

620.9(05)

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

კავშირი
"მეცნიერება და ენერჯეტიკა"

ენერჯეტიკა

სამეცნიერო-ტექნიკური
რეზერვუარული ჟურნალი

3(111)/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.ჯიშკარიანი, თ.კიზირია, გ.კოხრეიძე, გ.ლექიშვილი, მ.ლომსაძე-კუჭავა, მ.მადრაძე, თ.მიქიაშვილი, თ.მუსელიანი, ლ.მებონია, დ.ნამგალაძე, ს.ნემსაძე, ნ.ქევიშვილი, ქ.ქუთათელაძე, ა.ჭითანავა, ლ.შატაკიშვილი, ბ.ჭუნაშვილი, ა.ჩიქოვანი, რ.ჩიხლაძე, თ.ჯიშკარიანი, ნ.ჩახვაშვილი (პასუხისმგებელი რედაქტორი), ზ.სკვორცოვა (რუსეთი), კ.სეიხანი (თურქეთი), პ.პსაროპულოსი (საბერძნეთი), ა.სარუხანიანი (სომხეთი), ა.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.Jishkariani, T.Kiziria, N.Kevkhashvili, G.Kokhreidze, K.Kutateladze, G.Lekishvili, M.Lomsadze-Kuchava, M.Magradze, T.Mikiashvili, T.Museliani, I.Mebonia, D.Namgaladze, S.Nemsadze, L.Shatakishvili, B.Tchunashvili, A.Tshitana, A.Chikovani, R.Chikhladze, T.Jishkariani, N.Chakhvashvili (managing -editor- in-chief), Z.Skvortsova (Russia), K.Seyhan (Turkey), P.Psarropoulos (Greece), A.Sarukhanian (Armenia), A.Kuliev (Azerbaijan).

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Главный редактор – Мераб Лордкипанидзе

Заместитель главного редактора – Шалва Гагошидзе, Григол Хелидзе

Члены редакционной коллегии: Р.Арвеладзе, Г.Арабидзе, Я.Биджамов, Г.Гигинеишвили, Д.Гургенидзе, М.Джишкარიანი, Т.Кизирия, Г.Кохреидзе, Н.Кувхишвили, К.Кутателадзе, Г.Лекишвили, М.Ломсадзе-Кучава, М.Маградзе, Т.Микиашвили, Т.Муселиანი, Л.Мებონია, Д.Намгალაძე, С.Немсадзе, Л.Шатакишвили, А.Читანავა, А.Чиковани, Р.Чихლაძე, Б.Чუნაშვილი, Т.Джишკარიანი, Н.Чахвашვილი (ответственный редактор), З.Скворцова (Россия), К.Сейхан (Турция), П.Псаропулос (Греция), А.Саруханян (Армения), А.Кулиев (Азербайджан).

ნომრის მომზადებაში მონაწილეობდნენ:

ტექნ. მეცნ. კანდიდატი ნ.ბარაბაძე, ე.ზამბახიძე, ბ.ბურჭულაძე (ნომრის კომპიუტერული აწყობა-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 / 4 - 645

© "ენერჯია". 2011

www.Energyonline.ge

ს ა რ ჩ ე ზ ი

თ.მუსელიანი , ბ.ჯინჭველეიშვილი, ა.ყამარაული. ბატარეას ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემების გამოყენებით ქვეყნის გადამცემი სისტემის უსაფრთხო მოუშაობის უპირატესობები 5

ევ. მაჭავარიანი, ივ.ბეროშვილი. ინოვაციური ლექცია ენერჯიის მისი ფორმების და მათი ურთიერთგარდაქმნების შესახებ..... 11

გ.კობრიძე, ზ.გაჩეჩილაძე, გ.ხორბალაძე, გოჩა კობრიძე. სახელმწიფო ელექტროსისტემაში მუდმივი დენით ელექტრომაგნიტური ენერჯიის ჩანართისა და გადაცემის IGBT-ტრანზისტორული მოდულებიანი ერთიანი გარდამქმნელი სისტემაში დინამიკური პროცესების მათემატიკური და კომპიუტერული მოდელირების მეთოდების დამუშავების თეორიული საფუძვლები..... 21

გ.ხორბალაძე, ზ.გაჩეჩილაძე, გოჩა კობრიძე. საქართველოს ენერჯის სისტემის მოდელირება 2026 წელს: ქარისა და მზის როლი ენერჯეტიკულ უსაფრთხოებაში. . . . 27

ევ.მაჭავარიანი, ივ.ბეროშვილი, ვ.მუსელიანი. ბუნებრივი აირის სანთურის სიმძლავრის გაანგარიშების გამართივებული მეთოდიკა ხის მასალის საშრობი კამერისათვის..... 33

კ.გიორგაძე. ნაწილობრივი განმუხტვით ელექტროტექნიკური მოწყობილობების ტექნიკური მდგომარეობის დიაგნოსტიკის მეთოდების ანალიზი..... 41

ი.შეყრილაძე, ევ.მაჭავარიანი, გ.გიგინეიშვილი, დ.შეყრილაძე. დარტყმითი დუღილის პროცესის მათემატიკური მოდელირება და ექსპერიმენტული კვლევა..... 46

ა.ჩიქოვანი, ზ.ციცქიშვილი, ვ.ჩხეტია. ასფალტბეტონის დეფორმაციული თვისებები..... 53

ვ უ ლ ო ც ა ვ ი

გოჩა კობრიძეს ვულოცავთ 59

ხ ს ო ვ ნ ა

პროფესორ არჩილ ყუბანეიშვილის გახსენება 61

პროფესორ ირაკლი შეყრილაძეს გახსენება 62

სტატიების შემოტანის წესები..... 64

ბატარეას ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემების გამოყენებით ქვეყნის გადამცემი სისტემის უსაფრთხო მუშაობის უპირატესობები

თენგიზ მუსელიანი - პროფესორი

E-mail: museliani@yahoo.com

ბორის ჯინჭველეიშვილი - დოქტორანტი

E-mail: jinchveleishvili.boris22@gtu.ge

*ანი ყამარაული - მაგისტრი

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

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

*სს „საქართველოს სახელმწიფო ელექტროსისტემა“

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

ანოტაცია. ქვეყნის ელექტროენერგეტიკული სისტემის დინამიკური მდგრადობა არის საფუძველი ქვეყნის საერთო ენერგეტიკული სტაბილურობის, აქედან გამომდინარე მნიშვნელოვანია ყველა ის ფაქტორი და ელემენტი, რომელიც დინამიკური მდგრადობის უწყვეტ რეჟიმში შენარჩუნების საქმეში გარკვეულ წვლილს შეიტანს.

სტატიაში განხილულია ბატარეას ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემები ორმხრივი ნახევარგამტარული გარდამქმნელით „Bidirectional AC/DC Converter“, რომელიც დროის დაყოვნების გარეშე რეაგირებენ სისტემაში წარმოქმნილ გარკვეულ შემფოთებებზე.

ყველა მოქმედი ავტომატიკები, რაც არსებობს დღეს ელექტროენერგეტიკული სისტემის დინამიკური მდგრადობის შენარჩუნების მიზნით და რომელიც ძირითად შემთხვევებში აგვარიდეს სისტემის სრულ და ნაწილობრივ ჩაქრობას, რეაგირებისთვის მოითხოვს გარკვეულ დროს და მოქმედებს დროის დაყოვნებით, ხოლო თანამედროვე ბატარეას ელექტროენერჯიის დამაგროვებელ სისტემებს, როგორც უკვე ავლნიშნით გააჩნია ენერჯიის მართვის სისტემა, დროის დაყოვნების გარეშე რეაგირებს შემფოთებებზე.

საკვანძო სიტყვები: ბატარეას ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემა, ელექტროგადამცემი ხაზი, რეაქტორი, ენერჯიის მართვის სისტემა, სიხშირე, ძაბვა, დინამიკური მდგრადობა.

ძირითადი ნაწილი

ელექტროენერგეტიკული სისტემის ძირითადი პარამეტრები სიხშირე და ძაბვა მოითხოვს სისტემატიურად მუდმივ რეჟიმში მათი ნომინალური მნიშვნელობის შენარჩუნებას, ავტონომიურ - იზოლირებულ რეჟიმში მუშაობის დროს მუდმივ რეგულირებას საჭიროებს სიხშირე, რომელზეც მოქმედებს, როგორც გენერაციის ასევე მოხმარების მნიშვნელოვანი ცვლილება, ხოლო პარალელურ - სინქრონულ რეჟიმში მუშაობის დროს მუდმივ რეგულირებას საჭიროებს მეზობელ ენერგოსისტემასთან გრაფიკით

გათვალისწინებული ენერჯიის გადაღების შენარჩუნება [1,2].

ავტონომიურ - იზოლირებულ რეჟიმში გენერაციის დეფიციტის დროს სიხშირე დაბალია და სიხშირე მაღალია გენერაციის სიჭარბის დროს, როდესაც ავარიულად ჩერდება გენერატორი, მაშინ სისტემაში სიხშირე კლებულობს, 50 მგვტ სიმძლავრის გენერაციის დაკარგვა დაახლოებით 1 ჰერცით ამცირებს სიხშირეს, ხოლო 50 მგვტ სიმძლავრის მომხმარებლის ავარიული გამორთვა დაახლოებით 1 ჰერცით ზრდის სიხშირეს, რომელსაც არეგულირებს

გენერატორები, რომლებზეც შეყვანილია სიხშირის რეგულატორი.

გადამცემ სისტემაში ძაბვის რეგულირების ძირითადი მეთოდია 500 კვ-ის რეაქტორის ჩართვა და გამორთვა. პიკის დროს როდესაც მოხმარება იზრდება, ძაბვები კლებულობს ამ დროს ხდება რეაქტორის გამორთვა ან რეაქტორის ანცაპის გადაწევა მინიმალურ მდგომარეობაში [3,4].

ავტონომიურ - იზოლირებულ რეჟიმში მუშაობის თავისებურებებია:

1. პიკის დროს 500 კვ-ის რეაქტორის გამორთვა იწვევს ძაბვის გაზრდას, რაც თავის მხრივ იწვევს ქვეყნის მოხმარების გაზრდას დაახლოებით 50 მგვტ-ით და ამ დროს სიხშირე მცირდება დაახლოებით 1 ჰერცით, არასასურველი რეჟიმის თავიდან აცილების მიზნით დისპეტჩერი წინასწარ გაზრდის სიხშირეს 50,5 ჰერც-მდე და სანამ სიხშირის რეგულატორი ისევ დაწევს სიხშირეს ნომინალურ მნიშვნელობამდე გამორთავს რეაქტორს, ამის შემდეგ სიხშირის რეგულატორი (FCR) რომელიც მძლავრ გენერატორებზეა შეყვანილი დაარეგულირებს სიხშირეს ნომინალურ მნიშვნელობამდე;

2. ღამის საათებში მინიმალური მოხმარების დროს 500 კვ-ის რეაქტორის ჩართვა იწვევს ძაბვის შემცირებას, რაც თავის მხრივ იწვევს ქვეყნის მოხმარების შემცირებას დაახლოებით 50 მგვტ-ით და ამ დროს სიხშირე იზრდება დაახლოებით 1 ჰერცით, არასასურველი რეჟიმის თავიდან აცილების მიზნით დისპეტჩერი წინასწარ შეამცირებს სიხშირეს 49,5 ჰერც-მდე და სანამ სიხშირის რეგულატორი ისევ აწევს სიხშირეს ნომინალურ მნიშვნელობამდე გამორთავს რეაქტორს, ამის შემდეგ სიხშირის რეგულატორი (FCR) რომელიც მძლავრ

გენერატორებზეა შეყვანილი დაარეგულირებს სიხშირეს ნომინალურ მნიშვნელობამდე.

3. სიხშირის რეგულატორის მოქმედებას სჭირდება გარკვეული პერიოდი, თანაც დისპეტჩერის მხრიდან ზემოთხსენებული მანიპულაციები თავისებურ რისკთან არის დაკავშირებული, ყოველივე დამატებით ზემოთხსენებულ მოქმედებებს გამორიცხავს ბატარეას ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემა ორმხრივი ნახევარგამტარული გარდამქმნელით „Bidirectional AC/DC Converter“, რომელიც სისტემას მყისიერად მიაწვდის და საჭიროების შემთხვევაში მიიღებს აქტიურ და რეაქტიულ ენერჯიას მისი მოთხოვნის შესაბამისად, დროის დაყოვნების გარეშე [5,6].

აღსანიშნავია, რომ ავტონომიურ - იზოლირებულ რეჟიმში მუშაობის დროს გენერაციის და მოხმარების უცარი ცვლილება მდგრადობისთვის გაცილებით საგრძნობია და უარყოფითად მოქმედებს ქვეყნის მინიმალური მოხმარების დროს, ვიდრე პიკის დროს.

პარალელურ - სინქრონულ რეჟიმში მუშაობის თავისებურებებია:

1. პიკის დროს 500 კვ-ის რეაქტორის გამორთვა იწვევს ძაბვის გაზრდას, რაც თავის მხრივ იწვევს ქვეყნის მოხმარების გაზრდას დაახლოებით 50 მგვტ-ით და ამ დროს მეზობელ ენერგოსისტემასთან გრაფიკით მიმდინარე იმპორტი გაიზრდება დაახლოებით 50 მგვტ-ით, ხოლო გრაფიკით მიმდინარე ექსპორტი შემცირდება დაახლოებით 50 მგვტ-ით, ამის შემდეგ მძლავრ გენერატორზე შეყვანილი გენერაციის ავტომატური კონტროლი, იგივე ჯგუფური რეგულირება - ეიჯისი (aFFR) გაასწორებს მეზობელ ენერგოსისტემასთან გადადინებას გრაფიკის მიხედვით;

2. ღამის საათებში მინიმალური მოხმარების დროს 500 კვ-ის რეაქტორის ჩართვა იწვევს ძაბვის შემცირებას, რაც თავის მხრივ იწვევს ქვეყნის მოხმარების შემცირებას დაახლოებით 50 მგვტ-ით და ამ დროს მეზობელ ენერგოსისტემასთან გრაფიკით მიმდინარე იმპორტი შემცირდება დაახლოებით 50 მგვტ-ით, ხოლო გრაფიკით მიმდინარე ექსპორტი გაიზრდება დაახლოებით 50 მგვტ-ით, ამის შემდეგ მძლავრ გენერატორზე შეყვანილი გენერაციის ავტომატური კონტროლი, იგივე ჯგუფური რეგულირება - ეიჯისი (aFFR) გაასწორებს მეზობელ ენერგოსისტემასთან გადადინებას გრაფიკის მიხედვით;

3. გენერატორებზე შეყვანილ გენერაციის ავტომატური კონტროლის - ეიჯისის მოქმედებას სჭირდება გარკვეული პერიოდი, ამავდროულად რეჟიმიდან გამომდინარე 500 კვ-ის რეაქტორის ჩართვისას გენერაციის ობიექტები ნაწილობრივ ავტომატურად ზრდიან რეაქტიული ენერჯიის გენერაციას და 500 კვ-ის რეაქტორის გამორთვისას გენერაციის ობიექტები ნაწილობრივ ავტომატურად ამცირებენ რეაქტიული ენერჯიის გენერაციას, ასევე 500 კვ-ის რეაქტორის ჩართვისას მეზობელ ენერგოსისტემებთან დამაკავშირებელ სისტემათაშორისო ელექტროგადამცემ ხაზებზე იზრდება რეაქტიული ენერჯიის იმპორტი და 500 კვ-ის რეაქტორის გამორთვისას მეზობელ ენერგოსისტემებთან დამაკავშირებელ სისტემათაშორისო ელექტროგადამცემ ხაზებზე მცირდება რეაქტიული ენერჯიის იმპორტი, ყოველივე დამატებით ზემოთხსენებულ პროცესებს გამორიცხავს ბატარეას ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემა ორმხრივი ნახევარგამტარული გარდამქმნელით „Bidirectional AC/DC Converter“, რომელიც სისტემას მყისიერად

მიაწვდის აქტიურ და რეაქტიულ ენერჯიას მისი მოთხოვნის შესაბამისად, დროის დაყოვნების გარეშე [7,8].

გადამცემ სისტემაში ძაბვის რეგულირება, ასევე შესაძლებელია 500 კვ-ის ტევადური შუნტის საშუალებით, ტევადური შუნტის კომუტაცია სისტემაში იწვევს დაახლოებით 70 მვარ რეაქტიული სიმძლავრის ცვლილებას.

500 კვ ტევადური შუნტის ჩართვით სისტემას მყისიერად ემატება 70 მვარ რეაქტიული სიმძლავრე, რაც გადამცემ სისტემაში ძაბვის და ქვეყნის მოხმარების ავტომატურად გაზრდას იწვევს, ხოლო ტევადური შუნტის გამორთვისას სისტემას მყისიერად აკლდება 70 მვარ რეაქტიული სიმძლავრე, რაც გადამცემ სისტემაში ძაბვის და შესაბამისად ქვეყნის მოხმარების ავტომატურად შემცირებას იწვევს [9,10,11].

500 კვ-ის ელექტროგადამცემი ხაზის გამორთვა ორივე ბოლოში გეგმიურად თუ ავარიულად იწვევს ძაბვის ვარდნას, შეიქმნება რეაქტიული ენერჯიის დეფიციტი მვარებში პროპორციით ხაზის სიგრძე გამრავლებული 0,9-ზე. ძაბვის ვარდნა თავის მხრივ იწვევს მოხმარების შემცირებას, ამ შემთხვევაში ბატარეას ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემა ორმხრივი ნახევარგამტარული გარდამქმნელით „Bidirectional AC/DC Converter“, რომელიც სისტემას მყისიერად მიაწვდის აქტიურ და რეაქტიულ ენერჯიას მისი მოთხოვნის შესაბამისად, დროის დაყოვნების გარეშე.

500 კვ-ის ელექტროგადამცემი ხაზის ჩართვა ორივე ბოლოში იწვევს ძაბვის გაზრდას, შეიქმნება რეაქტიული ენერჯიის სიჭარბე მვარებში პროპორციით ხაზის სიგრძე გამრავლებული 0,9-ზე. ძაბვის გაზრდა თავის მხრივ იწვევს მოხმარების

გაზრდას, ამ შემთხვევაში ბატარეას ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემა ორმხრივი ნახევარგამტარული გარდამქმნელით „Bidirectional AC/DC Converter“, რომელიც სისტემიდან მყისიერად მოიხმარს აქტიურ და რეაქტიულ ენერჯიას საჭიროების შესაბამისად, დროის დაყოვნების გარეშე [12,13,].

დასკვნა

საქართველოს ელექტროენერჯო-სისტემა ძირითადად მუშაობს პარალელურ რეჟიმში მეზობელ ენერჯოსისტემებთან, აქედან გამომდინარე ქვეყნის ელექტრო-ენერჯოსისტემის დინამიკური მდგრადობა ძალზედ მნიშვნელოვანია არა მარტო საკუთარი ქვეყნის ენერჯოსისტემისთვის, არამედ მეზობელი ქვეყნების ელექტრო-ენერჯოსისტემებისთვის.

ყოველივე ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე ბატარეას ელექტროენერჯიის დამაგროვებელი სისტემები უზრუნველყოფს ყოველგვარ შემფოთებებს და ელექტროენერჯოსისტემას არ გადაიყვანს ავარიის წინა და მითუმეტეს ავარიულ რეჟიმში.

ლიტერატურა

1. Jintchveishvili B. In order to increase the stability of the electric power system, installation of energy storage near 500 kv substations and justification of its need// Energy. №3-4(103-104).2022. 90–95. <https://energyonline.ge/issue16/13-Jintchveli.pdf> https://dSPACE.nplg.gov.ge/bitstream/1234/417046/1/Energia_2022_N3-4.pdf
2. Jintchveishvili B. Large capacity energy storage systems for ensuring continuous maintenance of the mode stability of the electric power system and for the development of the competitive markets in Georgia//Energy. №1(105). 2023. 13-21.

3. Museliani T. & Jintchveishvili, B. Evaluation of the economic utility of energy storage systems in the electric power system under conditions of competitive markets// Energy. №1(105)/2023. 22-27. https://dSPACE.nplg.gov.ge/bitstream/1234/444438/1/Energia_2023_N1.pdf
4. Museliani T. & Jintchveishvili B. A battery energy storage system that aims to make the energy sector more affordable, more climate and environmentally competitive, safer and more sustainable. Scientific-technical refereed journal Energy. №2(106)/2023. 24 – 36.
5. Museliani T. & Jintchveishvili B. Economic efficiency of the use of energy storage systems in the power system/ Energy series – International scientific and technological conference – November 20÷22, 2023 „Modern problems of power engineering and ways of sloving them“. 3(107)/2023. 42-45. https://dSPACE.nplg.gov.ge/bitstream/1234/475462/1/Energia_2023_N3_Naw_I.pdf
6. Museliani T. & Jintchveishvili B. In order to increase the stability of the electric power system, installation of battery energy storage system near 500 kv substations and justification of its need. International organization of scientific research – IOSR-JEEE. E-ISSN:2278-1676, p-ISSN:2320-3331, Volume 18, Issue 4 Ser. I (July.-August. 2023). 12 – 15. <https://www.iosrjournals.org/iosr-jeee/Papers/Vol18-Issue4/Ser-1/C1804011215.pdf>
7. Museliani T. & Jintchveishvili B. Discussion of possible options for improving the dynamic stability of the electric power system by introducing battery energy storage systems and photovoltaic systems in Georgia//Energy. №1(109)/2024. 20 – 27. https://dSPACE.nplg.gov.ge/bitstream/1234/497100/1/Energia_2024_N1.pdf
8. Jintchveishvili B. Study of the dynamic stability of the electric power system in the vicinity of the 500kv substation „Ksani-500“ using a 200MW battery energy storage system//Energy. №1(109). 2024. 36 – 39. https://dSPACE.nplg.gov.ge/bitstream/1234/497100/1/Energia_2024_N1.pdf
9. Museliani T. & Jintchveishvili B. Maintaining the dynamic stability of the electric power system during any momentary disturbance by using battery energy storage systems// Energy. №1(109). 2024. 40 – 48.

- https://dSPACE.nplg.gov.ge/bitstream/1234/497100/1/Energia_2024_N1.pdf
10. Museliani T., Vakhtangadze I. & Jintchveleishvili B. (2024). Analysis of the selection and location of battery energy storage systems in the distribution network. Scientific-technical refereed journal Energy. №2(110)/2024. 11 – 23.
 11. Museliani T. & Jintchveleishvili, B. Maintaining the dynamic stability of the power system during instantaneous disturbances using a battery energy storage system. 88th Open International Scientific Conference of the Georgian Technical University, 1st place. 2024.
<https://www.interpressnews.ge/ka/article/801008-stu-is-studentta-88-e-gia-saertashoriso->
 12. Museliani T., Museliani G. & Jintchveleishvili, B. Foreign experience of electricity storage systems. 1st international congress on energy systems engineering, Akaki Tsereteli State University, INESEC 2024. Panel Session 1: Power Industry Technology. 24-25.
<https://www.atsu.edu.ge/ge/faculty/8-sainzhinroteknikuri-pakulteti/news/1992-i-saertashoriso-kongresi-energetikuli-sistemebis-inzhineriashi-inesec2024>
 13. Lolashvili M. English For Power Engineers//Georgian State Electrosystem. №1. 2023. 4 – 115.

ADVANTAGES OF SAFE OPERATION OF THE COUNTRY'S TRANSMISSION SYSTEM USING BATTERY ENERGY STORAGE SYSTEMS.

T.Museliani, B.Jinchveleishvili, A.Camarauyli.

“Energy”. №3(111). 2024. Tbilisi. p.5-10. geo. sum geo. engl.rus.

The dynamic stability of the country's electricity system is the basis for the country's overall energy stability, therefore, all factors and elements that contribute to maintaining dynamic stability in a continuous mode are important.

The article discusses battery energy storage systems with a bidirectional semiconductor converter, which reacts to certain disturbances in the system without time delay.

All current automatics that exist today to maintain the dynamic stability of the power system and, in most cases, prevent complete and partial blackouts of the system, require a certain time to respond and operate with a time delay, while modern battery energy storage systems, as already mentioned, have an energy management system that responds to disturbances without any time delay.

Bibl. 13.

ПРЕИМУЩЕСТВА БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ СТРАНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АККУМУЛЯТОРНЫХ СИСТЕМ НАКОПЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ.

Т.Муселиани, Б.Джинчвелишвили, А.Камараули.

“Энергия”. № 3(111).2024 . Тбилиси. с. 5-10. груз. реф. груз.англ. рус.

Динамическая устойчивость электроэнергетической системы страны является основой общей энергетической устойчивости страны, поэтому важны все факторы и элементы, способствующие постоянному поддержанию динамической устойчивости.

В работе рассматриваются аккумуляторные системы накопления энергии с двунаправленными полупроводниковыми преобразователями „Bidirectional AC/DC Converter“, которые без задержки по времени реагируют на те или иные возмущения в системе.

Вся существующая сегодня эксплуатационная автоматика для поддержания динамической устойчивости электроэнергетической системы, которая, в основных случаях занимается полным и частичным обесточиванием, требует определенного времени на срабатывание и работает с задержкой по времени, в то время как современные аккумуляторные батареи - системы хранения, как мы уже упоминали, имеют систему управления энергопотреблением с задержкой по времени, не реагирующую на опасения.

Лит. 13 назв.

ინოვაციური ლექცია ენერჯიის, მისი ფორმების და მათი ურთიერთგარდაქმნების შესახებ

ევტიხი მაჭავარიანი - დოქტორი

E-mail: ev.machavariani@gtu.ge

ივანე ბეროშვილი - დოქტორი

E-mail: berosh@mail.ru

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ანოტაცია. წარმოდგენილია კაცობრიობის მიერ ენერჯიის ამა თუ იმ ფორმის გამოყენების ცნობილი ისტორიული მაგალითები. ნაჩვენებია, რომ ენერჯიის სხვადასხვა ფორმის გამოყენება ცივილიზაციის განვითარების უპირველეს აუცილებლობას წარმოადგენს. მოყვანილია ენერჯიის განმარტება და ენერჯიის სხვადასხვა ფორმების გამოვლინების პრაქტიკული მაგალითები. წარმოდგენილია აგრეთვე ენერჯიის სხვადასხვა ფორმების თვისებრივი კლასიფიკაცია. მეტი თვალსაზრისით, ეს კლასიფიკაცია ნაჩვენებია გვაქვს სპეციალურად შემუშავებულ სქემაზე, როგორც ენერჯიის სხვადასხვა ფორმებისაგან შემდგარი სამი სახის ჯგუფი. ამ ჯგუფების სახელწოდებებია ექსერჯია, ენერჯია და ანერჯია, რომლებთანაც ექსერჯიის ჯგუფში შეყვანილია ენერჯიის ყველაზე ძვირფასი ფორმები. ენერჯიის ჯგუფში შეყვანილია ენერჯიის ნაკლებად ძვირფასი ფორმები ხოლო სავსებით უფასური ენერჯიის ფორმები გაერთიანებულია ანერჯიის ჯგუფში. ამ სქემის გამოყენებით სტუდენტებს ვასწავლით ტექნიკური თერმოდინამიკის პირველ და მეორე კანონებს და ვამტკიცებთ პირველი და მეორე სახის მუდმივი მანქანების შეუძლებლობას.

წარმოდგენილი შინაარსით ლექციების ჩატარების მრავალწლიანმა პრაქტიკამ გვაჩვენა, რომ სტუდენტები ადვილად იგებენ და კარგად იმახსოვრებენ მასალას.

საკვანძო სიტყვები: ენერჯია, ექსერჯია, ანერჯია, ძრავა, გენერატორი, კომპრესორი, ტუმბო, სითბური ტუმბო.

