცესების ეფექტიანობას, ტრანზაქციებსა და ოპერაციებთან დაკავშირებული ხარჯების შემცირებას, მათ შორის, შუამავლის საჭიროების აღმოფხვრის გზით. თავის მხრივ, შუამავლის არარსებობა, ბუნებრივია, შეამცირებს ამა თუ იმ ოპერაციის განხორციელებასთან დაკავშირებულ ხარჯებს და, ამგვარად, ხელს შეუწყობს ვაჭრობასა თუ სხვა ტიპის ურთიერთობებში მცირე მოთამაშეების მონაწილეობასაც.

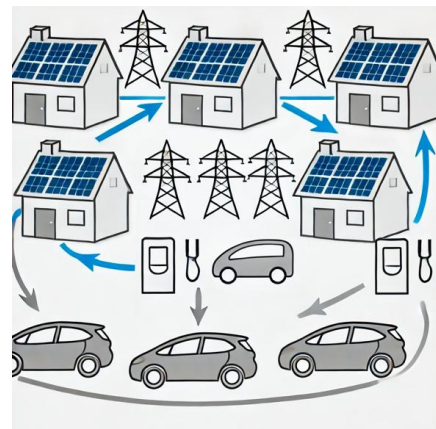
*ბლოკჩეინის პოტენციალი ენერგეტიკის სექტორში*

ენერგეტიკის სექტორში ბლოკჩეინი გამოყენების შესაძლო ძირითადი მიმართულებები მოიცავს, მათ შორის, ენერჯით ვაჭრობას, მიკროქსელების ოპერირებას, განახლებადი ენერჯიების ხელშეწყობასა და ელექტრომობილების ეფექტიან დატენვას.

ენერჯის საბითუმო ბაზრების ოპერირების გაუმჯობესება შესაძლებელია ბლოკჩეინებზე დაფუძნებული რეესტრების შექმნითა და „ჰკვიანი“ კონტრაქტების გამოყენების გზით, რომლებიც ამცირებს კლირინგსა და ანგარიშსწორებასთან დაკავშირებულ ხარჯებს, მაგალითად, გარანტიის წარდგენის აუცილებლობის აღმოფხვრის გზით [5]. აღნიშნული ხელს უწყობს ბაზარზე მცირე

ზომის საწარმოების მონაწილეობას და, შესაბამისად, ზრდის კონკურენციას.

თუმცა, ბლოკჩეინების ენერჯით ვაჭრობაში გამოყენების იდეა, ძირითადად, თანასწორთა შორის (peer-to-peer, P2P) ვაჭრობას უკავშირდება, სადაც ერთ არეალში არსებული ელექტროენერჯის თვითმწარმოებლები და მომხმარებლები პირდაპირ ამყარებენ ერთმანეთთან ურთიერთობას, შუამავლის გარეშე (ნახაზი). ეს საშუალებას აძლევს თვითმწარმოებლებს, გაყიდონ საკუთარი წარმოებული ჭარბი ელექტროენერჯია სხვა მომხმარებლებზე, რაც ხელს უწყობს ენერჯის უფრო ეფექტიან გამოყენებასა და ქმნის ეკონომიკურ სტიმულს.



ნახაზი. თანასწორთა შორის (peer-to-peer) ვაჭრობის სქემა

P2P ვაჭრობის მონაწილეები აღჭურვილი არიან „ჰკვიანი“ მრიცხველებით, რომლებიც რეალურ დროში აღრიცხავს და აგზავნის ინფორმაციას ენერჯის წარმოების თაობაზე. პლატფორმის თითოეულ მონაწილეს აქვს თავისი ვირტუალური ანგარიში და ბლოკჩეინის საფულე, ხოლო მხარეთა შორის ურთიერთობები ხორციელდება „ჰკვიანი“ კონტრაქტების მეშვეობით, რომლებიც თვითაღსრულებადია შესაბამისი ელექტრონული მონაცემების შეყვანისთანავე.

