

620.9(05)

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

კავშირი  
"მეცნიერება და ენერგეტიკა"

ენერგეტიკა

სამეცნიერო-ტექნიკური  
რეფერირებადი 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.ქევეშიშვილი, ქ.ქუთათელაძე, ა.ჭითანავა, ლ.შატაკიშვილი, ბ.ჭუნაშვილი, ა.ჩიქოვანი, რ.ჩხილაძე, თ.ჯიშკარიანი, ნ.ჩახვაშვილი (პასუხისმგებელი რედაქტორი), ზ.სკვორცოვა (რუსეთი), კ.სეიხანი (თურქეთი), პ.პსაროპულოსი (საბერძნეთი), ა.სარუხანიანი (სომხეთი), ა.კუელიევი (აზერბაიჯანი).

**EDITORIAL BOARD:**

The editor-in-chief – Merab Lordkipanidze

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

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

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:**

Главный редактор – Мераб Лордkipанидзе

Заместитель главного редактора – Шалва Гагошидзе, Григол Хелидзе

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

**ნომრის მომზადებაში მონაწილეობდნენ:**

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

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

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

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

რეგისტრაციის ნომერი № 5<sup>ა</sup> / 4 - 645

© "ენერგია". 2011

www.Energyonline.ge

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 83. |
| <i>თ.მუსელიანი, ბ.ჯინჭველეიშვილი, ა.ყამარაული.</i> ბატარეას ელექტროენერგიის დამაგროვებელი სისტემების გამოყენებით ქვეყნის გადამცემი სისტემის უსაფრთხო მუშაობის უპირატესობები .....                                                                                                                                                    | 5   |
| <i>ევ. მაჭავარიანი, ივ.ბეროშვილი.</i> ინოვაციური ლექცია ენერგიის, მისი ფორმების და მათი ურთიერთგარდაქმნების ესახეზ.....                                                                                                                                                                                                              | 11  |
| <i>გ.კობხრიძე, ზ.გაჩეჩილაძე, გ.ხორბალაძე, გოჩა კობხრიძე.</i> სახელმწიფაო ელექტროსისტემაში მუდმივი დენით ელექტრომაგნიტური ენერგიის ჩანართისა და გადაცემის IGBT-ტრანზისტორული მოდულებიანი ერთიანი გარდამქმნელი სისტემაში დინამიკური პროცესების მათემატიკური და კომპიუტერული მოდელირების მეთოდების დამუშავების თეორიული საფუძვლები..... | 21  |
| <i>გ.ხორბალაძე, ზ.გაჩეჩილაძე, გოჩა კობხრიძე.</i> საქართველოს ენერგოსისტემის მოდელირება 2026 წელს: ქარისა და მზის როლი ენერგეტიკულ უსაფრთხოებაში. . .                                                                                                                                                                                 | 27  |
| <i>ევ.მაჭავარიანი, ივ.ბეროშვილი, გ.მუსელიანი.</i> ბუნებრივი აირის სანთურის სიმძლავრის გაანგარიშების გამარტივებული მეთოდიკა ხის მასალის საშრობი კამერისათვის.....                                                                                                                                                                     | 33  |
| <i>კ.გიორგაძე.</i> ნაწილობრივი განმუხტვით ელექტროტექნიკური მოწყობილობების ტექნიკური მდგომარეობის დიაგნოსტიკის მეთოდების ანალიზი .....                                                                                                                                                                                                | 41  |
| <i>ი.შეყრილაძე, ევ.მაჭავარიანი, გ.გიგინეიშვილი, დ.შეყრილაძე.</i> დარტყმითი დუდილის პროცესის მათემატიკური მოდელირება და ექსპერიმენტული კვლევა.....                                                                                                                                                                                    | 46  |
| <i>ა.ჩიქოვანი, ზ.ციცქიშვილი, ვ.ჩხეტია.</i> ასფალტბეტონის დეფორმაციული თვისებები.....                                                                                                                                                                                                                                                 | 53  |
| <b>პ უ ლ ო ც ა ვ ი</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |     |
| გოჩა კობხრიძეს ვულოცავთ .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 59  |
| <b>ხ ს ო ზ ნ ა</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |     |
| პროფესორ არჩილ ყუბანეიშვილის გახსენება .....                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 61  |
| პროფესორ ირაკლი შეყრილაძეს გახსენება .....                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 62  |
| სტატიების შემოტანის წესები. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 64  |

*თ.მუსელიანი, ბ.ჯინჭველიშვილი, ა.ყამარაული.*

ბატარეას ელექტროენერგიის დამაგროვებელი სისტემების გამოყენებით ქვეყნის გადამცემი სისტემის უსაფრთხო მუშაობის უპირატესობები.

„ენერგია“. №3(111). 2024. თბილისი. გვ. 5-10. ქართ.. ანოტ. ქართ. ინგლ. რუს.

*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.

განხილულია ბატარეას ელექტროენერგიის 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 ელექტროენერგიის დამაგროვებელ სისტემებს, როგორც უკვე ავღნიშნეთ გააჩნია ენერგიის მართვის სისტემა, დროის დაყოვნების გარეშე რეაგირებს შემფოთებებზე.

*ლიტ. 13.*

*ევ. მაჭავარიანი, ივ. ბეროშვილი.*

ინოვაციური ლექცია ენერგიის, მისი ფორმების და მათი ურთიერთგარდაქმნების შესახებ.