შესავალი

კაცობრიობას თავისი განვითარების ყველა ეტაპზე ესაჭიროებოდა მექანიკური ენერჯია, ანუ რაიმე ძალა მისი პრაქტიკული გამოყენებისათვის. მაგალითად პირველ-ყოფილ ადამიანებს მექანიკური ენერჯია ესაჭიროებოდათ ბუნაგის მოსაწყობად, მიწის გასათხრელად, ქვების და ხის მორების გადასაადგილებლად, ნანადირევის საცხოვრებელ ადგილამდე მისატანად და ა.შ. ყველა ამ საქმიანობის შესასრულებლად ისინი იყენებდნენ საკუთარი კუნთის ქიმიურ ენერჯიას, რომელიც შრომის პროცესში გარდაიქმნებოდა მექანიკურ მუშაობად, ანუ მექანიკურ ენერჯიად რომლის დახმარებით სრულდებოდა სხვადასხვა, როგორც

მსუბუქი, ასევე მძიმე საქმიანობა. დროთა განმავლობაში ადამიანთა გარკვეულმა ჯგუფებმა ისწავლეს და დანერგეს სხვისი, კერძოდ მონების (ასევე ცხოველთა) კუნთების ქიმიური ენერჯიის გამოყენება. ეს პროცესი მრავალი ათასწლეულის განმავლობაში მიმდინარეობდა და ისტორიული მასშტაბებით თუ მივუდგებით, სულ ახლახანს, ორიოდე ასეული წლის წინ იქნა უარყოფილი მოწინავე საზოგადოების მხრიდან. თუმცა, მონათა ფიზიკური მუშაობა დღევანდელ პირობებშიც საკმაოდ ხშირად გამოიყენება ზოგიერთ ქვეყნებში, ხოლო ცხოველთა მიერ შესრულებული მექანიკური მუშაობის გამოყენების თანამედროვე მაგალითების ჩამოთვლა მრავლად შეიძლება.

შემდეგ, უხსოვარ დროს ადამიანებმა მოიპოვეს სითბო, ანუ ისწავლეს ცეცხლის შენახვა და გამოყენება (ამირანის მითი) როგორც გასათბობად, ასევე საკვების მოსამზადებლად, მაგრამ რაც შეეხება მექანიკურ მუშაობას, ის კვლავ ადამიანისა თუ ცხოველის კუნთის ძალით სრულდებოდა მრავალი საუკუნის განმავლობაში და მხოლოდ რამოდენიმე ათასი წლის წინ ადამიანებმა ისწავლეს ჯერ მდინარის წყლისა და შემდეგ ქარის ნაკადების ენერჯიის (ძალის) გამოყენება და ამ ნაკადების კინეტიკურ ენერჯიებს (ძალებს) იყენებდნენ (იყენებენ დღევანდელ პერიოდშიც) მაშინდელი, ყველაზე აუცილებელი და შრომატევადი მექანიკური საქმიანობის, კერძოდ მარცვლეულის დაფქვის შესასრულებლად.

სულ ახლახანს, რაღაც 250±300 წლის წინ, ადამიანებმა ისწავლეს ელექტრული და თბური ენერჯიების გამოყენება მექანიკური საქმიანობის შესასრულებლად. ელექტრული და თბური ძრავების დანერგვამ განაპირობა ცივილიზაციის სწრაფი წინსვლა როგორც ტექნოლოგიური განვითარების, ასევე სამყაროს შეცნობის მიმართულებით.

კიდევ უფრო გვიან, სულ 300-ოდე წლის წინ მეცნიერებამ დაადგინა ენერჯიის მუდმივობისა და გარდაქმნის კანონი, რომლის მიხედვით ენერჯია არ შეიძლება გაჩნდეს ან გაქრეს. ის სამყაროში მუდმივია და შესაძლებელია მხოლოდ მისი გარდაქმნა ერთი ფორმიდან მეორეში. მაშასადამე მექანიკურ ენერჯიაზე (მუშაობაზე) ცივილიზაციის მოთხოვნილების დასაკმაყოფილებლად აუცილებელია სხვა ფორმის ენერჯიების გარდაქმნა მექანიკურ ენერჯიად. ამისათვის კაცობრიობამ თავისი განვითარების

სხვადასხვა ეტაპზე მიაგნო ამ მიზნით გამოსაყენებელი ენერჯიის ფორმებს და შექმნა შესაბამისი ტექნიკური მოწყობილობები.

ენერჯია

ენერჯია ბუნებრივი მოვლენების საყოველთაო საფუძველია, ადამიანის მოღვაწეობის ბაზისია. ამავე დროს ენერჯია გაიგივებულია მატერიის მოძრაობის სხვადასხვა, ერთმანეთში გარდაქმნადი ფორმის რაოდენობრივ შეფასებასთან. ენერჯია ემსახურება ადამიანთა კეთილდღეობას და ასრულებს განსაზღვრულ ფუნქციებს ჩვენს საზოგადოებაში. ენერჯიის გამოყენება ხელს უწყობს საწარმოო ქმედებათა მასშტაბის ზრდას და ყველა სახის ტრანსპორტის განვითარებას. ენერჯიის მნიშვნელოვანი რაოდენობა იხარჯება გათბობისა და გაცივების მიზნით - საჭმლისა და სამომხმარებლო საქონლის შენახვისა და მომზადებისათვის, კომფორტული მიკროკლიმატის შესაქმნელად.

კაცობრიობისათვის ჯერ-ჯერობით ბუნების ოთხი ძალაა ცნობილი - გრავიტაციული, ელექტრომაგნიტური, სუსტი (ატომური) და ძლიერი ატომბირთვული ძალები. ყოველ მათგანთან დაკავშირებულია მუშაობის შესრულების შესაძლებლობა და იმ შემთხვევაში, როდესაც ეს შესაძლებლობა პრაქტიკულად ხორციელდება, მიმდინარეობს ენერჯიის გარდაქმნის, გამოთავისუფლების, დაგროვების (აკუმულირების), გადაცემის ან გამოყენების სხვადასხვა პროცესი. ეს პროცესები ბუნებაში თავისთავად და სისტემატურად მიმდინარეობენ, ხოლო ტექნიკურ მოწყობილობებში კი ხელოვნურად, ადამიანის საჭიროების მიხედვით.

დედამიწის ცივილიზაციამ ენერჯია დაარქვა იმ მუშაობას, რომელიც შეიძლება მიღებული იქნას ამ ენერჯიის მატარებელი ნივთიერებისაგან, სხეულისაგან ან სხეულთა სისტემისაგან, გარემოსთან მათი ურთიერთქმედების შედეგად. ენერჯიის ეს განმარტება გულისხმობს ცივილიზაციის განვითარებისათვის საჭირო მუშაობას. ამასთან, ზოგიერთ სხეულებსა და სხეულთა სისტემებს გააჩნიათ ენერჯია, რომელიც ჯერ-ჯერობით ვერც პრაქტიკულად და ვერც თეორიულად მუშაობად ვერ გარდაიქმნება (მაგ. დედამიწის ქერქის ქვეშ არსებული გამდნარი მასის სითბური ენერჯია, ღრუბლების ან კოსმოსური სხეულების ენერჯია და ა.შ.). მიუხედავად ამისა, გარკვეული შედარებების საფუძველზე, მაინც ხდება ასეთ სხეულებში და სხეულთა სისტემებში არსებული ენერჯიის რაოდენობის შეფასება.

ზემოთქმულის გათვალისწინებით ენერჯია შეიძლება ასე განვმარტოთ: ენერჯია ეწოდება იმ მუშაობას, რომელიც შეიძლება მივიღოთ ენერგომატარებელი ნივთიერების, სხეულის ან სხეულთა სისტემებისაგან გარემოსთან რეალური ან თეორიულად წარმოდგენილი ურთიერთქმედების შედეგად. ენერჯიის ეს განმარტება ემყარება ცნობილ ამოსავალ დებულებას: ენერჯია არც წარმოიქმნება და არც ქრება, ხდება მხოლოდ მისი გარდაქმნის პროცესები და ამ პროცესებისათვის სამართლიანია ენერჯიის რაოდენობის შენახვის კანონი.

ენერჯიის ფორმები

ადამიანები ყოფაცხოვრებაში მუდმივად და სხვადასხვანაირად შევიგრძნობთ გარკვეულ ენერჯიას. მაგალითად ცეცხლი გვათბობს, მინის ჭურჭელი გადმო-

ვარდნისას ტყდება, რეზინის გაჭიმული ზოლი დამოკლებას ცდილობს და ტანზე გვიჭერს, შეკუმშული ზამზარა რაღაც ნივთს გადაადგილებს, ფარნის ჩართვით სიბნელეში არსებულ საგნებს ვხედავთ, აფეთქების ბგერითი ტალღები საკმაოდ მოშორებით მდებარე შენობების მიწებს ამსხვრევენ და სხვა მრავალი. როგორ უნდა გავერკვეთ ენერჯიის რა ფორმები ვლინდება ამ სხეულებში და მოვლენებში?

მრავალი საუკუნის განმავლობაში ჩატარებული დაკვირვებებითა და ექსპერიმენტებით მიღებული შედეგების საფუძველზე მეცნიერებამ დაადგინა, რომ ენერჯიას აქვს ორი ძირითადი ფორმა და ესენია კინეტიკური ენერჯია და პოტენციური ენერჯია.

დიდი სიჩქარით მოძრავი ტყვია გარკვეულ სხეულებთან შეჯახებისას ხვრეტს მათ. მოძრავ სხეულებს კინეტიკური ენერჯია გააჩნიათ. სხეულის კინეტიკური ენერჯიის სიდიდე დამოკიდებულია ამ სხეულის მასაზე. სახვადასხვა მასის მქონე და ერთიდაიგივე სიჩქარით მოძრავი ორი სხეულიდან მეტი მასის მქონე სხეულს მეტი კინეტიკური ენერჯია გააჩნია. მოძრავ სხეულთა კინეტიკური ენერჯია მათი მასების პირდაპირპროპორციულია.

მოძრავი სხეულის კინეტიკური ენერჯია გაცილებით მკვეთრადაა დამოკიდებული მოძრაობის სიჩქარეზე. სიჩქარესა და კინეტიკურ ენერჯიას შორის კვადრატული დამოკიდებულებაა და ამიტომ თუ ერთი და იმავე მასის მქონე სხეულებიდან ერთერთი ორჯერ უფრო სწრაფად მოძრაობს, მაშინ მისი კინეტიკური ენერჯია ოთხჯერ უფრო მეტი იქნება.

აქედან გამომდინარე შეგვიძლია ვთქვათ, რომ მოძრავ ტრანსპორტს, დაღმართზე დაშვებულ ცივას, ყველა სიგრძის ელექტრომაგნიტურ და ბგერით ტალღებს, ელექტროსადენში მოძრავ ელექტრონებს, ქარს, მდინარეს, საათის ქანქარას, დედამიწის გარშემო მზრუნავ მთვარეს და ა.შ., აქვთ კინეტიკური ენერჯია.

კინეტიკური ენერჯიის ელექტრო-მაგნიტური ფორმა არის გამოსხივებული ელექტრომაგნიტური ტალღების ენერჯია, რომლითაც ხასიათდებიან მოძრავი ელექტრული და მაგნიტური ველები. ენერჯიის ელექტრომაგნიტური ფორმა აქვთ ხილულ სინათლეს, ინფრაწითელ და ულტრაიისფერ გამოსხივებას, რენტგენის სხივებს, რადიო და სატელევიზიო ტალღებს.

ნივთიერების (განსაკუთრებით ცხელი სხეულის) ატომები და მოლეკულები მუდმივად და საკმაოდ სწრაფად მოძრაობენ. ამიტომ მათ აქვთ კინეტიკური ენერჯია. ამ ენერჯიის სიდიდეს განსაზღვრავს სხეულის ტემპერატურა. ამიტომაც ამ ენერჯიას თერმიული ენერჯია ეწოდება.

მრავალ შემთხვევაში მოძრაობის კინეტიკური ენერჯია გარდაიქმნება შესრულებულ მექანიკურ მუშაობად, ანუ მექანიკური ენერჯია წარმოადგენს კინეტიკური ენერჯიის ერთერთ ფორმას ენერჯიის ბგერით, ელექტრულ, რადიაციულ (ელექტრომაგნიტურ), ბირთვულ (მხოლოდ გამოთავისუფლების შემდეგ) და თერმიულ ფორმებთან ერთად.

რაც შეეხება პოტენციურ ენერჯიას ის განისაზღვრება როგორც ენერჯია, რომელიც დაკავშირებულია ობიექტების სისტემის მოწყობის წესებთან, რადგან ეს ობიექტები ერთმანეთზე გარკვეული

ძალებით მოქმედებენ. პოტენციური ენერჯია ინახება ან გამოთავისუფლდება, როდესაც მოცემულ სისტემაში იცვლება ობიექტების განლაგება და/ან იცვლებიან ძალები, რომლებსაც ეს ობიექტები ახორციელებენ ერთმანეთზე.

ობიექტები, დაწყებული ატომბირთვის შემადგენელი ნაწილაკებიდან პლანეტებამდე შეიძლება ურთიერთგანლაგებული იყვნენ მრავალი სხვადასხვა კანონზომიერებით და ამასთან მათი ურთიერთ-ზემოქმედება შეიძლება სხვადასხვა ფიზიკური მოვლენით იყოს გამოწვეული. სწორედ ამიტომ პოტენციური ენერჯია შეიძლება გამოვლინდეს სხვადასხვა ფორმით. ენერჯიის ეს ფორმებია გრავიტაციული, ელასტიური, ქიმიური, ბირთვული (გამოთავისუფლებამდე) და კონკრეტულ შემთხვევებში თერმიულიც.

რაც უფრო მაღლაა მოთავსებული ვთქვათ რაიმე მასიური სხეული, მით უფრო საგრძნობია მისი მოქმედება დედამიწაზე დაცემისას (პოტენციური ენერჯიის გრავიტაციული ფორმა) და რაც უფრო შეკუმშულია ზამზარა ან რაიმე აირი, მით უფრო მეტ მუშაობას შეასრულებენ ისინი გაშლა-გაფართოებისას (პოტენციური ენერჯიის ელასტიური ფორმა). ავტომობილის შიგა წვის ძრავის ჩართვისას აუცილებელია აკუმულატორიდან მიწოდებული დენით გამშვები ელექტრომოტორის ამოქმედება. აკუმულატორებში არსებულ სპეციალურ ფილტრებსა და ელექტროლიტური ხსნარებს გააჩნიათ პოტენციური ენერჯიის ქიმიური ფორმა, რომლის ხარჯზეც აკუმულატორი გამოიმუშავებს კინეტიკური ენერჯიის ელექტრულ ფორმას.

გარდა ამისა სხეულის შემადგენელ ნაწილაკებს შორის მუდმივად მოქმედებენ

მიზიდვა განზიდვის გრავიტაციული ძალები, რომლებიც განაპირობებენ მათ პოტენციურ ენერჯიას. სხეულის შემადგენელი ნაწილაკების კინეტიკური, ანუ სხეულის თერმიული ენერჯიის და მათი მიზიდვა განზიდვის პოტენციალური ენერჯიების ჯამი წარმოადგენს ამ სხეულის შიგა ენერჯიას.

აქ აუცილებლად უნდა ავლნიშნოთ, რომ ხშირად ადამიანები (მათ შორის სპეციალისტებიც) არასწორად იყენებენ ტერმინს თბური ენერჯია. ასევე სიტყვა სითბო ხშირად გამოიყენება თერმიული ენერჯიის მნიშვნელობით, რაც ტექნიკურად (და მეცნიერულადაც) ნამდვილად არასწორია.

ყველა ობიექტს (თუნდაც ცივს) აქვს თერმიული ენერჯია, რადგან მათ აქვთ ტემპერატურა აბსოლუტურ ნულზე ზემოთ. თერმიული ენერჯიის მტკიცებულება შეიძლება გამოვლინდეს ობიექტის ტემპერატურის გაზომვით.

მიუხედავად იმისა, რომ ტექნიკურად არასწორია, სიტყვა „სითბო“ ხშირად გამოიყენება თერმიული ენერჯიის მნიშვნელობით. მკაცრი მეცნიერული თვალსაზრისით, ამ ორს შორის მკაფიო განსხვავებაა. თერმიული ენერჯია ეხება ობიექტში მოლეკულების კინეტიკურ ენერჯიას. ხოლო სითბო არის ერთი ობიექტიდან მეორე ობიექტზე გადაცემული თერმიული ენერჯიის მხოლოდ რაოდენობა. სამეცნიერო და პედაგოგიურ თბოტექნიკურ ლიტერატურაში ავტორები სადაც შესაძლებელია ცდილობენ ამ განსხვავების პუნქტუალურად გათვალისწინებას. თუმცა, რადგან სითბო უფრო ნაცნობი ტერმინია, ისინი ხშირად იყენებენ მას მასალის გაგების ერთგვარად გასაადვილებლად.

პოტენციური ენერჯიის თერმიული ფორმა განისაზღვრება მისი პოტენციალით, რასაც ტემპერატურა წარმოადგენს. რაც მაღალია სხეულის ტემპერატურა მით უფრო სწრაფად მოძრაობენ მისი შემადგენელი ელემენტარული ნაწილაკები (ატომები და მოლეკულები). ამის გამო ისინი უფრო მეტად უახლოვდებიან ან შორდებიან ერთმანეთს, რაც იწვევს მათ შორის არსებული გრავიტაციული (მიზიდვა-განზიდვის) ძალების ზრდას, რის შედეგადაც იზრდება მთლიანად სხეულის პოტენციური ენერჯიის თერმიული ფორმა, რომელიც შესაბამის პირობებში, ანუ გაფართოების შესაძლებლობისას, გარდაიქმნება მექანიკურ ენერჯიაში (მუშაობაში).

პოტენციური ენერჯიის ბირთვული ფორმა, ანუ ბირთვული ენერჯია, არის ენერჯია, რომელიც გვხვდება ატომების ბირთვებში. ატომების ბირთვებში მოთავსებული პროტონები ერთმანეთზე ახდენენ ძალიან მძლავრ, ურთიერთგანმზიდავ გრავიტაციულ ზემოქმედებას მათი დადებითი მუხტის გამო. ამავე დროს იმავე ბირთვში არსებული ნეიტრონები კიდევ უფრო მძლავრად ზემოქმედებენ პროტონებზე, რითაც შენარჩუნებულია მათი სიახლოვე. ანუ ატომის ბირთვში კონცენტრირებულია პოტენციალური ენერჯიის ბირთვული ფორმა და თუ რაიმე საშუალებით მოხდება ბირთვული რეაქცია, ანუ ან დიდი ბირთვის გაყოფა მცირე ბირთვებად (ბირთვული დაშლა) და ან მცირე ბირთვების უფრო დიდ ბირთვში გაერთიანება (ბირთვული სინთეზი) ბირთვში არსებული პოტენციური ენერჯია გამოთავისუფლდება. ასეთი რეაქციების შედეგად შექმნილ ატომებს ენიჭებათ დიდი სიჩქარე ანუ ბირთვული ენერჯია

გარდაიქმნება ახალშექმნილი ნაწილაკების კინეტიკურ ენერჯიად. ეს უკანასკნელი კი ცხადია, რომ ნაწილაკების ურთიერთდაჯახებებისა და სისტემის სხვა კომპონენტებზე დაჯახებებით გარდაიქმნება კომპონენტების შიგა ენერჯიად და შემდეგში სისტემიდან გამოიყოფა თერმიული ენერჯიის სახით.

ყოველივე ზემოთქმულის გათვალისწინებით შეიძლება დავასკვნათ, რომ ენერჯია სხვადასხვა ნივთიერებებში, სხეულებში ან სხეულთა სისტემებში შეიძლება იყოს კინეტიკური ან პოტენციური ენერჯიის სახით რომლებიც შესაბამის პირობებში გამოვლინდებიან ელექტრული, ქიმიური, ბირთვული, შიგა ენერჯიის, ელასტიური, თერმიული და სხვა ფორმებით. როგორც ბუნებაში, ასევე ტექნიკაში ხდება ენერჯიის ერთი ფორმიდან სხვა ფორმაში გარდაქმნის პროცესები ისე, რომ ენერჯიის საერთო რაოდენობა არ იცვლება.

ენერჯიის ფორმების ურთიერთგარდაქმნის პროცესები

ბუნებაში ენერჯიის გარდაქმნის უამრავი პროცესი ჩვენგან დამოუკიდებლად მიმდინარეობს. განუწყვეტლივ მიმდინარეობენ ენერჯიის გარდაქმნის პროცესები ცოცხალ ორგანიზმებში. მცენარეული ცოცხალი ორგანიზმის (ფლორის ნებისმიერი წარმომადგენლის) ფოთოლში მიმდინარე ფოტოსინთეზის რეაქციაში მზის ელექტრომაგნიტური ტალღების (გამოსხივების) ენერჯიის ხარჯზე ხდება ნახშირორჟანგის დაშლა ნახშირბადად და ჟანგბადად. ამასთან, დახარჯული ენერჯია მთლიანად აკუმულირდება ნახშირბადის მოლეკულაში ქიმიური ენერჯიის ფორმით. ცხოველურ ცოცხალ ორგანიზმში (ფაუნის

ნებისმიერ წარმომადგენლებში) კი - პირიქით, ხდება რა ნახშირბადის შეერთება ჟანგბადთან (წვის რეაქცია), ნახშირბადის მოლეკულაში აკუმულირებული ქიმიური ენერჯია გარდაიქმნება ნახშირორჟანგის მიღებული მოლეკულის კინეტიკურ ენერჯიად. სწორედ ამ ენერჯიის ხარჯზე ინარჩუნებს ცხოველური ორგანიზმი გარემოსგან განსხვავებულ ტემპერატურას და ცხოველქმედების უნარს. ზოგადად, სრული წვის ნებისმიერ პროცესში, საწვავის ქიმიური ენერჯია მთლიანად წვის პროდუქტების შიგა ენერჯიად გარდაიქმნება.

მზის ელექტრომაგნიტური ტალღების ენერჯია, შთაინთქმება რა დედამიწის, ზღვებისა და ოკეანეების ზედაპირული შრეების მიერ, გარდაიქმნება ამ შრეების შიგა ენერჯიად. ეს უკანასკნელი გარდაიქმნება აორთქლებული წყლის პოტენციურ ენერჯიად, რომელიც თავის მხრივ გარდაიქმნება წვიმის წვეთებისა და მდინარეების კინეტიკურ ენერჯიად და ა.შ. დედამიწის ატმოსფეროს სხვადასხვა უბანში მზის ენერჯიის სხვადასხვანაირად შთანთქმა განაპირობებს ჰაერის პოტენციურ ენერჯიას, რომელიც გარკვეულ პირობებში ქარისა და მასთან ერთად მოძრავი ღრუბლების კინეტიკურ ენერჯიად გარდაიქმნება. ღრუბლების მოძრაობისას მათი კინეტიკური ენერჯია ხშირად გარდაიქმნება პოტენციალთა სხვაობით გაპირობებულ ელექტრულ ენერჯიად, რომელიც განმუხტვისას (ელვა, მეხი) ელექტრული რკალის არეში არსებული ნივთიერების შიგა ენერჯიად გარდაიქმნება. დედამიწის ზედაპირზე და ატმოსფეროში მიმდინარე თბური პროცესები გარკვეულ პირობებში იწვევენ ატმოსფეროს შიგა ენერჯიის გარდაქმნას

წნევათა სხვაობით განპირობებულ პოტენციურ ენერჯიად, რომელიც თავის მხრივ გარდაიქმნება მოძრავი ჰაერის (ქარის) კინეტიკურ ენერჯიად.

ჩართული ელექტრონათურა ელექტროენერჯიას გარდაქმნის ხილვადი გამოსხივების ელექტრომაგნიტურ ენერჯიად, ხოლო მზის ელექტრომაგნიტული ენერჯიაა წყალგამათბობელ კოლექტორებში გარდაიქმნება წყლის თერმიულ ენერჯიად.

გარდაქნათა კიდევ უფრო რთულ და მრავალფეროვან გზას გადის ენერჯია ტექნიკურ სისტემებში. მაგალითად, ქვანახშირის, ნავთობის ან გაზის ქიმიური ენერჯია თბოელექტროსადგურებში თავისუფლად გარდაიქმნება წვის პროდუქტების შიგა ენერჯიად, რომელიც გადაეცემა წყალს და მიიღება ორთქლი. ორთქლის შიგა ენერჯია საქშენებში გარდაიქმნება ჰავლის კინეტიკურ ენერჯიად, რომელიც თავის მხრივ ტურბინის ნიჩბებზე გარდაიქმნება მბრუნავი ლილვის მექანიკურ ენერჯიად. ეს უკანასკნელი ელექტროგენერატორში გარდაიქმნება ელექტროენერჯიად, რომელიც სადენებით მიეწოდება მომხმარებელს და კვლავ განიცდის მრავალფეროვან გარდაქმნას - შიგა ენერჯიად (ელექტროგამახურებელ ხელსაწყოებში), ელექტრომაგნიტური ტალღების ენერჯიად (შუქ-სასინათლო ხელსაწყოებში), მექანიკურ ენერჯიად (ელექტროძრავებში) და ა.შ.

უნდა აღინიშნოს, რომ ყველა ფორმის ენერჯია პრინციპულად შესაძლებელია გარდაიქმნას სხვა ნებისმიერი ფორმის ენერჯიად და როგორც უკვე იყო ნათქვამი, ამ გარდაქმნებში ენერჯიის საერთო რაოდენობა არ იცვლება. თუმცა ეს გარემოება სრულებითაც არ ნიშნავს იმას,

რომ თავდაპირველი ფორმით არსებული ენერჯიის მთლიანი რაოდენობა გადავა გარდაქმნის პროცესის შედეგად მიღებულ ფორმაში. მეტწილად გარდაქმნის პროცესებში მისაღებად სასურველი ფორმის ენერჯიის რაოდენობა მუდამ ნაკლებია ვიდრე თავდაპირველი ფორმით არსებული ენერჯიის რაოდენობა რადგან ამ უკანასკნელის გარკვეული ნაწილი თავისთავად გადადის ენერჯიის სხვა ფორმაშიც (სითბოში ან შიგა ენერჯიაში), რომელიც გარემოში გაიბნევა.

ასხვავებენ ენერჯიის გარდაქმნის შექცევად და შეუქცევად პროცესებს. თუ ენერჯიის გარდაქმნის რომელიმე პროცესის ჩატარების შემდეგ ამ პროცესს საწინააღმდეგო მიმართულებით ჩავატარებთ და აღვადგენთ ენერჯიას თავდაპირველ ფორმაში და ამასთან, აღდგება პროცესში მონაწილე სხეულებისა და გარემოს თავდაპირველი თბური მდგომარეობა, მაშინ ასეთ პროცესებს შექცევადი პროცესები ჰქვიათ. შექცევადი პროცესები იდეალური პროცესებია და მხოლოდ თეორიული განხილვის საგანს წარმოადგენენ.

ენერჯიის გარდაქმნის ბუნებაში და ტექნიკაში მიმდინარე ყველა პროცესი შეუქცევადია. შეუქცევადი პროცესების მიმდინარეობას ყოველთვის თან ახლავს ისეთი ცვლილება, რომლის კომპენსირება (თავდაპირველი მდგომარეობის აღდგენა) შეუძლებელია ენერჯიის უკუმიმართულებით გარდაქმნის პროცესის ჩატარებისას. მაგალითად, ზეაწეული ტვირთის პოტენციური ენერჯია დედამიწაზე დაცემისას გარდაიქმნება მექანიკურ მუშაობად (ორმოს ამოთხრა) და სითბურ ენერჯიად თვით სხეულისა და მიწის გარკვეული სისქის ფენის შიგა ენერჯიის

ფორმით. ამიტომ ცხადია, რომ მიღებული რაოდენობის მექანიკური მუშაობით სხეულს თავდაპირველ სიმაღლეზე ვეღარ ავწევთ. სხეულს თავდაპირველ სიმაღლეზე მაინც ვერ ავწევთ თუნდაც ამ მექანიკურ მუშაობას წავაშველებთ დაცემისას გამოყოფილი სითბოს რაოდენობის ტოლ ენერჯიასაც, რადგან სითბოს ეს რაოდენობა მექანიკურ ენერჯიად (აწევის მუშაობის შესასრულებლად) გარდაქმნისას ნაწილობრივ კვლავ გარემოში გაიბნევა. მაშასადამე, განხილული პროცესის უკუმდართულებით შესრულება (ტვირთის საწყის სიმაღლეზე აწევა) მოითხოვს იმაზე მეტ ენერჯიას, ვიდრე ეს გააჩნდა ამ ტვირთს თავდაპირველად, პოტენციური ენერჯიის სახით. ენერჯიის დამატებითი დანახარჯები კი, თავის მხრივ, გამოიწვევენ სხეულისა და გარემოს თბური მდგომარეობის დამატებით ცვლილებებს, რომელთა კომპენსაცია ამ პროცესში ვეღარ მოხერხდება. სწორედ ამიტომ, ენერჯიის გარდაქმნის ყველა რეალურად მიმდინარე პროცესი შეუქცევადია.

