

620.9(05)

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

კავშირი
"მეცნიერება და ენერგეტიკა"

ენერგეტიკა

სამეცნიერო-ტექნიკური რევირეზიული
ჟურნალი

3(99)/2021

თბილისი

ISSN 1512-0120

სარედაქციო კოლეგია:

მთავარი რედაქტორი – მერაბ ლორთქიფანიძე

მთავარი რედაქტორის მოადგილე – შალვა გაგოშიძე

სარედაქციო კოლეგიის წევრები: რ.არველაძე, გ.არაბიძე, ი.ბიჯამოვი, გ.ქაჯაია, ვ.კინკლაძე, ი.კალანდაძე, გ.ლეკიშვილი, ნ.მელაძე, ა.ნადირაძე, დ.ნამგალაძე, ა.ყუბანიშვილი, ა.ჭითანავა, გ.ხელიძე, ა.ჩიქოვანი, ივ.ჩოლოყაშვილი, ნ.ჩახვაშვილი (პასუხისმგებელი რედაქტორი), ვ.ტრასკინი (რუსეთი), ზ.სკვორცოვა (რუსეთი), ა.ალექსეევი (უკრაინა), 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

Editorial board members: R.Arveladze, G.Arabidze, Y.Bijamov, I.Kalandadze, G.Kajaia, V.Kinkladze, A.Kubaneishvili, G.Lekishvili, N.Meladze, A.Nadiradze, D.Namgaladze, G.Khelidze, A.Tshitanava, A.Chikovani, Iv.Cholokashvili, N.Chakhvashvili (managing -editor- in-chief), V.Traskin (Russia), Z.Skvortsova (Russia), A.Alekseev (Ukraine), K.Seyhan (Turkey), P.Psarropoulos (Greece), A.Sarukhanian (Armenia), A.Kuliev (Azerbaijan).

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Главный редактор – Мераб Лордkipанидзе

Заместитель главного редактора – Шалва Гагошидзе

Члены редакционной коллегии: Р.Арвеладзе, Г.Арабидзе, Я.Биджамов, Г.Каджая, А.Кубанейшвили, В.Кинккладзе, И.Каландадзе, Г.Лекишвили, Н.Меладзе, А.Надирадзе, Д.Намгаладзе, Г.Хелидзе, А.Читанова, А.Чиковани, И.Чолокашвили, Н.Чахвашвили (ответственный редактор), В.Траскин (Россия), З.Скворцова (Россия), А.Алексеев (Украина), К.Сейхан (Турция), П.Псаропулос (Греция), А.Саруханян (Армения), А.Кулиев (Азербайджан).

ნომრის მომზადებაში მონაწილეობდნენ:

ტექნ. მეცნიერებათა აკადემიური დოქტორი ნ.ბარაბაძე, ე.ზამბახიძე, ბ.ბურჭულაძე (ნომრის კომპიუტერული აწყობა-დაკავშირება), ი.თუმანიშვილი (ტექსტის რედაქტირება), ს.ბერიძე (ინგლისური ტექსტის მომზადება).

ჟურნალ "ენერჯის" რედაქციის მისამართი: 0179 თბილისი, ი.აბაშიძის 40. ტელ. 218-09-51

The address of the editorial office of journal "Energy": 40, I.Abashidze str., Tbilisi, 0179, Georgia, tel. 218-09-51

Адрес редакции журнала "Энергия": 0179 Грузия, Тбилиси, ул. И.Абашидзе, 40.

тел. 218-09-51

რეგისტრაციის ნომერი № 5^ა / 4 - 645

© "ენერჯია". 2011

www.Energyonline.ge

А.ЧИРАКАДЗЕ, Н.МИТАГВАРИЯ, Н.ЛОМИДЗЕ, М.АМБОКАДЗЕ. Низко-энергетическое опреснение с использованием деионизации аккумуляторного электрода и применение полученной электроактивированной воды в инсектицидных комбинациях на основе наноксида алюминия. 5

თ.მელაშვილი, ბ.ჩუბინიძე, ნ.ვოვოლაშვილი, ი.მურაშვილი, ბ.დარსაველიძე. თერმული დეფექტების წვლილი p-Si+2ატ. %Ge:B შესადნობის ნახევარგამტარულ თვისებებში. 10

თ.კოსრეიძე, მ.ხახანოვი. ამორფულ-ზეგამტარულ შეთავსებულ ტრანსფორმატორულ ძალოვან გამმართველში სტაციონარული პროცესები. 17

თ.კოსრეიძე, მ.ხახანოვი. ამორფულ-ზეგამტარულ შეთავსებულ ტრანსფორმატორულ ძალოვან გამმართველში ელექტრომაგნიტური პროცესები. 22

მ.ამბროპაძე. წყლის ელექტროქიმიური გამტკნარების ენერგოდამზოგი პროცესის პროდუქტების ჟანგვა-აღდგენის (რედოქს-) პოტენციალი და მათი ბიოლოგიური ეფექტიანობა აზიური ფაროსანას წინააღმდეგ. 32

Ш.ГАГОШИДЗЕ. К расчету галоклина в устьях рек предгорного типа. 39

მ.ლორთქიფანიძე, თ.ჯოჯუა, ბ.ხაჩიძე. ქიმიური დანამატებით მოდიფიცირებული ბეტონის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების კვლევა. 46

გ უ ლ ო ც ა ვ თ

აროფუნორ რეკავ არველაძეს ვულოცავთ 80 წლის იუბილეს. 51

სტატიების შემოტანის წესები. 53

ჟურნალი „ენერჯია“

ჟურნალ „ენერჯიის“ რედაქცია ბოდიშს უხდის სტატიის ავტორს, პროფესორ ბატონ გიორგი გიგინეიშვილს დაშვებული მექანიკური შეცდომის გამო, კონფერენციის 2021 წ. (I ნაწ., 2(98)) ნომერში სარჩევს ჩამონათვალში გამორჩენილია მისი გვარი.

НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ОПРЕСНЕНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДЕИОНИЗАЦИИ АККУМУЛЯТОРНОГО ЭЛЕКТРОДА И ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛУЧЕННОЙ ЭЛЕКТРОАКТИВИРОВАННОЙ ВОДЫ В ИНСЕКТИЦИДНЫХ КОМБИНАЦИЯХ НА ОСНОВЕ НАНООКСИДА АЛЮМИНИЯ

Канд. физ.-мат. наук, профессор *АРЧИЛ ЧИРАКАДЗЕ*
Доктор биол. наук, акад. АН Грузии *НОДАР МИТАГВАРИЯ*
Акад. доктор биол. наук, профессор *НИНО ЛОМИДЗЕ*
Докторант *МАЙЯ АМБОКАДЗЕ*

Грузинский технический университет

Аннотация. В работе исследуется один из основных продуктов опреснения умеренно соленой воды в системе деионизации электрода батареи (BDI) (а именно -католитной активированной воды) с целью оценки его потенциала как возможного синергента инсектицидной комбинации для резкого увеличения биологической эффективности. Результаты исследования показали, что на сегодняшний день использование BDI является наиболее эффективным методом опреснения умеренно соленой воды с очень низким энергопотреблением и соответственно низкой стоимостью, а получаемая при этом электро-химически активированная вода может использоваться для повышения эффективности и экологической безопасности пестицидов. Нанооксид алюминия, являясь важным инсектицидным компонентом, скорее всего также является потенциально важным синергентом для высокоэффективных и менее опасных для живой природы комбинированных пестицидов. Однако для точной количественной оценки его синергичности по отношению к другим компонентам требуются дополнительные тщательные исследования.

Ключевые слова: низкоэнергетическое опреснение, деионизация, аккумуляторный электрод, инсектицидные комбинации, нанооксид алюминия.

Введение. Разработка и использование новых электрохимических технологий, в которых применяются емкостные или аккумуляторные электроды, позволяет минимизировать потребность в энергии для опреснения умеренно соленой воды. Когда пара электродов заряжается в системах емкостной деионизации (CDI), катионы связываются с катодом, а анионы - с анодом. Однако при этом приложенные высокие напряжения ($> 1,2$ В) приводят к паразитным реакциям и необратимому окислению электродов. В разработанной недавно системе деионизации электрода батареи (BDI) [1] использовались два идентичных электрода батареи из гексацианоферрата меди (CuHCF), которые высвобождают и связывают катионы. При этом разделение анионов происходит через анионообменную мембрану. Использование в системе приложенного напряжения 0,6 В позволяло избежать паразитных реакций, обеспечивать высокую

способность опреснения электрода (до 100 мг NaCl / г-электрода, 50 мМ притока NaCl) и потреблять существенно меньше энергии, чем при использовании CDI. Одновременное производство опресненных и концентрированных растворов в двух каналах позволяет избежать двухциклового процесса, необходимого для CDI. Установка дополнительных мембран между электродами CuHCF (до трех анионных и двух катионообменных мембран) позволила снизить потребление энергии до 0,02 кВт.ч /м³ (примерно на порядок ниже, чем значения, указанные для CDI), для опреснения притока воды, аналогичного случаю с CDI (соответственно 17 мМ и 25 мМ).

Цель исследования. Вышеуказанные результаты показывают, что использование BDI может быть эффективным методом опреснения умеренно соленой воды с очень низким энергопотреблением. Это обстоятельство может послужить основанием для научных исследований в области разработки высокоэффективных и экологически менее вредных (или - почти безвредных) инсектицидных комбинаций благодаря значительному снижению энергоемкости и стоимости производства пестицидов и регуляторов роста на основе электрохимически активированной опресненной воды [2]. Исследования показали, что биологическая эффективность опресненной электрохимически активированной (анодической и катодической) воды настолько мала, что ею можно пренебречь. Однако активированная вода может проявлять заметную синергию при небольших концентрациях синтетических и минеральных инсектицидов. Следовательно, электрохимически активированная вода может успешно использоваться в инсектицидных комбинациях для повышения их биологической эффективности и снижения их токсичности для нецелевых и полезных насекомых и вообще живой природы и человека [2].

Данное исследование посвящено получению и изучению инсектицидной комбинации на основе гамма-цигалотрина, диметоата, наноксида алюминия, гидроксиэтилцеллюлозы и эмульгатора пестицидов «Эмупест».

Материалы и методы. Исследования проводились на взрослых особях Мраморного клопа (*Halyomorpha halys*) обоего пола, собранных в муниципалитетах Абаша и Сенаки Западной Грузии и предоставленных нам Национальным агентством продовольствия Грузии. Для приготовления инсектицидной комбинации использовалась катодитная вода, полученная опреснением умеренно соленой воды (25 промилле) с помощью системы деионизации электрода батареи (BDI) [1] и препаратов «Вантекс» (гамма-цигалотрин, Швеция), «Димевит» (диметоат, Индия), наноксида

алюминия (Китай), гидроксипропилцеллюлозы НЕС (Украина) и эмульгатора пестицидов «Эмупест» (Украина).

Поиск синергичных комбинаций, их приготовление и исследование зависимости биологической эффективности и острой токсичности препаратов (по отношению к теплокровным млекопитающим) в зависимости от состава проводилось в соответствии с методами, описанными в работах [3-5].

Основные результаты исследования. Результаты, полученные при исследовании наиболее синергичных комбинаций компонентов, приведены в таблице в соотношении к показателям водного раствора препарата «Вантекс» с концентрацией 350 мкл/л (рекомендуемая концентрация препарата при применении против колорадского жука и саранчи). Биологическая эффективность определялась в течение семидневного периода.

Состав исследуемых инсектицидных композиций, их биологическая активность и острая токсичность

Таблица

Препарат	«Вантекс», мкл/л	«Димевит», мкл/л	Нано-оксид алюминия, г/л	НЕС, г/л	«Emupest», мл/л	Католитная вода, %	Биоэффективность, %	Острая токсичность, %
AVD1-1	35	700	120	12	33	1	525	50
AVD1-2	35	700				5	720	60
AVD1-3	35	700				10	580	55
AVD2-4	70	1400				1	780	105
AVD2-5	70	1400				5	910	90
AVD2-6	70	1400				10	835	85

Полученные результаты свидетельствовали о том, что гамма-цигалотрин и диметоат проявляют ярко выраженное действие при соотношении концентрации гамма-цигалотрина и диметоата в области значения 1:20. При добавлении католитной воды в количестве около 5% от общего состава комбинации также наблюдался значительный супер-аддитивный эффект, который практически исчезал при концентрации католитной воды более 10%. Что касается острой токсичности, то она росла сублинейно с увеличением концентрации синтетических инсектицидных компонентов. Это, несомненно, являлось крайне благоприятным фактором для снижения вредного воздействия на живую природу и человека. Предварительное исследование показало, что биоэффективность препаратов немонотонно зависит от содержания наноксида алюминия в комбинации, а токсичность монотонно возрастает с его увеличением. Можно предположить, что немонотонность зависимости

биологической эффективности от концентрации нанooksида алюминия есть следствие его синергичного взаимодействия с другими компонентами комбинации.

Заклучение

Результаты проведенных исследований позволяют сделать следующие выводы: на сегодняшний день использование BDI является наиболее эффективным методом опреснения умеренно соленой воды с очень низким энергопотреблением и соответственно низкой стоимостью, а получаемая при этом электрохимически активированная вода может использоваться для повышения эффективности и экологической безопасности пестицидов; инсектицидные комбинации на основе пиретроидных и фосфорорганических соединений, нанooksида алюминия и активированной воды обладают значительным потенциалом с точки зрения высокой биологической эффективности и экологической и санитарной безопасности; нанooksид алюминия, являясь важным инсектицидным компонентом, скорее всего, тоже является потенциально важным синергентом для высокоэффективных и менее опасных для живой природы комбинированных пестицидов, однако для точной количественной оценки его синергичности с другими компонентами требуются дополнительные исследования.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Kim T., Gorski C. A., Logan B. E. Low Energy Desalination Using Battery Electrode Deionization. *Environ. Sci. Technol. Lett.* 4, 10, 444–449, 2017.
2. ამბოკაძე მ. წყლის ელექტროქიმიური გამტკნარების ენერგოდამზოგი პროცესის პროდუქტების ჟანგვა-აღდგენის (რედოქს-) პოტენციალი და მათი ბიოლოგიური ეფექტიანობა აზიური ფაროსანას წინააღმდეგ/ენერგია. №3(99). თბილისი. 2021.
3. Leskey T. C., Lee D.-H., Short B. D., Wright S. E. Impact of Insecticides on the Invasive Halyomorpha halys (Hemiptera: Pentatomidae): Analysis of Insecticide Lethality// *Journal of Economic Entomology*, 105, 5, 1726-1735. 2012.
4. Chirakadze A., Mitagvaria N., Devdariani M. et al. Development and Testing of Nanoparticles for Treatment of Cancer Cells by Curie Temperature Controlled Magnetic Hyperthermia// *Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences*, 15, 1, 91-98, 2021.
5. Chirakadze A., Mitagvaria N., Jishiashvili D., et al. Microwave synthesis, characterization and testing of acute toxicity of boron nitride nanoparticles by monitoring of behavioral and physiological parameters// *Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences*, 15, 2, 120-126, 2021.

LOW-ENERGY DESALINATION USING DEIONIZATION OF THE BATTERY ELECTRODE AND THE USE OF THE RESULTING ELECTROACTIVATED WATER IN INSECTICIDAL COMBINATIONS BASED ON NANO ALUMINA.

A.Chirakadze, N.Mitagvaria, N.Lomidze, M.Ambokadze. "Energy". №3(99). 2021. Tbilisi. p. 5-9. rus. sum geo. engl.rus.

The reported paper is devoted to the study of one of the main products of the desalination of saline brackish water in the battery electrode deionization (BDI) system (namely, catholyte activated water) in order to assess its potential as a possible synergistic component of the insecticidal combination for a sharp increase in biological effectiveness and environmental safety. The results of the study show that today the use of BDI is the most effective method of desalination of the saline brackish water with very low energy consumption and, accordingly, low cost. The resulting electrochemically activated water can be used to increase the efficiency and environmental safety of pesticides. Nano-alumina, being an important insecticidal component, is most likely also a potentially important synergist for highly effective and less hazardous to wildlife combined pesticides; however, an accurate quantitative assessment of its synergy with other components requires additional research.