„ენერგია“. №3(111). 2024. თბილისი. გვ. 11-20. ქართ.. ანოტ. ქართ. ინგლ. რუს.

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

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

*გ.კობხრიძე, ზ.გაჩეჩილაძე, გ.ხორბალაძე, გოჩა კობხრიძე.*

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

„ენერგია“. №3(111). 2024. თბილისი. გვ. 21-26. ქართ.. ანოტ. ქართ. ინგლ. რუს.

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

ილ. 2, ლიტ. 4.

*გ.ხორბალაძე, ზ.გაჩეჩილაძე, გოჩა კოხრიძე.*

საქართველოს ენერგოსისტემის მოდელირება 2026 წელს: ქარისა და მზის როლი ენერგეტიკულ უსაფრთხოებაში.

„ენერგია“. №3(111). 2024. თბილისი. გვ. 27-32. ქართ.. ანოტ. ქართ. ინგლ. რუს.

*ანოტაცია.* განხილულია და გაანალიზებულია საქართველოს ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში ცვლადი განახლებადი ენერგიის (გგე) ინტეგრაციის გავლენა ელექტროენერგიის ბაზარზე. მოდელირებისთვის გამოყენებულია პროგრამა PLEXOS-ი და პროგნოზი ეფუძნება 2026 წელს. კვლევა აღწერს გგე-ს გაზრდის ზეგავლენას ბაზრის ფასებზე, ელექტროენერგეტიკული სისტემის მდგრადობასა და ქვეყნის ენერგეტიკულ უსაფრთხოებაზე. წარმოდგენილია სხვადასხვა სცენარი, სადაც მზისა და ქარის ენერგიის 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.

ილ. 4, ლიტ. 2.

*ევ.მაჭავარიანი, ივ.ბეროშვილი, ვ.მუსელიანი.*

ბუნებრივი აირის სანთურის სიმძლავრის გაანგარიშების გამარტივებული მეთოდიკა ხის მასალის საშრობი კამერისათვის

„ენერგია“. №3(111). 2024. თბილისი. გვ. 33-40. ქართ.. ანოტ. ქართ. ინგლ. რუს.

*ანოტაცია.* წარმოდგენილია 15 მ<sup>3</sup> 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 მეთოდით 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 მეთოდით ჩატარებული გამოთვლებით მიღებული სიდიდეები დამაკმაყოფილებლად ემთხვევა ექსპერიმენტულად მიღებულ შედეგებს.

ილ. 1, ცხრ. 1, ლიტ. 8.

### კ. გიორგაძე.

ნაწილობრივი განმუხტვით ელექტროტექნიკური მოწყობილობების ტექნიკური მდგომარეობის დიაგნოსტიკის მეთოდების ანალიზი.

„ენერგია“. №3(111). 2024. თბილისი. გვ. 41-45. ქართ.. ანოტ. ქართ. ინგლ. რუს.

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 გადამწოდი.

ილ. 5.

ი. შეყრილაძე, ევ. მაჭავარიანი, გ. გიგინეიშვილი, დ. შეყრილაძე.

დარტყმითი დუდილის პროცესის მათემატიკური მოდელირება და ექსპერიმენტული კვლევა. „ენერგია“. №3(111). 2024. თბილისი. გვ. 46-52. ქართ.. ანოტ. ქართ. ინგლ. რუს.

ანოტაცია. წარმოდგენილია დუდილის პროცესის სპეციფიური სახეობის, ე.წ. დარტყმითი დუდილის მათემატიკური მოდელირებისა და ექსპერიმენტული კვლევის შედეგები. პროცესის მათემატიკური მოდელი განიხილავს დარტყმით დუდილს როგორც ორეტაპიან პროცესს, რომელშიც თბოგადაცემის განსვავებული მექანიზმებია წამყვანი. პირველი ეტაპი ხურების ზედაპირზე მემბრანის მიერ მიტანილი სითხის დუდილის წერტილამდე გახურება, რომელშიც წამყვან როლს არასტაციონერული თბოგამტარობა ასრულებს. მეორეა დუდილის წერტილამდე მიყვანილი სითხის სრული აურთქლება, რომელშიაც წამყვანი უშუალოდ დარტყმითი დუდილის მექანიზმიია. ექსპერიმენტული კვლევა ჩატარდა ჩვენს მიერ დამუშავებული ახალი ტიპის დაბალპოტენციურ სითბოზე მომუშავე აორთქლება-კონდენსაციის პროცესებზე დაფუძნებული თბურამძრავიანი პულსაციური ტუმბოს (თპტ) ექსპერიმენტული ნიმუშის ბაზაზე, რომლის მუშა ციკლის ერთერთ სტადიასაც სწორედ დარტყმითი დუდილის 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 დუდილის პროცესის პარამეტრების დინამიკის აღწერის მისაღები სიზუსტე.

ილ. 2, ლიტ. 9.

*ა.ჩიქოვანი, ზ.ციციშვილი, ვ.ჩხეტია.*

ასფალტბეტონის დეფორმაციული თვისებები.

„ენერგია“. №3(111). 2024. თბილისი. გვ. 53-58. ქართ.. ანოტ. ქართ. ინგლ. რუს.

*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.

*ილ. 5, ლიტ. 4.*