ენერჯიათა ჯგუფები

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული ნივთიერებებს, სხეულებს და სხეულთა სისტემებს ენერჯია სხვადასხვა ფორმით გააჩნიათ და სისტემატურად მიმდინარეობს ერთი ფორმიდან მეორეში ენერჯიის გარდაქმნის სხვადასხვა, ბუნებრივი და ხელოვნური პროცესი. იმის მიხედვით, თუ რომელი ფორმიდან, რომელ ფორმაში გარდაიქმნება ენერჯია, პროცესის შედეგი სხვადასხვაა. ზოგიერთი ფორმის ენერჯია სრულიად გარდაიქმნება რომელიმე სხვა ფორმის ენერჯიად (მაგ., ელექტრული სითბურში), ზოგჯერ გარდაქმნას აუცილებლად ახლავს თან ენერჯიის ნაწილის სხვა, მესამე ფორმაში გარდაქმნა

(მაგ., ქიმიური ენერჯია მექანიკურ მუშაობად, თუნდაც შექცევადი, ანუ იდეალური გარდაქმნისას ენერჯიის ნაწილი სითბოს სახით გაიბნევა გარემოში), ხოლო ზოგიერთი ფორმით არსებული ენერჯია (მაგ., გარემოს ტემპერატურის მქონე სხეულების შიგა ენერჯია) თავისთავად საერთოდ ვერ გარდაიქმნება რომელიმე ფორმის ენერჯიად, თუ არ იქნა გაღებული სხვა, უფრო ძვირფასი ფორმის ენერჯიის დამატებითი დანახარჯები.

ურთიერთგარდაქმნის შესაძლებლობათა მიხედვით ენერჯიის ფორმებს სამ ჯგუფად ყოფენ. პირველ ჯგუფში გაერთიანებულია ენერჯიის ის ფორმები, რომლებიც შექცევად პროცესებში შეუზღუდავად (გარემოში დანაკარგების გარეშე) გარდაიქმნიან ენერჯიის, როგორც ჯგუფის შიგნით არსებულ, ასევე სხვა ნებისმიერ ფორმაში. ამ ჯგუფს მიეკუთვნებიან კინეტიკური, პოტენციური, ელექტრული ენერჯიები და სასარგებლო მუშაობა (მექანიკური ენერჯია). პირველ ჯგუფში შემავალი ენერჯიის დასახელებული 4 ფორმიდან ენერჯია შეუქცევად პროცესებშიც კი შეუზღუდავად გარდაიქმნება მე-2 და მე-3 ჯგუფებში გაერთიანებულ ენერჯიის ფორმებში. ამიტომაც ენერჯიის ჩამოთვლილი ფორმები ენერჯიის ყველაზე ძვირფას ფორმებს წარმოადგენენ. მათ ხშირად მოიხსენებენ საერთო სახელწოდებით ექსერჯია, რომელშიც იგულისხმება ნებისმიერი ფორმის ენერჯიის მექანიკურ ენერჯიად გარდაქმნისას თეორიულად შესაძლებელი მაქსიმალური სასარგებლო მუშაობა.

ენერჯიათა მეორე ჯგუფს მიეკუთვნებიან ისეთი ფორმის ენერჯიები, რომლებიც თეორიულადაც კი, შემოსაზღვრულად (გარემოში დანაკარგებით) გარდაიქმნიან

როგორც ერთმანეთში, ასევე პირველ სახეში გაერთიანებულ ენერჯის ფორმებში. ესენია ნაკლებად ძვირფასი ფორმის ენერჯიები - ქიმიური, ბირთვული, თერმიული და შინაგანი ენერჯია. ენერჯის ამ ფორმებში, რომლებსაც ხშირად საკუთრივ ენერჯია-ს უწოდებენ. ყოველთვის არის გარკვეული რაოდენობის ენერჯია, რომელიც მხოლოდ იდეალურ მანქანაში შეიძლება იყოს რეალიზებული როგორც სასარგებლო მუშაობა. გარდაქმნის პროცესში პრაქტიკულად მიღებული სასარგებლო მუშაობა გაცილებით ნაკლებია თეორიულად შესაძლო მაქსიმალურ სასარგებლო მუშაობაზე.

ენერჯის ფორმების მესამე ჯგუფს მიეკუთვნებიან ენერჯის ის ფორმები, რომელთა გარდაქმნა პირველ სახეში გაერთიანებულ ენერჯის ფორმებად საერთოდ შეუძლებელია, ხოლო მეორე სახეში გაერთიანებული ენერჯის ფორმებად გარდაქმნა მხოლოდ გარკვეული რაოდენობის ძვირფასი ფორმის ენერჯის (ანუ ექსერჯის) დახარჯვასთან არის დაკავშირებული. ენერჯიათა ამ სახეს მიეკუთვნება გარემოს შინაგანი ენერჯია, გარემოსთან წონასწორობაში მყოფი სხეულების შინაგანი ენერჯია და ატმოსფერული წნევის გადალახვაზე დახარჯული მექანიკური მუშაობა. ამ ჯგუფში გაერთიანებული ენერჯის ფორმებს ხშირად ანერჯია-ს უწოდებენ.

ანერჯია თავისთავად არასოდეს გარდაიქმნება ექსერჯიად ან ენერჯიად. ენერჯის გარდაქმნის ბუნებაში და ტექნიკაში მიმდინარე პროცესების შედეგად, კი - ენერჯია თანდათან თავს იყრის ანერჯიაში.

ანერჯიიდან ექსერჯის მიღება შეუძლებელია. ასევე შეუძლებელია ანერჯიიდან ენერჯის მიღება ექსერჯის დახარჯვის გარეშე.

დასკვნა

დედამიწაზე არსებული ცივილიზაციის განვითარება მოითხოვს სულ უფრო მეტი რაოდენობის ენერჯის პრაქტიკულ გამოყენებას. მუდმივად მიმდინარეობს ენერჯის ახალი წყაროების ძიება და მათი გამოყენების შესაძლებლობათა კვლევა. მეცნიერულ გამოკვლევათა დიდი ნაწილი ეთმობა იმას, თუ რა ფორმის ენერჯია უნდა იქნას მიღებული ენერჯის ამა, თუ იმ წყაროდან, და როგორ ტექნიკურ მოწყობილობაში შეიძლება მისი გამოყენება ამა, თუ იმ პრაქტიკული საჭიროებისათვის.

ენერჯის ყველაზე სასარგებლო ფორმები (პოტენციალური, კინეტიკური, ელექტრული და მექანიკური) მეცნიერებმა გააერთიანეს ჯგუფში, რომელსაც ექსერჯია უწოდეს. ენერჯის ეს ფორმები სხვა ფორმის ენერჯიებად და ერთმანეთშიც, უდანაკარგოდ გარდაიქმნებიან. ენერჯის გარდაქმნის ყოველგვარ პროცესში ენერჯის გარკვეული რაოდენობა სითბური, ან შინაგანი ენერჯის ფორმაშიც გადადის და მისი დიდი ნაწილი, რომელსაც თბოენერგეტიკოსები მეორად სითბოს ვუწოდებთ, როგორც წესი, გარემოში გაიბნევა. ტექნიკურად სრულყოფილ დანადგარებში, და უფრო მეტიც, მეცნიერების მიერ გონებაში წარმოდგენილ იდეალურ გარდამქმნელ მოწყობილობებშიც კი, მარგი ქმედების კოეფიციენტი ყოველთვის ერთზე ნაკლებია. გარემოდან ენერჯის მიღება, ენერჯის ძვირფასი ფორმებიდან ერთერთის, ანუ ექსერჯის დახარჯვის გარეშე (პირველი გვარის მუდმივმოქმედი მანქანა) შეუძლებელია. ასევე შეუძლებელია ქიმიური, ატომური, სითბური და შიგა ენერჯის ფორმებით ენერჯის ძვირფასი ფორმების მიღება ენერჯის დანაკარგების გარეშე (მეორე გვარის მუდმივმოქმედი მანქანა).

AN INNOVATIVE LECTURE ABOUT ENERGY, ITS FORMS AND THEIR MUTUAL TRANSFORMATIONS.

E.Machavariani, Iv.Beroshvili.

“Energy”. №3(111). 2024. Tbilisi. p. 11-20. geo. sum geo. engl.rus.

The article presents well-known historical examples of the use of this or that form of energy by mankind. It has been shown that the use of various forms of energy is a primary necessity for the development of civilization. The definition of energy and practical examples of the manifestation of different forms of energy are given. Qualitative classification of different forms of energy is also presented. For more clarity, we have shown this classification on a specially designed chart as three types of groups consisting of different forms of energy. The names of these groups are exergy, energy and anergy, of which the most valuable forms of energy are included in the exergy group. Less valuable forms of energy are included in the energy group, and completely free forms of energy are combined in the anergy group. Using this scheme, we teach students the first and second laws of technical thermodynamics and prove the impossibility of creating permanent machines of the first and second type.

Long-term practice of conducting lectures with the presented content has shown us that students easily understand and remember the material well.

ИННОВАЦИОННАЯ ЛЕКЦИЯ ОБ ЭНЕРГИИ, ЕЕ ФОРМАХ И ИХ ВЗАИМНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЯХ.

Э.Мачавариани, Ив.Берошвили.

“Энергия”. № 3(111).2024 . Тбилиси. с. 11-20. груз. реф. груз.англ. рус.

В статье приведены известные исторические примеры использования человечеством той или иной формы энергии. Показано, что использование различных форм энергии является первостепенной необходимостью для развития цивилизации. Дано определение энергии и практические примеры проявления различных форм энергии. Также представлена качественная классификация различных форм энергии. Для большей наглядности мы отобразили эту классификацию на специально разработанной схеме в виде трех типов групп, состоящих из различных форм энергии. Названия этих групп — эксергия, энергия и анергия, из которых наиболее ценные формы энергии включены в группу эксергии. Менее ценные формы энергии включены в группу энергии, а полностью свободные формы энергии объединены в группу анергии. Используя данную схему, мы обучаем студентов первому и второму законам технической термодинамики и доказываем невозможность создания постоянных машин первого и второго рода.

Многолетняя практика проведения лекций с представленным содержанием показала нам, что студенты легко понимают и хорошо запоминают материал.

სახელმწიფო ელექტროსისტემაში მუდმივი დენით ელექტრომაგნიტური ენერჯიის ჩანართისა და გადაცემის IGBT- ტრანზისტორული მოდულებიანი ერთიანი გარდამქმნელი სისტემაში დინამიკური პროცესების მათემატიკური და კომპიუტერული მოდელირების მეთოდების დამუშავების თეორიული საფუძვლები

*გივი კობხრიძე - ემერეტუსი

E-mail: gmgmgkf@mail.ru

**ზვიად გაჩეჩილაძე - აკადემიური დოქტორი

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

*გიორგი ხორბალაძე - აკადემიური დოქტორი

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

*გოჩა კობხრიძე - საქართველოს ენერჯეტიკის აკადემიის ნამდვილი წევრი

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

*საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

** სააქციო საზოგადოება „საქართველოს სახელმწიფო ელექტროსისტემა“

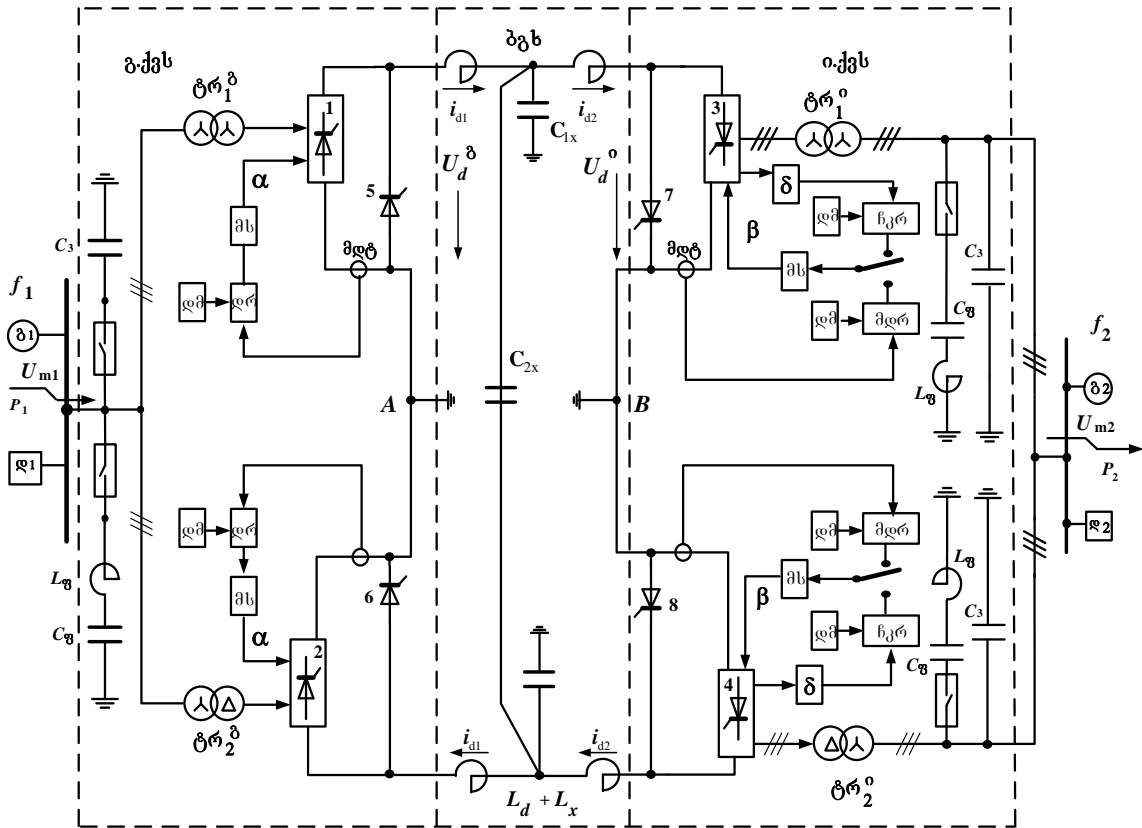
ანოტაცია. წარმოდგენილია პერსპექტიული ამოცანის გადაწყვეტა IGBT-ტრანზისტორული მოდულების შემცველი ორ ბოგირა გარდამქმნელებიანი მუდმივი დენის ბიპოლარული გადამცემი ხაზის (მდგ) ელექტრული სექმისათვის [1]. აღნიშნული ამოცანა მდგომარეობს ელექტრომაგნიტური, ელექტრომექანიკური გარდამავალი და დამყარებული ერთიანი დინამიკური პროცესების გაანგარიშების, გამოკვლევის და ანალიზის ჩატარებისათვის, ობიექტების (ცვლადთა) გარდაქმნის ზოგადი სექმის გამოყენებით, მათემატიკური და კომპიუტერული მოდელირების უნივერსალური მეთოდების თეორიული საფუძვლების დადგენაში. აღნიშნულ შემთხვევაში ობიექტების (ცვლადთა) გარდაქმნის ზოგადი სექმაში იგულისხმება ცვლადთა მყის მნიშვნელობების რეზულტირებული კომპლექსური, სპექტრალურ-ოპერატორული გარდაქმნები ძაბვებისა და დენების კომპლექსური ფუნქციების შესაბამისი ფურიეს და ტეილორ-მაკლერონის მწკრივებად დაშლის გათვალისწინებით. ყოველივე ამის შედეგად ვღებულობთ გაერთიანებული გარდამქმნელი სისტემისათვის დროში ცვალებადი ექვივალენტური პარამეტრების ოპტიმალურ გაწვრივებულ მნიშვნელობებს და საძიებელი ცვლადების დროში წარმოებულების მიმართ ელექტრული წონასწორობის განტოლებათა სისტემას გაწვრივებული ექვივალენტური რეზულტირებული კომპლექსური პარამეტრების გათვალისწინებით.

საკვანძო სიტყვები: მუდმივი დენის გადაცემა, ძალური ტრანსფორმატორები, გამმართველი ქვესადგური, ინვერტორული ქვესადგური, იზოლირებული საკეტიანი ბიპოლარული ტრანზისტორული IGBT-მოდულები.

სამუშაოს შინაარსი

მუდმივი დენით ელექტრომაგნიტური ენერჯიის ჩანართისა და გადაცემის IGBT-ტრანზისტორული მოდულებიანი ერთიანი გარდამქმნელი სისტემაში (ნახ.1) დინამიკური პროცესების მათემატიკური და კომპიუტერული მოდელირების მეთოდების დამუშავებისათვის თეორიულ საფუ-

ძვლებს წარმოადგენს მთელი სისტემისათვის ელექტროტექნიკური ამოცანების ამოხსნისათვის პროცესების დამახასიათებელი ფიზიკური სიდიდეების (ცვლადების) მიმართ, ელექტრული წონასწორობის განტოლებათა სისტემის შედგენა. ელექტროწრედის საწყისი განტოლებები ჩაიწერება დენებისა და ძაბვების მიმართ კირხ-



ნახ. 1. მდგ-ის ერთიანი გარდამქმნელი სისტემის დამუშავებული სქემა: გ1 - გადაცემის სისტემის გენერატორი; გ2 - მიმღები სისტემის გენერატორი; დ1, დ2 - შესაბამისი სისტემის დატვირთვები; ტრ^ბ₁, ტრ^ბ₂, ტრ^ი₁, ტრ^ი₂ - შესაბამისად გამართვის და ინვერტირების ქვესადგურების ძალოვანი ტრანსფორმატორები; 1,2,3,4 - შესაბამისად გამართვით 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 წინსწრების კუთხე; ჩკრ - ჩაკეტვის კუთხის რეგულიატორი; მდრ - მინიმალური დენის რეგულატორი; α - ტირისტორის მართვის კუთხე; გ.ქვს, ი.ქვს, ბ.გ.ბ - შესაბამისად გამართვისა და ინვერტირების ქვესადგური და ბიპოლარული გადაცემის ხაზი; f₁, f₂ - პირველი და მეორე სისტემის სიხშირეები; U_{m1}, U_{m2} - პირველი და მეორე სისტემის ძაბვები; C_გ, C_გ - შესაბამისად კომპენსატორის და ფილტრის ტევადობები; L_გ - ფილტრის ინდუქციურობა; U_d^ბ, U_d^ი - შესაბამისად, გამართვით ქვესადგურის გამოსავალზე და ინვერტირებით ქვესადგურების შესავალზე ძაბვები; i_{d1}, i_{d2} - ბიპოლარული ხაზში გამავალი მუდმივი დენები; L_d, L_x - ხაზში ჩართული დროსელების (რეაქტორების) და ხაზის ინდუქციურობები

ჰოფის კანონების საფუძველზე [1,2,3]. ეს განტოლებები შეიცავენ აგრეთვე პასიური ელემენტების პარამეტრებს: აქტიურ წინაღობას, ინდუქციურობას და ტევადობას (R, L, C). ელექტრომაგნიტური ველის მიმართ ამოცანის

ამოხსნისათვის საწყისი განტოლებები შედგება ელექტრო- და მაგნიტური ველების დამაბულობებისა და დენების სიმკვრივისათვის ელექტრომაგნიტური ველის მაქსიმალური თეორიის საფუძველზე. ეს განტოლებები შეიცავენ განსახილველ

გარემოს პარამეტრების რანგში კუთრი წინაღობას, დიელექტრიკულ და მაგნიტურ შეღწევადობებს (ρ, ϵ, μ).

თანამედროვე პირობებში ელექტროტექნიკური ამოცანების ამოხსნისას გაანგარიშებების შესრულების ძირითად საშუალებას წარმოადგენს თანამედროვე კომპიუტერული ტექნიკის გამოყენება. ამასთან დაკავშირებით აღიძვრება აუცილებლობა ისეთი განტოლებების შედგენისა, რომლებიც სტრუქტურითა და სირთულით ყველაზე სრულად შეესაბამებოდეს კომპიუტერზე გაანგარიშების შესაძლებლობებს. ამ მიზნის მიღწევასათვის უფრო ზოგად მეთოდად წარმოდგება საწყისი ფიზიკური სიდიდეების (ცვლადების) და პარამეტრების ახალ ცვლადებში და პარამეტრებში გარდაქმნის გამოყენების აუცილებლობა სხვადასხვა მეთოდების გამოყენების საფუძველზე მატრიცულ-ტოპოლოგიური წარმოდგენების გათვალისწინებით.

ასეთი გარდაქმნების შემდეგ ახალ განტოლებებში შედიან ახალი ცვლადები და ახალი პარამეტრები. ფიზიკური პროცესის ყოვლად მომცველი წარმატებული გარდაქმნების შედეგად მიღებული ახალი განტოლებები თვით ამოხსნისათვის მოითხოვენ მნიშვნელოვან მცირე მანქანურ დროს, ვიდრე საწყისი განტოლებების ამოხსნისათვის და უფრო მოხერხებულია კომპიუტერზე ამოხსნისათვის. ასეთი მიდგომის საფუძველზე შეიძლება გაანალიზებული იქნას არსებული, ფართოდ გამოყენებადი ელექტროტექნიკური ამოცანების ამოხსნის მეთოდები. ამას გარდა, შესაძლებელია შეიქმნას ახალი უნივერსალური მეთოდები ახალი ელექტროტექნიკური ამოცანების ამოხსნისათვის, მაგალითად, როგორცაა მუდმივი დენით

ელექტრომაგნიტური ენერჯიის ჩანართისა და გადაცემის ერთიანი გარდამქმნელი სისტემა ნახევარგამტარული IGBT-ტრანზისტორული მოდულებიანი კომპუტატორებით.

ამ ამოცანების ამოხსნა საჭიროებს მთელი რიგი არსებული დამუშავებული მეთოდების დანზოგადობას შესაბამისი თანამედროვე მათემატიკური აპარატის გამოყენებით, მათ შორის ახალი ცვლადებისა და პარამეტრების განტოლებებში შემოყვანით [4].

ახალი სიდიდეები, მიღებული გარდაქმნების გზით, ასევე წარმოადგენენ ფიზიკურ სიდიდეებს. თუ გარდაქმნა დაკავშირებულია საწყისი ფიზიკური სიდიდეების შეკრებასთან, ან მათ გამრავლებასთან ან გაყოფასთან უგანზომილო სიდიდეებზე, მაშინ განზომილება ასეთი გარდაქმნის შედეგად არ იცვლება. თუ გარდაქმნა დაკავშირებულია გადიფერენცირებასთან, გაინტეგრირებასთან ან განზომილებიან სიდიდეზე გამრავლებასთან, მაშინ გარდაქმნების შედეგად მიღებული ფიზიკურ სიდიდეს აქვს სხვა განზომილება და არსებითად წარმოადგენს ახალ ფიზიკურ სიდიდეს, შემავალი ახალ განტოლებებში. ახალი ფიზიკური შინაარსი იდება გარდაქმნილი ცვლადების დამაკავშირებელი განტოლებების ახალ პარამეტრებში. ამასთან დაკავშირებით გარდაქმნის მათემატიკური მეთოდები არ ატარებენ სუფთა ფორმალურ ხასიათს, აქვთ ღრმა ფიზიკური შინაარსი და ხელისშემწყობია განსახილველი ფიზიკური მოვლენების შემეცნებისა და თეორიის განვითარებაში. ელექტროტექნიკური ამოცანების ამოხსნისათვის გამოყენებულნი ყველა მეთოდი ექვემდებარება ცვლადთა გარდაქმნის ზოგად

სქემას, რომელთა აგებისათვის აუცილებელი და საკმარისია შემოყვანილი იქნას შემდეგი მცნებები:

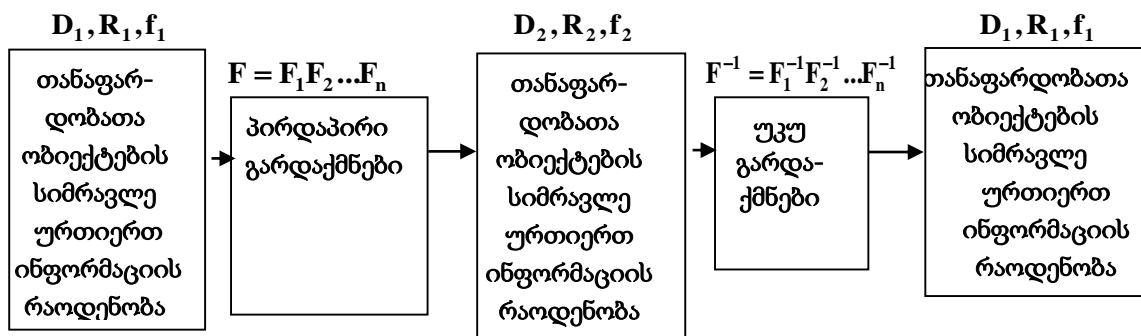
1. D სიმრავლე - განტოლებებში შემავალი ობიექტების (უცნობების) ერთობლიობა;

2. R თანაფარდობა - განტოლებებში შემავალ უცნობებს შორის თანაფარდობები, რომლებიც განსაზღვრავენ განტოლებებში შემავალი პარამეტრების და თვით განტოლებების სახეს;

3. f ურთიერთ ინფორმაცია - უცნობი სიდიდის განსაზღვრისათვის გაანგარიშების პროგრამის სიგრძე;

4. F და F^{-1} პირდაპირი და უკუ გარდაქმნის ფუნქცია.

ამ მცნებების გამოყენების საფუძველზე მიღებული გარდაქმნის ზოგადი სქემა წარმოდგენილია ნახ. 2-ზე.



ნახ. 2. ობიექტების (ცვლადთა) გარდაქმნის ზოგადი სქემა

წარმოდგენილი ზოგადი სქემა მისაღებათ, როგორც ელექტროწრედებთან დაკავშირებული გაანგარიშების მეთოდები, ასევე ელექტრომაგნიტურ ველთან დაკავშირებული გაანგარიშების მეთოდების დამუშავებისათვის. განსაკუთრებით საგულისხმოა ის, რომ გარდაქმნის ამ ზოგადი სქემის საფუძველზე შესაძლებელია დამუშავდეს ელექტროტექნიკის დარგში წამოჭრილი ახალი ამოცანების ამოხსნის ახალი მეთოდები. მოცემულ ობიექტთა D_1 სიმრავლე R_1 თანაფარდობით და f_1 ინფორმაციის რაოდენობით შეიცავს უცნობ სიდიდეებს, რომლებიც აუცილებელია განისაზღვროს (ნახ. 1). უცნობი სიდიდეების ასეთი განსაზღვრა შესაძლებელია, მაგრამ არის შრომატევადი ამოცანა. R_1 თანაფარდობის მქონე D_1 უცნობი სიმრავლეები, განსაზღვრის გამარტივების მიზნით პირდაპირი (ერთჯერადი ან მრავალჯერადი) გარდაქმნების საფუძველზე გარდაქმნიდან R_2 თანაფარდობისა და f_2 ინფორმაციის რაოდენობის მქონე D_2 ობიექტების სიმრავლეში. ამ დროს R_2 მარტივია, ვიდრე R_1 , ამის შედეგად D_2 სიმრავლეში საძიებელი უცნობების განსაზღვრა R_2 თანაფარდობით წარმოადგენს ნაკლებად სიმძნელეს და არ არის ძნელი ამოცანა. D_2 სიმრავლეში საძიებელი უცნობების განსაზღვრის შემდეგ იყენებენ უკუ (ერთჯერადი ან მრავალჯერადი) გარდაქმნებს, რომლებიც საშუალებას იძლევა გამოისახოს საძიებელი უცნობი სიდიდეები R_1 თანაფარდობის მქონე D_1 სიმრავლეში. სიმრავლეთა ყოველი გარდაქმნისას იცვლება გადასაცემი ურთიერთ ინფორმაციის რაოდენობა. გარდაქმნა მიზანშეწონილია მხოლოდ შემდეგი პირობის შესრულების დაცვით:

ერთჯერადი გარდაქმნისას:

$$f_2 + \Delta F + \Delta F^{-1} < f_1,$$

ხოლო n --ჯერადი გარდაქმნისას:

$$f_n + \sum_{i=1}^n (\Delta F_i + \Delta F_i^{-1}) < f_1,$$

სადაც f_1 - მეთოდის გამოყენებამდე ინფორმაციათა რაოდენობაა; f_2 და f_n - მეთოდის გამოყენების შემდეგ ინფორმაციათა რაოდენობაა; ΔF და ΔF_i - პირდაპირი გარდაქმნის ინფორმაციათა რაოდენობაა; ΔF^{-1} და ΔF_i^{-1} - უკუ გარდაქმნის ინფორმაციათა რაოდენობაა; n - გარდაქმნათა რაოდენობაა.