Tabl. 1, bibl. 5.

დაბალენერგეტიკული გამტკნარება აკუმულატორული ელექტროდის დეიონიზაციის მეშვეობით და მიღებული ელექტროაქტივირებული წყლის გამოყენება ალუმინის ნანოოქსიდის ბაზაზე დამზადებულ ინსექტიციდურ კომბინაციებში.

ა. ჭირაქაძე, ნ. მითაგვარია, ნ. ლომიძე, მ.ამბოკაძე. "ენერჯია". №3(99). 2021. თბილისი. გვ. 5-9. რუს. ანოტ. ქართ. ინგლ. რუს.

ნაშრომი ეძღვნება ბატარეის აკუმულატორული ელექტროდის დეიონიზაციის (BDI) სისტემაში ზომიერად მარილიანი წყლის გამტკნარების ერთ -ერთი ძირითადი პროდუქტის (კერძოდ, კათოლიტური აქტივირებული წყალი) შესწავლას, რათა შეფასდეს მისი როგორც შესაძლო სინერგიული ინსექტიციდური კომბინაციის ბიოლოგიური ეფექტურობის მკვეთრი გაზრდის სინერგენტის პოტენციალი. კვლევის შედეგებმა აჩვენა, რომ დღეს BDI- ის გამოყენება არის ზომიერად მარილიანი წყლის გამტკნარების ყველაზე პროდუქტიული მეთოდი, რომელიც ხასიათდება ენერჯიის ძალიან დაბალი მოხმარებით და, შესაბამისად, დაბალი ღირებულებით. ამ პროცესის შედეგად მიღებული ელექტროქიმიურად აქტივირებული წყალი (კერძოდ, კათოლიტური წყალი) შეიძლება გამოყენებულ იქნას ინსექტიციდური კომბინაციების ეფექტურობისა და უსაფრთხოების ასამაღლებლად. ნანოალუმინის ოქსიდი, როგორც ინსექტიციდური კომპონენტი, აგრეთვე შეიძლება იყოს პოტენციურად მნიშვნელოვანი სინერგიული მადალეფექტური და ცოცხალი ბუნებისათვის ნაკლებად საშიში პესტიციდების შესაქმნელად, თუმცა კომბინაციების სხვა კომპონენტებთან მისი სინერჯიის ზუსტი რაოდენობრივი შეფასება მოითხოვს დამატებით შრომატევად კვლევას.

ცხრ. 1, ლიტ. 5 დას.

**თერმული დეფექტების წვლილი p -Si+2ატ.%Ge:B შმსადნობის
ნახევარგამტარულ თვისებებში**

მაგისტრი *თათიანა მელაშვილი*
აკადემიური დოქტორი *ბიორბი ჩუბინიძე*
მაგისტრი *ნარბიჯა გომოლაშვილი*
აკადემიური დოქტორი *ია ყურაშვილი*
ფიზ.-მათ. მეცნ. დოქტორი, პროფესორი *ბიორბი ღარსაგველიძე*

სოხუმის ილია ვეკუას ფიზიკა-ტექნიკის ინსტიტუტი, თბილისი.

ანოტაცია. გამოვლენილია მაღალ ტემპერატურებზე თერმული ვაკუუმური მოწვების გავლენით მონოკრისტალური (111) ორიენტაციის p -Si+2ატ.%Ge:B ფუძეშრეების ელექტროფიზიკური და ინფრაწითელი გამოსხივების შთანთქმის სპექტრების მახასიათებლების არამონოტონური ცვლილებები. ნაჩვენებია ოპტიკურად აქტიური პოზიციებიდან ჩანერგვის პოზიციებში არსებული ჟანგბადისა და ჩანაცვლების პოზიციებში განთავსებული ნახშირბადის ატომების გადანაწილება თერმული წარმოშობის დეფექტებში. მაღალ ტემპერატურებზე თერმული მოწვებით დისოციაციას განიცდიან თერმული დეფექტების მნიშვნელოვანი ნაწილი, რის შედეგადაც ადგილი აქვს ძირითად ოპტიკურად აქტიურ პოზიციებში ჟანგბადისა და ნახშირბადის შემცველობის ამაღლების გამოვლინებას ელექტრული თვისებებისა და ინფრაწითელ დიაპაზონში ოპტიკური შთანთქმის მაქსიმუმების ინტენსივობის ცვლილებებში. მიღებული შედეგები მნიშვნელოვანია SiGe შენადნობების საფუძველზე მართვადი მახასიათებლების ნახევარგამტარული მასალებისა და ხელსაწყოების შექმნის პრობლემისათვის.

საკვანძო სიტყვები: *სილიციუმ-გერმანიუმის ფუძეშრე, ელექტრული ძვრადობა, ოპტიკური აქტიურობა, შთანთქმის კოეფიციენტი, თერმული მოწვა.*

უკანასკნელ პერიოდში მიკრო- და ნანოელექტრონიკის მოწყობილობებში ფართო გამოყენებას პოულობს მეტად მცირე ზომების p - n სტრუქტურები, რომელთა მუშაობის ხანგრძლივობა მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული ნახევარგამტარული მონოკრისტალური ფუძეშრეების ზედაპირული ფენების სტრუქტურულ მდგომარეობაზე [1]. განსაკუთრებული ყურადღება მიპყრობილია მონოკრისტალური SiGe შენადნობების ფუძეშრეებისადმი. მათი ზედაპირული ფენების სტრუქტურაში თავისი წვლილი შეაქვს Ge-ს ატომების განაწილების ხარისხს, რაც ამაღლებული კონცენტრაციების შემთხვევაში შესაძლებელია ხასიათდებოდეს არაერთგვაროვნებით [2]. ასეთ პირობებში იქმნება თერმომექანიკური დამუშავებით ფორმირებული დეფექტების ქვესისტემა ცვალებადი ელექტრული, ოპტიკური და სტრუქტურული მახასიათებლებით. მათი შედგენილობის, მდგრადობისა და აქტივობის მართვის შესაძლებლობების დადგენა წარმოადგენს SiGe შენადნობების საფუძველზე ახალი თაობის მაღალეფექტური ნახევარგამტარული ხელსაწყოებისა და სისტემების დამუშავების აუცილებელ წინაპირობას.

ნაშრომში წარმოდგენილია მაღალტემპერატურებზე თერმულად მომწვარი p-ტიპის Si+2ატ.%Ge:B შენადნობის (111) ორიენტაციის ორმხრივ პოლირებული ფუძეშრეების ელექტროფიზიკური მახასიათებლების ექსპერიმენტული კვლევის შედეგები. კერძოდ, შესწავლილია 10^{-5} ტორი ვაკუუმში მაღალ ტემპერატურებზე 3 სთ-ის განმავლობაში თერმული მოწვის გავლენა ელექტროფიზიკურ მახასიათებლებზე, ინფრაწითელი გამოსხივების შთანთქმის სპექტრების შედგენილობასა და ცალკეული მაქსიმუმების ინტენსივობაზე ოთახის ტემპერატურის პირობებში.

SiGe ფუძეშრეების ელექტროფიზიკური მახასიათებლების გაზომვები განხორციელდა ჰოლის ეფექტის რეგისტრაციით 0,5 ტესლა ინდუქციის მუდმივ მაგნიტურ ველში ვან დერ პაუს მეთოდით Ecopia HMS-3000 სისტემის ხელსაწყოზე. ინფრაწითელი გამოსხივების 3-28 მკმ დიაპაზონში ოპტიკური შთანთქმის სპექტრების რეგისტრაცია სრულდებოდა Agilent 660 FTIR სპექტრომეტრზე.

საცდელი ნიმუში დამზადებულია ალმასის დისკზე ჭრის, ხეხვის და პოლირების სტანდარტული მარშრუტის გამოყენებით. საწყისი ორმხრივ პოლირებული ნიმუშების მიკროსტრუქტურა ხასიათდება 10^4 - $5 \cdot 10^4$ სმ⁻² სიმკვრივის დისლოკაციების ერთგვაროვანი განაწილებით. მოწვის შემდეგ შეინიშნება ქაოსურად განაწილებული შავი ფერის ფიგურები ზომებით 0,5-1 მკმ. მათი რაოდენობა უმნიშვნელოდ მაღალია 900°C ტემპერატურაზე მომწვარ მდგომარეობაში. ამასთან ერთად, შეინიშნება ცალკეული შავი ფერის ფიგურის ზომების 1,5-2-ჯერ გადიდება. აღნიშნული ხასიათის ცვლილებები დაკავშირებულია ნახშირბადისა და ჟანგბადის შემცველი მიკროფაზების წარმოქმნასთან. მათში შესაძლებელია შედიოდნენ კაპილარული დიფუზიით ზედაპირზე ამოსული ტექნოლოგიური მინარევები (Fe, Cu, Al,...) და ვაკანსიები, რომლებიც წარმოიქმნებიან ჭრის, ხეხვისა და პოლირების პროცესებში.

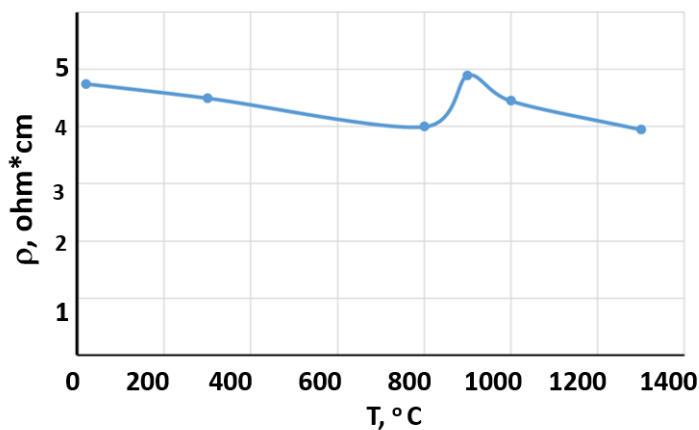
საცდელი SiGe ფუძეშრის ზედაპირზე მიკროფაზების წარმოქმნის მექანიზმსა და მიმდინარეობაზე არსებით გავლენას ახდენს Ge [3]. ცნობილია [4], რომ Ge წარმოქმნის Ge-V კომპლექსებს დაბალტემპერატურებზე. მათი დიდი ნაწილი დისოცირდება შემადგენელ კომპონენტებად ოთახის ტემპერატურაზე. გამოთავისუფლებული ვაკანსია აქტიურად ურთიერთქმედებს O და C მინარევებთან. მიუხედავად დაბალი თერმული მდგრადობისა, Ge-V ასოციაციები ამუხრუჭებენ SiGe ფუძეშრეებში თერმული დონორების წარმოქმნას და აუმჯობესებენ მექანიკურ სიმტკიცეს.

ჩოხრალსკის მეთოდით Si და SiGe შენადნობების მოცულობითი კრისტალების ზრდის პროცესში ფორმირებული ჟანგბადის შემცველი პრეციპიტატების კონცენტრაციის, ზომებისა და მოცულობაში განაწილების მართვა სრულდება მაღალ ტემპერატურებზე (1100-1200°C) ხანგრძლივი მოწვებით [5,6]. მათ შორის არსებული კრიტიკულ რადიუსზე მეტი ზომის დისპერსული ფაზები განიცდიან ზრდას მაშინ, როდესაც მეტად მცირე ზომის

ნაწილაკები იშლებიან და გადადიან მყარ ხსნარში. განსხვავებით ასეთი ტექნოლოგიური წარმოშობის მიკროჩანართებისგან, მექანიკური დამუშავებით წარმოქმნილი დეფექტების კლასტერებისა და პრეციპიტატების გარდაქმნისათვის საკმარისია შედარებით ხანმოკლე (1-5 სთ) თერმული მოწვები ვაკუუმსა და ჰაერის გარემოცვაში.

მართლაც, ორმხრივ პოლირებული $Si+2ატ.\%Ge:B$ ფუძეშრის თერმული მოწვები სხვადასხვა ტემპერატურაზე იწვევენ ელექტროფიზიკური მახასიათებლების არამონოტონურ ცვლილებებს.

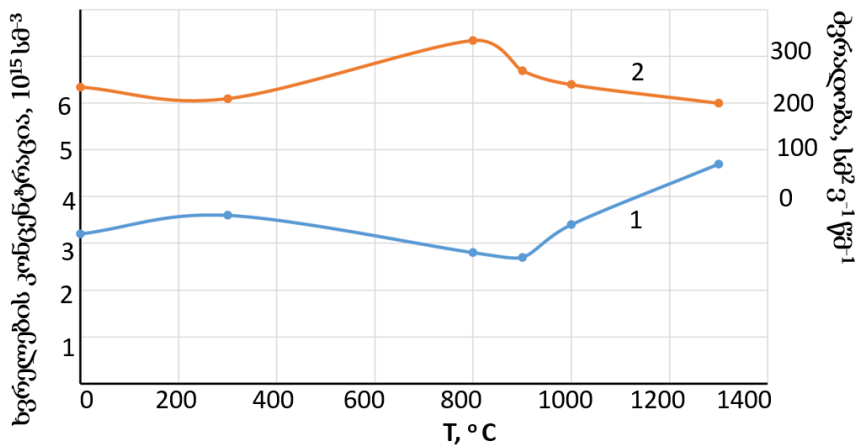
კუთრი ელექტრული წინააღმდეგობა სხვა ელექტროფიზიკური მახასიათებლებისაგან განსხვავებით (დენის მატარებლების სიცოცხლის ხანგრძლივობა, ძვრადობა, კონცენტრაცია, თავისუფალი განარბენის სიგრძე) ნაკლებად მგრძობიარეა თერმულად არამდგრადი დეფექტების სტრუქტურული გარდაქმნებისადმი, რომლებიც აისახებიან ელექტრული მახასიათებლების ცვლილებებში. მიუხედავად აღნიშნულისა, ნათლად ჩანს კუთრი ელექტროწინააღმდეგობის სპეციფიკური ტემპერატურული ცვლილებები. მისი ტემპერატურული ცვლილება $20-800^{\circ}C$ ტემპერატურულ ინტერვალში პრაქტიკულად წრფივია. $900-1000^{\circ}C$ ინტერვალში ფიქსირებულია კუთრი ელექტროწინააღმდეგობის პიკის ფორმის ამალღება, ხოლო $1000-1300^{\circ}C$ ტემპერატურულ ინტერვალში ის წრფივად მცირდება (ნახ. 1).



ნახ. 1. $Si+2ატ.\%Ge:B$ ფუძეშრის კუთრი ელექტროწინააღმდეგობის დამოკიდებულება თერმული მოწვების ტემპერატურაზე

საკუთარი გამტარობის ტემპერატურულ დიაპაზონში კუთრი ელექტრული წინააღმდეგობის არამონოტონური პიკის ფორმით ცვლილება დაკავშირებულია გარდაქმნებთან ნიმუშის ზედაპირულ ფენებში მექანიკური დამუშავებით წარმოქმნილი დეფექტების სტრუქტურაში, რომელშიაც ფორმირდება ახალი ბმები გამტარობის ზონის ელექტრონების მონაწილეობით. $1000^{\circ}C$ ტემპერატურის ზემოთ კუთრი ელექტრული წინააღმდეგობის მდორედ შემცირება განპირობებულია მაღალი ტემპერატურების პირობებში დენის გამტარი ხვრელების კონცენტრაციის ზრდით.

კუთრი ელექტრული წინაღობის „ანომალური“ ამაღლების ტემპერატურულ ინტერვალში დენის მატარებელი ხვრელების კონცენტრაცია მინიმუმამდეა შემცირებული. 1000°C ტემპერატურიდან იწყება მისი მკაფიოდ მატება (ნახ. 2, 1). კრიტიკული 900°C ტემპერატურის არეში დენის მატარებელი ხვრელების ძვრადობა ხასიათდება პიკის ფორმის ნაზრდით (ნახ. 2, 2). ეს ნიშნავს ხვრელების გაბნევის შესუსტებას გადატანით პროცესებში ელექტრულად ნეიტრალური გამბნევი ცენტრების გამრავლების პირობებში.