ელექტროენერჯიით P2P ვაჭრობის პილოტური სექციები უკვე განხორციელდა არაერთ ქვეყანაში, მათ შორის, ავსტრალიაში, აშშ-ში, გაერთიანებულ სამეფოში, ნიდერლანდების სამეფოსა და იაპონიაში. 2016 წელს აშშ-ში დაიწყო ელექტროენერჯიით P2P ვაჭრობის ერთ-ერთი ყველაზე ცნობილი პროექტი - ბრუკლინის მიკროქსელები - რომელიც დღემდე მიმდინარეობს. პროექტის მონაწილეები, მობილური ტელეფონის სპეციალური აპლიკაციის მეშვეობით, მონაწილეობენ ბაზარზე, სადაც თვით-მწარმოებლების მიერ გამოქვეყნებული მზის ენერჯია იყიდება აუქციონის მეშვეობით. ვირტუალური ენერჯეტიკული ბაზრის პლატფორმა ოპერირებს ბლოკჩეინების გამოყენებით და მოხმარებისა და გამოქვეყნების თაობაზე ინფორმაცია მოხმარებელთა ჭკვიანი მრიცხველებიდან მათი ბლოკჩეინის ანგარიშს გადაეცემა. ყიდვა-გაყიდვის ბრძანებები იქმნება ამ ინფორმაციის შესაბამისად და გადაეცემა ბაზრის მექანიზმს, რომელიც მუშაობს „ჭკვიანი“ კონტრაქტების გამოყენებით. ყიდვა-გაყიდვის წინადადებების დაწყვილების შემდგომ, ხორციელდება ანგარიშსწორება და ახალი ბლოკი ემატება ბლოკჩეინს, რომელიც შეიცავს ბაზრის შესახებ ყველა მიმდინარე ინფორმაციას.

დეცენტრალიზებული მიკროქსელები წარმოადგენს ბლოკჩეინის გამოყენების კიდევ ერთ შესაძლებლობას. ბლოკჩეინების მეშვეობით, შესაძლებელია, მოხმარება/წარმოების დაბალანსების გაუმჯობესება და ენერჯიის მოთხოვნა/მიწოდების ოპტიმიზაცია. ბლოკჩეინ-ტექნოლოგია საშუალებას იძლევა, მიკროქსელების მართვა განხორციელდეს ავტომატურ რეჟიმში, „ჭკვიანი“ კონტრაქტების გამოყენებით კი

გააქტიურდეს და იმართოს წარმოებისა და მოხმარების მოწყობილობები.

ბლოკჩეინ-ტექნოლოგიის მეშვეობით ასევე შესაძლებელია განახლებადი ენერჯიის წარმოშობის სერტიფიკატების ვაჭრობასთან დაკავშირებული გამოწვევების გადაჭრა. წარმოშობის სერტიფიკატები, რომლებიც განახლებადი ენერჯიის წახალისების ერთ-ერთ მექანიზმად მიიჩნევა, ფართოდ აპრობირებულია ევროპაში და უკვე საქართველოშიც გაიცემა. პრაქტიკაში, სერტიფიკატებით ვაჭრობისა და ჩათვლის პროცესი არ არის საკმარისად გამჭვირვალე, რაც იწვევს მექანიზმთან დაკავშირებულ კითხვებსა და უნდობლობას. ხშირ შემთხვევაში, სახეზეა მნიშვნელოვანი აცდენა მოხმარებაში სერტიფიკატებით დადასტურებულ განახლებადი ენერჯიის წილსა და კონკრეტულ დროს მოხმარებული ელექტროენერჯიის რეალურ წყაროებს შორის, რაც იწვევს ე.წ. „გრინვოშინგს“. ბლოკჩეინი იძლევა საშუალებას, დადასტურდეს მოხმარების დროს სხვადასხვა წყაროებიდან წარმოებული ელექტროენერჯიის წილის შესახებ ინფორმაცია. შესაბამისად, ბლოკჩეინ-ტექნოლოგიას აქვს პოტენციალი, აღმოფხვრას აღნიშნული პრობლემები და „ჭკვიან“ მრიცხველებთან ერთად, მნიშვნელოვნად წახალისოს განახლებადი ენერჯიის გამოყენება მოხმარებული ენერჯიის ერთეულის წარმოების წყაროს დადგენის გზით.

ბლოკჩეინ-ტექნოლოგია ასევე შეიძლება იქნეს გამოყენებული ელექტრომობილების ეფექტიანად დატენვის უზრუნველსაყოფად. ელექტრომობილების მფლობელებს, ბლოკჩეინის მეშვეობით, შეუძლიათ მართონ ტრანსპორტის დამუხტვის დრო, დაადასტურონ, რომ გამოყენებული ენერჯია განახლებადი წყაროებიდან არის მიღებული და,

ამავდროულად, ბატარეებში აკუმულირებული ენერჯია დააბრუნონ ქსელში ასეთი საჭიროების არსებობის შემთხვევაში. აღნიშნულმა შეიძლება შექმნას დამატებითი ეკონომიკური სარგებელი მომხმარებლებისთვის და ხელი შეუწყოს კლიმატის წინააღმდეგ ბრძოლას.