ნახ. 2-ზე ნაჩვენებია ობიექტების (ცვლადთა) გარდაქმნის ზოგადი სქემის საფუძველზე, აუცილებელი და საკმარისი პირობების დაცვით, შესაძლებელია ნახ. 1-ზე მოყვანილი მდგ-ის ერთიანი გარდამქმნელი ელექტრომაგნიტური და ელექტრომექანიკური გარდამავალი და დამყარებული ერთიანი პროცესების გაანგარიშების, გამოკვლევის და ანალიზის სრულყოფილი ჩატარება წარმოდგენილი მათემატიკური და კომპიუტერული მოდელების დამუშავებული მეთოდების თეორიულ საფუძველზე დაყრდნობით.

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. 2023. № 2(106). გვ: 11-23.

2. კობრეიძე გ., გაჩეჩილაძე ზ., ბერაძე ნ., კობრეიძე გოჩა, ქადაგიშვილი გ. მუდმივი დენის გადამცემის ერთ ბოგირა ნახევარ წრედის ექვივალენტური სქემა და გარე მახასიათებლების აგება ელექტრული ენერჯიის აღრიცხვიანობისა და დამყარებული პროცესების ოპტიმალური რეგულირების სხვადასხვა რეჟიმებში// ენერჯია. 2023. № 4(108). გვ. 25-36.
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. 2024. № 1(109). გვ. 5-13.
4. კობრეიძე გ., გაჩეჩილაძე ზ., კობრეიძე გოჩა, ქადაგიშვილი გ. მაღალი ძაბვის მუდმივი დენით ენერჯიის გადაცემა და არატრადიციული განახლებადი ენერჯიების ელექტრულ ენერჯიაში გარდაქმნისა და ქსელთან მიერთების ტექნოლოგიების დამუშავება//ენერჯია. 2024. № 2(110). გვ. 5-10.

THEORETICAL FOUNDATIONS OF THE DEVELOPMENT OF METHODS FOR MATHEMATICAL AND COMPUTER SIMULATION OF DYNAMIC PROCESSES IN THE INTEGRATED SYSTEM OF TRANSMISSION AND INSERTION OF ELECTROMAGNETIC ENERGY BY CONSTANT CURRENT IN THE STATE ELECTRICAL SYSTEM.

G. Kokhreidze, Z. Gachechiladze, G. Khorbaladze, Gocha Kokhreidze
“Energy”. №3(111). 2024. Tbilisi. p.21-26. geo. sum geo. engl.rus.

This scientific-engineering work presents a solution to a promising problem for the converter system of a two-bridge bipolar direct current transmission line (PPT) with IGBT transistor modules. The task consists of establishing the theoretical foundations of the method for mathematical and computer modeling of the calculation, research, and analysis of electromagnetic and electromechanical transient and steady-state dynamic processes, using a general scheme for the conversion of objects (variables). In this case, the general scheme for the conversion of objects (variables) involves the transformation of instantaneous variable values into resulting complex values, spectral-operator transformations, and accounting for expansions in Fourier and Taylor-Maclaurin series of switching functions for voltages and currents. As a result, for the integrated converter system, we obtain optimal linear equivalent values of complex parameters and relative derivatives of unknown quantities an equation system for the electrical equilibrium of complex electrical quantities.

Ill. 2, bibl. 4.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО И КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ ПЕРЕДАЧ И ВВОД ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ЭНЕРГИИ ПОСТОЯННЫМ ТОКОМ В ГОСУДАРСТВЕННУЮ ЭЛЕКТРОСИСТЕМУ.

Г. Кохреидзе, З. Гачечиладзе, Г. Хорбаладзе, Гоча Кохреидзе.
“Энергия”. № 3(111).2024 . Тбилиси. с. 21-26. груз. реф. груз.англ. рус.

В научно-технической работе представлено решение перспективной задачи для преобразовательной системы двухмостовой биполярной линии передачи постоянного тока (ЛПТ) с IGBT-транзисторными модулями. Задача состоит в установлении теоретических основ метода математического и компьютерного моделирования расчета, исследования и анализа электромагнитных и электромеханических переходных и установившихся динамических процессов с использованием общей схемы преобразования объектов (переменных). При этом общая схема преобразования объектов (переменных) включает преобразование мгновенных значений переменных в результирующие комплексные значения, спектрально-операторные преобразования и учет разложений в ряды Фурье и Тейлора-Маклорена функций переключения напряжений и токов. В результате для комплексной преобразовательной системы получены оптимальные линейные эквивалентные значения комплексных параметров и относительных производных неизвестных величин, а также система уравнений электрического равновесия комплексных электрических величин.

Илл.2, лит. 4 назв.

საქართველოს ენერჯისისტემის მოდელირება 2026 წელს: ქარისა და მზის როლი ენერგეტიკულ უსაფრთხოებაში

გიორგი ხორბალაძე - აკადემიური დოქტორი

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

ზვიად გაჩეჩილაძე - აკადემიური დოქტორი

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

გოჩა კობხრიძე - საქართველოს ენერგეტიკის აკადემიის ნამდვილი წევრი

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

სააქციო საზოგადოება „საქართველოს სახელმწიფო ელექტროსისტემა“

ანოტაცია. განხილულია და გაანალიზებულია საქართველოს ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში ცვლადი განახლებადი ენერჯიის (ცგე) ინტეგრაციის გავლენა ელექტროენერჯიის ბაზარზე. მოდელირებისთვის გამოყენებულია პროგრამა PLEXOS-ი და პროგნოზი ეფუძნება 2026 წელს. კვლევა აღწერს ცგე-ს გაზრდის ზეგავლენას ბაზრის ფასებზე, ელექტროენერგეტიკული სისტემის მდგრადობასა და ქვეყნის ენერგეტიკულ უსაფრთხოებაზე. წარმოდგენილია სხვადასხვა სცენარი, სადაც მზისა და ქარის ენერჯიის წილი იზრდება, რაც ამცირებს მარგინალურ ფასებს და ამავდროულად ზრდის ელექტროენერგეტიკული სისტემის მდგრადობას. სტატია, ასევე, განიხილავს საბალანსო პროდუქტებს და ბაზრის სტაბილურობისთვის საჭირო ინფრასტრუქტურას. კვლევის დასკვნებში წარმოდგენილია შესაძლო ეკონომიკური სარგებელი და ენერგეტიკული სისტემის მოდერნიზაციის აუცილებლობა.

საკვანძო სიტყვები: ცვლადი განახლებადი ენერჯია, ბაზრის მოდელირება, PLEXOS, საბალანსო პროდუქტები, ენერგეტიკული უსაფრთხოება, ელექტროენერჯიის ფასები.

შესავალი

განახლებადი ენერჯიის წყაროები სულ უფრო მეტ ყურადღებას იპყრობენ, როგორც გარემოსდაცვითი ზემოქმედების შემცირების, ასევე ხარჯების შემცირების სარგებლის გამო. საქართველოშიც, განახლებადი ენერჯიის წყაროების გამოყენება მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ქვეყნის ელექტროენერჯიის ბაზარზე.

საქართველოს მთავრობამ 2019 წლიდან დაიწყო ენერგეტიკული სექტორის რეფორმები, რაც განაპირობა ენერგეტიკისა და წყალმომარაგების შესახებ ახალი კანონის მიღებამ. ამ რეფორმების მთავარი მიზანი ბაზრის ლიბერალიზაცია და განახლებადი ენერჯიის ინტეგრაციაა. 2025 წლის 1 ივლისისთვის საქართველოში რეალურ რეჟიმში უნდა ამოქმედდეს სამი

ძირითადი ბაზრის სეგმენტი: ორმხრივი ხელშეკრულებების ბაზარი, დღით ადრე/დღიური ბაზარი და საბალანსო და დამხმარე მომსახურებების ბაზარი.

საქართველოში მზისა და ქარის ენერჯიის მიმართ მზარდი ინტერესი ასახავს გლობალურ ტენდენციებს, სადაც ქვეყნებმა მდგრადი განვითარების და კლიმატური მიზნების მისაღწევად დაიწყეს ცგე ტექნოლოგიების ინტეგრირება. თუმცა, ენერჯიის წარმოების სტაბილურობასთან დაკავშირებული საკითხები განსაკუთრებულ ყურადღებას მოითხოვს, რადგან ცვლადი ენერჯიის წყაროები, როგორცაა ქარი და მზე, პირდაპირ დამოკიდებულია კლიმატურ პირობებზე.

ქვეყნის გადამცემი სისტემის ოპერატორი (სს „საქართველოს სახელმწიფო

ელექტროსისტემა“ - სსე) აქტიურად მუშაობს ცხე ტექნოლოგიების ინტეგრაციის პერსპექტივების შესწავლაზე. სსე-ს კვლევებით დადასტურდა, რომ 2026 წლისთვის საქართველოს ენერჯის სისტემა შეძლებს 500 მეგავატი ქარის და 250 მეგავატი მზის ენერჯის ინტეგრაციას სისტემაში. ამასთან, საჭიროა ცვლადი ენერჯის წარმოების ზემოქმედების დარეგულირება და დაბალანსება ბაზრის დინამიკისთვის.

მზისა და ქარის ენერჯიას თან ახლავს როგორც სარგებელი, ასევე გამოწვევები. მაგალითად, მზის ენერჯია სასარგებლო შეიძლება იყოს დღის პიკური მოხმარების შერბილებისთვის, თუმცა მოწყვლადია ღრუბლიანობის ცვლილებების მიმართ. ქარის ენერჯია ნაკლებად დაკავშირებული პიკურ მოხმარებასთან. როდესაც ქარის ენერჯია ეფექტურად ბალანსდება მოკლე დროის შუალედებში, ის ხელს უწყობს გენერაციის ადეკვატურობას და ენერგეტიკულ ბალანსს, განსაკუთრებით იმ დროს, როდესაც ჰიდრორესურსები დეფიციტურია.

ამ სტატიის მთავარი მიზანია - გამოიკვლიოს საბალანსო და დამხმარე მომსახურებების ბაზრის როლი საქართველოში განახლებადი ენერჯის ინტეგრაციის პროცესში. PLEXOS მოდელირების გამოყენებით ნაჩვენებია, თუ როგორ იმოქმედებს ცხე ტექნოლოგიების ინტეგრაცია საბალანსო ბაზარზე 2026 წლისთვის.

მეთოდოლოგია

კვლევაში გამოყენებულია PLEXOS მოდელირების პროგრამა, რომელშიც მოდელირებულია 2026 წლისთვის საქართველოში დაგეგმილი და არსებული

ელექტროსადგურების სისტემაში ინტეგრირების პროცესი. მოდელის სტრუქტურა მოიცავს სადგურების ტექნიკური და ეკონომიკური პარამეტრების დეტალურ ანალიზს. მოდელირების პროცესი რამდენიმე ეტაპს მოიცავს :

1. მონაცემთა შეგროვება და დამუშავება: გენერაციის ობიექტების ტექნიკური და ეკონომიკური მახასიათებლების ანალიზი.

2. ბაზრის სცენარების ფორმირება: სხვადასხვა გენერაციის ობიექტების ქსელში ინტეგრაციის ვარიანტების განსაზღვრა.

3. შედეგების ანალიზი და ინტერპრეტაცია: ბაზრის დინამიკისა და ცხე ინტეგრაციის გავლენის შეფასება.

ელექტროენერჯის მოხმარების პროგნოზი მოიცავს ნეირონული ქსელის მოდელის გამოყენებას, რომელიც შექმნილია Python პროგრამირების ენაში. ეს მოდელი საშუალებას იძლევა მჭიდროდ ურთიერთდაკავშირებული მონაცემების ანალიზი და დროთა განმავლობაში ელექტროენერჯის მოხმარების პროგნოზირება. ელ. მოხმარების ფორმირების პროცესი მოიცავს 5 ძირითად ეტაპს:

1. ბოლო 15 წლის განმავლობაში საათობრივი ელექტროენერჯის მოხმარების მონაცემების შეგროვება, ნორმალიზაცია.

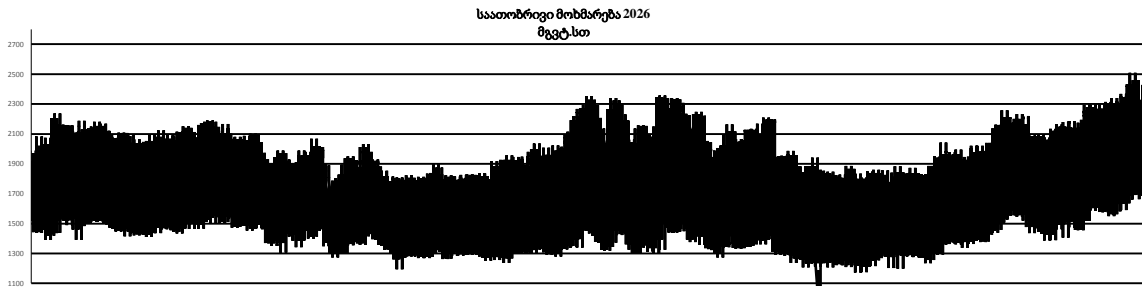
2. მოდელის შექმნა: ნეირონული ქსელის სტრუქტურის განსაზღვრა შემავალი და გამომავალი შრეებით.

3. მოდელის გაწოვნა: მონაცემების ოპტიმიზაციის ალგორითმების გამოყენება მოდელის გასაწოვნელად.

4. შეფასება: მოდელის სიზუსტის ტესტირება და მისი ეფექტურობის შეფასება.

5. პროგნოზირება: გაწრთენილი მოდელის გამოყენებით ახალი მონაცემების პროგნოზირება.

2026 წლის საათობრივი მოხმარების მოდელი მოცემულია ქვემოთ, ნახ. 1-ზე.



ნახ. 1. საქართველოს ელექტროენერჯიის საათობრივი ჯამური მოხმარება 2026 წლისთვის ქსელის განვითარების 10-წლიანი გეგმის მიხედვით, 2026 წლისთვის ჰიდროსადგურების ჯამური სიმძლავრე 3,817 მგვტ-მდე გაიზრდება, ქარის სიმძლავრე 395 მგვტ-ს მიაღწევს, ხოლო მზის ენერჯიის გენერაცია 91 მგვტ. გახდება, ხოლო, თბოსადგურების სიმძლავრე უცვლელი დარჩება

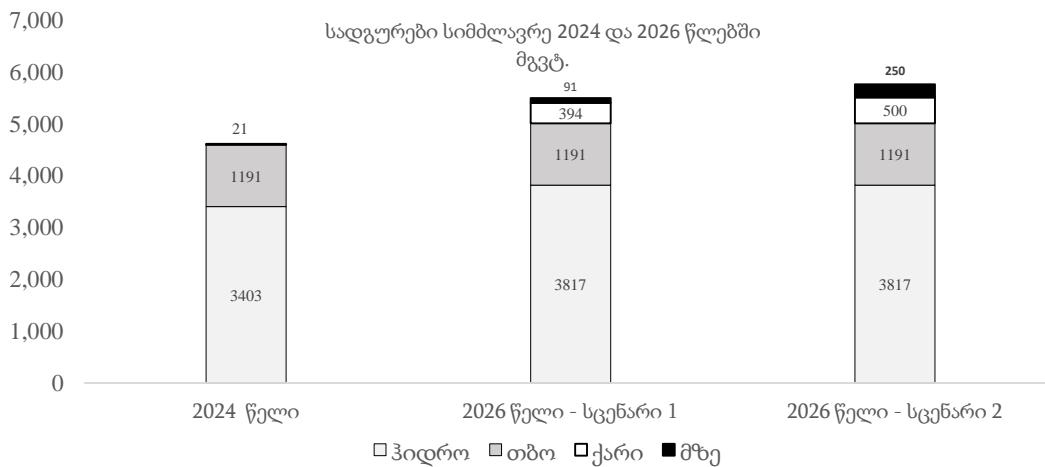
განახლებადი ენერჯიის წყაროების (ცგე) ინტეგრაციის გავლენა ელექტროენერჯო-სისტემაზე

ქარისა და მზის სიმძლავრეების ინტეგრაცია საქართველოს ქსელში 2026 წლისთვის გაანალიზდა PLEXOS მოდელის გამოყენებით. მთავარი დასკვნები შემდეგია:

- სცენარი 1: 395 მგვტ. ქარისა და 91 მგვტ. მზის სიმძლავრეები უზრუნველყოფენ ქსელის საიმედოობის გაუმჯობესებას და მიწოდება-მოხმარების უკეთეს

დაბალანსებას პიკური საათების დროს, განსაკუთრებით ზაფხულში, როდესაც ჰიდროენერჯიის გამომუშავება ნაკლებია.

- სცენარი 2: ქარის 500 მგვტ და მზის 250 მგვტ სიმძლავრეებმა მნიშვნელოვნად შეამცირა თბოგენერაცია, რამაც ელექტროენერჯიის წარმოების საერთო ხარჯები შეამცირა. ამ სცენარმა ასევე 10%-ით შეამცირა ნახშირორჟანგის ემისიები საწყის სცენართან შედარებით, სადაც ცგე არ არის დამატებული.



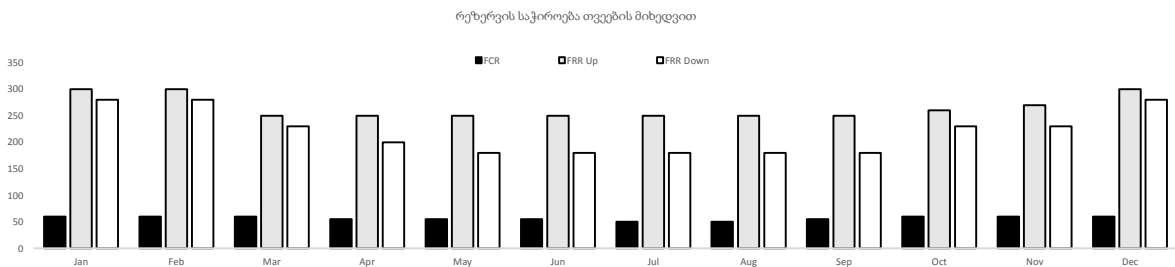
ნახ. 2. სადგურების სიმძლავრე 2024 და 2026 წლისთვის ორივე სცენარმა აჩვენა, რომ საქართველოს ენერჯო-სისტემაში მაღალი დონის ცგე ინტეგრაცია ტექნიკურად შესაძლებელია, თუ გათვალისწინებული იქნება საკმარისი საბალანსო პროდუქტები

დაბალანსების პროდუქტები და სისტემის სტაბილურობა

PLEXOS მოდელის ფარგლებში შეიქმნა ხუთი დაბალანსების პროდუქტი, რომლებიც მიენიჭა ელექტროსადგურებს, რომლებსაც აქვთ ამ მომსახურების შეთავაზების შესაძლებლობა:

- პირველადი რეზერვი (FCR): ამ პროდუქტს იყენებენ სიხშირის შენარჩუნებისთვის.

- მეორეული რეზერვი (FRR): პროდუქტის გამოყენება ხდება სიხშირის აღდგენისთვის სამიზნე მაჩვენებლამდე.



ნახ. 3. რეზერვის საჭიროება თვეების მიხედვით

ელექტროენერჯიაზე მაღალი მოთხოვნის დროს გენერატორები ზრდიან ბაზრის ფასს, რაც ასახავს ელექტროენერჯიის მოკლევადიანი მარგინალური ხარჯების (SRMC) გავლენას. შესაბამისად, დაბალი მოთხოვნის დროს გენერატორები ელექტროენერჯიას დაბალ ფასად ყიდნიან, რაც ასახავს დაბალი SRMC-ის გავლენას დამატებითი ერთეულების წარმოებაზე. ეს დინამიკა გადაწყვეტ როლს ასრულებს სისტემური ხარჯების მართვასა და ქსელის ოპტიმიზაციაში.

ორივე სცენარში ჰიდრორესურსები დომინირებენ ბაზარზე. სცენარში 1-ში, ჰიდროსადგურების წილი წლიური გენერაციის 68%-ს შეადგენს, ხოლო სცენარში 2-ში ეს მაჩვენებელი მცირედით მცირდება 65%-მდე. თბოსადგურების გენერაცია 1,552 გგვტ.სთ-დან მცირდება 1,258 გგვტ.სთ-მდე სცენარში 2-ში, რაც განპირობებულია ქარისა და მზის იაფი ენერჯიის ინტეგრაციით, რაც ანაცვლებს

თბოსადგურების უფრო ძვირადღირებულ ენერჯიას. ქარის ენერჯიის წილი ახლა მხოლოდ 0.8%-ს შეადგენს, მაგრამ იზრდება 9%-მდე და 12%-მდე სცენარებში, შესაბამისად. მზის ენერჯია კი უფრო ნაკლებ წვლილს შეაქვს — 1%-დან 3%-მდე.

ცმე ინტეგრაციის ეკონომიკური სარგებელი

PLEXOS მოდელირებამ აჩვენა, რომ ქარისა და მზის ენერჯიის ინტეგრაცია საქართველოს ქსელში მნიშვნელოვან ეკონომიკურ სარგებელს მოიტანს:

- ხარჯების შემცირება: სცენარ 2-მა 15%-ით შეამცირა გენერაციის ხარჯები საწყის სცენართან შედარებით.

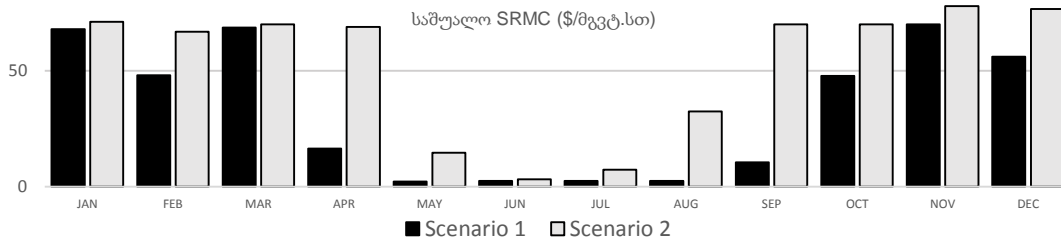
- ნახშირორჟანგის ემისიების შემცირება: განახლებაზე გადასვლამ 10%-ით შეამცირა ნახშირორჟანგის ემისიები.

მგრძობელობის ანალიზი: ცმე ინტეგრაციის დონეები

მგრძნობელობის ანალიზმა გამოავლინა ცვე სიმძლავრის დონის ცვლილებების გავლენა:

- დაბალი ინტეგრაცია: ქარის 394 მგვტ და მზის 91 მგვტ სიმძლავრეების შემთხვევაში სისტემის ფასები მაღალია, რადგან იზრდება თბოგენერაციაზე დამოკიდებულება.

- მაღალი ინტეგრაცია: ქარის სიმძლავრის 500 მგვტ-მდე და მზის 250 მგვტ-მდე გაზრდამ გამოავლინა ქსელის ინფრასტრუქტურის შეზღუდვები, რამაც შესაძლოა გამოიწვიოს გენერაციის შეზღუდვა და საჭირო გახდეს ქსელის მოდერნიზაცია.



ნახ. 4. თვიური საშუალო SRMC (\$/მგვტსთ)

დასკვნა

ცვე ინტეგრაცია ელექტროენერჯიის ბაზარზე გამოწვევებთან ერთად მნიშვნელოვან შესაძლებლობებსაც მოიცავს. მოდელირებამ აჩვენა, რომ ქარის და მზის სიმძლავრეების ზრდა, სათანადო ინფრასტრუქტურული გაუმჯობესებებით, ქმნის მდგრად, ეკონომიურად ხელსაყრელ და ეკოლოგიურად სუფთა ენერჯო-სისტემას. სცენარმა 2-მა აჩვენა გენერაციის ხარჯების 15%-ით შემცირება და ნახშირორჟანგის ემისიების 10%-ით შემცირება. ამავდროულად, ცვე მაღალი ინტეგრაციის მისაღწევად საჭიროა სტრატეგიული ქსელის მოდერნიზაცია და დაბალანსების მექანიზმების ეფექტური დანერგვა.

ლიტერატურა

1. „ენერჯეტიკისა და წყალმომარაგების შესახებ“ საქართველოს კანონის თაობაზე, საქართველოს პარლამენტი, 2019 წლის 20 დეკემბერი.
2. Khorbaladze G. Electricity Balancing Market Implementation in Georgia. Proceedings of the 3rd CIGRE South East European Regional Council Conference. Vienna, Austria. 29 Nov. - 02 Dec. 2021.

MODELING GEORGIA'S POWER SYSTEM IN 2026: THE ROLE OF WIND AND SOLAR IN ENERGY SECURITY.

G. Khorbaladze, Z. Gachechiladze, G. Kokhreidze.

“Energy”. №3(111). 2024. Tbilisi. p. 27-32. geo. sum geo. engl.rus.

The article examines the future of Georgia's power system in 2026, focusing on the integration of wind and solar energy into the electricity market using PLEXOS modeling. With installed capacities projected to reach 5,492 MW, including significant contributions from hydropower, thermal power, and variable renewable energy sources (ვრეს), the study evaluates two scenarios. Scenario 2, featuring 500 MW of wind and 250 MW of solar, demonstrates a 15% reduction in electricity generation costs and a 10% decrease in carbon emissions. The analysis highlights the importance of balancing products and infrastructure upgrades to ensure system stability and accommodate higher ვრეს penetration. The findings underscore Georgia's efforts to enhance energy security, reduce dependence on imports, and achieve sustainability through innovative energy solutions.

Илл. 4, bibl. 2.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ ГРУЗИИ В 2026 ГОДУ: РОЛЬ ВЕТРА И СОЛНЦА В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ.

Г. Хорбаладзе, З. Гачечиладзе, Г. Кохреидзе.

“Энергия”. № 3(111).2024 . Тбилиси. с. 27-32. груз. реф. груз.англ. рус.

В работе исследуется будущее энергосистемы Грузии в 2026 г. с акцентом на интеграцию ветровой и солнечной энергии в электроэнергетический рынок с использованием моделирования PLEXOS. Прогнозируется, что установленная мощность достигнет 5,492 МВт, включая значительные доли гидроэнергетики, тепловой энергии и переменных возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Второй сценарий с 500 МВт ветра и 250 МВт солнца демонстрирует снижение затрат на производство электроэнергии на 15% и сокращение выбросов углекислого газа на 10%. Анализ подчеркивает важность балансирующих продуктов и модернизации инфраструктуры для обеспечения стабильности системы и интеграции ВИЭ. Выводы подтверждают стремление Грузии повысить энергетическую безопасность, сократить зависимость от импорта и достичь устойчивого развития с использованием инновационных энергетических решений.

Илл. 4, лит. 2 назв.

ბუნებრივი აირის სანთურის სიმძლავრის გაანგარიშების გამარტივებული მეთოდიკა
ხის მასალის საშრობი კამერისათვის

ევტიხი მაჭავარიანი - დოქტორი

E-mail: ev.machavariani@gtu.ge

ივანე ბეროშვილი - დოქტორი

E-mail: berosh@mail.ru

ვახტანგ მუსელიანი - დოქტორი

E-mail: v.museliani@gmail.com

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ანოტაცია. წარმოდგენილია 15 მ მოცულობის ხის მასალის საშრობი კამერის მუშაობისათვის აუცილებელი თბური სიმძლავრის თბოტექნიკური გაანგარიშების გამარტივებული მეთოდიკა. კერძოდ ცალკე ცალკე არის გაანგარიშებული იმ სითბოს რაოდენობები, რომლებიც აუცილებელია ტენიანი მასალის შრობის ტემპერატურამდე გასაცხელებლად, მასალაში არსებული ტენის გასაშრობად და შრობის განმავლობაში საშრობი კამერიდან გარემოში დროის ერთეულში გადაცემული, ანუ ერთგვარად დაკარგული, სითბოს რაოდენობა.