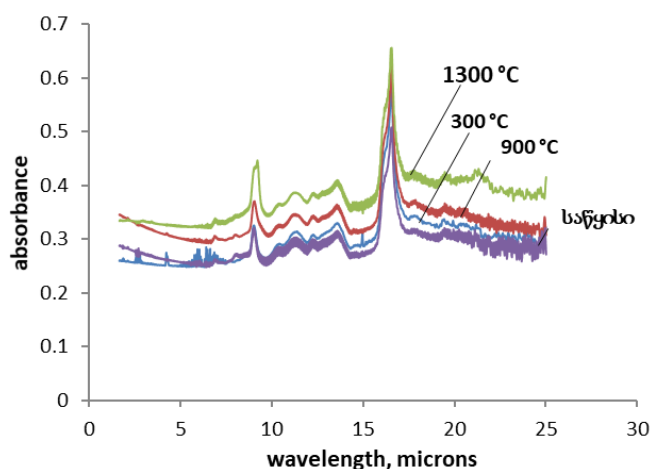


ნახ. 2. ფუძემშრის დენის მატარებელი ხვრელებისა (1) და ძვრადობის (2) დამოკიდებულება თერმული მოწვევის ტემპერატურაზე

თერმული მოწვევით გამოწვეული p-SiGe ფუძემშრის სტრუქტურის ცვლილებები ასახულია ინფრაწითელი გამოსხივების ოპტიკური შთანთქმის სპექტრების მახასიათებლების ცვლილებებში. ნახ. 3-ზე წარმოდგენილია სხვადასხვა ტემპერატურაზე მომწვარი ნიმუშის ოპტიკური შთანთქმის სპექტრები. მასში მკაფიოდ ჩანს ძირითადი ტექნოლოგიური მინარევების (ჟანგბადი, ნახშირბადი) მაქსიმუმების ფორმის, პოზიციისა და ინტენსივობის ცვლილებები. უპირველესად აღსანიშნავია ჟანგბადისა (9მკმ) დანახშირბადის (16,5 მკმ) მაქსიმუმების ინტენსივობის არამონოტონური ცვლილება თერმული მოწვევის ტემპერატურის ამაღლების პირობებში. მახასიათებლების ცვლილებებს განიცდიან O და C-ს მაქსიმუმებს შორის განთავსებული კრისტალური მესრის რხევებთან და VO კომპლექსთან დაკავშირებული მაქსიმუმები. VO კომპლექსი განთავსებულია ~12,5 მკმ ტალღის სიგრძის არეში. მისი წარმომავლობა დაკავშირებულია მექანიკური დამუშავებით ფორმირებული ვაკანსიებისა და ჟანგბადის ჩანერგილი ატომის ასოციაციის თერმულად აქტივირებულ პროცესთან. მაღალ ტემპერატურებზე ($T > 300^\circ\text{C}$) აღნიშნული თერმული წარმოშობის VO დეფექტი ასოცირდება იზოლირებულ ვაკანსიასთან და გარდაიქმნება ამაღლებული თერმული მდგრადობის VO₂ დეფექტად. ცნობილი წყაროების თანახმად [7], მაღალ ტემპერატურებზე (450-500°C) იწყება VO₂ დეფექტის საფუძველზე რთული შედგენილობის V_mO_n კომპლექსების ფორმირება. VO₂ და

V_mO_n დეფექტები ელექტრულად ნეიტრალური არიან. მათ ახასიათებთ მკაფიოდ წარმოჩენილი ოპტიკური აქტიურობა და მნიშვნელოვან როლს ასრულებენ თერმომექანიკურ და კრისტალიზაციის პროცესებში ჩასახული დისლოკაციების ძვრადობის შემცირებაში. ასეთი ხასიათის გარდაქმნები თერმული წარმოშობის დეფექტების სტრუქტურაში იწვევენ SiGe შენადნობის მექანიკური სიმტკიცის ამაღლებას. 1200-1300°C ტემპერატურებზე არამდგრადი კომპლექსები პრაქტიკულად სრულად დისოცირდებიან და მათი შემადგენელი კომპონენტები ჟანგბადისა და ნახშირბადის ატომები უბრუნდებიან კრისტალური მესრის ძირითად პოზიციებს. კერძოდ, ნახშირბადის ატომები განთავსდებიან ჩანაცვლების, ხოლო ჟანგბადის ატომები-ჩანერგვის პოზიციებში. შესაბამისად ვლინდება ინფრაწითელი გამოსხივების სპექტრებში მათთან დაკავშირებული მაქსიმუმების ინტენსივობის ამაღლება.

თერმული მოწვები პრაქტიკულად გავლენას ვერ ახდენენ ფონური გაბნევის ინტენსივობაზე. როგორც ნახ. 3-დან ჩანს, ინფრაწითელი გამოსხივების ტალღის სიგრძის ფართო დიაპაზონში ფონის ინტენსივობა მაღალია. ფონის ფორმირებაში დიდი წვლილი შეაქვთ აბსორბირებულ ატომარულ და მოლეკულურ ნაწილაკებსა და ვაკანსიური წარმოშობის დეფექტებს, რომლებიც მატრიცის ატომების აორთქლებით ფორმირდებიან ზედაპირულ ფენებში მაღალ ტემპერატურებზე მოწვების პროცესებში.



ნახ. 3. თერმული მოწვების გავლენა Si+2ატ.%Ge:B ფუძემშრის ოპტიკური შთანთქმის სპექტრებზე

ექსპერიმენტებში გამოყენებული ინფრაწითელი დიაპაზონის ფურიე-სპექტრომეტრი საშუალებას იძლევა პროგრამული უზრუნველყოფით განისაზღვროს ჟანგბადისა და ნახშირბადის მინარევებთან დაკავშირებული ოპტიკური შთანთქმის მაქსიმუმების ინტენსივობა და შეფასდეს შთანთქმის კოეფიციენტის მნიშვნელობები [8]:

$$\alpha_{max.} = \frac{2.3 A}{d} ,$$

სადაც A - წარმოადგენს შთანთქმის უნარიანობის სიდიდეს, ხოლო d=0,5 სმ არის საცდელი ნიმუშის სისქე.

α-ს და კალიბრების კოეფიციენტის შესაბამისი სიდიდეებით განისაზღვრა O და C ელემენტების კონცენტრაციები შემდეგი თანაფარდობიდან [8]:

$$n = K\alpha_{max.},$$

სადაც K - კალიბრების კოეფიციენტი ოპტიკურად აქტიური ჟანგბადისათვის არის 3.15×10^{17} სმ⁻²[9], ხოლო ნახშირბადისთვის კი - 1.01×10^{17} სმ⁻² [10].

ცხრილში წარმოდგენილია ოპტიკურად აქტიურ პოზიციებში O და C ელემენტების კონცენტრაციები.

თერმული მოწვის გავლენა ოპტიკურად აქტიური მინარეგების კონცენტრაციაზე

ცხრილი

მოწვის ტემპერატურა, °C, 3 სთ	20	300	800	900	1000	1300
ჟანგბადის კონცენტრაცია, სმ ⁻³	3.3×10^{17}	3.6×10^{17}	2.75×10^{17}	2.25×10^{17}	2.6×10^{17}	3.19×10^{17}
ნახშირბადის კონცენტრაცია, სმ ⁻³	1.5×10^{16}	2.5×10^{16}	1.6×10^{16}	0.8×10^{16}	0.95×10^{16}	0.9×10^{16}

ცხრილიდან მკაფიოდ ჩანს, რომ მაღალ ტემპერატურებზე არ ხორციელდება O და C მინარეგების სრული აღდგენა ოპტიკურად აქტიურ ჩანერგვისა (O) და ჩანაცვლების (C) პოზიციებში. შესაძლებელია მაღალ ტემპერატურებზე წარმოიქმნას თერმულად მდგრადი SiO₂ და SiC-ს ტიპის ფაზები, რომელთა დისოციაციისათვის საჭიროა მეტად მაღალი ტემპერატურა (>1500°C). ასევე შესაძლებელია O და C-ს შემცველობის შემცირება ვაკუუმში სუბლიმაციით ამაღლებულ ტემპერატურებზე.

ლიტერატურა

1. Нестеренко А.М., Снитко О.В. Физические свойства атомарно-чистой поверхности полупроводников. Киев:Науковадумка. 1983.
2. Haddara Y.M., Ashburn P., Bagnall D.M.. Silicon-Germanium: Properties, Growth and Applications/ Springer International Publishing AG 2017.In: Springer Handbook of Electronic and Photonic Materials.
3. Hong Li, Daren Yang, Xianguang Ma, Xuegong Yu, Duanlin Que. Germanium effect on oxygen precipitation in Czochralski Silicon//Journal of Applied Physics.Vol. 96. #8. 2004.
4. Sgorou E.N., Timerkaeva D., Londos C.A., Aliprantis D., Chroneos A. Impact of isovalent doping on the trapping of vacancy and interstitial related defects in Si//Journal of Applied Physics. 113. #11. 2013. 113506-1-113506-8.
5. Xuegong Yo, Peng Wang, Daren Yang. Effect of Ge on the kinetics of B-O defect generation and dissociation in Czochralski silicon//Journal of Applied Physics letters. 97. #16. 2010. 162107-1-162107-3.
6. Daren Yang, Peng Wang, XuegongYo, Dualine Que. Ge-doped crysralline Si: A new substrate for photovoltaic application// Journal of Crystal Growth. 362. 2013.

7. Londos C. A., Fytros L.G., Georgiou G. J. IR studies of oxygen-vacancy defects in irradiated Si. Defects diff. Forum. 171-172. 1999. 1-31.
8. Шалимова К.В. Физика полупроводников. М.:Энергия. 1976.
9. Baghdadi A., Bullis W.M., Croakin M.C. *et al.* The interstitial oxygen calibration factor for silicon// J. Electrochem. Soc. 136. 1989. 2015-2024.
10. Regolini J.L. Stroquert J.P. Ganter C and Siffert P. Determination of the conversion factor of carbon in silicon//J. Electrochem. Soc. 133. 1986. 2165-2168.

THE CONTRIBUTION OF THERMAL DEFECTS TO THE SEMICONDUCTING PROPERTIES OF p-Si +2at.%Ge:B ALLOY

T.Melashvili, G.Chubinidze, N.Gogolashvili, I.Kurashvili, G.Darsavelidze. "Energy". №3(99). 2021. Tbilisi. p. 10-16. geo. sum geo. engl.rus.

Nonmonotonic changes in the characteristics of the electrophysical properties and absorption spectra of infrared radiation in p-Si+2at.%Ge:B alloy with (111) orientation have been revealed under the influence of thermal vacuum annealing at high temperatures.

The redistribution of oxygen and carbon atoms from optically active positions of interstitial and substitution into thermal origin defects has been shown. A significant part of thermal defects are dissociated during high-temperature annealing, which results in an increase in the oxygen and carbon content in optically active positions. The results obtained are interesting for the problem of creating semiconductor materials and devices with specified characteristics based on SiGe alloys.

Ill. 3, tabl. 1, bibl.10.

ВКЛАД ТЕРМИЧЕСКИХ ДЕФЕКТОВ В ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ СВОЙСТВА СПЛАВА p-Si+2ат.%Ge:B.

Т. Мелашвили, Г. Чубинидзе, Н. Гоголашвили, И. Курашвили, Г. Дарсавелидзе. "Энергия". №3(99). 2021. Тбилиси. с. 10-16. груз. реф. груз. англ. рус.

Обнаружены немонотонные изменения характеристик электрофизических свойств и спектров поглощения инфракрасного излучения сплава p-Si+2ат.%Ge:B с ориентацией (111) под влиянием термических вакуумных отжигов при высоких температурах. Показано перераспределение атомов кислорода и углерода из оптически активных позиций внедрения и замещения в дефекты термического происхождения. Значительная часть термических дефектов диссоциирует при высокотемпературных отжигах, вследствие чего проявляется увеличение содержания кислорода и углерода в оптически активных позициях. Полученные результаты интересны для решения проблемы создания полупроводниковых материалов и приборов с заданными характеристиками на основе сплавов SiGe.

Илл. 3, табл. 1, лит. 10 назв.

**ამორფულ-ზეგამტარულ შეთავსებულ ტრანსფორმატორულ
ქალოვან გამმართველში სტაციონარული პროცესები**

ტექ. მეცნ. დოქტორი, პროფესორი *თამაზ კონკიძე*
დოქტორანტი *მალხაზ ხახანოვი*

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ანოტაცია. მიღებულია ამორფულ-ზეგამტარულ შეთავსებულ ტრანსფორმატორულ ქალოვან გამმართველში სტაციონარული პროცესების განტოლებები მატრიცულ ფორმაში. განტოლებების ამოხსნის შედეგად მიღებულია გამმართველი ზეგამტარული ტრანსფორმატორის გრაფიკების სიმძლავრეების ძირითადი თანაფარდობები უქმი სვლის რეჟიმში.

დადგენილია, რომ აგზნების გრაფიკი უნდა იკვებებოდეს ძაბვით, რომლის ფაზა უნდა ემთხვეოდეს პირველადი გრაფიკის ძაბვის ფაზას, მაგრამ ის უნდა განსხვავდებოდეს სიდიდის მიხედვით.

ნაჩვენებია, რომ აგზნების გრაფიკის ერთეული სიმძლავრე მოცემული სიგანის დროს განისაზღვრება ამორფული მაგნიტოგამტარში მაგნიტური ველის ინტენსივობით და აგზნების დენის სიმკვრივით და პროპორციულია აღნიშნული სიდიდეების ნამრავლის.

საკვანძო სიტყვები: შეთავსებული, ამორფული, ზეგამტარული, გრიგალური, ჰისტერეზისული.

ამორფულ-ზეგამტარული შეთავსებული ქალოვანი გამმართველის [1,2] განტოლებას მატრიცულ ფორმაში გააჩნია შემდეგი სახე:

$$[u] = [Z][i]$$

სადაც

$$[u] = \begin{bmatrix} u_1 \\ 0 \\ u_B \end{bmatrix}; \quad [i] = \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2' \\ i_B' \end{bmatrix}; \quad (1)$$

$$[Z] = \begin{bmatrix} r_1 + PL_1 & -PM & PkM \\ PM & -(r_2' + PL_2') & PkM \\ PkM & -PkM & r_B' + PL_B' \end{bmatrix}. \quad (2)$$

(1) განტოლების ამონახსნს გააჩნია შემდეგი სახე:

$$[i] = [u][Y]$$

სადაც

$[Y]$ – გამტარობების მატრიცა, შებრუნებულია $[Z]$:

$$[Y] = [Z]^{-1}$$

გამტარობების მატრიცისათვის მივიღებთ შემდეგ მნიშვნელობას:

$$[Y] = \begin{bmatrix} \frac{\Delta_{11}}{\Delta} & -\frac{\Delta_{21}}{\Delta} & \frac{\Delta_{31}}{\Delta} \\ -\frac{\Delta_{12}}{\Delta} & \frac{\Delta_{22}}{\Delta} & -\frac{\Delta_{32}}{\Delta} \\ \frac{\Delta_{13}}{\Delta} & -\frac{\Delta_{23}}{\Delta} & \frac{\Delta_{33}}{\Delta} \end{bmatrix}; \quad (3)$$

Δ – $[Z]$ მატრიცის მსაზღვრელი;

$\Delta_{12} = \Delta_{21}, \Delta_{13} = \Delta_{31}, \Delta_{23} = \Delta_{32}$ – $[Z]$ მატრიცის მსაზღვრელის შესაბამისი მინორები.