*ბლოკჩეინ-ტექნოლოგიის დანერგვასთან დაკავშირებული გამოწვევები*

მიუხედავად იმისა, რომ ბლოკჩეინ-ტექნოლოგიას ენერჯეტიკის სექტორში მნიშვნელოვანი პოტენციალი გააჩნია, მისი დანერგვა მნიშვნელოვან გამოწვევებს უკავშირდება. ეს გამოწვევები მოითხოვს ადაპტაციას, ინვესტიციებსა და პროცესების გაუმჯობესებას.

ბლოკჩეინის ტექნოლოგიის ფართოდ დანერგვა დაკავშირებულია ორგანიზაციულ გამოწვევებთან, რომლებიც, თავის მხრივ, უკავშირდება ფინანსურ და სტრუქტურულ საკითხებს [5]. ერთ-ერთი მთავარი ბარიერია მაღალი საწყისი ინვესტიციები. ტექნოლოგიის დანერგვა მოითხოვს ინფრასტრუქტურის მოდერნიზაციას, ახალი სისტემების განვითარებას და მომხმარებელთა ჩართულობის გაზრდას. ენერჯეტიკული ტრადიციული ბაზრების მონაწილეებს შეიძლება გაუჭირდეთ ბლოკჩეინ-ტექნოლოგიის მიღება, რადგან ეს მოითხოვს არსებული ბიზნეს მოდელების გადახედვასა და პროცესების რეორგანიზაციას [5].

ამასთან, მომხმარებლების ქცევის შეცვლა კიდევ ერთი მნიშვნელოვანი გამოწვევაა. ბლოკჩეინ-ტექნოლოგიის გამოყენებისთვის მომხმარებლებმა უნდა შეისწავლონ ახალი სისტემები და ინსტრუმენტები ენერჯეტიკული ტრანზაქციების განსახორციელებლად, რაც დამატებით ცოდნასა და ინფორმაციის მიღებას საჭიროებს [5].

ბლოკჩეინ-ტექნოლოგიის დანერგვას ასევე უკავშირდება ტექნოლოგიური გამოწვევები. ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი საკითხია სამუშაოს დადასტურების მეთოდის (Proof of Work) ენერჯინტენსიურობა. ეს მექანიზმი მოითხოვს ელექტროენერჯიის დიდი ოდენობით მოხმარებას, როცა ენერჯიის მოხმარების შემცირება და ენერჯოეფექტიანობა დღეს მსოფლიო დღის წესრიგში მნიშვნელოვანი პრიორიტეტებია. ეს ტექნოლოგიური გამოწვევა საჭიროა დაიძლიოს ისეთი ალტერნატიული მექანიზმების გამოყენებით, როგორცაა ფსონის დადასტურების (Proof of Stake) მეთოდი, რაც ბევრად ნაკლებ ენერჯიას მოითხოვს და ამცირებს გარემოზე უარყოფით ზემოქმედებას. მაგალითად, კრიპტოვალუტა ეთერიუმმა 2022 წ. წარმატებით გადართო თავისი სისტემა სამუშაოს დადასტურებიდან ფსონის დადასტურებაზე, რის შედეგადაც ტრანზაქციების ვალიდაციისთვის ენერჯომოხმარება 99%-ით შემცირდა.

ერთ-ერთი გამოწვევა რომელიც შეეხება უშუალოდ P2P ვაჭრობას, დაკავშირებულია იმ ფაქტთან, რომ ვაჭრობაში მონაწილე წარმოებისა და მოხმარების ობიექტების უმრავლესობა მიერთებულია გამანაწილებელ ქსელთან, რაც იწვევს გამანაწილებელი ქსელის გადატვირთვას და მის მართვასა და საიმედოობასთან დაკავშირებულ სირთულეებს. აღნიშნულმა შეიძლება ასევე გაზარდოს ქსელის დანაკარგებიც [7]. ამასთანავე, ძალიან მნიშვნელოვანია P2P ვაჭრობისთვის უწყვეტი ინტერნეტ-კავშირის არსებობა, რაც ზოგიერთ შემთხვევაში, შესაძლოა, მნიშვნელოვან სირთულესთან იყოს დაკავშირებული [8].

ბლოკჩეინის ენერჯეტიკაში დანერგვისთვის ასევე მნიშვნელოვანი ბარიერი

მარეგულირებელი გარემოა [5]. ტექნოლოგიის გამოყენება მოითხოვს შესაბამისი რეგულაციების შემუშავებას, რათა ბლოკჩეინის გამოყენება სამართლებრივად მოწესრიგდეს და უსაფრთხოდ განხორციელდეს. დღემდე, უმეტეს ქვეყნებში, ბლოკჩეინთან დაკავშირებული რეგულაციები ადრეული განვითარების ეტაპზეა, რაც აფერხებს ენერგეტიკულ სექტორში ტექნოლოგიის მასობრივ გავრცელებას.