მოყვანილია აგრეთვე ამ მეთოდიკით შესრულებული გამოთვლებით მიღებული შედეგები, რომლებიც წარმოდგენილია ცხრილისა და დიაგრამის სახით. საინტერესოა, რომ წარმოდგენილი დიაგრამა ერთმანეთთან აკავშირებს შრობის ხანგრძლივობას და გამახურებელი ღუმელის სიმძლავრეს. ხსენებული დიაგრამის გამოყენებით შესაძლებელია დადგინდეს თუ რა სიმძლავრის გამათბობელი ღუმელია აუცილებელი შრობის სასურველ ტემპერატურაზე ჩატარებისათვის და დროის როგორი ხანგრძლივობა იქნება აუცილებელი შრობის პროცესის დასამთავრებლად.

წარმოდგენილია აგრეთვე გამოთვლილი სიდიდეების ექსპერიმენტული შემოწმების შედეგები და ნაჩვენებია, რომ წარმოდგენილი გამარტივებული მეთოდიკით ჩატარებული გამოთვლებით მიღებული სიდიდეები დამაკმაყოფილებლად ემთხვევა ექსპერიმენტულად მიღებულ შედეგებს.

საკვანძო სიტყვები: საშრობი კამერა, ხის მასალა, შრობა, თბოგაცემა, სიმძლავრე.

შესავალი

ხის მასალა, რომელიც გამოიყენება ფიცრებისა და კოჭების სახით სამშენებლო, ხის ნაკეთობების, ავეჯის და სხვა მრეწველობაში, უნდა იყოს არა მხოლოდ გამძლე და შეინარჩუნოს ფორმა, არამედ ჰქონდეს მაქსიმალური მექანიკური სიმტკიცე და მინიმალური წონითი მახასიათებელი. უნდა შეიძლებოდეს მისი ხარისხიანი დამუშავება, უნდა ახასიათებდეს წებოს და სხვადასხვა ლაკების კარგი შეკავების უნარი, უნდა ჰქონდეს მინიმალური თბოგამტარობა, ელექტროგამტარობა და ა.შ.

ყველა ამ თვისებას ხე იძენს მხოლოდ სათანადო გაშრობის შემდეგ. პრაქტიკამ და სამეცნიერო კვლევებმა დაადგინა, რომ ხის მექანიკური სიმტკიცე მკვეთრად იზრდება ტენიანობის შემცირებასთან ერთად და აღწევს მაქსიმუმს თავდაპირველი წონის 1/3-ზე უფრო ნაკლებ, ე.ი. 30 %-ზე უფრო დაბალ ტენიანობაზე. ამავდროულად, ხე უფრო მსუბუქი ხდება მასში შემავალი ტენის რაოდენობის შემცირების პროპორციულად.

ტენიანობის კლებასთან ერთად ხე ხდება ნაკლებად თბოგამტარი. ამავდროს, მისი წვის სითბო იზრდება, რაც

მნიშვნელოვანია მაგალითად, ხის ნარჩენების საწვავად გამოყენებისას.

ცნობილია აგრეთვე, რომ გამშრალი ხის მასალისაგან დამზადებული ნაკეთობები ნაკლებად დეფორმირდებიან და მეტად ცვეთამედეგები არიან.

აღსანიშნავია აგრეთვე, რომ ხის ანტისეპტიკებით გაჟღენთვა უკეთესად მიმდინარეობს მისი წინასწარი გაშრობის შემდეგ.

არანაკლებ მნიშვნელოვანია ის გარემოება, რომ გამშრალი ხის მასალა გაცილებით მსუბუქია და მისი ტრანსპორტირება ნაკლებ ხარჯებთანაა დაკავშირებული.

ყველა შემთხვევაში, გაშრობის დანიშნულებაა ხის გარდაქმნა ბუნებრივი ნედლეულიდან სამრეწველო მასალად მისი გამოყენების პროცესის ფუნდამენტური გაუმჯობესების მიზნით. ანუ გაშრობის შემდეგ ხე ხდება უფრო მაღალი ხარისხის და უფრო ღირებული, რომელიც აკმაყოფილებს მასზე დაკისრებულ მრავალფეროვან მკაცრ მოთხოვნებს სხვადასხვა სამრეწველო და საყოფაცხოვრებო პროგრამებში.

აუცილებელია ვიცოდეთ, რომ შრობის პროცესში ხის ზომები პატარავდება და მაქსიმალურად გაშრობისას ზომამ შეიძლება 12% კი - მოიკლოს.

ხის მასალის შრობის მრავალი სხვადასხვა მეთოდიდან ყველაზე რაციონალურად ითვლება ისეთი მეთოდი, რომელიც უზრუნველყოფს გამშრალი მასალის სიმთელეს (ნასკდომების წარმოქმნის გარეშე) შრობის პროცესის მინიმალური ხანგრძლივობისას [1].

შესავლის დასასრულს უნდა ითქვას, რომ ხე-ტყის შრობის თანამედროვე

მეთოდები იძლევიან მასალის ტენიანობის 6÷8%-მდე შემცირების შესაძლებლობას.

საშრობში მოთავსებული ხის მასალიდან მოსაცილებელი ტენის რაოდენობის გაანგარიშება

ვთქვათ საშრობ კამერაში მოთავსებულია წიწვოვანი ხის მასალა, მაგალითად ნაძვი და ფიჭვი. ცნობილია [2], რომ ამ მასალის მაქსიმალური ტენიანობა უშუალოდ მოჭრისას შეიძლება შეადგენდეს 77÷90%-ს რაც დამოკიდებულია მოჭრის ადგილზე, წელიწადის პერიოდზე და მოჭრისას არსებულ ამინდზე. თუმცა დამუშავების ადგილამდე მასალის ტრანსპორტირების პროცესში ხდება მასალის ბუნებრივი შრობა, რაც აგრეთვე დამოკიდებულია ტრანსპორტირების დროზე და ამ დროის განმავლობაში არსებულ ამინდებზე. აქედან გამომდინარე ცხადია, რომ ხე-ტყის დასამუშავებელ საწარმოში მიტანილ მასალას აქვს შედარებით დაბალი ტენიანობა და პირველადი დახერხვის პროცესში ტენიანობა გარკვეულად კიდევ უფრო კლებულობს.

ჩვენს შემთხვევაში დავუშვათ, რომ საშრობში მოთავსებული გასაშრობი მასალის საწყისი ტენიანობა 50%-ს შეადგენს. ე.ი. მასალის მასის 50 % მასალაში არსებული წყლის მასას შეადგენს. საშრობში უნდა მოხდეს ამ ტენიანობის შემცირება 10%-მდე.

დავუშვათ საშრობ კამერაში სულ მოთავსებულია 15 მ³ მოცულობის ნაძვისა და ფიჭვის დახერხილი ფიცრები. საცნობარო ლიტერატურაში [3] ვპოულობთ, რომ ახალმოჭრილი ფიჭვისა და ნაძვის თავდაპირველი სიმკვრივე 400 ÷ 500 კილოგრამს შეადგენს 1 მ³-ზე. ჩვენ საანგარიშოდ ვიღებთ 400 კგ/მ³-ს, რადგან მასალა

არა თუ ახალმოჭრილი არ არის, არამედ დახერხილიცაა და ცხადია ტენიანობის შემცირების გამო, მისი სიმკვრივეც შემცირდებოდა.

მაშასადამე საშრობში მოთავსებული გვაქვს 15 მ³ მასალა, რომლის სიმკვრივეა 400 კგ/მ³ და აქედან გამომდინარე ამ მასალის წონა იქნება

$$G_1 = 15 \text{ მ}^3 \cdot 400 \text{ კგ/მ}^3 = 6\,000 \text{ კგ},$$

სადაც G_1 - ტენიანი მასალის წონა შრობამდე, კგ. ამ წონითი რაოდენობის მასალის ტენიანობა, როგორც ზემოთ მივიღეთ გასაანგარიშებლად, შეადგენს 50%-ს. მაშასადამე ცხადია, რომ 15 მ³ გამოსაშრობი მასალა შეიცავს 3 000 კგ წყალს (50%-იანი ტენიანობის შემთხვევაში) და მხოლოდ ხის მასალა კი - 3 000 კგ-ია.

საანგარიშოდ ჩვენ მივიღეთ, რომ შრობის პროცესის ბოლოს მასალის ტენიანობა არ უნდა აღემატებოდეს 10%-ს. მაშასადამე 3 000 კგ სუფთა ხის მასალა უნდა შეიცავდეს ტენს 10%-ის რაოდენობით. ეს იმას ნიშნავს, რომ შეგვიძლია დავწეროთ განტოლება -

$$G_2 = 3\,000 + 0,1 G_2,$$

საიდანაც ადვილად გამოვიყვანთ G_2 -ს, ანუ მასალის წონას შრობის შემდეგ. ამ განტოლებიდან ცხადია, რომ

$$G_2 = 3\,000 / 0,9 = 3334 \text{ კგ.}$$

ანუ მასალაში არსებული (შრობის შემდეგ დარჩენილი) ტენის რაოდენობა იქნება 334 კგ. ვინაიდან თავდაპირველად მასალაში იყო 3 000 კგ წყალი და შრობის შემდეგ რჩება მხოლოდ 334 კგ, ადვილად დავადგენთ საშრობ კამერაში მოთავსებული მასალიდან ასაორთქლებელი ტენის რაოდენობას -

$$G_{\text{წყლის}} = 3\,000 - 334 = 2\,666 \text{ კგ/ წყალი.}$$

მაშასადამე ცხადია, რომ შრობის პროცესში უნდა მოხდეს 2 666 კგ წყლის

ასაორთქლება და სამი ტონა ხის მასალიდან მისი მოცილება, ხოლო ჯამური მასა კი დარჩება - $G_2 = 3334$ კგ.

ხის მასალის და მასში არსებული ტენის შრობის ტემპერატურამდე გასაცხელებლად აუცილებელი სითბოს რაოდენობის გამოთვლა

ჯერ გამოვთვალოთ სითბოს ის რაოდენობა, რომელიც აუცილებელია საშრობში მოთავსებული მასალის შრობის ტემპერატურამდე გასაცხელებლად.

ლიტერატურიდან [4] ცნობილია, რომ ხის მასალის კუთრი სითბოტევადობა c_p (ჯ/კგ · გრად), არ არის დამოკიდებული მასალის სახეობაზე, ვინაიდან ხის ნივთიერების შემადგენლობა ყველა სახეობისთვის ერთნაირია და 0°C-ზე აბსოლუტურად მშრალი ხისთვის არის 1,55 კჯ/კგ·°C. ცნობილია აგრეთვე, რომ ეს სიდიდე ტემპერატურის მატებასთან ერთად ოდნავ მატულობს და ვინაიდან საცნობარო ლიტერატურაში [1] მოპოვებული ინფორმაციის თანახმად შრობის პროცესი სასურველია ჩატარდეს მაქსიმუმ 70°C ტემპერატურის მქონე ჰაერით და მასალაც ამ ტემპერატურამდე გაცხელდება, მასალის კუთრი სითბოტევადობის მნიშვნელობას საანგარიშოდ ვიღებთ ზემოთ მითითებულ სიდიდეზე ოდნავ მეტს. ამრიგად გვაქვს -

$$c_p = 1,6 \text{ კჯ/კგ} \cdot \text{°C.}$$

ამრიგად, საშრობში განლაგებული მხოლოდ მასალის გასაცხელებლად 70°C ტემპერატურამდე დაიხარჯება სითბოს რაოდენობა

$$Q_{\text{მასალის}} = c_p \cdot G_{\text{მასალის}} \cdot \Delta T,$$

სადაც $G_{\text{მასალის}}$ საშრობში მოთავსებული მხოლოდ მშრალი მასალის მასაა და 3 000 კგ-ს შეადგენს, ხოლო ΔT შეადგენს 70°C-ს,

რადგან მასალა უარეს შემთხვევაში თბება 0°C -დან 70°C-მდე. მაშასადამე გვაქვს -
 $Q_{\text{მასალის}} = 1,6 \cdot 3\ 000 \cdot 70 = 336\ 000 \text{ კჯ.}$

(1)

ცხადია, რომ იმავე ტემპერატურამდე უნდა გაცხელდეს მასალაში არსებული ტენიცი, რომელიც თავდაპირველად 3 000 კგ-ს შეადგენს. მის 70°C-მდე გასაცხელებლად აუცილებელი სითბოს რაოდენობა კი იქნება -

$$Q_{\text{ტენის}} = c_p \cdot m_{\text{წყლის}} \cdot 3\ 000 \cdot 70 \text{ კჯ.}$$

სადაც c_p წყლის - არის წყლის კუთრი სითბოტევადობის საშუალო მნიშვნელობა 0-70°C ტემპერატურულ ინტერვალში, რომლის სიდიდე ცნობარი [5]-ის მიხედვით შეადგენს:

$$c_p \text{ წყლის} = 4,19 \text{ კჯ/კგ}\cdot\text{°C.}$$

მაშასადამე გვექნება -

$$Q_{\text{ტენის}} = 4,19 \cdot 3\ 000 \cdot 70 = 879\ 900 \text{ კჯ.}$$

(2)

ხის მასალიდან მოსაცილებელი წყლის აორთქლებისათვის საჭირო სითბოს რაოდენობის გამოთვლა

ლიტერატურიდან ცნობილია [6], რომ ჩვენს მიერ დადგენილ ტემპერატურაზე (70°C) ერთი კილოგრამი წყლის აორთქლებას ესაჭიროება დაახლოებით 2 300 კჯ სითბო. ჩვენ კი ასაორთქლებელი გვაქვს $G_{\text{წყლის}} = 2\ 666 \text{ კგ წყალი.}$ მაშასადამე ხის მასალის სასურველ 10% ტენიანობამდე გასაშრობად უნდა დაიხარჯოს

$$Q_{\text{შრობის}} = 2\ 666 \cdot 2\ 300 = 6\ 131\ 800 \text{ კჯ.}$$

(3)

შრობისათვის აუცილებლად გასავითარებული სიმძლავრის გამოთვლა

ჩვენ უკვე ვიცით, რომ (იხ. (1)) მასალის შრობის ტემპერატურამდე გათბობაზე დაიხარჯება -

$$Q_{\text{მასალის}} = 336\ 000 \text{ კჯ.}$$

ვიცით აგრეთვე, რომ (იხ. (2)) მასალაში არსებული ტენის იმავე ტემპერატურამდე გათბობაზე დაიხარჯება

$$Q_{\text{ტენის}} = 879\ 900 \text{ კჯ.}$$

აგრეთვე უკვე ვიცით რომ (იხ. (3)) მასალის შრობაზე, ანუ სასურველ ტენიანობამდე მისაყვანად მასალიდან ტენის აორთქლებაზე დაიხარჯება

$$Q_{\text{შრობის}} = 6\ 131\ 800 \text{ კჯ.}$$

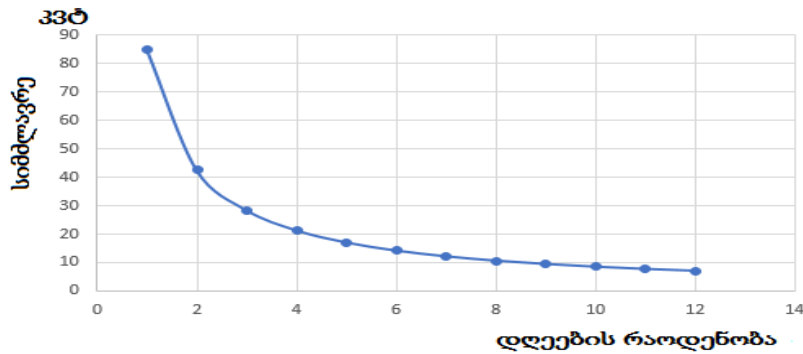
ცხადია, რომ შრობის განსახორციელებლად აუცილებელი ენერჯიის რაოდენობა იქნება ამ სამი სიდიდის ჯამი. ანუ გვექნება -

$$Q_{\text{ჯამური}} = 7\ 347\ 700 \text{ კჯ.}$$

გამახურებლის სიმძლავრე რა თქმა უნდა დამოკიდებული იქნება იმაზე თუ რა დროის განმავლობაში გვინდა რომ დასრულდეს შრობის პროცესი. ანუ რაც უფრო ნაკლები გვექნება გამახურებლის სიმძლავრე, მით უფრო მეტი დრო დასჭირდება შრობის პროცესის დამთავრებას.

შევადგინოთ გრაფიკი რომელიც გვიჩვენებს როგორაა დამოკიდებული შრობის პროცესის ხანგრძლივობა გამახურებლის სიმძლავრეზე. ამისათვის ჩვენ ჩავატარეთ შესაბამისი გაანგარიშებები რომელთა შედეგები წარმოდგენილია ქვემოთ, ცხრილში, ხოლო გრაფიკულად ნახ. 1-ზე.

| დღე | საათი | წუთი | წამი | სიმძლავრე |
|-----|-------|-------|---------|-----------|
| 1 | 24 | 1440 | 86400 | 85 |
| 2 | 48 | 2880 | 172800 | 42,5 |
| 3 | 72 | 4320 | 259200 | 28,34 |
| 4 | 96 | 5760 | 345600 | 21,26 |
| 5 | 120 | 7200 | 432000 | 17 |
| 6 | 144 | 8640 | 518400 | 14,17 |
| 7 | 168 | 10080 | 604800 | 12,15 |
| 8 | 192 | 11520 | 691200 | 10,63 |
| 9 | 216 | 12960 | 777600 | 9,45 |
| 10 | 240 | 14400 | 864000 | 8,5 |
| 11 | 264 | 15840 | 950400 | 7,73 |
| 12 | 288 | 17280 | 1036800 | 7,08 |



ნახ. 1. გამახურებლის სიმძლავრის დამოკიდებულება შრობის დღეების რაოდენობაზე

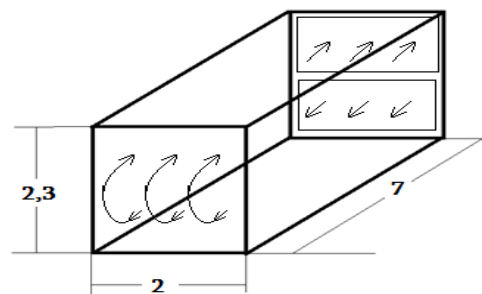
ვთქვათ ჩვენ გვინდა რომ კამერაში მასალის შელაგებიდან და ღუმელის ჩართვის მომენტიდან 192 საათის შემდეგ (რვა დღე-ღამეში) შრომა დამთავრდეს და მასალა გამოტანილი იქნას კამერიდან. მაშასადამე შრომას დაჭირდება 10 კილოვატიანი გამახურებელი.

ამასთან აუცილებლადაა გასათვალისწინებელი ის გარემოება, რომ სითბოს გარკვეული რაოდენობა მუდამ დაიკარგება გარემოში და ამისათვის გამახურებლის სიმძლავრე უფრო მეტი უნდა იყოს.

შრობის პროცესში საშრობი კამერიდან გარემოში გაბნეული სითბოს რაოდენობის გამოთვლა

წარმოვიდგინოთ, რომ საშრობი კამერა წარმოადგენს მართკუთხა პარალელეპიპედს, რომლის სქემატური ნახაზი და ზომები ქვემოთაა წარმოდგენილი ნახ. 2-ზე. აქვე ნაჩვენებია ცხელი ჰაერის მოძრაობის ძირითადი მიმართულებები. კამერის უკანა ქვედა ნაწილიდან შემოდის

ცხელი ჰაერი, გამოივლის საშრობის ქვედა ნახევარში არსებული მასალის წყობურის ღრეჩოებში და წინა კარებთან შეიცვლის მიმართულებას. ამის შემდეგ გაივლის საშრობის ზედა ნახევარში განლაგებული მასალის წყობურის ღრეჩოებში და ჰაერშემბერების მეშვეობით ისევ მიემართება ღუმელში გასაცხელებლად.



ნახ. 2. საშრობი კამერა, მისი ძირითადი ზომები და ჰაერის ნაკადები

დავუშვათ, რომ კამერის შიგნითა ზომებია: სიგრძე - 7 მ, სიგანე - 2 მ და სიმაღლე 2,3 მ. მაშინ შიგნითა კედლები, ანუ რასაც ცხელი ჰაერი ეხება, იქნება

$(2,3 \times 7) \times 2 = 32,2 \text{ მ}^2$ - გვერდითი კედლები ამას უნდა დაემატოს $(2 \times 2,3) = 4,6 \text{ მ}^2$ - წინა კედლის ანუ კარების ფართობი. ამ ფართობების ჯამი იქნება $32,2 + 4,6 = 36,8 \text{ მ}^2$. კარგად შეფუთული ჭერიდან და მითუმეტეს იატაკიდან სითბო პრაქტიკულად არ იკარგება.

მაშასადამე გარემოში თბოგაცემის ფართობი $S_{\text{საანგარიშო}} = 36,8 \text{ მ}^2$ -ს.

თუ ჰაერის ტემპერატურა მასალის შრობის ყველაზე ხანგრძლივ პერიოდში უნდა იყოს 70°C , მაშინ უნდა ჩავთვალოთ, რომ იდეალურ შემთხვევაში საშრობი კამერის შიგა ზედაპირის ტემპერატურაც 70°C -ს უნდა უდრიდეს. ხოლო საშრობი კამერის გარეთ არსებული ჰაერის ტემპერატურა ყველაზე ცუდ შემთხვევაში (ზამთარში, ყინვისას) დავუშვათ რომ მინუს 10°C -ია. ცხადია ტემპერატურათა სხვაობა იქნება $\Delta T = 70 - (-10) = 80 \text{ გრად}$. მაშინ შიგნიდან გარეთ დროის ერთეულში დაკარგული სითბოს რაოდენობა იანგარიშება ფორმულით -

$$Q = K \cdot \Delta T \cdot S_{\text{საანგარიშო}} \quad \text{ჯ/წმ.} \quad (4)$$

აქ უცნობია თბოგადაცემის კოეფიციენტი K , რომელიც იანგარიშება ფორმულით -

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{\text{კედ}}}{\lambda_{\text{კედ}}} + \frac{\delta_{\text{იზოლ}}}{\lambda_{\text{იზოლ}}} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (5)$$

სადაც α_1 - შიგა ჰაერიდან კედლის ზედაპირზე თბოგაცემის კოეფიციენტი და რადგან შიგა ჰაერი მოძრავია $\alpha_1 = 20 \text{ ჯ/წმ} \cdot \text{მ}^2 \cdot \text{გრად}$; $\delta_{\text{კედ}}$ - კედლის სისქეა და ბეტონის ბლოკისთვის $\delta_{\text{კედ}} = 0,25 \text{ მ}$; $\lambda_{\text{კედ}}$ - კედლის თბოგამტარობის კოეფიციენტი და საამშენებლო ბლოკისათვის შეგვიძლია ლიტერატურიდან [7] ავიღოთ $\lambda_{\text{კედ}} = 0,5 \text{ ვტ/მ} \cdot \text{გრად}$; $\delta_{\text{იზოლ}}$ - საშრობი კამერის კედლის შიგა ზედაპირზე ამოგებული თბური იზოლაციის, (მაგალითად,

მინერალური ბამბის) სისქეა და ვთქვათ $0,05 \text{ მ}$ -ს შეადგენს; $\lambda_{\text{იზოლ}}$ - მინერალური ბამბის თბოგამტარობის კოეფიციენტი და [8]-ის მიხედვით $0,05$ -ის ტოლია; α_2 - კამერის გარე ზედაპირის მიერ გარემომცველ ჰაერზე თბოგაცემის კოეფიციენტი და წყნარი სივს პირობებში შეიძლება ჩავთვალოთ $15 \text{ ჯ/წმ} \cdot \text{მ}^2 \cdot \text{გრად}$.

ამრიგად, (5)-ით შეგვიძლია ვიანგარიშოთ

$$K = \frac{1}{\frac{1}{20} + \frac{0,25}{0,5} + \frac{0,05}{0,05} + \frac{1}{15}} = \frac{1}{0,05 + 0,5 + 1 + 0,066} = \frac{1}{1,616} = 0,618.$$

K -ს მიღებული ეს მნიშვნელობა შევიტანოთ (4)-ში სხვა მნიშვნელობებთან ერთად -

$$Q = 0,618 \cdot 80 \cdot 36,8 = 1821,78 \text{ ჯ/წმ}$$

აქედან გამომდინარე გამახურებლის სიმძლავრე 2 კვტ (დამრგვალებით და გარკვეული მარაგით) აუცილებელია მხოლოდ იმიტომ რომ უზრუნველყოფილი იყოს საშრობში არსებული ტემპერატურული რეჟიმის მუდმივობა (ყველაზე ცივ ამინდში), ანუ გარემოში დაკარგული სითბოს რაოდენობის ანაზღაურება.

დასკვნა

წარმოდგენილი გაანგარიშების საფუძველზე შესაძლებელია გავაკეთოთ დასკვნა, რომ მასალის შრობისათვის გამოყენებული გამახურებელი სანთურის სიმძლავრე დამოკიდებულია შრობის სასურველ ხანგრძლივობაზე თუმცა მასალის სიმთელისა და თვისებების შესანარჩუნებლად შრობის პროცესი სასურველია გაგრძელდეს არანაკლები 7 დღისა და არაუმეტეს 8 დღისა. ასეთ პირობებში, სანთურის, შრობისათვის აუცილებელი სიმძლავრე დაახლოებით 10 კვ-ია, მაგრამ გარემოში სითბოს

დანაკარგების ასანაზღაურებლად საჭიროა კიდევ დაახლოებით 2 კვ სიმძლავრე.

ამრიგად, 12 კვ-იანი სანთურა მთლიანად უზრუნველყოფს სრულ ტექნოლოგიურ პროცესს.

უნდა აღინიშნოს, რომ ზემოთ წარმოდგენილი მეთოდიკით ჩვენს მიერ ჩატარებული იქნა საქართველოში მოქმედი ერთერთი ხე ტყის საშრობი კამერის სანთურის საჭირო სიმძლავრის გაანგარიშება, რომლის დროსაც მიღებული შედეგები ∇ 3%-ით დაემთხვა რეალური ექსპერიმენტის განმავლობაში მიღებულ შედეგებს.

ლიტერატურა

1. http://www.scron.ru/sushka_drevesiny/regims.html
2. <https://sushilnyekamery.com/articles/estestvennaya-vlazhnost-drevesiny#anchor1>
3. <https://fantasyloft.ru/blog/plotnost-dereva>
4. <https://bigenc.ru/c/teplovye-svoistva-drevesiny-1e0a39>
5. <https://vpkt.ru/svoystva-vody>
6. <https://tula-term.ru/support/podbor-oborudovaniya/udel'naya-teplota-paroobrazovaniya-vody-i-temperatura-kipeniya-vody-v-zavisimosti-ot-davleniya/>
7. <https://alta-profil.ua/poleznoe/interesnoe-o-produkcii/teploprovodnost/>
8. <https://www.google.com/search?client=opera&q=теплопроводность+теплоизоляционн+ых+материалов&sourceid=opera&ie=UTF-8&oe=UTF-8>

A SIMPLIFIED METHOD OF CALCULATING NATURAL GAS BURNER CAPACITY FOR A WOOD DRYING CHAMBER.

E.Machavariani, I.Beroshvili, V.Museliani.

“Energy”. №3(111). 2024. Tbilisi. p. 33-40. geo. sum geo. engl.rus.

The article presents a simplified method of thermal technical calculation of the thermal power necessary for the operation of a 15 cubic meter wood drying chamber. In particular, the amounts of heat necessary to heat the moist material to the drying temperature, to dry the moisture in the material, and the amount of heat transferred from the drying chamber to the environment during drying, i.e. lost in a way, are calculated separately.