აქტიურ-ინდუქციურ დატვირთვაზე გამმართველი ზეგამტარული ტრანსფორმატორის განტოლება სტაციონარულ რეჟიმში მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$\begin{aligned} \underline{U}_1 &= (r_1 + jX_1)L_1 + jX_M I_2' + jkX_M I_B'; \\ 0 &= jX_M L_1 - [r_2' + r_H + j(X_2' + X_H')]I_2' + jkX_M I_B'; \\ \underline{U}_B &= jkX_M L_1 - jkX_M I_2' + (r_B' + jX_B')I_B', \end{aligned} \quad (4)$$

სადაც $k = \frac{\Lambda_B}{\Lambda}$; $\Lambda_B, \Lambda = \Lambda_1 = \Lambda_2 = \Lambda_{12}$ – ტრანსფორმატორის შესაბამისად აგზნების, პირველადი და მეორადი გრაგნილის მაგნიტური გამტარობები.

$$\begin{aligned} X_1 &= X_{S1} + X_M, \\ X_2' &= X_{S2}' + X_M, \\ X_B' &= X_{SB}' + kX_M. \end{aligned}$$

(4) განტოლების საფუძველზე განვიხილოდ უქმი სვლის რეჟიმში ზეგამტარული ტრანსფორმატორის. დაუშვად, რომ ტრანსფორმატორის გრაგნილები იმყოფება ზეგამტარულ მდგომარეობაში, $r_1 = r_2' = 0, I_2' = 0$, მაშინ (4) განტოლებიდან მივიღებთ:

$$\begin{aligned} \underline{U}_1 &= j(X_{S1} + X_M)L_{10} + jkX_M I_B'; \\ \underline{U}_B' &= jkX_M L_{10} + (X_{SB}' + X_M k)I_B'. \end{aligned} \quad (5)$$

(5) განტოლებების ამოხსნის შემდეგ გვექნება:

$$L_{10} = -j \frac{X_{SB}' \underline{U}_1 + kX_M (\underline{U}_1 - \underline{U}_B')}{(X_{S1} + X_M)(X_{SB}' + kX_M) - k^2 X_M^2}; \quad (6)$$

$$I_B' = -j \frac{X_{S1} \underline{U}_B' + X_M (\underline{U}_B' - k\underline{U}_1)}{(X_{S1} + X_M)(X_{SB}' + kX_M) - k^2 X_M^2}. \quad (7)$$

განტოლებიდან მივიღებთ პირობას, მისი მრიცხველის ნულთან განტოლების შემთხვევაში

$$\underline{U}_B = \frac{W_B}{W_1} \left(1 + \frac{1}{k} \frac{X_{SB}}{X_M} \right) \underline{U}_1. \quad (8)$$

აღნიშნულ შემთხვევაში, $I_{10} = 0$, $I_B = -j \frac{U_1}{k X_M}$.

მაგნიტური ნაკადი ამორფულ მაგნიტოგამტარში აგზნება მხოლოდ I_B დენით.

(8) პირობიდან გამომდინარეობს:

1. თუ აგზნების გრაგნილს შევასრულებთ მინიმალური განზნევის ინდუქციურობით $X_{SB} = 0$, როდესაც $I_{10} = 0$, მაშინ:

$$\underline{U}_B = \underline{U}_1 \frac{W_B}{W_1}. \quad (9)$$

2. თუ $k=1$, ესე იგი ყველა გრაგნილები განლაგებულია ახლოს ამორფულ მაგნიტოგამტართან, მაშინ:

$$\underline{U}_B = \left(1 + \frac{X_{SB}}{X_M} \right) \frac{W_B}{W_1} \underline{U}_1. \quad (10)$$

(8)-(10) განტოლებებიდან გამომდინარეობს, რომ აგზნების გრაგნილი უნდა იკვებებოდეს ძაბვით, რომლის ფაზა უნდა ემთხვეოდეს პირველადი გრაგნილის ძაბვის ფაზას, მაგრამ ის უნდა განსხვავდებოდეს სიდიდის მიხედვით. კერძო შემთხვევაში, თუ პირველადი გრაგნილის და აგზნების გრაგნილის ხვიათა რიცხვები ერთმანეთის ტოლია, $W_B = W_1$, (8-10) -დან მივიღებთ:

$$\underline{U}_B = \left(1 + \frac{1}{k} \frac{X_{SB}}{X_M} \right) \underline{U}_1. \quad (11)$$

როდესაც $X_S \approx 0$, $\underline{U}_B = \underline{U}_1$, ესე იგი აგზნების გრაგნილი შეიძლება უშუალოდ შევაერთოდ პარალელურად პირველად გრაგნილთან;

როდესაც $k=1$, (9) განტოლებიდან მივიღებთ:

$$\underline{U}_B = \left(1 + \frac{X_{SB}}{X_M} \right) \underline{U}_1. \quad (12)$$

ზგტ-ის აგზნების გრაგნილის სიმძლავრე

$$S_B = E_B I_B, \quad (13)$$

სადაც ე.მ.ძ. - ინდუქცირებული აგზნების გრაგნილში

$$E_B = 4,44 f W_B \phi_{BM}; \quad (14)$$

I_B - აგზნების გრაგნილის დენი; W_B - აგზნების გრაგნილის ხვიათა რიცხვი;

$$I_B = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{H_B \ell_{cp}}{W_B}, \quad (15)$$

ℓ_{cp} - ამორფული მაგნიტოგამტარის სიგრძე; H_B - ამორფული მაგნიტოგამტარში მაგნიტური ველის დაძაბულობა; ϕ_{BM} - ამორფული მაგნიტოგამტარში მაგნიტური ნაკადი;

$$\phi_{BM} = B_B S_{cp}; \quad (16)$$

S_{cp} - ამორფული მაგნიტოგამტარის კვეთი.

ჩავსვათ (14)-(16) განტოლებაში (14) და მივიღებთ:

$$S_B = \frac{4,44}{\sqrt{2}} B_B H_B f S_{cp} \ell_{cp}. \quad (17)$$

გავითვალისწინოთ, რომ $V = S_{cp} \ell_{cp}$; V - ამორფული მაგნიტოგამტარის მოცულობა:

$$S_B = \pi B_B H_B f V. \quad (18)$$

ზგტ-ის ამორფული მაგნიტოგამტარის ერთეულ მოცულობაზე მოსული სიმძლავრე

$$\frac{S_B}{V} = \pi B_B H_B f, \quad (19)$$

სადაც B_B და H_B - ამორფული მაგნიტოგამტარში ინდუქციისა და მაგნიტური ველის დაძაბულობის მაქსიმალური მნიშვნელობა; H_B მნიშვნელობისათვის გვექნება (15) განტოლების თანახმად:

$$H_B = \frac{\sqrt{2} I_B W_B}{\ell_{cp}} = \sqrt{2} \frac{I_B W_B S_{oB}}{S_{oB} \ell_{cp}}, \quad (20)$$

S_{oB} - აგზნების გრაგნილის კვეთი.

ვითვალისწინებთ, რომ

$$j_{oB} = \frac{I_B W_B}{S_{oB}} \quad \text{და} \quad \frac{S_B}{\ell} = \Delta_{oB}. \quad (21)$$

განტოლებიდან მივიღებთ:

$$H_B = \sqrt{2} j_{oB} \Delta_{oB}, \quad (22)$$

j_{oB} - აგზნების დენის სიმკვრივე; Δ_{oB} - აგზნების გრაგნილის სიგანე.

ჩავსვათ (22) განტოლებაში (18). აგზნების გრაგნილის სიმძლავრისათვის მივიღებთ:

$$S_B = \sqrt{2} \pi \Delta_{oB} B_{oB} j_{oB} V. \quad (23)$$

$$\frac{S_B}{V} = \sqrt{2} \pi \Delta_{oB} B_{oB} j_{oB}. \quad (24)$$

(24) გამოსახულებიდან გამომდინარეობს, რომ ერთეული სიმძლავრე აგზნების გრაგნილის მოცემული სიგანის დროს განისაზღვრება ამორფული მაგნიტოგამტარში მაგნიტური ველის ინტენსივობით და აგზნების დენის სიმკვრივით და პროპორციულია აღნიშნული სიდიდეების ნამრავლის ($B_{oB} j_{oB}$).

აგზნების მკვებავი ქსელის განტვირთვისათვის, მიზანშეწონილია კონდენსატორის გამოყენება, აწყობილი რეზონანსში აგზნების გრაგნილის ინდუქციურობასთან.

ლიტერატურა

1. Кохреидзе Т.К. Математическая модель электромагнитных устройств трансформаторного типа. Тбилиси: Технический университет. 2000.
2. კობრეიძე თ., ხახანოვი მ. შეთავსებული ძალოვანი ზეგამტარული გამმართველი ნულოვანი გამომყვანით, მრავალძარღვიანი ზეგამტარული სადენიანი გრაგნილებით და ამორფული გულარებით/ენერგია. 4(96). 2 ნაწ. 2020.

STATIONARY PROCESSES IN THE AMORPHOUS-SUPERCONDUCTING TRANSFORMER POWER CONTROLLER.

T. Kokhreidze, M. Khakhanov. "Energy". №3(99). 2021. Tbilisi. p. 17-21. geo. sum geo. engl. rus.

Equations of the stationary processes in the amorphous-superconducting transformer power controller are derived in matrix format. Main power ratios of windings of the controlling superconducting transformer in an idle mode are obtained as a result of solving equations.

It is determined that the excitation winding should be powered by the voltage the phase of which should coincide with the primary winding power phase but it should vary by magnitude.

It is shown that the unit power of the excitation winding at a given width is determined by the intensity of the magnetic field in the amorphous magnetic conductor and the density of the excitation current and it is proportional to the product of these magnitudes.

Bibl 2.

СТАЦИОНАРНЫЕ ПРОЦЕССЫ В АМОРФНО-СВЕРХПРОВОДЯЩЕМ ТРАНСФОРМАТОРНОМ СОВМЕЩЕННОМ СИЛОВОМ ВЫПРЯМИТЕЛЕ.

T. Kokhreidze, M. Khakhanov. "Энергия". №3(99). 2021. Тбилиси. с.17-21. груз. реф. груз. англ. рус.

Получены уравнения стационарных процессов в матричной форме в аморфно-сверхпроводящем совмещенном силовом выпрямителе.

В результате решения уравнения получены основные соотношения мощностей обмоток в выпрямительном сверхпроводящем трансформаторе в режиме холостого хода.

Установлено, что обмотка возбуждения должна питаться напряжением, совпадающим по фазе с напряжением первичной обмотки, но отличающегося по величине.

Показано, что единичная мощность при заданной ширине обмотки возбуждения определяется интенсивностью магнитного поля в аморфном магнитопроводе и плотностью тока возбуждения и пропорциональна произведению этих величин.

Лит. 2 назв.

**ამორფულ-ზეგამტარულ შეთავსებულ ტრანსფორმატორულ
ძალოვან გამმართველში ელექტრომაგნიტური პროცესები**

ტექ. მეცნ. დოქტორი, პროფესორი *თამაზ კონიძე*
დოქტორანტი *მალხაზ ხახანოვი*

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ანოტაცია. მიღებულია ამორფულ-ზეგამტარულ შეთავსებულ ტრანსფორმატორულ ძალოვან გამმართველში ელექტრომაგნიტური პროცესების განტოლებები, რომლებიც საშუალებას იძლევა პროცესების ანალიზისა, როგორც გარდამავალ, ისე სტაციონარულ რეჟიმებში. დადგენილია, რომ გამმართველი ტრანსფორმატორის თითოეული ზეგამტარული გრაგნილის აქტიური წინაღობა შედგება სამი მდგენელისაგან: აქტიური წინაღობა, დაკავშირებული ზეგამტარულ სადენებში ელექტრულ დანაკარგებთან; ეკვივალენტური წინაღობა, დაკავშირებული ზეგამტარულ სადენებში ჰისტერეზისულ დანაკარგებთან; წინაღობა, დაკავშირებული ზეგამტარულ სადენებში და ფუძეში გრიგალურ დანაკარგებთან.

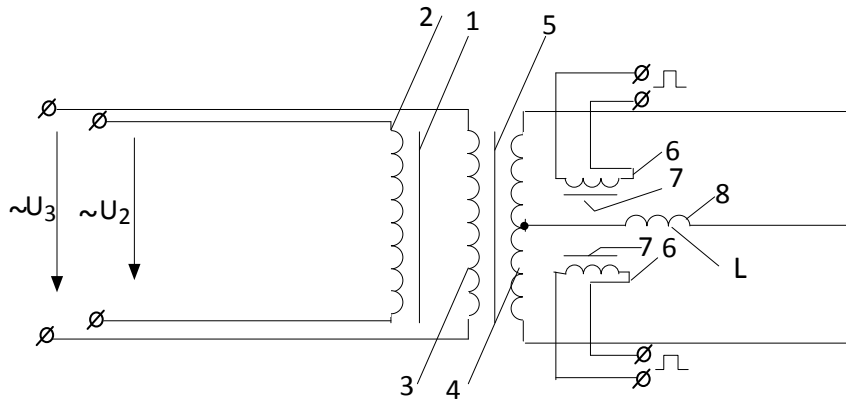
განხილულია გამმართველი ზეგამტარული ტრანსფორმატორის მუშაობის რეჟიმები: უქმი სვლის, დატვირთვის და მოკლე შერთვის რეჟიმი.

საკვანძო სიტყვები: *ამორფული, ზეგამტარული, შეთავსებული, მრავალძარღვიანი, ჰისტერეზისული, გრიგალური.*

ნახ 1. ნაჩვენებია პრინციპული ელექტრული სქემა შეთავსებული ძალოვანი ზეგამტარული გამმართველის ნულოვანი გამომყვანით, მრავალძარღვიანი ზეგამტარული სადენიანი გრაგნილებითა და ამორფული გულარებით. მოწყობილობა შეიცავს ამორფულ გულარას, 1 რომლის კილოში მოთავსებულია აგზნების გრაგნილი 2 პირველადი 3 და მეორადი 4. გრაგნილები მოთავსებულია ერთ კილოში ერთი მეორის გვერდით ამორფულ გულარაზე 5. მართვის გრაგნილი 6 მოთავსებულია დამატებით ამორფულ გულარაზე 7. ზეგამტარული მაგნიტური სისტემა 8 შეერთებულია მეორადი გრაგნილის შუა წერტილთან [1].

მოწყობილობა მუშაობს შემდეგნაირად.

აგზნების გრაგნილის 2 ჩართვის დროს ცვლადი დენის ქსელში, ამორფულ გულარაში 1 წარმოიქმნება ძირითადი მაგნიტური ნაკადი, ხოლო პირველადი გრაგნილში 3 დატვირთვის დენის გავლის დროს, მეორად გრაგნილში 4 ინდუქცირდება ცვლადი ე.მ.ძ. და დენი.



ნახ. 1. პრინციპული ელექტრული სქემა შეთავსებული ძალოვანი ზეგამტარული გამმართველის ნულოვანი გამომყვანით, მრავალძარღვიანი ზეგამტარული სადენიანი გრაგნილებით და ამორფული გულარებით

მართვის გრაგნილის 6 საშუალებით მეორადი გრაგნილი 4 გადადის რეზისტორულ მდგომარეობაში დენური მართკუთხა იმპულსებით იმგვარად, რომ დატვირთვაში 8 დენს ორივე ნახევარპერიოდის განმავლობაში გააჩნია ერთნაირი ნიშანი, ე.ი. ერთ ნახევარპერიოდში მეორადი გრაგნილის ერთი ნაწილი ღიაა, ხოლო მეორე ნახევარპერიოდში - მეორადი გრაგნილის მეორე ნაწილი ჩაკეტილია, რითაც ხდება დამუხტვის უზრუნველყოფა მუდმივი დენით ზეგამტარული მაგნიტური სისტემის 8.

პირველადი 3 და მეორადი 4 გრაგნილებს გააჩნიათ ძლიერი მაგნიტური კავშირი ერთმანეთის მიმართ და შედარებით სუსტი მაგნიტური კავშირი აგზნების გრაგნილის 2 მიმართ.

დატვირთვის ცვლილება, შესაბამისად მეორად გრაგნილში არ აირეკლება აგზნების გრაგნილზე. აგზნების დენის გამორიცხვა უშუალოდ ძალოვან გრაგნილებში იძლევა შესაძლებლობას პირველადი და მეორადი გრაგნილების სრული მაკომპენსირებელი შესრულებისა ერთმანეთის მიმართ და აღნიშნული გრაგნილების ირგვლივ ყველა მაგნიტური ნაკადების შემცირებისა, რაც, თავის მხრივ, იწვევს მოწყობილობის დანაკარგების შემცირებას, დენგამტარუნარიანობისა და სიმძლავრის გაზრდას.