#### დასკვნა

ბლოკჩეინ-ტექნოლოგია ენერგეტიკის სექტორისთვის ერთ-ერთ ყველაზე პერსპექტიულ ინოვაციად იქცა, რომელსაც შეუძლია, რადიკალურად შეცვალოს დარგის ფუნქციონირება. მისი უნიკალური მახასიათებლები, როგორცაა დეცენტრალიზაცია, გამჭვირვალობა, უსაფრთხოება და მონაცემთა დაურღვეველობა, ენერგეტიკულ პროცესებს უფრო მოქნილსა და ეფექტიანს ხდის.

მიუხედავად ამისა, ბლოკჩეინის ფართოდ დანერგვა მოითხოვს ორგანიზაციული, ტექნოლოგიური და მარეგულირებელი ბარიერების დაძლევას. აუცილებელია მეტი ინვესტიცია ტექნოლოგიის განვითარებაში, სისტემების ინტეგრაციის გაუმჯობესება და შესაბამისი რეგულაციების შემუშავება. ამ გამოწვევების გათვალისწინებით, ბლოკჩეინს

შეუძლია გახდეს ენერგეტიკის სექტორის მნიშვნელოვანი მამოძრავებელი ძალა, რომელიც ხელს შეუწყობს სექტორის მოდერნიზაციასა და ენერგეტიკული ბაზრების დიგიტალიზაციას.

#### ლიტერატურა

1. Nakamoto S. Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System (2018)
2. Xu Y., Ahokangas P., Yrjölä S., Koivumäki T. The fifth archetype of electricity market: the blockchain Marketplace. 2021.
3. Ali F.S. *et al.* Cyberphysical Blockchain-Enabled Peer-to-Peer Energy Trading. 2020.
4. Huawei Blockchain Whitepaper, Toward a Trusted Digital World. 2018.
5. Roth T. *et al.* Electricity powered by blockchain: A review with a European perspective. 2022.
6. Ninomiya Y., Sasakawa A., Schröder J., Thomas S. Peer-to-Peer (P2P) Electricity Trading and Power Purchasing Agreements (PPAs). 2020; Part 2 of the GJETC Study on Digitalization and the Energy Transition, German Japanese Energy Transition Council.
7. Azim M.I., Pourmousavi S.A., Tushar W., Saha T.K. Feasibility study of financial P2P energy trading in a grid-tied power network. In Proceedings of the IEEE Power & Energy Society General Meeting. 2020.
8. Junlakarn S., Kokchang P. and Audomvongseree K. Drivers and Challenges of Peer-to-Peer Energy Trading Development in Thailand. 2022.

**BLOCKCHAIN AND ITS USE IN THE ENERGY SECTOR.**

*S. Janelidze.*

“Energy”. №2(110). 2024. Tbilisi. p. 83-89. geo. sum geo. engl.rus.

The article discusses the role and potential of blockchain technology in the energy sector. Based on the analysis of the key features of the technology, such as decentralization, transparency and data inviolability, it is shown how blockchain technology can improve energy processes and market relations. The article reviews potential areas of blockchain use, such as peer-to-peer trading, microgrids, and renewable energy certification. The article also discusses the challenges associated with the practical implementation of blockchain and possible benefits for the energy sector.

*Ill. 1, bibl. 8.*

**БЛОКЧЕЙН И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В ЭНЕРГЕТИКЕ.**

*С. Джanelидзе.*

“Энергия”. № 2(110).2024 . Тбилиси. с. 83-89. груз. реф. груз.англ. рус.

Рассматриваются роль и потенциал технологии блокчейн в энергетике. На основе анализа ключевых особенностей технологии, таких как, децентрализация, прозрачность и неприкосновенность данных, показано, как блокчейн может улучшить энергетические процессы и рыночные отношения. Также рассматриваются потенциальные сферы использования блокчейна: одноранговая торговля, микросети и сертификация возобновляемой энергии. Обсуждаются проблемы, связанные с практической реализацией блокчейна и возможные выгоды для энергетического сектора.

*Илл. 1, лит. 8 назв.*

## რელაქციაში სტატიების შემოტანის წესები

ჟურნალში გამოსაქვეყნებელი სამეცნიერო სტატიებში ექვემდებარება პლაგიატზე შემოწმებას.

ჟურნალის რელაქციაში 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 - აბზაცის დაშორება - 0,75. ტექსტი სწორდება სვეტის სიგანეზე. დანაყოფების დასახელება მუქად.

ფორმულები უნდა აიკრიბოს რელაქტორში: 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.

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.