The results of the calculations performed by this method are also given, which are presented in the form of a table and a diagram. It is interesting that the presented diagram correlates the duration of drying and the capacity of the heating furnace. Using the mentioned diagram, it is possible to determine the power of the heating furnace necessary to carry out drying at the desired temperature, and what length of time will be necessary to finish the drying process.

The results of the experimental verification of the calculated quantities are also presented and it is shown that the quantities obtained by the calculations carried out by the presented simplified method agree satisfactorily with the experimentally obtained results.

Ill. 2, tabl. 1, bibl. 8.

УПРОЩЕННЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА МОЩНОСТИ ГОРЕЛКИ НА ПРИРОДНОМ ГАЗЕ ДЛЯ СУШИЛЬНОЙ КАМЕРЫ ДЛЯ ДРЕВЕСИНЫ.

Э.Мачавариани, И.Берошвили, В.Муселиани.

“Энергия”. № 3(111).2024 . Тбилиси. с.33-40. груз. реф. груз. англ. рус.

В статье представлен упрощенный метод теплотехнического расчета тепловой мощности, необходимой для работы сушильной камеры для древесины объемом 15 кубических метров. В частности, отдельно рассчитываются количества тепла, необходимые для нагрева влажного материала до температуры сушки, для высушивания влаги в материале и количество тепла, переданного из сушильной камеры в окружающую среду в процессе сушки, т.е. потерянного в пути.

Также приведены результаты расчетов, выполненных по данному методу, которые представлены в виде таблицы и диаграммы. Интересно, что представленная диаграмма соотносит продолжительность сушки и мощность нагревательной печи. Используя указанную диаграмму, можно определить мощность нагревательной печи, необходимую для проведения сушки при требуемой температуре, и какое время потребуется для завершения процесса сушки.

Приведены также результаты экспериментальной проверки расчетных величин и показано, что величины, полученные расчетами, проведенными по представленной упрощенной методике, удовлетворительно согласуются с экспериментально полученными результатами. Ключевые слова: сушильная камера, древесный материал, сушка, теплоснабжение, мощность.

Илл. 2, табл.1, лит. 8 назв.

ნაწილობრივი განმუხტვით ელექტროტექნიკური მოწყობილობების ტექნიკური მდგომარეობის დიაგნოსტიკის მეთოდების ანალიზი

კახა გიორგაძე - დოქტორანტი
E-mail: kaxagiorgaze@gmail.com

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ანოტაცია. განხილულია ძალური ქვესადგურების ელექტროტექნიკური მოწყობილობების მდგომარეობის დიაგნოსტიკისა და კონტროლის მეთოდები, რომლებიც დაფუძნებულია მოწყობილობის იზოლაციაში ნაწილობრივი განმუხტვის დონის გამოვლენასა და გაზომვაზე და დადგენილია, რომ ელექტროტექნიკური სისტემების დატვირთვის ქვეშ მუშაობისა და მათი ნორმალური ექსპლუატაციის პირობებში ელექტრომოწყობილობების იზოლაციაში ნაწილობრივი განმუხტვის კონტროლის სისტემების მუშაობის მაღალი ეფექტურობის უზრუნველყოფისათვის ყველა მათგანს გააჩნია თავისი ნაკლი. ამიტომ რეალური შედეგების მისაღებად საჭიროა გამოყენებული იქნეს სხვადასხვა ტიპის ნაწილობრივი განმუხტვის რამდენიმე გადაწყვეტილება.

საკვანძო სიტყვები: ძალური ტრანსფორმატორი, ელექტროტექნიკური მოწყობილობები, ნაწილობრივი განმუხტვა, ენერგეტიკული ეფექტურობა, დიაგნოსტიკა, ნაწილობრივი განმუხტვის გადამწოდი.

სათბობ-ენერგეტიკული კომპლექსის რესურსებზე ფასის მუდმივი ზრდის პირობებში მწვავედ დგას ელექტრო-მომარაგების პრობლემა, რომელიც ეხება ქვეყნის სახალხო მეურნეობის ყველა დარგს, მათ შორის ეს პრობლემა აქტუალურია ენერგეტიკისათვისაც.

ენერგეტიკული ეფექტურობის ამაღლება ელექტრომომარაგების სისტემის ყველა დონეზე: გამომუშავებიდან, გარდაქმნიდან და განაწილებიდან ელექტრო-ენერჯიის მომხმარებამდე წარმოადგენს სახელმწიფოს პრიორიტეტულ ამოცანას.

დღეისათვის ქვეყნის ეკონომიური მდგომარეობიდან გამომდინარე გვიხდება მივიღოთ ზომები მომველებული ელექტროტექნიკური მოწყობილობების ექსპლუატაციის ვადის გაზრდის შესახებ.

საქართველოში 110-500 კვ ძაბვის ელექტრული ქსელების საერთო სიგრძე აღემატება 6458 კმ-ს, ხოლო ქვესადგურებისა და სატრანსფორმატორო პუნქტების ტრანსფორმატორების ჯამური სიმძლავრეა 11694 მვა, ხოლო ცვეთის ხარისხი დაახლოებით 40%-ია [1].

გასული საუკუნის 90-იან წლებში ქვეყანაში პოლიტიკური და ეკონომიური სიტუაციებიდან გამომდინარე მკვეთრად შემცირდა ქვესადგურების ტექნიკური გადაიარაღების, რეკონსტრუქციისა და მშენებლობის მოცულობები და მხოლოდ უკანასკნელ წლებში ისევ დაუთმეს საკმარისი ყურადღება ამ მიმართულებებს.

ელექტროტექნიკური სისტემების ელექტრომოწყობილობების ტექნიკური მდგომარეობის შეფასების ამოცანების გადასაწყვეტად ინერგება ინსტრუმენტალური კონტროლისა და ტექნიკური დიაგნოსტიკის ეფექტური მეთოდები. ასევე ეს საჭიროა და აუცილებელია ელექტრომოწყობილობების ეფექტური, უსაფრთხო და საიმედო მუშაობის უზრუნველყოფისათვის [2].

დიაგნოსტიკის მეთოდები, რომლებიც უზრუნველყოფენ დატვირთვის ქვეშ ელექტრომოწყობილობების მიმდინარე ტექნიკური მდგომარეობის კონტროლს, მათი ნორმალური ექსპლუატაციის პირობებში თამაშობენ მნიშვნელოვან როლს მომსახურეობის საჭიროებასა და

მოწყობილობის დროული რემონტის განსაზღვრისათვის, ამასთანავე ახანგრძლივებენ ელექტროტექნიკური მოწყობილობების მომსახურების ვადას და ამადლებენ მათი ფუნქციონირების საიმედოობასა და ეფექტურობას.

განვიხილოთ ძალური ქვესადგურების ელექტროტექნიკური სისტემების ტექნიკური მდგომარეობის დიაგნოსტიკისა და კონტროლის მეთოდები, რომლებიც დაფუძნებულია მოწყობილობის იზოლაციაში ნაწილობრივი განმუხტვის დონის გამოვლენასა და გაზომვაზე.

ნაწილობრივი განმუხტვა ეს არის მცირე სიმძლავრის რკალური განმუხტვა, რომელიც აღიძვრება საშუალო და მაღალი ძაბვის ელექტროდანადგარების იზოლაციის შიგნით.

ნაწილობრივი განმუხტვები ჩვეულებრივ მყისვე არ ახდენენ იზოლაციის შუალედების გარღვევას. იზოლაციის ლოკალურ მოცულობაში ნაწილობრივი განმუხტვის ჩამოყალიბება იწვევს დიელექტრიკული მახასიათებლების შემცირებას და ნაწილობრივ დესტრუქციას. ეს პროცესები ძალიან ნელა მიმდინარეობს, რადგან ნაწილობრივი განმუხტვით იზოლაციის ლოკალური მოცულობის ზომები საიზოლაციო შუალედების სისქესთან შედარებით მცირეა. იზოლაციის დაშლის სიჩქარე დამოკიდებულია ნაწილობრივი განმუხტვის მახასიათებლებზე, ანუ მათ ინტენსივობაზე.

პრაქტიკულად ნებისმიერი მაღალი ძაბვის ნებისმიერ მოწყობილობაში ექსპლუატაციის პირობებში არსებობს ნაწილობრივი განმუხტვები. ამასთანავე მისი დამრღვევი უნარი შეიძლება იყოს სხვადასხვა [3].

ნაწილობრივი განმუხტვის აღძვრის დროს შეიძლება დავაკვირდეთ განსაზღვრულ ფიზიკურ მოვლენას, ისეთებს როგორცაა: ხელოვნულ წრედებში იმპულსური დენის გავლას ობიექტებთან ერთად რომლებშიც აღიძვრებიან ნაწილობრივი განმუხტვები;

გარშემო სივრცეში ელექტრომაგნიტური და სინათლის გამოსხივებები; დარტყმითი ტალღები; დიელექტრიკის დაშლა მოლეკულურ ჯგუფებად, ასევე გახურება იზოლაციის ლოკალურ მოცულობაში ნაწილობრივი განმუხტვებით.

ვეყრდნობით რა მოცემული ფიზიკური მოვლენების ბუნებაზე, დამუშავებულია ელექტროტექნიკური მოწყობილობების იზოლაციის ტექნიკური მდგომარეობის დიაგნოსტიკისა და ნაწილობრივი განმუხტვების გამოვლენისა და დამუშავების რამდენიმე მეთოდი. განვიხილოთ მათგან რამდენიმე [4]:

- აკუსტიკური მეთოდი;
- ელექტრომაგნიტური, ზემოდალი სიხშირის მეთოდი;
- ელექტრული მეთოდი.

შემდგომში განვიხილოთ მათი მთავარი დადებითი და უარყოფითი თვისებები.

აკუსტიკური მეთოდი. ელექტროტექნიკური მოწყობილობის იზოლაციაში ნაწილობრივი განმუხტვის აღძვრის დროს ხდება ელექტრული იმპულსი, რომელსაც თან ახლავს ბგერითი ტალღა.

ამის წყალობით ნაწილობრივი განმუხტვის რეგისტრაციისა და დეფექტის ლოკალიზაციისათვის შეიძლება გამოყენებული იქნეს აკუსტიკური გადამწოდები.

აკუსტიკური სიგნალების გავრცელების შედარებით დაბალი სიჩქარის გამო, ისინი შესაძლებელს ხდიან დანადგარის შიგნით განხორციელდეს სიგნალის წყაროს საკმაოდ ზუსტი ლოკალიზაცია. ამავდროულად ელექტრული აღჭურვილობის რამდენიმე წერტილში ამით იზომება ელექტრო სიგნალთან შედარებით აკუსტიკური იმპულსის მოსვლის მომენტის შეფერხება და ამის გამო, გამოითვლება წყაროს სავარაუდო მდებარეობა, კონკრეტული ობიექტის კონსტრუქციის გათვალისწინებით [4].

ნაწილობრივი განმუხტვის აკუსტიკური მეთოდის მთავარი უპირატესობებია:

1. მოცემული მეთოდის გამოყენებას აქვს მაღალი მგრძობიარობა, რაც საშუალებას

იძლევა ადრეულ სტადიაზე დეფექტურ ადგილებში შემჩნეული იქნეს ნაწილობრივი განმუხტვის ჩამოყალიბება;

2. ნაწილობრივი განმუხტვის მახასიათებლები იძლევიან შესაძლებლობას

ვაწარმოთ დეფექტური თვისებებისა და ნაწილობრივი განმუხტვის პროცესის ხასიათის შეფასება;

3. მოცემული მეთოდით შეიძლება განსაზღვრული იქნეს როგორც სიმრავლის

ინტეგრალური მახასიათებლები, ასევე ერთეული ნაწილობრივი განმუხტვის თვისებები;

4. შესაძლებელია ინერციის გარეშე აისახოს იზოლაციაში განმუხტვის მოვლენები.

აკუსტიკური მეთოდის უარყოფითი თვისება მდგომარეობს იმაში, რომ ელექტროაპარატების ელექტროიზოლაცია საიზოლაციო ქაღალდის (ელექტროტექნიკური მუყაოს) საფუძველზე არის მრავალშრიანი კონსტრუქცია, რომელიც მოთავსებულია საიზოლაციო ზეთში და გაჟღენთილია ამ ზეთით. ასეთი გარემო იწვევს ინტენსიურ მიღევას, ასევე მასში გამავალი სიგნალის მრავალჯერად არეკვლას. ეს ფაქტორი არსებითად ამცირებს სიგნალის მარეგისტრირებელ დონეს. ამასთანავე ელექტრომოწყობილობა, რომელიც იმყოფება დატვირთვის ქვეშ რხევითი ულტრაბგერით წყაროს, რომელთა დონე მნიშვნელოვნად აღემატება ნაწილობრივი განმუხტვისაგან გამოწვეულ ულტრაბგერებს. ამიტომ ასეთ კონსტრუქციაში ნაწილობრივი განმუხ-

ტვები შეუძლებელია საიმედოდ დავარეგისტრიროთ [4].

ელექტრომაგნიტური, ზემოდალი სიხშირის მეთოდი. მოცემული მეთოდი იძლევა საშუალებას შევამჩნიოთ ნაწილობრივი განმუხტვის ობიექტი მიმართული ანტენური მოწყობილობის წყალობით. ამ მეთოდის მიხედვით არ მოითხოვება საკონტროლო მოწყობილობის კონტაქტირება, ასევე იძლევა საშუალებას ჩავატაროთ მოწყობილობის ჯგუფის მიმოხილვითი სკანირება.

ნაწილობრივი განმუხტვის რეგისტრაციის ელექტრომაგნიტურ მეთოდს გააჩნია შემდეგი უპირატესობები:

1. ზემოდალი სიხშირის ზონდი უზრუნველყოფს შემყვანებას და დენის ტრანსფორმატორებში ნაწილობრივი განმუხტვის საიმედო გამოვლენას. მოცემული ტიპის ელექტრომოწყობილობებში ნაწილობრივი განმუხტვის სიგნალების გამოვლენის დონე დატვირთვის ქვეშ ექსპლუატაციის პირობებში შეადგენს რამდენიმე ათეულ პიკოკულონს, რაც მნიშვნელოვნად საუკეთესოა. ასევე ზემოდალი სიხშირის ზონდი არ მოითხოვს ელექტრომოწყობილობასთან ჩართვას ან მისგან გამორთვას, რაც საშუალებას იძლევა რამდენიმე მეტრის დაშორებით ჩატარებული იქნეს ელექტრომოწყობილობის დისტანციური კონტროლი.

ამ მეთოდის უარყოფით თვისებას წარმოადგენს ნაწილობრივი განმუხტვის რაოდენობრივი შეფასების არ არსებობა, ისეთების როგორცაა ნაწილობრივი განმუხტვის მუხტი, მისი დენი, სიმძლავრე და სხვა. ასევე იგი ექვემდებარება სხვა ობიექტების მიერ ელექტრომაგნიტური გამოსხივების გავლენას.

ელექტრული მეთოდი. ამ მეთოდს საფუძვლად უდევს საკვლევ ობიექტთან დაკავშირებულ ელექტრულ წრედებში ნაწილობრივი განმუხტვის კონტროლი. ამ მეთოდის მოქმედების პრინციპი შემდეგია: ნაწილობრივი განმუხტვის გამო ხელოვნურ წრედებში გაედინებიან იმპულსური დენები და გადამწოდი, რომელიც უშუალოდ იმყოფება კონტაქტში საკვლევ ობიექტთან, აფიქსირებს იმპულსური დენის სიდიდეს [4,5].

ელექტრული არხების ნაწილობრივი განმუხტვის გადამწოდების ძირითადი უპირატესობა მდგომარეობს იმაში, რომ ისინი განლაგებულია ნაწილობრივი განმუხტვის წარმოშობის ადგილის უშუალო სიახლოვეს, მაგრამ მისაღწევი დადებითი ეფექტი ნიველირდება რამდენიმე ეტაპის გავლის შედეგად სიგნალის ხარისხის გაუარესებით.

ამგვარად, ჩავატარეთ რა ელექტროტექნიკურ სისტემებში ნაწილობრივი განმუხტვის დონის კონტროლის ყველაზე უფრო გავრცელებული მეთოდების ანალიზი, შეიძლება გავაკეთოთ დასკვნა, რომ ელექტროტექნიკური სისტემების დატვირთვის ქვეშ მუშაობისა და მათი ნორმალური ექსპლუატაციის პირობებში ელექტრომოწყობილობების იზოლაციაში

ნაწილობრივი განმუხტვის კონტროლის სისტემების მუშაობის მაღალი ეფექტურობის უზრუნველყოფისათვის ყველა მათგანს გააჩნია თავისი ნაკლი. ამიტომ საჭიროა გამოყენებული იქნეს სხვადასხვა ტიპის ნაწილობრივი განმუხტვის რამდენიმე გადამწოდი.

ლიტერატურა

1. საქართველოს გადამცემი ქსელის განვითარების ათწლიანი გეგმა. 2023-2033. <https://www.gse.com.ge/proektbi/sakartvelos-gadamcemi-qselis-ganvitarebis-antsliani-gegma>
2. Хальясмаа А.И., Дмитриев С.А, Кокин С.Е., Глушков Д.А. Диагностика электрооборудования электрических станций и подстанций// Учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та. 2015. 64 с.
3. Орлюк А.С., Козлов А.Н. Частичные разряды обобщенные методы дягностики и нормативные документы//Вестник АмГУ. Вып.81. 2018. с.87-89.
4. Свистунов Н.А.. Анализ методов диагностики технического состояния электрических устройств, основанные на обнаружении и измерении уровня частичных разрядов//Известия ТулГУ. Технические науки. 2018. Вып.12. с.100-102.
5. Measurement of partial discharges in transformers. Pt 1 // GIGRE WG12.01. Electra. 1971. N19.

ANALYSIS OF METHODS FOR DIAGNOSING THE TECHNICAL CONDITION OF ELECTRICAL EQUIPMENT WITH PARTIAL DISCHARGE.

K.Giorgadze.

“Energy”. №3(111). 2024. Tbilisi. p.41-45. geo. sum geo. engl.rus.

The methods for diagnosing and monitoring the condition of electrical equipment of power substations, which are based on detecting and measuring the level of partial discharge in the insulation of the equipment, are discussed, and it is established that in order to ensure high efficiency of partial discharge control systems in the insulation of electrical equipment under load and under normal operation conditions, all of them have their own drawbacks. Therefore, to obtain real results, it is necessary to use several types of partial discharge detectors.

Bibl. 5.

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ С ЧАСТИЧНЫМ РАЗРЯДОМ.

К.Гиоргадзе

“Энергия”. № 3(111).2024 . Тбилиси. с. р.41-45. груз. реф. груз.англ. рус.

Рассмотрены методы диагностики и контроля состояния электротехнических устройств силовых подстанций, основанные на обнаружении и измерении уровня частичных разрядов в изоляции оборудования и установлено, что все они имеют свои недостатки и, что для обеспечения наибольшей эффективности работы систем контроля частичных разрядов в изоляции оборудования электротехнических систем под нагрузкой и в процессе их нормальной эксплуатации, необходимо применять по несколько датчиков частичных разрядов различных типов.

Лит. 5 назв.

დარტყმითი დუღილის პროცესის მათემატიკური მოდელირება და ექსპერიმენტული კვლევა

ირაკლი შეყრილაძე - დოქტორი

E-mail: i.shekriladze@gtu.ge

ევტიხი მაჭავარიანი - დოქტორი

E-mail: ev.machavariani@gtu.ge

გიორგი გიგინეიშვილი - დოქტორი

E-mail: g.gigineishvili@gtu.ge

*დავით შეყრილაძე - დოქტორი

E-mail: lagoid70@gmail.com

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

*საქართველოს ნავთობისა და გაზის კორპორაცია

ანოტაცია. წარმოდგენილია დუღილის პროცესის სპეციფიური სახეობის, ე.წ. დარტყმითი დუღილის მათემატიკური მოდელირებისა და ექსპერიმენტული კვლევის შედეგები. პროცესის მათემატიკური მოდელი განიხილავს დარტყმით დუღილს როგორც ორეტაპიან პროცესს, რომელშიც თბოგადაცემის განსვავებული მექანიზმებია წამყვანი. პირველი ეტაპია ხურების ზედაპირზე მემბრანის მიერ მიტანილი სითხის დუღილის წერტილამდე გახურება, რომელშიც წამყვან როლს არასტაციონერული თბოგამტარობა ასრულებს. მეორეა დუღილის წერტილამდე მიყვანილი სითხის სრული აურთქლება, რომელშიაც წამყვანი უშუალოდ დარტყმითი დუღილის მექანიზმია. ექსპერიმენტული კვლევა ჩატარდა ჩვენს მიერ დამუშავებული ახალი ტიპის დაბალპოტენციურ სითბოზე მომუშავე აორთქლება-კონდენსაციის პროცესებზე დაფუძნებული თბურამძრავიანი პულსაციური ტუმბოს (თბტ) ექსპერიმენტული ნიმუშის ბაზაზე, რომლის მუშა ციკლის ერთერთ სტადიასაც სწორედ დარტყმითი დუღილის პროცესი წარმოადგენს. კვლევის ეს ნაწილი მოიცავდა პროცესის ძირითადი რეჟიმული პარამეტრების ხურების ზედაპირის ტემპერატურისა და მუშა კამერაში ორთქლის წნევის პულსაციურ ცვლილებათა რეგისტრაციასა და ანალიზს. ექსპერიმენტში მიღებულმა შედეგებმა დაადასტურა დამუშავებული მოდელის მიერ დარტყმითი დუღილის პროცესის პარამეტრების დინამიკის აღწერის მისაღები სიზუსტე.

საკვანძო სიტყვები: ხურების ზედაპირი, მემბრანა, დარტყმითი დუღილი, თბური ნაკადი, თბოგადაცემის კოეფიციენტი.

შესავალი

დაბალი ტემპერატურული პოტენცი-
ალის მქონე იაფფასიანი სითბოს წყაროების
ეფექტური გამოყენების პრობლემა
ერთერთია თანამედროვე ენერგეტიკის
განვითარების მრავალ მნიშვნელოვან
მიმართულებათა შორის. ასეთი წყაროებია,
მაგალითად გეოთერმალური სითბო, მზის
ბრტყელი კოლექტორის სითბო, რიგი
ენერგეტიკული ან ტენოლოგიური
პროცესის ნარჩენი (მეორადი) სითბო,
რომელიც არამარტო იკარგება გარემოში,
არამედ დამატებით მას თბურადაც აბინ-

ბურებს.

ტექნოლოგიურ მეორად ენერგორე-
სურსებს მიეკუთვნება აგრეთვე სხვადასხვა
ნარჩენებიდან დამზადებული საწვავი,
სხვადასხვა გაზების და სითხეების დაბალ-
პოტენციური და გარემოში დაკარგული
სითბო და გარკვეული წნევის მქონე
გაზების გარემოში დაკარგული
პოტენციური ენერჯია. მასშტაბური, მაგრამ
ძნელად გამოსაყენები მეორადი რესურსია
უამრავ სატრანსპორტო საშუალებათა
ძრავების გამონაბოლქვი აირები, თუმცა
გარკვეულ წილად ამ პრობლემას ჩვენი

კვლევა მაინც ეხმაურება.

წინა პერიოდში ჩვენს მიერ დამუშავებული იყო დაბალპოტენციურ სითბოზე მომუშავე აორთქლება-კონდენსაციის პროცესებზე დაფუძნებული თბურ-ამპრავიანი პულსაციური ტუმბო (თპტ), რომლის პერსპექტიულობაც რიგი პროტოტიპის რეალიზაციისა და გამოცდის შედეგებით არის დადასტურებული [1-7].

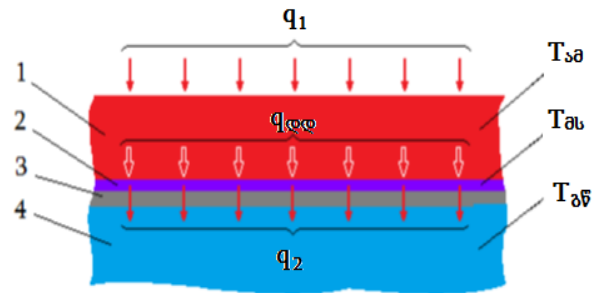
თპტ-ის გამოყენების პრიორიტეტულ პერსპექტიულ მიმართულებად ორი ათეული წლის წინათ ჩვენს მიერ დასახულ იქნა ენერგოქსელებიდან მოშორებულ ზონებში მზის ბრტყელი კოლექტორის სითბოს გამოყენებით ჭის წყლის ამოტუმბვის, გაცხელებისა და დაგროვების პრობლემის გადაწყვეტა. მეორე პერსპექტიულ მიმართულებად დაისახა თპტ-ის გამოყენებით სტაციონარულ დიზელის დანადგარის მარგი ქმედების კოეფიციენტის (მქკ-ის) ამაღლება.

აქ იგულისხმება დანადგარის გამაცივებელ კონტურში თბომტარის ცირკულაციის გამონაბოლქვი აირების სითბოს ხარჯზე განხორცილება, რაც ამაჟამად ელექტროენერჯიის გამომუშავების შემცირების ხარჯზე მიიღწევა. სტაციონარულ დანადგარზე საუბარი აქ იმ გარემოებას უკავშირდება, რომ უძრავ (სტაბილურ) პოზიციაში თპტ გაცილებით უფრო საიმედოდ ფუნქციონირებს. რაც შეეხება ტრანსპორტზე გამოყენებული ძრავების დინამიკურ პირობებში თპტ-ის საიმედო ფუნქციონირების უზრუნველყოფას, იგი უფრო რთული ამოცანაა და სერიოზულ შემდგომ დახვეწას მოითხოვს.

განვლილმა პერიოდმა არსებითი ცვლილება შეიტანა პრიორიტეტთა მსგავს განაწილებაში. ფოტოელექტრული ენერჯეტიკის რევოლუციურმა წინსვლამ, რაც მასობრივად წარმოებული ფოტოელექტროპანელების მქკ-ის მკვეთრ ამაღლებაში და ფასების თითქმის ერთი რიგით დაცემაში გამოიხატა, ჭის წყლის გამოყენების ზემოხსენებული პრობლემის გადაწყვეტაში ფოტოელექტროპანელისა და ელექტროტუმბოს კომბინაცია უკონკურენტო გადაწყვეტად აქცია. შესაბა-

ზამისად, თპტ-ის შემდგომ დამუშავებაში პრიორიტეტული სტაციონარულ დიზელის დანადგარის მქკ-ის ამაღლების ამოცანა გახდა. ამასთან. თპტ-ის კვლევა-დამუშავებაში აქმდე მიღწეული პროგრესი სრულიად ძალაში დარჩა, რაც თანაბრად ეხება დარტყმითი დუდილის კვლევაში მიღწეულ შედეგებს.

დარტყმითი დუდილის მათემატიკური მოდელი. პროცესის მათემატიკური მოდელირების მიზანია თპტ-ის მუშა ციკლის იმ ეტაპის პარამეტრების განაგარიშება, რომელიც ამაორთქლებლის ხურების ზედაპირზე (მუშა საკნის სახურავის ქვედა მხარე) მემბრანის დაჯახებისა და შედეგად თხევადი მუშა აგენტის გარკვეული მასის მიტანის მომენტიდან იწყება და საბოლოოდ ამ მასის სრული აორთქლებით მთავრდება. საუბარია პროცესის დროში მიმდინარეობის დინამიკის აღწერაზე და დახარჯული ენერჯიის რაოდენობის განსაზღვრაზე. დარტყმითი დუდილის პროცესის პრინციპული თბური სქემა (ეტაპის საწყისი მომენტისათვის) მოცემულია ნახ. 1-ზე.



ნახ. 1. თპტ-ის მუშა საკანში დარტყმითი დუდილის ეტაპის პრინციპული თბური სქემა (ეტაპის საწყისი მომენტი):
 1 – ამაორთქლებელი (ამ); 2 – მუშა სითხე (მს); 3 – დრეკადი მემბრანა (დიაფრაგმა); 4 – გამაგრილებელი (გადასატუმბი) წყალი (გწ)

მოდელის დამუშავებისას გაკეთებულია რიგი დაშვებები, რომელიც პროცესის თავისებურებათა თვისებრივ ანალიზს ეფუძნება.