გარდა ამისა, იმასთან დაკავშირებით, რომ მეორადი გრაგნილი ასრულებს როლს ერთდროულად გადამრთველი ელემენტისა, ე.ი. ითავსებს კრიოტრონის გადამრთველი ელემენტის ფუნქციას, ყოველივე ამას მივყავართ მთლიანობაში მოწყობილობის გაბარიტის შემცირებაზე.

მოცემული მოწყობილობაში დანაკარგების შემცირებისათვის და მარგი ქმედების კოეფიციენტის ამაღლებისათვის აუცილებელია გადამრთველი ელემენტის მოცულობის

შემცირება, რაც შეიძლება მიღწეული იქნეს მოწყობილობის კონსტრუქციაში ამორფული გულარების გამოყენება და გადამრთველი ელემენტის გრაგნილის დამზადება ლოკალიზებული მრავალპარადვიანი ზეგამტარული სადენისაგან, ძარღვების დაბალი შევსების კოეფიციენტით და ძარღვებში მაქსიმალური დენების სიმკვრივეებით.

განტოლებების შედგენისათვის და ელექტრომაგნიტური პროცესების ანალიზის ჩატარებისათვის დამყარებულ და გარდამავალ რეჟიმებში, აუცილებელია პარამეტრების განსაზღვრა ამორფულ-ზეგამტარულ შეთავსებულ ძალოვან გამმართველ ტრანსფორმატორში, როგორცაა მისი აქტიური წინაღობები და ინდუქციურობა.

აქტიური წინაღობები ზეგამტარული ტრანსფორმატორის (ზგტ) დაკავშირებულია თბური დანაკარგების გამოყოფასთან ზეგამტარულ გრაგნილებში, როდესაც მასში გადის ცვლადი დენი, აგრეთვე მაგნიტოგამტარში (ამორფული გულარას არსებობის დროს), როდესაც მასში აგზნება ცვლადი მაგნიტური ველი.

ინდუქციურობა და ინდუქციური წინაღობები ზგტ დაკავშირებულია განზნევის არხში განზნევის მაგნიტური ველების წარმოშობასთან, შექმნილი დატვირთვის დენებით და მაგნიტოგამტარში აგზნების მაგნიტური ველებით, შექმნილი დამაგნიტების დენებით.

აქტიური წინაღობები თითოეული ზგ გრაგნილების შედგენა სამი მდგენელისაგან:

ΔR - აქტიური წინაღობა, დაკავშირებული ზეგამტარულ სადენებში ელექტრულ დანაკარგებთან; ΔR_{Σ} - ეკვივალენტური წინაღობა, დაკავშირებული ზეგამტარულ სადენებში ჰისტერეზისულ დანაკარგებთან; ΔR_{Φ} - წინაღობა, დაკავშირებული ზეგამტარულ სადენებში და ფუძეში გრიგალურ დანაკარგებთან.

სრული აქტიური წინაღობებისათვის მუშა და აგზნების გრაგნილებისათვის შესაბამისად გვექნება:

$$r_{\Sigma} = \Delta R_{\Sigma} + \Delta R_{\Sigma 3} + \Delta R_{\Sigma \Phi};$$

$$r_{\Phi} = \Delta R_{\Phi} + \Delta R_{\Phi 3} + \Delta R_{\Phi \Phi};$$

$$r_{3} = \Delta R_{3} + \Delta R_{3 \Sigma} + \Delta R_{3 \Phi},$$

სადაც ΔR_{Σ} , ΔR_{Φ} , ΔR_{3} - შესაბამისად ელექტრული წინაღობები პირველადი, მეორადი და აგზნების გრაგნილების;

$\Delta R_{\Sigma 3}$, $\Delta R_{\Phi 3}$, $\Delta R_{3 \Sigma}$ - ეკვივალენტური აქტიური წინაღობები, სადაც გათვალისწინებულია ჰისტერეზისული დანაკარგები პირველადი, მეორადი და აგზნების გრაგნილებში შესაბამისად;

$\Delta R_{\Sigma \Phi}$, $\Delta R_{\Phi \Phi}$, $\Delta R_{3 \Phi}$ - წინაღობები, სადაც გათვალისწინებულია გრიგალური დანაკარგები პირველადი, მეორადი და აგზნების გრაგნილებში შესაბამისად.

როდესაც განიხილება ზგტ ცალკე აგზნების გრაგნილით, როგორც სამგრაგნილა ტრანსფორმატორი, აუცილებელია განისაზღვროს ცხრა ინდუქციურობა. თუმცა გამარტივებული მიდგომის შემთხვევაში შეიძლება შემოვიფარგლოდ ინდუქციურობის ნაკლები რიცხვით, სახელდობრ:

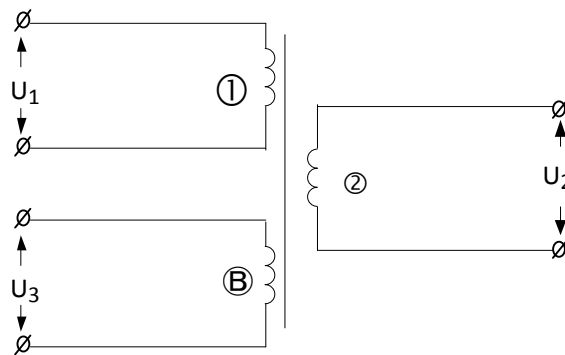
L_{3S}, L_{4S} - განზნევის ინდუქციურობი პირველადი და მეორადი გრაგნილების;

L_{2S} - განზნევის ინდუქციურობა აგზნების გრაგნილის;

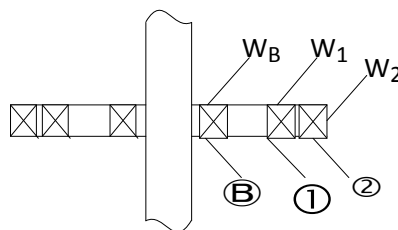
M - ურთიერთინდუქციურობა პირველადი (მეორადი) გრაგნილებს და აგზნების გრაგნილს შორის.

შემდგომში მოხერხებულობისათვის ნახ. 1-ზე ზგტ-ის პირველადი გრაგნილი აღვნიშნოთ - ①, მეორადი გრაგნილი - ② და აგზნების გრაგნილი - ③.

ნახ. 2. და 3-ზე წარმოდგენილია სქემა და გრაგნილების განლაგება ზგტ-ში ცალკე აგზნების გრაგნილით.



ნახ. 2. სქემა ზგტ ცალკე აგზნების გრაგნილით



ნახ. 3. გრაგნილების განლაგება ზგტ-ში ცალკე აგზნების გრაგნილით

აგზნების გრაგნილი B ხვეების რიცხვით W_B იმყოფება ახლოს ამორფულ გულარასთან, პირველადი 1 და მეორადი 2 გრაგნილები ხვეების რიცხვით W_1 და W_2 იმყოფება გარკვეული დაშორებით აგზნების გრაგნილიდან და განლაგებულია ერთმანეთის მიმართ ახლოს.

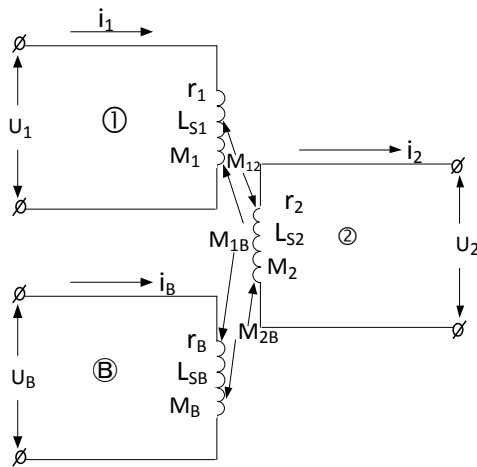
ჩვეულებრივ ორგრაგნილა ტრანსფორმატორში პირველადი გრაგნილი ითავსებს დანიშნულებას ძალოვანი გრაგნილის და აგზნების გრაგნილის.

ამასთან დაკავშირებით, დენი პირველად გრაგნილში დატვირთვის რეჟიმში შედგება ორი მდგენელისაგან: აგზნების დენი, რომელიც წარმოშობს ძირითად მაგნიტურ ნაკადს ტრანსფორმატორის ამორფულ მაგნიტოგამტარში, და დატვირთვის დენი, რომელიც აკომპენსირებს მეორადი გრაგნილის დენს.

ზეგამტარული ტრანსფორმატორის პირველადი მხარე, როგორც იყო აღნიშნული, შესრულებულია ორი გრაგნილით. ამავე დროს 1 გრაგნილში უნდა გაიაროს მხოლოდ დატვირთვის დენმა, აგზნების გრაგნილში კი - მხოლოდ აგზნების დენმა.

ვითვალისწინებთ, რომ ყველა სამი გრაგნილი ზგტ-ში მაგნიტურად კავშირშია ერთმანეთთან, განაწილება დენების და სიმძლავრეების დამოკიდებულია გრაგნილების პარამეტრებზე და მოთხოვნილი განაწილება დენების და სიმძლავრეების აღიძვრება მხოლოდ გარკვეულ პირობებში და გრაგნილების პარამეტრების თანაფარდობისას.

მითითებული თანაფარდობის მიღებისათვის აუცილებელია გამოვიდეთ სამ გრაგნილიანი ტრანსფორმატორის ზოგადი განტოლებებიდან [2,3]. გარკვეული დაშვებების დროს, საანგარიშო სქემა სამ გრაგნილა ტრანსფორმატორის მიღებს სახეს, რომელიც ნაჩვენებია ნახ. 4-ზე. შემდგომში მიღებულია დაშვებები: 1) წრედი შეიცავს მხოლოდ აქტიურ და ინდუქციურ წინაღობას, ტევადური დენები გამორიცხულია; 2) გრაგნილების ყველა პარამეტრები მუდმივია, და წრედი წრფივია; 3) ზოგადი გადაწყვეტის მიღებისათვის, გრაგნილებს გააჩნია აქტიური წინაღობები: r_1, r_2, r_B .



ნახ. 4. საანგარიშო სქემა ზგტ ცალკე აგზნების გრაგნილით

ზეგამტარული ტრანსფორმატორის გრაგნილებისათვის ელექტრული წონასწორობის განტოლებას გააჩნია შემდეგი სახე:

$$\begin{aligned} U_1 &= r_1 i_1 + (L_{S1} + M_1) \frac{di_1}{dt} + M_{12} \frac{di_2}{dt} + M_{1B} \frac{di_B}{dt} \\ -U_2 &= r_2 i_2 + (L_{S2} + M_2) \frac{di_2}{dt} + M_{21} \frac{di_1}{dt} + M_{2B} \frac{di_B}{dt} \\ U_B &= r_B i_B + (L_{SB} + M_B) \frac{di_B}{dt} + M_{B1} \frac{di_1}{dt} + M_{B2} \frac{di_2}{dt} \end{aligned} \quad (1)$$

(1) განტოლებებში r_1, r_2, r_B - გრაგნილების აქტიური წინაღობები; L_{S1}, L_{S2}, L_{SB} - გრაგნილების განზნევის ინდუქციურობები; $M_1, M_2, M_B, M_{1B}, M_{2B}$ - ურთიერთინდუქციურობების კოეფიციენტები.

ინდუქციურობების კოეფიციენტებისათვის გვექნება:

$$\begin{aligned} M_1 &= W_1^2 \Lambda = M; \\ M_2 &= W_2^2 \Lambda; \\ M_B &= W_B^2 \Lambda_B; \\ M_{12} &= M_{21} = W_1 W_2 \Lambda_{12}; \\ M_{1B} &= M_{B1} = W_1 W_B \Lambda_{1B}; \\ M_{2B} &= M_{B2} = W_2 W_B \Lambda_{2B}; \\ L_{S1} &= W_1^2 \Lambda_{S1}; \\ L_{S2} &= W_2^2 \Lambda_{S2}; \\ L_{SB} &= W_B^2 \Lambda_{SB}. \end{aligned} \quad (2)$$

(2) განტოლებებში $\Lambda_1, \Lambda_2, \Lambda_B, \Lambda_{12}, \Lambda_{1B}, \Lambda_{2B}, \Lambda_{S1}, \Lambda_{S2}, \Lambda_{SB}$ - შესაბამისი გრაგნილების მაგნიტური გამტარობები ზოგად შემთხვევაში განსხვავდებიან ერთმანეთისგან; W_1, W_2, W_B - ხვიათა რიცხვები პირველადი, მეორადი გრაგნილების და აგზნების გრაგნილის.

ანგარიშის გამარტივებისათვის, მათ შორის, როდესაც 1 და 2 გრაგნილები განლაგებულია ახლოს ერთმანეთისაგან (ნახ. 3.), შეიძლება დაუშვათ:

$$\begin{aligned} \Lambda_1 &= \Lambda_2 = \Lambda_{12} = \Lambda; \\ \Lambda_{1B} &= \Lambda_{2B} = \Lambda_B. \end{aligned} \quad (3)$$

(3) თანაფარდობის გათვალისწინებით (2) განტოლებიდან მივიღებთ:

$$\begin{aligned} M_1 &= W_1^2 \Lambda; \\ M_2 &= W_2^2 \Lambda; \\ M_B &= W_B^2 \Lambda_B; \\ M_{12} &= M_{21} = W_1 W_2 \Lambda; \end{aligned}$$

$$M_{1B} = M_{B1} = W_1 W_B \Lambda_B; \quad (4)$$

$$M_{2B} = M_{B2} = W_2 W_B \Lambda_B.$$

(2)-(4) თანაფარდობის გათვალისწინებით (1) განტოლება მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$U_1 = r_1 i_1 + W_1^2 \Lambda_{S1} \frac{di_1}{dt} + W_1^2 \Lambda \frac{di_1}{dt} + W_1 W_2 \Lambda \frac{di_2}{dt} + W_1 W_B \Lambda_B \frac{di_B}{dt}$$

$$- U_2 = r_2 i_2 + W_2^2 \Lambda_{S2} \frac{di_2}{dt} + W_2^2 \Lambda \frac{di_2}{dt} + W_2 W_1 \Lambda \frac{di_1}{dt} + W_2 W_B \Lambda_B \frac{di_B}{dt} \quad (5)$$

$$U_B = r_B i_B + W_B^2 \Lambda_{SB} \frac{di_B}{dt} + W_B^2 \Lambda_B \frac{di_B}{dt} + W_B W_1 \Lambda_B \frac{di_1}{dt} + W_B W_2 \Lambda_B \frac{di_2}{dt}$$

შემოვიტანოთ შემდეგი აღნიშვნები:

$k_{1B} = \frac{W_1}{W_B}$ - ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი პირველად გრაგნილსა და აგზნების გრაგნილს შორის;

$k_{12} = \frac{W_1}{W_2}$ - ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი პირველად და მეორად გრაგნილს შორის;

$$i_2' = -\frac{1}{k_{12}} i_2, \quad i_B' = \frac{1}{k_{1B}} i_B, \quad (6)$$

სადაც i_B' - დაყვანილი აგზნების დენი პირველად გრაგნილთან; i_2' - დაყვანილი მეორადი დენი პირველად გრაგნილთან.