პირველ რიგში უნდა შევჩერდეთ საკნის სახურავის, ანუ ამორთქლებლის ფუნქციონირების თავისებურებებზე, რომელსაც, თბტ-ის ეფექტური მუშაობის ამოცანიდან გამომდინარე, გარე გამხურებლიდან დროში თანაბრად მიწოდებული სითბოს აკუმულაცია და დაგროვებული სითბოს მეტად მოკლე შუალედებში დარტყმით დუდილზე წარმართვა მოეთხოვება. ამის გამო იგი საკმარისად მასიურია (10 მმ-მდე სისქით) და მაღალი თბოგამტარობის მქონე მასალისაგან არის დამზადებული (როგორც წესი, სპილენძისაგან, მინიმუმ ალუმინისაგან).

მოყვანილი გარემოება საშუალებას იძლევა q_დ-ის მნიშვნელობა კარგ მიახლოებაში მხოლოდ დროის შედარებით დიდ მონაკვეთზე q₁-ის ხარჯზე დაგროვებულ სითბოთი განისაზღვროს და მასთან შედარებით q₁-ის მყისიერი წვლილი უმნიშვნელოდ ჩაითვალოს.

შემდეგი თავისებურება სქემის ქვედა ნაწილში იჩენს თავს. კერძოდ, ჩვენი ანალიზის მთავარი ობიექტი (მს-ის ფენა 2), რომელიც სითბოს წყაროსთან (ამორთქლებელთან 1) იდეალურ თერმულ კონტაქტშია, საკმარისად სუსტად ცივდება ქვემოდან, რაც თბტ-ის ეფექტური ფუნქციონირებისათვის დადებითი მომენტია.

აქ სითბომ ჯერ უნდა გააღწიოს მემბრანაში, რომელიც დაბალი თბოგამტარობის მქონე მასალისაგან მზადდება, და მერე გადავიდეს გადასატუმბ წყალში, რომელშიც ამ კონკრეტულ სიტუაციაში თავისუფალი კონვექცია ვერ ვითარდება (შემთბარი წყალი მემბრანის ქვეშ გროვდება და მერე იქ უძრავად რჩება). ასეთ პირობებში სითბო წყალში მხოლოდ თბოგამტარობით ვრცელდება, რაც ფრიად ნელი პროცესია (სპილენძთან შედარებით წყლის თბოგამტარობა თითქმის სამი რიგით დაბალია).

ეს გარემოება მოდელირების დამატებითი გამარტივების საშუალებას იძლევა, q_დ-თან შედარებით ახლა უკვე q₂-ის მნიშვნელობის უგულვეყოფის გზით.

ამგვარად, ასეთი დაშვებების შედეგად შესაძლებელი ხდება განსახილველ პროცესში სითბის ფენის 2 ერთჯერადი გახურებისა და შემდგომი სრული ამორთქლების თბური ბალანსი მხოლოდ ამორთქლებლის მასის მიერ ასევე ერთჯერადად დაგროვებულ სითბოს დაგუკავშიროთ.

თბოგადაცემის ამოცანა ორშრიან ბრტყელ კედელში სითბოს არასტაციონარული თბოგამტარობით გავრცელებაზე დადის, სადაც ერთ შრეს ამორთქლებელი ქმნის, ხოლო მეორეს თვით მუშა სითბე. პროცესი საბოლოოდ თხევადი შრის სრული ამორთქლებით მთავრდება. ამავე დროს, წინასწარ ცნობილია ორივე შრის საწყისი ტემპერატურები, მათი მასები, გეომეტრიული ზომები და თბოფიზიკური მახასიათებლები, მუშა ციკლში წნევის მინიმალური და მაქსიმალური მნიშვნელობები.

ანალიზს ვატარებთ თანმიმდევრული მიახლოების მეთოდის გამოყენებით. პროცესის მთლიან ხანგრძლივობას ვყოფთ n მოკლე პერიოდად და მთლიან სურათს ასეთი პერიოდების ანალიზის შედეგების შეჯამების გზით ვადგენთ. მიდგომა საშუალებას იძლევა თვითოეულ ხანმოკლე ეპიზოდში თბოგამტარობის პროცესი სტაციონარულად ჩავთვალოთ და მიღებული საბოლოო შედეგების მისაღები სიზუსტე n-ის საკმარისად დიდი მნიშვნელობით უზრუნველვყოთ.

ამ მიზნით ტარდება თანმიმდევრული გადაანგარიშებები n-ის ზრდით, საბოლოო შედეგებზე ასეთი იტერაციების გავლენის შეწყვეტამდე.

სპილენძის თბოგამტარობის მრავალჯერადი მეტობის გამო თვითოეულ ეპიზოდში ამორთქლებელი იზოთერმულად განიხილება, ძირითად თერმულ წინაღობად კი სითბის შრე ითვლება საშუალო (შუა კვეთის) ტემპერატურით (t_შ) ხასიათდება.

ყოველივე ჩამოთვლილის გათვალისწინებით საწყის, დუდილის წერტილამდე გახურების პერიოდის n ეპიზოდში კონტაქტის ზედაპირის გავლით

ამორთქლებლიდან თხევადი შრისათვის გადაცემული სითბოსათვის (Q_{n1}) შემდეგ მარტივ განტოლებას ვღებულობთ.:

$$Q_{n1} = \lambda \frac{F \tau (t_{sn} - t_{შრn})}{\delta_n/2} \quad (1)$$

სადაც λ - სითბოს თბოგამტარობის კოეფიციენტი; F - შრეებს შორის კონტაქტის ფართობი; τ - ეპიზოდის ხანგრძლივობა; t_{sn} - ამორთქლებლის ტემპერატურა n ეპიზოდის დაწყებისას; $t_{შრn}$ - სითხის შრის საშუალო ტემპერატურა n ეპიზოდის დაწყებისას; δ - სითხის შრის სისქე (დუღილის წერტილის მიღწევამდე $\delta_n = \delta_0 - \text{const}$).

აქ სითხის შრის სისქის ნახევრის შეტანა და, ასევე, ზემოთ შრის დამახასიათებელ ტემპერატურად შუა კვითის ტემპერატურის მიღება იმ გარემოებას უკავშირდება, რომ შესული სითბო მთელ შრეში ნაწილდება და მთლიანობაში საშუალოდ შრის სისქის ნახევრის მანძილზე ვრცელდება.

ანალიზის შედეგად ვღებულობთ ამორთქლებლისა (t_{sn}) და თხევადი შრის ($t_{შრn}$) ტემპერატურების განმსაზღვრელ განტოლებებს n ეპიზოდის ბოლოსათვის (ანუ $n+1$ ეპიზოდის დასაწყისისათვის):

$$t_{sn+1} = t_{sn} - \frac{Q_{n1}}{C_s M_s} \quad (2)$$

სადაც C_s - ამორთქლებლის მასალის (სპილენძის) კუთრი თბოტევადობა; M_s - ამორთქლებლის მასა.

$$t_{შრn+1} = t_{შრn} + \frac{Q_n}{C_{შრ} M_{შრ}} \quad (3)$$

სადაც $C_{შრ}$ - სითხის კუთრი თბოტევადობა, $M_{შრ}$ არის შრეში სითხის მასა.

მსგავსი პროცესი გრძელდება დარტყმითი დუღილის დაწყებამდე, რომლის ათვლის წერტილადაც მიღებულია ნაჯერობის ტემპერატურის მიმართ სითხის 5 °C-ით გადახურება.

ამ მომენტიდან ამორთქლებელში აკუმულირებული სითბო მხოლოდ სითხის შრის ამორთქლებაზე მიდის და მორიგ ეპიზოდში ამორთქლებლიდან მიწოდებული სითბო შემდეგნაირად განისაზღვრება:

$$Q_{n2} = \alpha F \tau (t_{sn} - t_s) \quad (4)$$

სადაც t_s - სითხის დუღილის ტემპერატურაა, ხოლო α - დარტყმითი დუღილის თბოგაცემის კოეფიციენტი.

ამორთქლებლის ზელაპირზე დარტყმითი დუღილის თბოგაცემის კოეფიციენტი განისაზღვრება შეყრილაძისა და რატანის კრიტერიული განტოლებით [8-9]:

$$Nu = 1.22 \cdot 10^{-2} K^{0.7} Re_*^{0.25} \quad (5)$$

სადაც

$$Nu = \frac{\alpha \rho_0}{k} \quad K = \frac{q \rho_0^2 r \rho_g}{\sigma k T_s}$$

$$Re_{*,s} = \frac{|p(v_g - v)|^{0.5} C_p \sigma p T_s}{(r \rho_g)^2 \rho_g^2 v}$$

აქ q - კუთრი ხვედრითი თბური ნაკადია; ρ_0 - ხურების ზედაპირის ნუკლეაციის ცენტრების საშუალო ეფექტური რადიუსი ($\rho_0 = 5$ მკმ); r - მუშა აგენტის თხევადი ფაზის ამორთქლების სითბო; $\lambda_{სითხ}$ - მუშა აგენტის თხევადი ფაზის თბოგამტარობის კოეფიციენტი; C_p - მუშა აგენტის თხევადი ფაზის კუთრი თბოტევადობა; p და ρ_g , შესაბამისად, მუშა აგენტის თხევადი ფაზისა და მისი ორთქლის სიმკვრივეები; σ - მუშა აგენტის თხევადი ფაზის ზედაპირული დაჭიმულობის კოეფიციენტი; T_s - მუშა აგენტის ნაჯერობის ტემპერატურაა მოცემულ წნევაზე; v - მუშა აგენტის თხევადი ფაზის კინემატიკური სიბლანტის კოეფიციენტი.

ეპიზოდებს შორის ათვლის პარამეტრი ბუნებრივად ხდება სითხის შრის დროში მუდმივად კლებადი სისქე, რომლის ნულზე დასვლით პროცესი სრულდება.

ვღებულობთ აგრეთვე ამორთქლებლის ტემპერატურისა და სითხის შრის სისქის განმსაზღვრელ განტოლებებს ამ პერიოდის n ეპიზოდის ბოლოსათვის (ანუ $n+1$ ეპიზოდის დასაწყისისათვის). კერძოდ, ამორთქლებლის შესაბამისი ტემპერატურისათვის გვექნება:

$$t_{sn+1} = t_{sn} - \frac{Q_{n2}}{C_s M_s} \quad (6)$$

ამავე პერიოდის n ეპიზოდის ბოლოსათვის სითხის შრის სისქისათვის გვექნება:

$$\delta_{n+1} = \delta_n - \frac{Q_{n2}}{F \rho r}. \quad (7)$$

დასკვნით ეტაპზე ხორციელდება მოდელის დაპროგრამება რედაქტორ Excel-ში. პროგრამა საშუალებას იძლევა ჩატარდეს დარტყმითი დუდილის პროცესის განხილული ეტაპების თანმიმდევრული გადანგარიშებები გაანალიზებულ ეპიზოდთა რიცხვის (n -ის) თანდათანობითი ზრდით. მსგავსი იტერაციები გრძელდება იმ მომენტამდე, როცა n -ის ზრდა მოდელირების საბოლოო შედეგებს აღარ ცვლის. ხდება ყველა ეპიზოდის შედეგების დაჯამება და პროცესის ისეთი ინტეგრალური პარამეტრების დადგენა, როგორცაა მთლიანად მისი და მისი ნაწილების ხანგრძლივობა და სითბოს ხარჯი მთლიანად მასზე და მის ნაწილებზე.

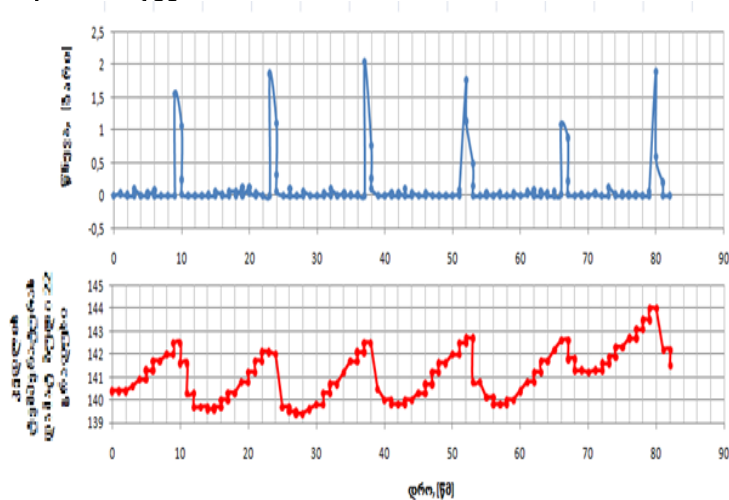
მოდელირების შედეგების ექსპერიმენტული შემოწმება.

ექსპერიმენტული კვლევა ჩატარდა ჩვენს მიერ დამუშავებული ახალი ტიპის დაბალპოტენციურ სითბოზე მომუშავე აორთქლება-კონდენსაციის პროცესებზე დაფუძნებული თბურამძრავიანი პულსაციური ტუმბოს (თპტ) [7] ექსპერიმენტული ნიმუშის ბაზაზე, რომლის მუშა ციკლის ერთერთ სტადიასაც სწორედ დარტყმითი დუდილის პროცესი წარმოადგენს.

წარმოდგენილი მატემატიკური მოდელის მიხედვით ჩვენს მიერ შესრულებული გაანგარიშებით მიღებული შედეგების შესამოწმებლად თპტ-ის ექსპერიმენტული ნიმუშის ამორთქლებელის ხურების ზედაპირიდან დაახლოებით 0,2 მმ სიღრმეზე მოთავსებული იქნა ტემპერატურის გადამწოდი, ხოლო მემბრანის ქვეშ განლაგებულ სატუმბი სითხის მოცულობაში წნევის გადამწოდი.

ამ გადამწოდების მიერ მოწოდებული ინფორმაცია ყოველ ნახევარ წაშში იწერებოდა კომპიუტერის მეხსიერებაში, რომლის მეშვეობითაც ხდებოდა მონაცემთა კომპიუტერული დამუშავება და შესაბამისი გრაფიკების აგება. სწორედ ამგვარად მიღებული შედეგები გვაქვს წარმოდგენილი ნახ. 2-ზე.

წარმოდგენილი მათემატიკური მოდელით გაანგარიშებულ დარტყმითი დუდილის პროცესის ხანგრძლივობას თუ შევადარებთ კედლის ტემპერატურისა და წნევის მნიშვნელობათა ექსპერიმენტების განმავლობაში გაკეთებულ ჩანაწერებზე წნევისა და ტემპერატურის მაქსიმუმებს შორის გავლილ დროის მონაკვეთებს (იხ. ნახ. 2), დავასკვნით, რომ გაანგარიშებით მიღებული ციკლის ხანგრძლივობა უმრავლეს შემთხვევაში დამაკმაყოფილებელი სიზუსტით ($\pm 15\%$) ემთხვევა ექსპერიმენტულ მონაცემებს.



ნახ. 2. თპტ-ში განვითარებული წნევისა და ამორთქლებლის ტემპერატურის ექსპერიმენტული ჩანაწერების ნიმუში

უნდა აღინიშნოს აგრეთვე, რომ მართებული იქნებოდა ჩატარებული ექსპერიმენტი წინასწარ კვლევად ჩაითვალოს, რამდენადაც მისმა უშუალოდ ტუმბოზე რეალიზაციამ პროცესის დეტალური შესწავლის საშუალება ერთგვარად შეზღუდა. მიზანშეწონილია კვლევისათვის სპეციალური ექსპერიმენტული სტენდის შექმნა, პროცესის პარამეტრების უფრო მეტი რიცხვის გაზომვისა და რეგისტრაციის უზრუნველყოფით.

დასკვნა

ჩატარებულია დუდილის პროცესის სპეციფიური სახეობის, ე.წ. დარტყმითი დუდილის მათემატიკური მოდელირება და წინასწარი ექსპერიმენტული კვლევა. მათემატიკურმა მოდელირებამ მოიცვა პროცესის ორი ძირითადი ეტაპი, ხურების ზედაპირზე მიტანილი სითხის დუდილის წერტილამდე გახურება და დუდილის წერტილამდე მიყვანილი სითხის სრული აორთქლება, თბურამბრავიანი პულსაციური ტუმბოს ექსპერიმენტული ნიმუშის ბაზაზე ჩატარებული ექსპერიმენტული კვლევის შედეგებმა დაადასტურა მოდელის მიერ პროცესის დინამიკის დამაკმაყოფილებელი სიზუსტით ასახვა.

მოდელის შემდგომი დახვეწის მიზნით მიზანშეწონილია სპეციალური ექსპერიმენტული სტენდის შექმნა, დარტყმითი დუდილის პროცესის უფრო სრული კვლევისათვის, პარამეტრების უფრო მეტი რიცხვის გაზომვისა და რეგისტრაციის უზრუნველყოფით.

ლიტერატურა

1. Shekrladze I., Machavariani E., Rusishvili J., El-Negiri E., Shekrladze D. Solar Powered Water Pump on the Basis of Pulsating Heat Pipe. Proceedings of the IX International Heat Pipe Confer. May 1-5. 1995. Albuquerque New Mexico. V. II. p. 811-815.

2. Shekrladze I., Machavariani E., Rusishvili J., El-Negiri E., Shekrladze D. Evaporation and Condensation Heat transfer in the Membrane Tape Steam Engine – Pump. International Symposium Heat Transfer Enhancement in Power Machinery (HTERM, 95). Moscow, Russia. May, 1995.
3. Shekrladze I., Machavariani E., Rusishvili J., Goncharov K., Tarabin A. Solar Powered Water Pumping System on the Basis of Loop Heat Pipe and Thermal Powered Membrane Pump. Heat Pipe Technology. Theory, Applications and Prospects. Proceedings of the 5-th Inter-nat. Heat Pipes Symposium. Melbourne, Australia, 17-20 November 1996.
4. Shekrladze I., Machavariani J.E., Gigineishvili G., Rusishvili J., Shekrladze D. Solar-Powered Water Pump and Related Problem of Boiling on Downward-Facing Surface. Proceedings of the 9th WSEAS/IASME International Conference on Electric Power Systems, High Voltages, Electric Machines. Genova, Italy. October, 17-19, 2009. pp. 40-45.
5. Shekrladze I., Machavariani J.E., Gigineishvili G., Rusishvili J., Shekrladze D. Flat-Plate Collector with Solar-powered Pump and Problem of Boiling on Downward-facing Surface. WSEAS Transactions on Heat and Mass Transfer. Issue 4, Vol. 4. October 2009. pp. 108-117.
6. Shekrladze I., Machavariani J.E., Gigineishvili G., Rusishvili J., Shekrladze D. Flat-Plate Collector with Solar-Powered Pump. შრომები: გარემოს დაცვა და მდგრადი განვითარება. ტექნ. უნ.-ის გამომცემლობა. თბი-ლისი, 2010 წ. გვ. 395_398.
7. საქართველოს პატენტი. დიაფრაგმიანი ტუმბო. # P 2012 5606 B. 2010.
8. Shekrladze IG, Ratiani GV. On the basic regularities of developed nucleate boiling heat transfer. *Bull. Acad. Sci. Georg. SSR.* 1966;42:145-150.
9. Shekrladze, I.G., “Developed boiling heat transfer”, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 24(5). pp. 795-801. (1981).

MATHEMATICAL MODELING AND EXPERIMENTAL STUDY OF THE SHOCK BOILING PROCESS.

I. Shekriladze, E. Machavariani, G. Gigineishvili, D. Shekriladze.

“Energy”. №3(111). 2024. Tbilisi. p. 46-52. geo. sum geo. engl.rus.

A specific type of boiling process, the so-called Results of mathematical modeling and experimental study of shock boiling. A mathematical model of the process considers shock boiling as a two-stage process in which discrete heat transfer mechanisms are the driving force. The first stage is the heating of the liquid brought to the surface of the roof by the membrane to the boiling point, in which non-stationary heat conduction plays the leading role. The second is the complete evaporation of the liquid brought to the boiling point, in which the percussion boiling mechanism is the driving force. The experimental research was carried out on the basis of the experimental sample of a new type of low-potential heat-operated vaporization-condensation process based on the heat-driven pulse pump (TPT), one of the stages of the working cycle of which is the shock boiling process. This part of the study included the registration and analysis of the main mode parameters of the process, including the temperature of the closing surface and the pulsating changes of the steam pressure in the working chamber. The results obtained in the experiment confirmed the acceptable accuracy of the developed model in describing the dynamics of the shock fermentation process parameters.

Ill. 2, bibl. 9.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА УДАРНОГО КИПЕНИЯ.

И. Шекриладзе, Э. Мачавариани, Г. Гигинеишвили, Д. Шекриладзе.

“Энергия”. № 3(111).2024 . Тбилиси. с. 46-52. груз. реф. груз.англ. рус.

В работе рассматривается определенный тип процесса кипения, известный как, так называемый, - математическое моделирование экспериментального исследования ударного кипения. Математическая модель процесса рассматривает ударное кипение как двухстадийный процесс, в котором движущей силой являются дискретные механизмы теплопередачи. Первая стадия — нагрев жидкости, выведенной на поверхность крыши мембраной, до температуры кипения, в которой ведущую роль играет нестационарная теплопроводность; во второй — полное испарение жидкости, доведенной до температуры кипения, в которой движущей силой является ударный механизм кипения. Исследования проводились на основе экспериментального образца нового типа низкопотенциального теплоуправляемого процесса испарения - конденсации на основе теплового импульсного насоса (ТИПН), одним из этапов рабочего цикла которого является процесс ударного кипения. В данной части исследования была проведена регистрация и анализ основных режимных параметров процесса, в том числе температуры замыкающей поверхности и пульсационных изменений давления пара в рабочей камере. Полученные в ходе эксперимента результаты подтвердили приемлемую точность разработанной модели в описании динамики параметров процесса ударной ферментации.

Илл. 2, лит. 9 назв.

ასფალტბეტონის დეფორმაციული თვისებები

არჩილ ჩიქოვანი - პროფესორი

E-mail: a.chikovani@gtu.ge

ზურაბ ციციშვილი - პროფესორი

E-mail: z.tsitskishvili@gtu.ge

ვახტანგ ჩხეთია - ასისტენტ-პროფესორი

E-mail: v.chkhetia@gtu.ge

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ანოტაცია. განხილულია ასფალტბეტონის უმნიშვნელოვანესი თვისებები: დრეკადობა, პლასტიკურობა, ელასტიკურობა, ცოცვადობა და რელაქსაცია. ამ თვისებების რაოდენობრივი მახასიათებლები მრავალი ფუნქციის ფაქტორებია: ძაბვის სიდიდე, მისი დროში სიჩქარე, ასფალტბეტონის შედგენილობა. ბიტუმის სიბლანტე, სტრუქტურის ფორმირება, დაბერების ხარისხი და ტემპერატურა. ამიტომ, ასფალტბეტონის თვისებები, მრავალჯერადი დატვირთვის ყოველ ცალკეულ შემთხვევაში ფასდება ექსპერიმენტულად, სპეციალური მეთოდებით.

საკვანძო სიტყვები: ასფალტბეტონი, დეფორმაცია, დრეკადობა, პლასტიკურობა, ცოცვადობა, რელაქსაცია, ძაბვა, ტემპერატურა, მრავალჯერადი დატვირთვა, შეუქცევადი დეფორმაცია.

შესავალი

საგზაო-სამშენებლო მასალები შეადგენს მასალების ფართო ჯგუფს, გაერთიანებულს მთელი რიგი თვისებებით, რომელიც განსაზღვრავს მისი გამოყენების შესაძლებლობას საგზაო საფარის კონსტრუქციულ ელემენტებში: საფუძვლებში, ზედაპირულ და ქვედა ფენებში.

ჩქარი დატვირთვის და უცვლელი ტემპერატურის პირობებში ასფალტბეტონი ავლენს უპირატესად დრეკად თვისებებს, ნელა მზარდი და ხანგრძლივი მოქმედებისას – დრეკადპლასტიკურს. ტემპერატურის შემცირების დროს სულ უფრო ხდება დრეკადი და ნაკლებად პლასტიკური. ასფალტბეტონის დრეკად-პლასტიკურ და ბლანტპლასტიკურ თვისებების თანაფარდობა ბიტუმის დაბერების პროცესების მოქმედებით იცვლება: დროთა განმავლობაში

ასფალტბეტონი ხდება უფრო დრეკადი და ხისტი.

ძირითადი ნაწილი

განვიხილოთ ასფალტბეტონის ძირითადი დეფორმაციული მახასიათებლები: დრეკადობა, პლასტიკურობა, ელასტიკურობა, ცოცვადობა, რელაქსაცია.

დრეკადობა ხასიათდება მყისიერი დეფორმაციით, რომელიც წარმოიქმნება დატვირთვის მომენტში და მთლიანად ქრება დატვირთვის შეწყვეტის შემდეგ. ამავდროულად ასფალტბეტონში ამ შემთხვევაში შეიძლება განვითარდეს პლასტიკური დეფორმაციებიც, რომელიც დატვირთვის მოხსნის შემდეგ არ ქრება, დრეკადობის ზღვარზე ან დენადობის ზღვარზე ნაკლები სიდიდის მოქმედი ძაბვის დროს ასფალტბეტონში ვითარდება მხოლოდ დრეკადი და პლასტიკური დეფორმაციებიც, რომელიც დატვირთვის

მოხსნის შემდეგ არ ქრება. დრეკადობის ზღვარზე ან დენადობის ზღვარზე ნაკლები სიდიდის მოქმედი ძაბვის დროს ასფალტბეტონში ვითარდება მხოლოდ დრეკადი და პლასტიკური დეფორმაციები (ნახ. 1).

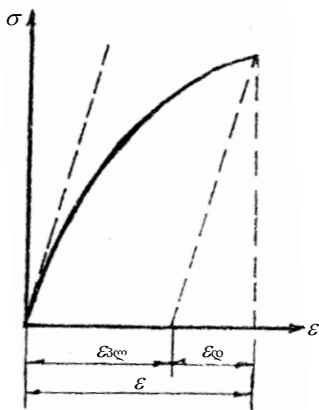
ძაბვის მოხსნისას ($\sigma \rightarrow 0$) მასალის ფორმა აღდგება მხოლოდ დრეკადობის ხარჯზე (ϵ_{el}). საერთო დეფორმაციის აღუდგენელ ნაწილს (ϵ_{pl}), ახასიათებს პლასტიკურობა. დეფორმაციის ამ ნაწილს ასევე უწოდებენ შეუქცევადს. მრავალჯერადი და ხანმოკლე დატვირთვის დროს შეუქცევადი პლასტიკური დეფორმაციები გროვდება „დატვირთვა-განტვირთვის“ ერთი ციკლიდან მეორემდე და გარკვეულ სიდიდეზე საბოლოო ანგარიშით შეიძლება გამოიწვიოს მასალის მთლიანობის დაშლა (დადლილობითი რღვევა).

მეტი ან ნაკლები ხანგრძლივობის დატვირთვის მოქმედებისას ასფალტბეტონში მყისიერი დრეკადი და პლასტიკური დეფორმაციების გარდა

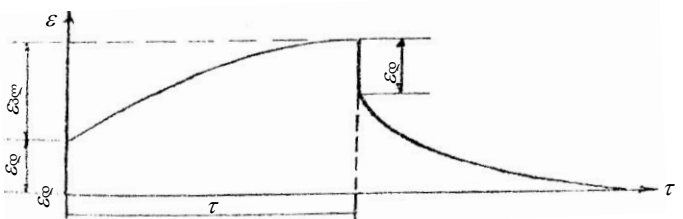
ვითარდება ელასტიკურობის და ცოცვადობის დროებითი დეფორმაციები (ნახ. 2).

ელასტიკური დეფორმაციები – ესაა დრეკადი დეფორმაცია, რომელიც ვითარდება დატვირთვის მოქმედების მიმდინარეობის დროს. ის ვითარდება მყისიერი დრეკად დეფორმაციებთან დროში შეფარდებითი ჩამორჩენით. დატვირთვის მოხსნის დროს ელასტიკური დეფორმაციები ქრება, გარკვეული დროის განმავლობაში. ამასთან დაკავშირებით მათ ასევე უწოდებენ დრეკად მერმექმედების დეფორმაციებს.

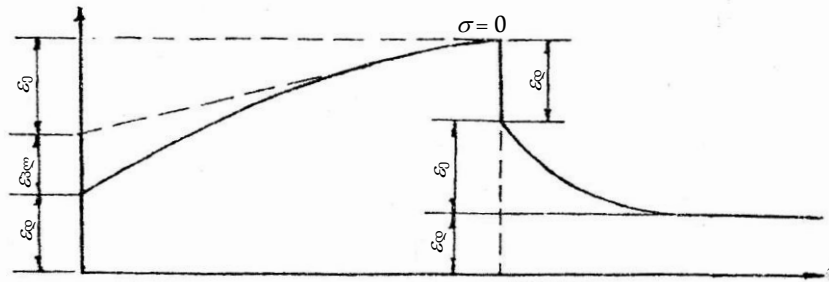
დენადობის ზღვარზე მეტი და საკმაოდ ხანგრძლივი დროით (რომელიც აჭარბებს ელასტიკური დეფორმაციების სრული განვითარების დროს) დატვირთვისას, მასალაში ჩნდება ბლანტი და პლასტიკური დენადობის დეფორმაციები, რომლებიც შეუქცევადია. ამ დეფორმაციებს ეწოდებათ ცოცვადობის დეფორმაციები (ნახ. 3).



ნახ. 1. მყისიერი დეფორმაციების დიაგრამა: ϵ – საერთო მყისიერი დეფორმაცია; ϵ_{el} – დრეკადი დეფორმაცია; ϵ_{pl} – პლასტიკური დეფორმაცია



ნახ. 2. დენადობის ზღვარზე ნაკლები დატვირთვის დეფორმაციები: ϵ_{el} , ϵ_{pl} – დრეკადი და ელასტიკური დეფორმაციები



ნახ. 3. დეფორმაციის განვითარება დენადობის ზღვარს გადაჭარბებული დატვირთვის დროს: $\epsilon_{ელ}$, $\epsilon_{პლ}$, $\epsilon_{დრ}$ – დრეკადი, ელასტიკური და მთლიანი ნარჩენი დეფორმაცია (პლასტიკური და ცოცვადობის)

ასფალტბეტონის ქვიშით და ღორღით (ხრეშით) გაჯერების დონის მიხედვით ფარდობა შექცევად და შეუქცევად დეფორმაციებს შორის იცვლება. ასე, მაგალითად, ქვიშის წვრილდისპერსიული ფრაქციის დამატებით (მარცვლები 1,25 მმ-მდე), დრეკადობის მოდული მცირდება, ასფალტემკვრელის შემდგომი გაჯერება უფრო მსხვილი მარცვლებით, რომელიც აყალიბებს ხისტ მინერალურ კარკასს, ხელს უწყობს სისტემის დრეკადობის ამადლებას.

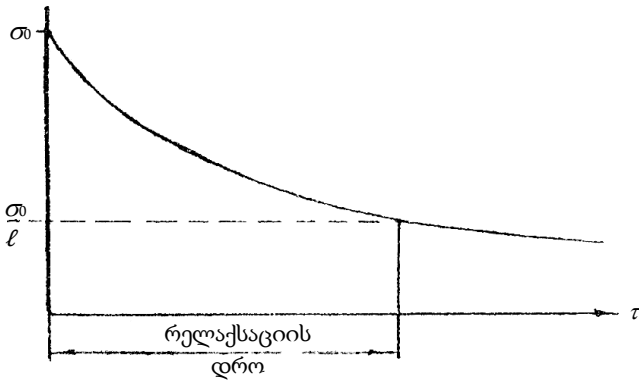
ასფალტბეტონის დეფორმირების მნიშვნელოვანი მახასიათებელია ცოცვადობა, ე.ი. შეუქცევადი დეფორმირება ხანგრძლივი დატვირთვის მოქმედებით. ცოცვადობა – ესაა პლასტიკური დეფორმაციის სახესხვაობა, რომელიც დროში ვითარდება. ასფალტბეტონის ცოცვადობის (და პლასტიკურობის) მექანიზმი ძირითადად დამოკიდებულია ბიტუმის ბლანტპლასტიკურ თვისებებზე. ძაბვის მოქმედების შედეგად ხდება მინერალური მარცვლების გადაადგილება, ამასთან ბიტუმი, რომელიც მათ აკავშირებს, დეფორმირდება ბლანტპლასტიკურად. დატვირთვის შეწყვეტის შემდეგ ფიქსირდება მარცვლების ახალი ურთიერთგანლაგება. სისტემის ზოგიერთი ფორმის აღდგენა განპირობე-

ბულია ელასტიკურობით, რომელიც სიდიდით გაცილებით ნაკლებია დეფორმაციის შეუქცევად ნაწილზე.

ასფალტბეტონის ცოცვადობა დამოკიდებულია არა მარტო მოქმედ დატვირთვაზე, არამედ ტემპერატურაზეც. ტემპერატურის მატებით ასფალტბეტონის ცოცვადობა იზრდება, რაც საფარზე – დამუხრუჭების და გაჩერების ადგილებში თიას და ტალღების წარმოშობის ერთ-ერთი მიზეზია.

ასფალტბეტონის საფარის მუშაობის პირობების სწორი გაგებისათვის აუცილებელია განვიხილოთ ძაბვის რელაქსაციის საკითხი, რადგან საგზაო-სამშენებლო მასალებში ასფალტბეტონი წარმოადგენს რელაქსირებადი მასალის ნათელ წარმომადგენელს.

ძაბვის რელაქსაცია – მასალაში ძაბვის თვითნებური შემცირების პროცესია, მუდმივი დეფორმაციის დროს. თუ მასალაში შევქმნით ძაბვას σ_0 , ხოლო ამ ძაბვით გამოწვეულ დეფორმაციას დავაფიქსირებთ და შევინარჩუნებთ მუდმივად τ დროში, მაშინ მასალაში ძაბვა შემცირდება ექსპონენციალური კანონით (ნახ. 4) და მიუახლოვდება ასიმპტოტურად მინიმალურ მნიშვნელობას.



ნახ. 4. ძაბვის რელაქსაციის დიაგრამა

მასალაში წარჩენი ძაბვა იქნება

$$\sigma_\tau = \sigma_0 e^{-\tau k}, \quad (1)$$

სადაც e – ნატურალური ლოგარითმის ფუნქცია; k – რელაქსაციის კონსტანტა; τ – დაკვირვების დრო.

დროს, რომლის განმავლობაში მასალაში ძაბვა მცირდება $e = 2,72$ -ჯერ, ეწოდება რელაქსაციის პერიოდი. ამ მდგომარეობას შეესაბამება

$$\tau k = 1, \quad (2)$$

საიდანაც რელაქსაციის დრო:

$$\tau = \frac{1}{k}. \quad (3)$$

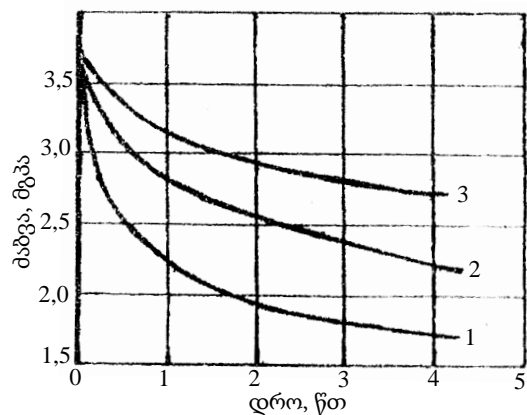
რელაქსაციის კონსტანტა k მასალის ბლანტპლასტიკურ თვისებებზეა დამოკიდებული: მასალა რაც უფრო პლასტიკურია, მით მეტია k . აქედან გამომდინარეობს, რომ ზაფხულში, მაღალ ტემპერატურაზე ასფალტბეტონის რელაქსაციის დრო მცირდება, ხოლო ზამთარში რელაქსაციის დრო მკვეთრად იზრდება.

რელაქსაციის დრო ეს თავისებური შინაგანი სკალაა, რომლითაც განისაზღვრება მასალის ქცევა. თუ დატვირთვის მოქმედების დრო რელაქსაციის დროზე მეტია, მაშინ მასალა იქცევა როგორც ბლანტპლასტიკური, თუ პირიქით – მაშინ როგორც დრეკადბლანტი. ერთი და იგივე ასფალტბეტონმა შეიძლება შეიცვალოს თავისი დეფორმაციული თვისებების მახასიათებლები ფართო საზღვრებში,

ტემპერატურაზე დამოკიდებულებით: ზამთარში ასფალტბეტონი იძენს ძალიან დიდ სიბლანტეს (k -მცირდება). ამიტომ რელაქსაციის დრო დიდია და ბევრად აჭარბებს მასზე მოდებული დატვირთვის ხანგრძლივობას. ამ პირობებში ასფალტბეტონი იქცევა როგორც დრეკადი სხეული, დეფორმაციის შესაბამისი ხასიათით.

ზაფხულში, მაღალ ტემპერატურაზე, ასფალტბეტონის სიბლანტე მკვეთრად მცირდება (k -იზრდება), და შესაბამისად მკვეთრად მცირდება რელაქსაციის დროც, რომელიც ხდება შეპირაპირებული ან მნიშვნელოვნად ნაკლები, დატვირთვის დროსთან შედარებით. ეს იწვევს პლასტიკური დეფორმაციების გამოვლენას.

ასფალტბეტონი ექსპლუატაციის რეალურ პირობებში განიცდის მრავალჯერად დატვირთვებს. ძაბვის რელაქსაციის პროცესი პირველ და შემდგომ დატვირთვებზე არაერთნაირია: პირველი დატვირთვის შემდეგ ძაბვა რელაქსირდება გაცილებით ჩქარა, შემდგომ დატვირთვებთან შედარებით (ნახ. 5).



ნახ. 5. ძაბვის რელაქსაცია ასფალტბეტონში $t = 15^{\circ}\text{C}$ -ზე და პირველადი 3,6 მგპა დატვირთვის დროს:

- 1 – პირველი დატვირთვა; 2 – მეორე დატვირთვა; 3 – მესამე დატვირთვა

საგზაო საფარში მომუშავე ასფალტ-ბეტონის ექსპლუატაციის ერთ-ერთი განსაკუთრებული დამახასიათებელია მრავალჯერადი გამეორებადი დატვირთვა. მიუხედავად იმისა, რომ ეს მცირეხნიანი დატვირთვაა მოსიარულე ტრანსპორტისაგან, ის მაინც ასწრებს გამოიწვიოს პლასტიკური დეფორმაციები, რომელიც გროვდება და საბოლოოდ შეიძლება მიაღწიოს საშიშ სიდიდეს.

შეუქცევადი დეფორმაციების დაგროვების პროცესში შეიძლება პირობითად გამოვეყნოთ სამი ეტაპი: დაწყებით სტადიაში შეუქცევადი დეფორმაციების დაგროვების სიჩქარე იზრდება, შემდეგ ის გარკვეული დროით სტაბილიზირდება, რის შემდეგაც მკვეთრად იზრდება.

შეუქცევადი დეფორმაციების დაგროვების ასეთი ხასიათი დაკავშირებულია მასალის სტრუქტურის ცვლილებასთან, რომელიც გამოწვეულია მცირეხნიანი დატვირთვების მოქმედებით. დატვირთვის პირველ პერიოდში შეუქცევადი დეფორმაციების დაგროვების მაღალი სიჩქარე განპირობებულია ასფალტბეტონის სტრუქტურული ელემენტების გადაჯგუფებით და მისი შემკვრივებით. მეორე პერიოდი ხასიათდება მასალის სტრუქტურის სტაბილიზაციით და მოქმედ დატვირთვებზე მისი მცირე წინააღმდეგობით. მესამე პერიოდისათვის კი დამახასიათებელია შინაგანი დეფორმაციების გამოჩენა და

დაგროვება, მასალის „დაღლილობის“ დადგომა, შეუქცევადი დეფორმაციების ტალღისებრი განვითარება და როგორც შედეგი მასალის დაშლა.

დასკვნა

ამრიგად, ასფალტბეტონის მრავალჯერადი დატვირთვების შეუქცევადი დეფორმაციების დაგროვების პროცესების ხარისხობრივი დახასიათება მრავალი ფაქტორის ფუნქციას: ძაბვის სიდიდე, მისი ზრდის სიჩქარე და მოქმედების დრო, ასფალტბეტონის შემაღენლობა, ბიტუმის სიბლანტე, სტრუქტურის ფორმირების სრულყოფა, ასფალტბეტონის დაბერების ხარისხი და მისი ტემპერატურა. ამიტომ, ასფალტბეტონის მიდრეკილება შეუქცევადი დეფორმაციების დაგროვებისაკენ მრავალჯერადი დატვირთვებისას, ყოველ ცალკეულ შემთხვევაში ფასდება ექსპერიმენტულად, სპეციალური მეთოდიკით.

ლიტერატურა

1. ჩიქოვანი ა. ბეტონის ტექნოლოგია. სტუ. 2015.
2. კლიმიაშვილი ლ., გურგენიძე დ., ჩიქოვანი ა. ბეტონები, ტექნიკური მოთხოვნები, გამოცდის მეთოდები ევროპულ სამშენებლო ნორმებთან შესაბამისობით. სტუ, 2018.
3. კლიმიაშვილი ლ., გურგენიძე დ., ჩიქოვანი ა. ბეტონმცოდნეობა. სტუ. 2021.
4. Барабанщиков Ю.Г. Строительные материалы. М.: КноРус. 2021.

DEFORMATIVE PROPERTIES OF ASPHALT CONCRETE.

Chikovani A., Tsitskishvili Z., Chkhetia V.

“Energy”. №2(110). 2024. Tbilisi. p. 53-58. geo. sum geo. engl.rus.

The most important properties of asphalt concrete are discussed: ductility, plasticity, elasticity, creep and relaxation. The quantitative characteristics of these properties are factors of many functions: the magnitude of the stress, its speed in time, the composition of asphalt concrete. The viscosity of bitumen, the formation of the structure, the degree of aging and temperature. Therefore, the properties of asphalt concrete are evaluated experimentally in each individual case of multiple loading, using a special method.

Ill. 5, bibl. 4.

ДЕФОРМАТИВНЫЕ КАЧЕСТВА АСФАЛЬТОБЕТОНА.

Чиковани А., Цицкишвили З., Чхетиа В.

“Энергия”. № 2(110).2024 . Тбилиси. с. 53-58. груз. реф. груз.англ. рус.

Рассмотрены важнейшие свойства асфальтобетона: упругость, пластичность, эластичность, ползучесть и релаксация. Количественные характеристики этих свойств являются факторами многих функций: величины напряжения, скорости его во времени, состава асфальтобетона. Вязкость битума, структурообразование, степень старения и температура. Поэтому свойства асфальтобетона в каждом случае многократного нагружения оценивают экспериментально с использованием специальной методики.

Илл. 5, лит. 4 назв.

ბატონ გოჩა კობრიძეს
ვ უ ლ ო ც ა ვ თ საიუბილეო თარიღს!



გოჩა კობრიძე დაიბადა ქ. თბილისში, 1970 წლის 6 იანვარს, ინჟინერ-მეცნიერის, საქართველოს ენერგეტიკისა და საინჟინრო აკადემიების აკადემიკოსის, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის (სტუ-ს) დამსახურებული პროფესორ-ემერიტუსის გივი კობრიძის

ოჯახში. 1993 წელს წარჩინებით (წითელ დიპლომზე) დაამთავრა

სტუ-ს ენერგეტიკის ფაკულტეტის სრული კურსი, სპეციალობით „ელექტრო ამბრავი და სამრეწველო დანადგართა ავტომატიზაცია“, ინჟინერ-ელექტრიკოსის კვალიფიკაციით.

შრომითი საქმიანობა დაიწყო 1993-1996 წწ. სტუ-ს კონსტრუქციების დაზიანების და ტექნიკური დიაგნოსტიკის კათედრის უფროსი ლაბორანტის თანამდებობაზე.

შემდგომში: 1996 წ. სს „საქენერგოს“ ოპერატიული მართვის დირექციის დისპეტჩერად.

1996-1998 წწ. სს „საქრუსენერგოს“ გენერალური დირექტორის თანაშემწედ.

1999 წ. სტუ-ს ელექტრო ენერგეტიკის სამეცნიერო-საინჟინრო ცენტრის საქმეთა მმართველად.

1999-2006 წწ. „საქართველოს ელექტროენერჯის საბითუმო ბაზრის“ გენერალური დირექტორის მრჩეველად, მთავარ სპეციალისტად.

2006-2022 წწ. სს „ელექტროენერგეტიკული სისტემის კომერციული ოპერატორის“ აღრიცხვის კონტროლის დეპარტამენტის აუდიტორად.

2022წ. სს „საქართველოს სახელმწიფო ელექტროსისტემის“ კომერციის და ელექტროენერჯის აღრიცხვის დეპარტამენტის ექსპერტ-კონსულტანტად, შემდგომში დეპარტამენტის უფროსის მოადგილედ.

2023 წელს გოჩა კობრიძე არჩეული იქნა საქართველოს ენერგეტიკის აკადემიის ნამდვილ წევრად (აკადემიკოსად).

მისი თანაავტორობით გამოქვეყნებულია 16 საინჟინრო-სამეცნიერო ტექნიკური ნაშრომი ჟურნალ „ენერჯიაში“, საერთაშორისო კონფერენციებში, კონგრესსა და ფორუმებში.

შესრულებული საინჟინრო სამეცნიერო-ტექნიკური ნაშრომები ძირითადად ეხება საქართველოს ელექტროენერგეტიკის დარგში შესრულებული სამუშაოების სახელმწიფო ელექტროსისტემაში მუდმივი დენით ენერჯის მოკლე და შორ მანძილზე

გადაცემის და არატრადიციული, განახლებადი ჰიბრიდული ენერჯიების ელექტრომაგნიტური ენერჯიაში გარდაქმნისა და ქსელთან მიერთების ტექნოლოგიების დამუშავების გლობალურ საკითხებს.

გოჩა კოხრეიძე თანამშრომლებსა და კოლეგებს შორის სარგებლობს ავტორიტეტით. მას ჰყავს მეუღლე და ორი ვაჟი.

ვულოცავთ ბატონ გოჩას დაბადებიდან 55 წლის იუბილეს. ვუსურვებთ ჯანმრთელობას და წარმატებებს მომავალ საქმიანობაში.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
საქართველოს ენერჯეტიკის აკადემია

ხ ს ო ვ ნ ა

პროფესორი არჩილ ყუბანიეშვილი



არჩილ ყუბანიეშვილი საქართველოს სწავლულ მშენებელთა რიგებს კიდევ ერთი ცნობილი ინჟინერი, არჩილ ყუბანიეშვილი გამოაკლდა. იყო ნაღდი თბილისელი, გამორჩეული კაცური ხიბლით, გარეგნობით და წიგნიერებით. უყვარდა ოჯახი, მოლხენა და მეგობრები. არჩილ ყუბანიეშვილი დაიბადა 1937 წლის 15 აგვისტოს. სკოლის წარჩინებით დამთავრების შემდეგ სწავლა თბილისის რკინიგზის ტრანსპორტის ინჟინერთა ინსტიტუტში გააგრძელა, რომლის დამთავრების შემდეგ 1960 წელს დაიწყო არჩილის, როგორც ინჟინერ-მშენებლის წარმატებული მოღვაწეობა. ცნობილი მეცნიერის, სოლომონ ყუბანიეშვილის შვილს თეორიული ცოდნის გაღრმავების სურვილი გაუჩნდა და 1963 წელს სწავლა საქართველოს ჰიდროენერგეტიკისა და ნაგებობათა სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტის ასპირანტურაში დაიწყო. საკანდიდატო დისერტაციის დაცვის შემდეგ იქვე გააგრძელა სამეცნიერო მოღვაწეობა უმცროს, უფროს მეცნიერ თანამშრომლის, განყოფილების ხელმძღვანელის თანამდებობებზე. მისი მოღვაწეობის სფერო მოიცავდა ახალი, პროგრესული კონსტრუქციების დამუშავებას და ენერგეტიკული, სამოქალაქო და სამრეწველო ობიექტების მშენებლობაში დანერგვას. 1988 წელს დაიცვა დისერტაცია ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორის სამეცნიერო ხარისხის მოსაპოვებლად. 1990 წელს მიენიჭა პროფესორის წოდება. არჩილ ყუბანიეშვილის ხელმძღვანელობითა და უშუალო მონაწილეობით დამუშავებულია რვა „სამშენებლო ნორმები და წესები“. გამოქვეყნებული აქვს 100-ზე მეტი სამეცნიერო ნაშრომი, მიღებული აქვს 10 საავტორო მოწოდება და საქართველოს, გერმანიის, აშშ, იაპონიის პატენტები. მისი ხელმძღვანელობით დაცულია ათამდე საკანდიდატო და ორი სადოქტორო დისერტაცია.

ა.ყუბანიეშვილი არჩეული იყო საქართველოს საინჟინრო და ენერგეტიკული აკადემიების წევრად. 1990-2008 წ.წ. იყო საქართველოს ენერგეტიკისა და ენერგეტიკულ ნაგებობათა ს/კ ინსტიტუტის სამეცნიერო ხარისხების მიმნიჭებელი სპეციალიზირებული საბჭოების წევრი. 1988 წლიდან კითხულობდა ლექციების კურსს საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში. ბოლო წლებში თანამშრომლებთან ერთად ატარებდა საქართველოში მშენებარე, მეტად საპასუხისმგებლო ნაგებობებში გამოყენებული სამშენებლო მასალებისა და კონსტრუქციების კვლევას და მათი მახასიათებლების დადგენას. დაჯილდოებული იყო „საქართველოს ღირსების ორდენით“. ვემშვიდობებით ღირსეულ მამულიშვილს.

სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალ „ენერჯიას“-ს რედაქცია

ხ ს ო ვ ნ ა

პროფესორი ირაკლი შეყრილაძე



გარდაიცვალა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის პროფესორი ირაკლი შეყრილაძე.

ი. შეყრილაძე დაიბადა 23.04.1939 წ. ქ. ჭიათურში. 1962 წელს დაამთავრა საქართველოს პოლიტექნიკური ინსტიტუტი სპეციალობით „სამრეწველო თბოენერგეტიკა“. 1965 წელს მიენიჭა ტექნიკის მეცნიერებათა კანდიდატის, ხოლო 1982 წელს ტექნიკის

მეცნიერებათა დოქტორის სამეცნიერო ხარისხი.

ი. შეყრილაძე 1965–1984 წლებში მუშაობდა სტაბილური იზოტოპების სამეცნიერო-კვლევით ინსტიტუტში სხვადასხვა თანამდებობაზე. იყო ამავე ინსტიტუტის თბოფიზიკის ლაბორატორიის გამგე.

1985 წლიდან გარდაცვალებამდე ი. შეყრილაძე იყო საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის პროფესორი. ბ-ნი ირაკლი 1984–1988 წწ. - საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკის ფაკულტეტის თბოტექნიკის თეორიული საფუძვლების კათედრის გამგის, 1988–1995 წწ. თბოფიზიკის კათედრის გამგის, ხოლო 1995–2024წწ. სამშენებლო ფაკულტეტის №105 დეპარტამენტის პროფესორის თანამდებობებზე მუშაობდა. 1995 წელს არჩეულ იქნა საქართველოს ენერგეტიკის აკადემიის აკადემიკოსად.

1999–2007 წლებში ი. შეყრილაძე იყო საერთაშორისო ენერგეტიკული ქარტიის სამდივნოს საექსპერტო ჯგუფის წევრი, 1996–2004 წლებში საქართველოს პარლამენტის ექსპერტი ენერგეტიკაში და მეცნიერებისა და ტექნოლოგიების კომიტეტის დარგობრივი სამეცნიერო საექსპერტო საბჭოს თავმჯდომარე, ხოლო 2004 წლიდან, საქართველოს პარლამენტის ექსპერტ-კონსულტანტი ენერგეტიკაში.

ი. შეყრილაძე ეწეოდა ნაყოფიერ სამეცნიერო-კვლევით საქმიანობას. მისი ძირითადი შრომები ეძღვნება თბოგადაცემის, ჰიდროდინამიკისა და ატმოსფეროს ფიზიკის პრობლემების კვლევას, თბურ მილებზე დაფუძნებული გაცივებისა და თერმორეგულირების სისტემების, ენერგოეფექტურ და განახლებად ენერჯიათა გამომყენებელი მოწყობილობებისა და სტაბილური იზოტოპების ტექნოლოგიების დამუშავებას, წყლის მოძრავი ორთქლის კონდენსაციისა და კაპილარულ ზედაპირებზე მიმდინარე ფაზური გარდაქმნების თეორიის ჩამოყალიბებას.

1964 წელს ი. შეყრილაძემ საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის მოამბეში გამოაქვეყნა სტატია ორთქლის ნაკადის კონდენსაციის ახალი მოდელისა და თეორიის

შესახებ, რომელმაც ფუნდამენტური როლი ითამაშა თბოგადაცემის თეორიის შესაბამისი თავის ჩამოყალიბებაში. აღნიშნული მოდელი და თეორია ასახულია მსოფლიოს წამყვანი ქვეყნებისა და უნივერსიტეტების თბომასაგადაცემის თანამედროვე კურსებში, ცნობარებსა და ენციკლოპედიებში.

ასევე აღსანიშნავია, რომ სითხის დუდილის სფეროში პოტენციური თვისობრივი გარღვევის საფუძველი გახდა მის მიერ 1966 წელს საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის მოამბეში გამოქვეყნებული ნაშრომი ბუმტოვანი დუდილის მექანიზმის შესახებ, რომლის თარგმანიც აშშ-ში ცალკე გამოცემის სახით დაიბეჭდა. აღნიშნული ნაშრომის საფუძველზე, ი. შეყრილაძისა და ჰ. რატიანის მიერ წამოყენებული იქნა დუდილის თბოგადაცემის თვისობრივად ახალი მოდელი და მიღებული იქნა უნივერსალური განტოლება, რომელმაც პირველად აღწერა სითხეთა ყველა ჯგუფის, დაწყებული კრიოგენულიდან დამთავრებული თხევადი ლითონებით, დუდილი. აღნიშნული მოდელი კვლავ ელოდება სრულფასოვან საერთაშორისო აღიარებას.

ი. შეყრილაძეს გამოქვეყნებული აქვს 200-ზე მეტი სამეცნიერო ნაშრომი, თერმოდინამიკისა და თბოგადაცემის დამხმარე სახელმძღვანელოები, სისტემატურად მონაწილეობდა სხვადასხვა საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციისა და კონგრესის მუშაობაში. მისი ხელმძღვანელობით დაცულია 9 დისერტაცია, მათ შორის სამი უცხოელი სპეციალისტების მიერ. მის მიერ გამოქვეყნებული სამეცნიერო ნაშრომების ციტირების ინდექსი 800-ს აჭარბებს.

ი. შეყრილაძის ხსოვნა დიდხანს დარჩება მისი კოლეგებისა და მეგობრების გულში.

კოლეგები და მეგობრები

რედაქციაში სტატიების შიმოტანის წესები

ჟურნალში გამოსაქვეყნებელი სამეცნიერო სტატიებში ექვემდებარება პლაგიატზე შემოწმებას.

ჟურნალის რედაქციაში შემოსატანი მასალა უნდა შეიცავდეს:

სტატიის ტექსტი იწერება ორ სვეტად!

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

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

ფორმულები უნდა აიკრიბოს რედაქტორში: Microsoft Equation 3.0.

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

ნაშრომის სტრუქტურა

პირველ სტრიქონზე:

სტატიის ენაზე სტატიის დასახელება.

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

ერთი სტრიქონის გამოტოვებით:

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

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

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

შემდეგ სტრიქონზე:

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

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

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

ერთი სტრიქონის გამოტოვებით:

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

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

შემდეგ სტრიქონზე:

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

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

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

პირველი იწერება ანოტაცია და საკვანძო სიტყვები სტატიის ენაზე.