თუ დავიყვანთ ყველა სიდიდეებს მეორადი გრაგნილის და აგზნების გრაგნილის პირველად გრაგნილთან, გავითვალისწინებთ (5) და (6) განტოლებებს, გარდაქმნების შემდეგ, მივიღებთ შემდეგ განტოლებებს ზგტ-ისათვის:

$$U_1 = r_1 i_1 + L_{S1} \frac{di_1}{dt} + M \frac{d(i_1 - i_2')}{dt} + kM \frac{di_B'}{dt}$$

$$U_2' = -r_2' i_2' - L_{S2} \frac{di_2'}{dt} + M \frac{d(i_1 - i_2')}{dt} + kM \frac{di_B'}{dt} \quad (7)$$

$$U_B' = -r_B' i_B' - L_{SB} \frac{di_B'}{dt} + kM \frac{d(i_1 - i_2' + i_B')}{dt}$$

(7) განტოლებებში აღნიშვნები:

$$k = \frac{\Lambda_B}{\Lambda};$$

$$U_2' = -k_{12} U_2;$$

$$\frac{U_B}{U_1} = k_{1B} U_B; \quad (8)$$

$$\frac{L_{S2}}{L_{S1}} = k_{12}^2 L_{S2};$$

$$\frac{L_{SB}}{L_{S1}} = k_{1B}^2 L_{SB};$$

$$\begin{aligned} &= k_{12}^2 r_2 ; \\ &= k_{1B}^2 r_B . \end{aligned}$$

(7) განტოლება აღწერს გარდამავალ პროცესს ზგტ-ში. ვლებულობთ აღნიშვნას $P = \frac{d}{dt}$, გარკვეული აღნიშვნების შემდეგ (2.7) განტოლებიდან მივიღებთ:

$$\begin{aligned} U_1 &= r_1 i_1 + PL_{S1} i_1 + PM(i_1 - i_2') + PkM(i_1 - i_2' + i_B') \\ -U_2' &= -r_2' i_2' - PL_{S2}' i_2' + P(1-k)M(i_1 - i_2') + PkM(i_1 - i_2' + i_B') \\ U_B' &= r_B' i_B' - PL_{SB}' i_B' + kPM(i_1 - i_2' + i_B') \end{aligned} \quad (9)$$

თუ აღნიშნავთ $\omega M = X_M$, მაშინ სტაციონარული რეჟიმებისათვის განტოლებას კომპლექსურ ფორმაში ექნება შემდეგი სახე:

$$\begin{aligned} \underline{U}_1 &= r_1 \underline{I}_1 + jX_{S1} \underline{I}_1 + j(1-k)X_M(\underline{I}_1 - \underline{I}_2') + jkX_M(\underline{I}_1 - \underline{I}_2' + \underline{I}_B'); \\ -\underline{U}_2' &= r_2' \underline{I}_2' + jX_{S2}' \underline{I}_2' - j(1-k)X_M(\underline{I}_1 - \underline{I}_2') - jkX_M(\underline{I}_1 - \underline{I}_2' + \underline{I}_B'); \\ \underline{U}_B' &= r_B' \underline{I}_B' + jX_{SB}' \underline{I}_B' + jkX_M(\underline{I}_1 - \underline{I}_2' + \underline{I}_B'). \end{aligned} \quad (10)$$

თუ დაუშვებთ, რომ $k=0$ და $I_B=0$, მივიღებთ ჩვეულებრივი ორგრაგნილა ტრანსფორმატორის განტოლებებს.

ვითვალისწინებთ, რომ

$$\begin{aligned} \underline{I}_1 &= \underline{I}_2' + \underline{I}_{D1} ; \\ \underline{I}_{D2} &= \underline{I}_1 - \underline{I}_2' + \underline{I}_B ; \\ Z_1 &= r_1 + jX_{S1} ; \\ Z_2' &= r_2' + jX_{S2}' ; \\ Z_B' &= r_B' + jX_{BS}' . \end{aligned} \quad (11)$$

(10) განტოლება მიიღებს სახეს:

$$\begin{aligned} \underline{U}_1 &= Z_1 \underline{I}_1 + j(1-k)X_M \underline{I}_{D1} + jkX_M \underline{I}_{D2} ; \\ -\underline{U}_2' &= Z_2' \underline{I}_2' - j(1-k)X_M \underline{I}_{D1} - jkX_M \underline{I}_{D2} ; \\ \underline{U}_B' &= Z_B' \underline{I}_B' + jkX_M \underline{I}_{D2} . \end{aligned} \quad (12)$$

სადაც $\underline{I}_{10} = \underline{I}_1 - \underline{I}_2'$; $\underline{I}_{D2} = \underline{I}_{D1} + \underline{I}_B'$.

გარკვეული გარდაქმნების შემდეგ (9) განტოლება, როდესაც გამმართველი ზეგამტარული ტრანსფორმატორი მუშაობს აქტიურ-ინდუქციურ დატვირთვაზე, მივიღებთ:

$$\begin{aligned}
 U_1 &= (r_1 + PL_1)i_1 - PMi_2' + PkMi_B', \\
 0 &= PMi_1 - [(r_2' + r_H') + P(L_2' + L_H')]i_2' + PkMi_B', \\
 U_B' &= PkMi_1 - PkMi_2' + (r_B' + PL_B')i_B'.
 \end{aligned}
 \tag{13}$$

r_H', L_H' - დატვირთვის აქტიური წინაღობა და ინდუქციურობა დაყვანილი პირველად გრაგნილთან.

მიღებული ელექტრომაგნიტური პროცესების განტოლებები საშუალებას იძლევა პროცესების ანალიზისა როგორც გარდამავალ, ისე სტაციონარულ რეჟიმებში.

ლიტერატურა

1. Кохреидзе Т. Инновационные управляемые электромеханические системы с бесконтактными двигателями постоянного тока. Тбилиси:Технический университет. 2016.
2. Калантаров П.Л. Схема, эквивалентная трехобмоточному трансформатору. М.:Электричество. 1948. №3.
3. Кохреидзе Т.К. Математическая модель электромагнитных устройств трансформаторного типа. Тбилиси:Технический университет. 2000.

ELECTROMAGNETIC PROCESSES IN AMORPHOUS-SUPERCONDUCTING TRANSFORMER POWER CONTROLLER.

T. Kokhreidze, M. Khakhanov. "Energy". №3(99). 2021. Tbilisi. p. 22-31. geo. sum geo. engl. rus.

Equations of the electromagnetic processes in the amorphous-superconducting transformer power controller allowing to analyze the processes in both transition and stationary modes are derived. It is determined that active resistance of each superconducting winding of the control transformer consists of three components: active resistance associated with electrical losses in the superconductive wires; equivalent resistance associated with hysteresis losses in the superconducting wires; resistance associated with hurricane losses in the superconducting wires and base layer.

Operation modes of the control superconducting transformer such as idle mode, load and short circuit modes are reviewed.

Ill. 4, bibl. 3.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПРОЦЕССЫ В АМОРФНО-СВЕРХПРОВОДЯЩЕМ ТРАНСФОРМАТОРНОМ СОВМЕЩЕННОМ СИЛОВОМ ВЫПРЯМИТЕЛЕ.

T. Kokhreidze, M. Хаханов. "Энергия". №3(99). 2021. Тбилиси. с. 22-31. груз. реф. груз. англ. рус.

Получены уравнения электромагнитных процессов в аморфно-сверхпроводящем трансформаторном совмещенном силовом выпрямителе, которые дают возможность анализа процессов как в переходных, так и в стационарных режимах.

Установлено, что активное сопротивление каждой сверхпроводящей обмотки выпрямительного трансформатора, состоит из трех составляющих: активного сопротивления, связанного с электрическими потерями в сверхпроводящих проводах; эквивалентного сопротивления, отражающего гистерезисные потери в сверхпроводящих проводах; сопротивлений, связанных с вихревыми потерями в сверхпроводящих проводах и подложке. Также рассмотрены режимы работы выпрямительного трансформатора: холостого хода, нагрузки и короткого замыкания.

Илл. 4, лит. 3.

წყლის ელექტროქიმიური გამტკნარების ენერგოეფექტიური პროცესის პროდუქტების ჟანგვა-აღდგენის (რედოქს-) პოტენციური და მათი ბიოლოგიური ეფექტიანობა აზიური ფაროსანას წინააღმდეგ

დოქტორანტი *მანია აბოკაძე*

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის საინჟინრო ფიზიკის დეპარტამენტი და აგრარულ მეცნიერებათა და ბიოინჟინერინგის ფაკულტეტი

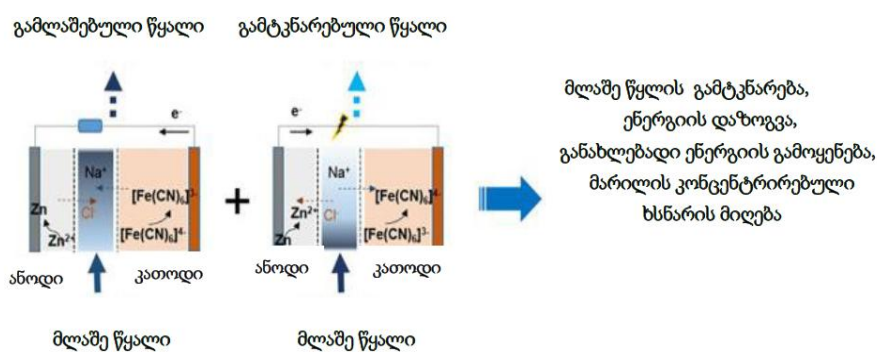
ანოტაცია. კვლევა ეძღვნება სამკამერიანი თუთია/ფერიციანიდის ელექტრული ბატარეის გამოყენებით გამტკნარებული მლაშე წყლის მახასიათებლების და მათი ინსექტიციდურ კომბინაციებში გამოყენების შესაძლებლობის განსაზღვრას. გაზომილია გამტკნარებული ელექტროქიმიურად წყლის ანოლიტური და კათოლიტური კომპონენტების ჟანგვა-აღდგენის პოტენციური (რედოქს-პოტენციური), მათი ბიოლოგიური ეფექტურობა აზიური ფაროსანას მიმართ და შეფასებულია მათი სინერგიულობა დიატომიტის, ბიფენტრინის, მალათიონის, როზმარინის, ბიოდეგრადირებადი ემულგატორ-დიეპერგანტის Lanspersr Bio-8N8 და ჰიდროქსიეთილ ცელულოზის (HEC) კომბინაციებში, ბიფენტრინის და მალათიონის მუდმივი ჯამური მოცულობის და მონოტონურად ცვლადი თანაფარდობის პირობებში. კვლევის შედეგად ნაჩვენებია, რომ საკუთრივ გამლაშეებული ანოლიტური და კათოლიტური წყლის ბიოლოგიური ეფექტურობა იმდენად მცირეა, რომ შეიძლება უგულვებელყოფილი იქნას. იმავდროულად როგორც ანოლიტური, ასევე კათოლიტური წყალი ავლენს შესამჩნევ სინერგიულობას მალათიონის და ბიფენტრინის მცირე შემცველობის არეში. შესაბამისად, ელექტროქიმიურად აქტივირებული გამტკნარებული წყალი შეიძლება წარმატებით იქნას გამოყენებული ინსექტიციდურ კომბინაციებში, არასამიზნე და სასარგებლო მწერების მიმართ მათი ტოქსიკურობის შესამცირებლად. შესაბამისად მიზანშეწონილია რეკომენდებული პროცესების სხვადასხვა სახის ინჟინერინგის გამოძებნა და კვლევა.

საკვანძო სიტყვები: ენერგოეფექტიური პროცესი, ჟანგვა-აღდგენის პოტენციური, ბიოლოგიური ეფექტურობა, აზიური ფაროსანა.

შესავალი. უკანასკნელ ათწლეულებში სულ უფრო აქტუალური ხდება წყლის გამტკნარების პროცესის ენერგოეფექტიურობის შემცირება. სადღეისოდ ერთ-ერთი ყველაზე დამაიმედებელი მიდგომა გახლავთ სამკამერიანი თუთია/ფერიციანიდის ელექტრული ბატარეა-ელექტროლიზერი [1]. მისი ძირითადი თავისებურება და ღირსება მდგომარეობს იმაში, რომ წყლის გამტკნარების პროცესში ხდება აგრეთვე ბატარეის დამუხტვა, რაც საშუალებას იძლევა დაიზოგოს ელექტროლიზისთვის საჭირო ელექტროენერჯის 74-75%-მდე და განაპირობებს გამტკნარების პროცესის დაახლოებით 40-50%-ით გაიაფებას.

ჩვენ მიერ გამოყენებულ სამკამერიან ბატარეა-ელექტროლიზერში [1] მიმდინარე ძირითადი პროცესები მოცემულია სქემატურად ნახ. 1-ზე. მოწყობილობა შედგება

ანოდური კამერისგან $ZnCl_2$ ელექტროლიტში ჩაშვებული თუთიის ელექტროდით, კათოდური კამერისგან ელექტროლიტურ ხსნარში $K_3 [Fe(CN)_6]$ და $K_4 [Fe(CN)_6]$ ჩაშვებული გრაფიტის ელექტროდით და მათ შორის განლაგებული შუალედური კამერით, რომელშიც მოთავსებულია გასამტკნარებელი მლაშე წყალი. კამერები ერთმანეთისგან გამოყოფილია ანიონური და კათიონური გაცვლის მემბრანებით. სადღეისოდ მსგავსი აპარატების გამოყენებით ჩატარებულია მრავალი ექსპერიმენტი და შესწავლილია დამუხტვისა და განმუხტვის პარამეტრების გავლენა გამტკნარება - გამლაშების მაჩვენებლებზე, ენერჯის დაგროვების და განმუხტვის სიჩქარეზე სხვადასხვა ელექტრული ტევადობის პირობებში. ჩატარებული კვლევის შედეგები [2-6] ადასტურებს, რომ ელექტროქიმიური ბატარეა-დისტილერის გამოყენებით გამტკნარების პროცესს შეუძლია უზრუნველყოს ენერგოტევადობის და განმუხტვა-დამუხტვის ციკლების რაოდენობის ზრდა. ამასთანავე, პროცესის გამოყენების მაქსიმალური ეკონომიკური ეფექტი მიიღწევა მისი წყლის წინასწარი გადამუშავებისთვის გამოყენების შემთხვევაში, მემბრანული ტექნოლოგიით შემდგომი დამუშავებით. აღნიშნული ტიპის პრეპარატები, მათ შორის ევროკავშირშიც, ფართოდ გამოიყენება ქიმიური პესტიციდებითა და მათი მეტაბოლიტებით დაბინძურებული მცენარეების და ნიადაგების გაწმენდა - რეაბილიტაციისთვის და სურსათის დამუშავებისთვის. ელექტროლიტური აქტივაციით მიღებული ანოდიური და კათოდიური ხსნარები ამჟამად ფართოდ არის დანერგილი სასოფლო-სამეურნეო კულტურების თესლის დამუშავება-შენახვის პროცესში. სამეცნიერო პუბლიკაციების მონაცემებით, მათი გამოყენება უზრუნველყოფს სასოფლო-სამეურნეო კულტურების პროდუქტიულობის გაზრდას 30%-დან 70%-მდე. სადღეისოდ, მარილმჟავას და სუფრის



ნახ. 1. სამკამერიან ბატარეა-დისტილერში მიმდინარე დამუხტვა-განმუხტვის პროცესების სქემა

მარილის წყალხსნარების ელექტროაქტივაციით მიღებული პრეპარატები სერტიფიცირებულია და გამოიყენება იაპონიაში, როგორც: საკვები დანამატები (იაპონიის ჯანმრთელობის, შრომისა და სოციალური უზრუნველყოფის სამინისტრო, 2002 წლის,

იენისიდ); მიზნობრივი დანიშნულების პესტიციდები და იაპონიის ის-თი (სასოფლო-სამეურნეო სტანდარტით) განსაზღვრული ორგანული პროდუქტების საკულტივაციო მასალა (იაპონიის სოფლის მეურნეობის, სატყეო მეურნეობისა და მეთევზეობის სამინისტრო (2014 წლის, მარტი).

სადღეისოდ, მარილმჟავას და სუფრის მარილის წყალხსნარების ელექტრო-აქტივაციით მიღებული პრეპარატები სერტიფიცირებულია და გამოიყენება იაპონიაში როგორც: საკვები დანამატები (იაპონიის ჯანმრთელობის, შრომისა და სოციალური უზრუნველყოფის სამინისტრო, 2002 წლის იენისიდ); მიზნობრივი დანიშნულების პესტიციდები და იაპონიის ის-თი (სასოფლო-სამეურნეო სტანდარტით) განსაზღვრული ორგანული პროდუქტების საკულტივაციო მასალა (იაპონიის სოფლის მეურნეობის, სატყეო მეურნეობისა და მეთევზეობის სამინისტრო (2014 წლის მარტი). ამჟამად საქართველოს სურსათის ეროვნული სააგენტოს მიერ რეგისტრირებულია და სერტიფიცირებულია ბუნებრივი წყლის და მინერალური მარილების განზავებული ხსნარების ელექტროქიმიური აქტივაციით მიღებული ხუთი აგროქიმიკატული პრეპარატი სახელწოდებით „ელიქსირი (elixir) ვაზისთვის“, „ელიქსირი (elixir) მარცვლეული კულტურებისთვის“, „ელიქსირი (elixir) კარტოფილისა და ჭარხლისთვის“, „ელიქსირი (elixir) ხილისთვის, კაკლოვანი და კენკროვანი კულტურებისთვის“ და „ელიქსირი (elixir) სასათბურე კულტურებისთვის“. ხუთივე პროდუქტი დამზადებულია საქართველოში ევროპული ტექნოლოგიის გამოყენებით. პრეპარატები ეტიკეტირებულია და მარკირებულია როგორც „ადამიანისთვის უსაფრთხო“. პრეპარატები არ აღიზიანებს კანს და ზომიერად აღიზიანებს თვალსა და ლორწოვან გარსებს.

ელსპერომენტული კვლევა. ელექტროქიმიურად აქტივირებული სითხეების ბიოლოგიური ეფექტურობის ძირითადი განსაზღვრელი სიდიდეა მათი იონიზაციის ხარისხი და ჟანგვა-აღდგენის პოტენციალი. უმნიშვნელოვანესია აგრეთვე იონური რეკომბინაციის სიჩქარე და მასთან მაკავშირებული რედოქს-პოტენციალის აბსოლუტური სიდიდის თანდათანობითი კლება. ცხრ. 1-ში მოცემულია სხვადასხვა პირობებში მიღებული ელექტროქიმიურად აქტივირებული სითხეების ჟანგვა-აღდგენის პოტენციალი და მისი e-ჯერ კლების პერიოდი (სთ). პოტენციალის გაზომვა ხდებოდა ხელსაწყოთი EZODO 48050. როგორც ვხედავთ, ანალიტური სითხეების რედოქს-პოტენციალის e-ჯერ შემცირების საშუალო დრო ბნელ სარდაფში +14°C ტემპერატურაზე შენახვის პირობებში არ აღემატება 280-330 სთ-ს, ხოლო კათოლიტური სითხეებისა კიდევ უფრო მცირეა და შეადგენს 240-280 სთ-ს. თუ გავითვალისწინებთ (იხილეთ შემდგომ), რომ სითხეების

სინერგიულობა კომბინაციების კომპონენტების პროპორციულია მათი რედოქს-პოტენციალის, აღნიშნული გარემოება წარმოადგენს სერიოზულ დაბრკოლებას ელექტროქიმიურად აქტივირებული ხსნარების ინსექტიციდური კომბინაციების კომპონენტებად ფართო მასშტაბით გამოყენებისთვის. შესაბამისად, მიზანშეწონილია რეკომბინაციული პროცესების სხვადასხვა სახის ინჰიბიტორების გამოძებნა და კვლევა.

სხვადასხვა პირობებში მიღებული ელექტროქიმიურად აქტივირებული წყალი

ცხრილი 1

პრეპარატის ნომერი	პრეპარატის ტიპი (ანოლიტი, კათოლიტი)	რედოქს-პოტენციალი, მვ	e-ჯერ შემცირების დრო, სთ	მლაშთანობის შემცირების ხარისხი, %
1 ა	ანოლიტი	+1270 ± 5	280 ± 10	42.6
2 ა	ანოლიტი	+720	310 ± 12	48.7
3 ა	ანოლიტი	+370	330 ± 12	51.0
1 კ	კათოლიტი	-1280	240 ± 10	45.7
2 კ	კათოლიტი	-690	264 ± 10	52.5
3 კ	კათოლიტი	-410	280 ± 10	53.4

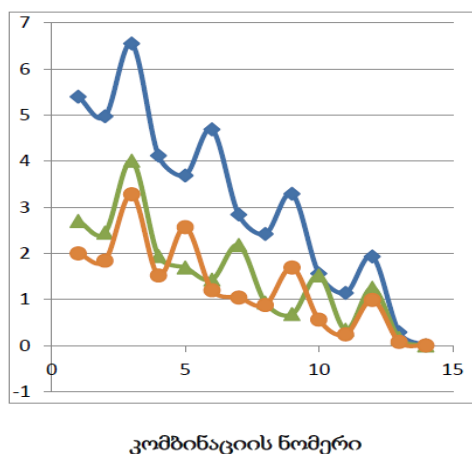
ანოლიტური და კათოლიტური სითხეების ბიოლოგიური ეფექტურობა და ინსექტიციდურ კომბინაციებთან სინერგიულობა. კომპონენტებისგან „ზონდერ ეკ“ (ბიფენტრინი) – „მალაფოსი“ (მალათიონი) - მტკნარი წყლის -ამორფული დიატომიტი - როზმარინის ეთერზეთი - წყალი - ემულგატორ-დისპერგანტი Lansperse BIO 86 - ჰიდროქსიეთილ-ცელულოზა - წყალი დამზადდა სამი ინსექტიციდური კომბინაცია დ-1, დ-2, დ-3 (იხ. ცხრ. 2). ამის შემდგომ, თითოეული კომბინაციის საფუძველზე ელექტროქიმიურად აქტივირებული წყლის დამატებით დამზადდა 14 ახალი კომბინაცია „ზონდერის“ და „მალაფოსის“ მუდმივი თანაფარდობით ისე, რომ „ზონდერის“ და „მალაფოსის“ ჯგერული შემცველობა იცვლებოდა 10%-დან 0-მდე, ხოლო ელექტროქიმიურად აქტივირებული წყლის შემცველობა იცვლებოდა 0-დან 10%-მდე.

კომპონენტებისგან „ზონდერ ეკ“ (ბიფენტრინი) – „მალაფოსი“ (მალათიონი) - მტკნარი წყლის -ამორფული დიატომიტი - როზმარინის ეთერზეთი - წყალი - ემულგატორ-დისპერგანტი Lansperse BIO 86 - ჰიდროქსიეთილ-ცელულოზა - წყალი დამზადებული ინსექტიციდური კომბინაციების და გამოკვლეული შემადგენლობა

ცხრილი 2

კომბინაციის სახელი	კომპონენტების შემცველობა, მოცულობითი %						
	წყალი	HEC	BIO-868	ეთერ-ზეთი	დიატომიტი	მალაფოსი	ზონდერ ეკ 100
დ-1	73.3	1.2	3.3	0.2	12	9.5	0.5
დ-2						8	2
დ-3						1.25	8.75

ფარდობითი ბიოლოგიური ეფექტურობის განსაზღვრა აღწერილია ნაშრომებში [2-5] ლაბორატორიული ექსპერიმენტის გზით. სატესტე მწერებზე თითოეული დაკვირვება გრძელდებოდა 14 დღის განმავლობაში, ყველა კომბინაციის ერთნაირი დოზის (50 მლ ერთ კონტეინერზე) და კონცენტრაციის პირობებში, რომლებიც დაახლოებით 5-ჯერ უფრო დაბალია, ვიდრე აზიურ ფაროსანას წინააღმდეგ მალათიონის სავსე პირობებში გამოყენებისთვის რეკომენდებული დოზა [6].



ნახ. 2. დ-1, დ-2, დ-3 და ანოლიტური ხსნარის შემცველი ინსექტიციდური კომბინაციების ბიოლოგიური ეფექტურობა (ფარდობითი ერთეულები)

კვლევის შედეგები მოცემულია ნახ. 2-ზე. როგორც ვხედავთ, სამივე შემთხვევაში ბიოლოგიური ეფექტურობის მერუდს აქვს აშკარად გამოხატული სინერგიულობის პიკები, რომელიც არის ელექტროქიმიურად აქტივირებული წყლის ინსექტიციდური კომბინაციების ერთ ან რამდენიმე კომპონენტთან სინერგიული (სუპერ-ადიტიური) ურთიერთქმედების შედეგი. ელემენტარული გამოთვლების ცალსახად გვიჩვენებს, რომ პიკური სინერგიულობა იზრდება ბიფენტრინის და მალათიონის შემცველობის კლებასთან ერთად (დაახლოებით 44%-დან 170%-მდე, 82 %-დან 400%-მდე და 95%-დან 520%-მდე შესაბამისად დ-1, დ-2 და დ-3 კომბინაციების შემთხვევაში).

კვლევის შედეგები და დასკვნები

კვლევის ძირითადი შედეგები ადასტურებს, რომ წყლის წინასწარი გამტკნარების პროცესი გამოირჩევა დაბალი ენერგოტევადობით და მნიშვნელოვნად შემცირებული ღირებულებით, ხოლო მისი გამოყენებით მიღებული პროექტები შეიძლება წარმატებით გამოვიყენოთ ინსექტიციდური კომბინაციების შემადგენლობაში. ყველა გამოკვლეულ შემთხვევაში ფიქსირდება სინერგიულობის ოთხი აშკარად გამოხატული პიკი. სინთეზური

კომპონენტების შემცველობის შემცირების თვალსაზრისით განსაკუთრებით საინტერესოა სინერგიული პიკები, რომელიც შეესაბამება ელექტროქიმიურად აქტივირებული წყლის მაღალ შემცველობას. მაღალ ინტერესს იწვევს აგრეთვე დაბალი ენერგოტევადობის მქონე პროცესის შედეგად მიღებული ელექტროქიმიურად აქტივირებული წყლის შემცველი ინსექტიციდური კომბინაციების სხვა მანე მწერების (იტალიური, მაროკოული და მიგრატორული კალია, კოლორადოს ხოჭო და სხვ.) ბიოლოგიური ეფექტურობის და სინერგიულობის ხარისხის კვლევა. ასევე აუცილებელია მიღებული შედეგების გადამოწმება უფრო მასშტაბური ლაბორატორიული და საველე ტესტირების პირობებში.

ლიტერატურა

1. Gude V. G. Desalination and sustainability—an appraisal and current perspective Water Res. 89. 87-106. 2016.
2. ჭირაქაძე ა., მესხი გ., ბუაჩიძე ზ., გიგინეიშვილი ა. (2020) მაღალი ბიოლოგიური ეფექტიანობის ფართო სპექტრის ახალი კომბინირებული სინერგიული ინსექტიციდური კომპოზიციის ბიოლოგიური ეფექტიანობის კვლევა და მოქმედების ხანგრძლივობის ტესტირების ახალი მეთოდის შემუშავება. დეპონირებულია საქართველოს ინტელექტუალური საკუთრების ცენტრში („საქპატენტი“). მოწმობა 0193, 23/10/2020.
3. Mitagvaria N., Chirakadze A., Devdariani M., et al. Whole Body Hyperthermia Induced Phenomenon of Hormesis (Experimental Study). Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences, 14, 4, 68-74. 2020.
4. Chirakadze A., Mitagvaria N., Devdariani M., et al. Development and Testing of Nanoparticles for Treatment of Cancer Cells by Curie Temperature Controlled Magnetic Hyperthermia. Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences, 15, 1, 91-98. 2021.
5. Chirakadze A., Mitagvaria N., Jishiashvili D., et al. Microwave synthesis, characterization and testing of acute toxicity of boron nitride nanoparticles by monitoring of behavioral and physiological parameters. Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences, 15, 2, 120-126. 2021.
6. Leskey T.C, Lee D.-H., Short B. D., Wright S. E. Impact of Insecticides on the Invasive Halyomorpha halys (Hemiptera: Pentatomidae): Analysis of Insecticide Lethality//Journal of Economic Entomology. 105, 5, 1726-1735. 2012.

RECOVERY AND OXIDATION (REDOX) POTENTIAL OF THE PRODUCTS OF ENERGY SAVING ELECTROCHEMICAL DESALINATION OF WATER AND THEIR BIOLOGICAL EFFECTIVENESS AGAINST THE BROWN MARMORATED STINK BUG.

M.Ambokadze. "Energy". №3(99). 2021. Tbilisi. p. 32-38. geo. sum geo. engl. rus.

The present research deals with study of characteristics of the desalinated water produced in a three-chamber zinc/ferricyanide Electrochemical Desalination Battery (EDB), determination of their biological effectiveness against BMSB and evaluation of potential for its use as a synergistic component of the insecticidal combinations containing diatomaceous earth, bifenthrin, malathion, rosemary oil, bio-degradable emulsifier-disperser Lansperse Bio-868 and hydroxyethylcellulose (HEC). The results obtained clearly showed that solely the anolyte and catholyte solutions water are not effective against BMSB, although both of them revealed a significant biological effectiveness and synergy in combinations with lower content of bifenthrin plus malathion. Hence, we can conclude that the electrochemically pretreated water can be effectively used in insecticidal combinations to reduce the content of synthetic chemical insecticidal components and, therefore, the toxicity of combinations against non-targeted insects and other living organisms.

Ill 2, tabl. 2, bibl.6.

ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ (ОВП) ПРОДУКТОВ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ОПРЕСНЕНИЯ ВОДЫ И ИХ БИОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПО ОТНОШЕНИЮ К МРАМОРНОМУ КЛОПУ.

М.Амбокадзе. "Энергия". №3(99). 2021. Тбилиси. с.32-38. груз. реф. груз. англ. рус.

Исследование посвящено изучению характеристик опресненной воды, полученной в трехкамерной цинк-феррицианидной электрохимической опреснительной батарее, определению их биологической эффективности и оценке возможности ее использования в качестве синергетического компонента инсектицидных комбинаций, содержащих диатомит, бифентрин, малатион, масло розмарина, биосовместимый эмульгатор-диспергатор Lansperse Bio-868 и гидроксиэтилцеллюлозу (HEC). Полученные результаты четко показали, что сами по себе водные растворы анолита и католита неэффективны против Мраморного Клопа, хотя оба они показали значительную биологическую эффективность и синергизм в комбинациях с низким содержанием бифентрина и малатиона. Следовательно, можно сделать вывод, что частично опресненная электрохимическим способом вода может быть эффективно использована в инсектицидных комбинациях для снижения содержания синтетических химических инсектицидных компонентов и, следовательно, токсичности комбинаций против нецелевых насекомых и других живых организмов.

Илл. 2, табл. 2, лит. 6.

К РАСЧЕТУ ГАЛОКЛИНА В УСТЬЯХ РЕК ПРЕДГОРНОГО ТИПА

Доктор технических наук, профессор *ШАЛВА ГАГОШИДЗЕ*

Грузинский технический университет

Аннотация. Существующие теоретические и экспериментальные зависимости для определения длины вторжения морской воды в устья рек, полученные при условии пренебрежения уклоном дна реки, не дают достоверных результатов применительно к устьям рек предгорного типа, в частности, для рек Черноморского побережья Грузии, приустьевые уклоны дна которых сравнимы с уклонами трения между пресной и соленой водой и даже значительно превышают их.

В работе выводятся соотношения для расчета геометрических параметров интрузии клина морской соленой воды (галоклина) в устьях рек предгорного типа. Показано, что наряду со скоростью речного потока и разностью плотностей морской и речной вод, при определении длины вторжения галоклина решающее значение приобретает учет влияния уклона дна устья реки.

Ключевые слова: море, устье реки, галоклин, уклон дна, длина галоклина.

На устьевых участках рек и каналов, особенно в периоды межени, часто возникает клин соленой морской воды – т.н. галоклин, вызывающий нежелательные последствия для мелиорации и питьевого водоснабжения. Кроме того, он способствует коагуляции и интенсивному осаждению наносов, снижает пропускную способность устьевых участков рек и создает угрозу подтоплений близлежащих территорий при пропуске паводковых расходов.

Соленый клин морской воды в меженные периоды может распространиться по дну реки на значительные расстояния. Например, на р. Миссисипи длина галоклина достигает 24, на р. Северная Двина - 16, в канале Роттердам - 118, а на р. Делавар - 120 км [1].

Теоретические и экспериментальные зависимости для определения длины вторжения галоклина, полученные при условии пренебрежения уклоном дна реки, не дают достоверных результатов применительно к устьям рек предгорного типа (например, для рек Черноморского побережья Грузии, приустьевые уклоны дна которых сравнимы с уклонами трения между пресной и соленой водой и даже значительно превышают их) [1-4]. Длина вторжения галоклина в устье реки, даже при фактическом отсутствии расходов речной воды ограничено тем, сравнительно коротким, расстоянием от устьевого створа, на котором плоскость морской поверхности пересекает дно русла реки.

Вторжение галоклина в устье реки и его отступление в сторону моря (при про-

пуске паводковых расходов) обычно сопровождается интенсификацией процессов турбулентной диффузии и конвективного массообмена между слоями пресной и соленой воды. По мере наступления устойчивой межени перемещение галоклина по дну реки прекращается, он принимает стабильную форму, а его длина достигает максимального значения. При этом в связи

с прекращением процессов турбулентной диффузии между речной струей и галоклином образуется устойчивая поверхность контактного раздела, ниже которой покоится неподвижное тело галоклина, напоминающее форму ледника (рис 1).

В векторной форме уравнение Эйлера для тела галоклина, находящегося в статическом равновесии имеет вид:

$$\text{grad}(z + p/\gamma) = 0, \tag{1}$$

где z - уровень произвольной точки тела галоклина; p - давление в этой точке; γ - удельный вес морской воды.

Если в качестве z взять уровень дна устьевого участка реки z_0 и выразить давление на дно реки посредством глубин морской h и речной h' воды уравнение (1) запишется в виде:

$$\text{grad}(z_0 + h + (\gamma'/\gamma)h') = 0, \tag{2}$$

где γ' - удельный вес пресной речной воды.

В дальнейшем рассмотрим одномерную плоскую задачу, проектируя (2) на ось x в соответствии с расчетной схемой, приведенной на рис. 1. Получим

$$dz_0/dx + dh/dx + (\gamma'/\gamma)dh'/dx = 0. \tag{3}$$

Выразим глубину речного потока посредством полной глубины реки и глубины галоклина

$$h' = H_p - h, \tag{4}$$

или

$$h' = z_p - z_0 - h, \tag{5}$$

где z_p - уровень свободной поверхности реки

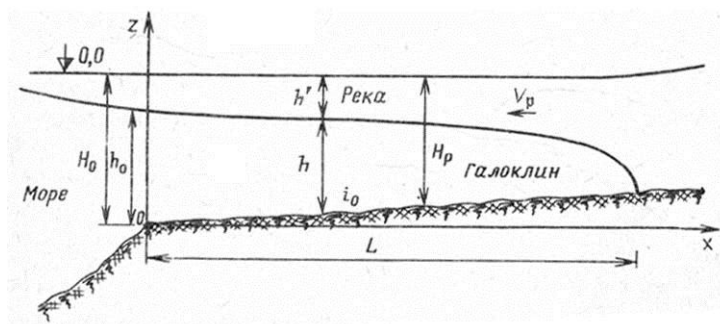


Рис. 1. Расчетная схема распространения галоклина

С учетом (5), (3) принимает вид

$$(1 - \gamma'/\gamma)dz_0/dx + (1 - \gamma'/\gamma)dh/dx + dx + \gamma'/\gamma dz_p/dx = 0. \quad (6)$$

Очевидно, что входящее в (6) производное dz_0/dx есть уклон дна реки $dz_0/dx=i_0$ (в рассматриваемом случае $dz_0/dx=const$), а dz_p/dx - уклон свободной поверхности речного потока. В условиях плоской задачи этот уклон в пределах области, занятой галоклином, в основном обусловлен силой трения между речной водой и галоклином. Для его исключения из (6) в целях точного решения задачи необходимо решить систему уравнений, включающую (6) и уравнения динамики, описывающие движение речной воды. Однако, этот громоздкий путь можно обойти, если по аналогии с известным представлением Т.Г.Войнич-Сяноженцкого [2] dz_p/dx записать в виде

$$dz_p/dx = \chi V_p^2 / gh' = \chi V_p^2 / g(H_p - h), \quad (7)$$

а полную глубину воды в устье реки, входящую в (7), заменить достаточным для практических расчетов приближенным выражением

$$H_p \approx H_0 - i_0x, \quad (8)$$

где χ - коэффициент трения на поверхности контактного разрыва между пресной и соленой водой; V_p - скорость речной струи; H_0 - полная глубина воды в начальном створе устья реки, которая считается заданной.

Тогда, учитывая (8) и выражая скорость речного потока через его удельный расход q_p , получаем

$$V_p = q_p / (H_0 - i_0x - h). \quad (9)$$

После исключения из (6) производной dz_p/dx получим нелинейное дифференциальное уравнение первого порядка для определения глубины (толщины слоя) галоклина в любом створе устья реки

$$(dh/dx) + i_0 + \chi \gamma' / (\gamma - \gamma') q_p^2 / g(H_0 - i_0x - h)^3 = 0. \quad (10)$$

Уравнение (10) после простых преобразований интегрируется путем разделения переменных, в результате чего при граничном условии $x=0, h=h_0$, где h_0 - глубина галоклина в устьевом створе, получим

$$h = H_0 - i_0x - \left\{ 4\chi[\gamma' / (\gamma - \gamma')] q_p^2 / g [x + (H_0 - h_0)^4] \right\}^{1/4}. \quad (11)$$

Очевидно, что для определения длины галоклина вдоль устья реки глубину его h следует приравнять к нулю. Тогда, принимая в (11) $h=0$ и учитывая, что при этом $x=L$, где L - искомая максимальная длина галоклина (при заданном стационарном режиме движения реки), после несложных преобразований получаем

$$(1 - i_0L/H_0)^4 = 4\chi[(1 - \sigma)/\sigma] Fr_0 L / H_0 + (1 - h_0/H_0)^4, \quad (12)$$

где

$$\sigma = 1 - \gamma'/\gamma, \quad (13)$$

а Fr_0 - число Фруда, определяемое в начальном створе по полной глубине реки

$$Fr_0 = q_p^2 / gH_0^3. \quad (14)$$

Для получения численных результатов (11) и (12) необходимо располагать данными (соотношениями), определяющими коэффициент трения и глубину галоклина в устьевом створе. Их можно устанавливать по соотношениям Т.Г.Врйнич-Сяноженцкого и Л.Д.Гогелиани [1,2]:

$$\chi = 0,04/Re^{1/4} = 0,04(q_p/v)^{1/4}, \quad (15)$$

$$h_0/H_0 = 1 - 1,01(q_p/H_0\sqrt{g\sigma H_0})^{2/3}, \quad (16)$$

где Re - число Рейнольдса для речной струи; v - кинематическая вязкость речной воды, зависящая от температуры.

С помощью этих соотношений длину галоклина можно определять по (12) (представляющему собой алгебраическое уравнение четвертого порядка относительно L , или путем подбора или же графических построений. Вспомогательные графики для определения длины галоклина при ненулевых и положительных уклонах дна приведены на рис. 2.

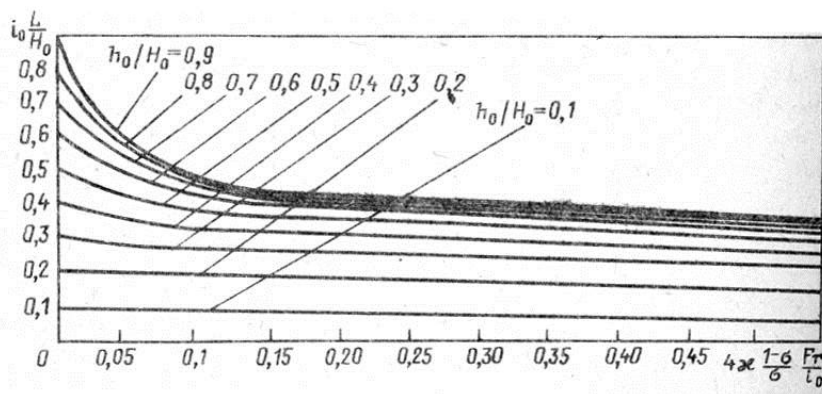


Рис. 2. Кривые для определения длины статического галоклина

При $i_0 \neq 0$ (12) решается в явном виде относительно L/H_0

$$L/H_0 = [1 - (1 - h_0/H_0)^4] / 4 \chi [(1 - \sigma) / \sigma] Fr_0. \quad (17)$$

Зависимость (17) может быть использована для предварительной оценки длины галоклина в устьях рек равнинного типа с очень малым уклоном дна.

Зависимость (12) при $Fr_0 \rightarrow 0$, т.е. при меженных расходах реки, не дает бесконечного роста длины галоклина. Действительно, при $Fr_0 \rightarrow 0$, т.е. при $q_p \rightarrow 0$ согласно (16) $h_0 \rightarrow H_0$ и по (12) получаем, что $L \rightarrow H_0/i_0$ т.е. как и следовало ожидать,

морской водой заполняется та часть пространства устья реки, которая сверху ограничена уровнем поверхности моря.

С другой стороны, согласно (17) при $i_0=0$, но $Fr_0 \neq 0$ длина галоклина все равно остается ограниченной.

Сравним теперь полученные результаты с наиболее употребляемыми расчетными соотношениями [1-3].

В наших обозначениях они соответственно имеют вид

$$L/H_0 = 6(H_0\sqrt{g\sigma H_0}/v)^{1/4}(2q_p/H\sqrt{g\sigma H_0})^{-5/2}; \quad (18)$$

$$L/H_0 = (\sigma/\chi Fr_0)[1/2(h_0/H_0)^2 - 2/3(h_0/H_0)^3 + 1/4(h_0/H_0)^4]. \quad (19)$$

Как видно, в отличие от (12) соотношения (18) и (19), полученные в результате пренебрежения уклоном дна, могут быть использованы лишь для рек равнинного типа, приустьевые уклоны которых на больших расстояниях от устьевого створа действительно могут быть очень малыми. (В этом отношении (18), (19) соответствует имеющая наиболее простой вид зависимость (17)). Действительно, если воспользоваться выражениями (17) - (19) и рассчитать длину галоклина в устьях рек и каналов, впадающих в Черное море со стороны Кавказского хребта, то даже в период обычной межени получим такую большую длину галоклина, которая физически не может существовать, т.к. может оказаться гораздо большей, чем расстояние от устьевого створа до створа, где плоскость морской поверхности пересекает дно реки.

Возьмем, к примеру, канал шириной $B_{cp}=155,5$ м, имеющий уклон дна $i_0=0,001$ м и глубину в устьевом створе $H_0=6$ м. Этот канал, рассчитанный на пропуск паводковых и сбросных расходов ГЭС в период межени и отсутствия сбросов пропускает расход 100%-ной обеспеченности $Q_p=50$ м³/с (с удельным расходом $q_p=0,322$ м²/с). При пропуске этого расхода в канал со стороны моря будет распространяться клин морской соленой воды, длина которого будет ограничена расстоянием $L_{np} = 6 \text{ м}/0,001 = 6 \text{ км}$.

Принимая, что $\rho'/\rho = \gamma'/\gamma = 0,983$, а коэффициент кинематической вязкости $\nu=10^{-6}$ м²/с (при температуре 20⁰С /5/), на основе (13)-(16) получаем: $\sigma=0,017$; $Fr_0=4,9 \cdot 10^{-5}$; $\chi=0,0017$; $h_0/H_0=0,857$.

Тогда, если рассчитывать длину галоклина в соответствии с (12), то при безразмерном комплексе $4\chi[(1-\sigma)/\sigma]Fr_0/i_0=0,0193$ согласно графику на рис. 2, получаем $i_0L/H_0=0,67$ и, следовательно, длина галоклина $L \approx 4$ км.

Если пренебречь влиянием уклона дна и при прочих равных условиях рассчитать длину галоклина по соотношениям Кейлегана (18) и Гогелиани (19), то соответственно получим $L \approx 470$ и 100 км.

При этом по (17), получаемому из (12) при $i_0=0$, будем иметь $L \approx 311$ км.

Таким образом, при расчете длины галоклина к пренебрежению уклоном дна реки следует относиться очень осторожно, так как в формировании статического галоклина роль уклона дна реки совместно со скоростью речного потока и разностью плотностей морской и речной воды приобретает решающее значение.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Гогелиани Л.Д. Вопросы гидравлики галоклина в устьях рек бесприливных морей//Тр. ЗакНИГМИ. 1973. Вып.31 (37).
2. Войнич-Сяноженцкий Т.Г. Гидродинамика устьевых участков рек и взморий бесприливных морей //Тр. ЗакНИГМИ. 1972. Вып.46(52).
3. Гидродинамика береговой зоны и эстуариев: Пер. с англ./Под ред. М.С.Глушевского. Л.:Гидрометеиздат. 1970.
4. Shi-Jgal H., Savamoto H. E[perimental and theoretical modeling of saline wedges//13-th Congress J.A.H.R. 11969. V.3. Kyoto.
5. Справочник по гидравлическим расчетам/Под ред. П.Г.Киселева. М.:Энергия. 1972.

TO CALCULATION OF HALOCLINE IN THE RIVERS MOUTHS OF FOOTHILL TYPE.

Sh. Gagoshidze. "Energy". №3(99). 2021. Tbilisi. p. 39-45. rus. sum geo. engl. rus.

The existing theoretical and experimental dependencies for determining the length of seawater intrusion in river mouths obtained under the condition of neglecting the slope of the river bed do not give reliable results for the estuaries of foothill rivers, in particular for the rivers of the black sea coast of georgia, whose near-mouth bottom slopes are comparable with the slopes of the fresh and salt water friction and even significantly exceed them.

In this article we derive relations for calculating the geometric parameters of the intrusion of the sea salt water wedge (halocline) in the mouths of piedmont type rivers. It is shown that in addition to the velocity of the river flow and the difference between the density of sea and river water, the influence of the slope of the river mouth in determining the length of the intrusion of halocline is crucial.

Ill. 2, bibl. 5.

ჰალოსოლის საანგარიშოდ მთის ტიპის მდინარეთა შესართავებში.

შ. გაგოშიძე. "ენერჯია". №3(99). 2021. თბილისი. გვ. 39-45. რუს. ანოტ. ქართ. ინგლ. რუს.

არსებული თეორიული და ექსპერიმენტული დამოკიდებულებები მდინარის შესართავებში ზღვის წყლის შეჭრის საანგარიშოდ, მიღებულია მდინარის ფსკერის დახრილობის უგულებელყოფის პირობებში და არ იძლევიან სანდო შედეგებს მთისწინეთის ტიპის მდინარეების შესართავებთან მიმართებაში, კერძოდ, საქართველოს შავი ზღვის სანაპიროს მდინარეებისთვის, რომელთა ფსკერის ქანობი ეთანადება და ხშირად მნიშვნელოვნად აჭარბებს კიდევ ხახუნის ქანობს მდინარის მტკნარ და ზღვის მარილიან წყალს შორის.

გამოყვანილია საანგარიშო დამოკიდებულებები მთისწინა მდინარეთა შესართავებში ზღვის წყლის შეჭრის (ჰალოსოლის) გეომეტრიული პარამეტრების დასადგენად. ნაჩვენებია, რომ მდინარის დინების სიჩქარესა და ზღვისა და მდინარის წყლების სიმკვრივეთა სხვაობასთან ერთად, მდინარის შესართავში ჰალოსოლის შემოჭრის სიგრძის განსაზღვრისას, გადამწყვეტი მნიშვნელობა ენიჭება შესართავში მდინარის ფსკერის ქანობის გათვალისწინებას.

ილ. 2, ლიტ. 5 დას.

**ქიმიური დანამატებით მოდიფიცირებული ბეტონის
ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების კვლევა**

**ტექნ. მეცნ. დოქტორი, პროფესორი *მერაბ ლორთქიფანიძე*
აკადემიური დოქტორი *თეიმურაზ ჯოჯუა*
დოქტორანტი *ბეკა ხაჩიძე***

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ანოტაცია. თანამედროვე მშენებლობაში გამოყენებული ბეტონი უნდა ხასიათდებოდეს მაღალი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებებით, რათა მისი გამოყენება შესაძლებელი გახდეს მშენებლობის ნებისმიერ სფეროში. ამის მისაღწევად იყენებენ სხვადასხვა სახის დანამატებს. კერძოდ მოცემულ სტატიაში კვლევისათვის შერჩეულია დანამატები GRACE ZYLA® 420 M, სუპერპლასტიფიკატორი, მიკროსილიკა და მათი შერეული ნაერთი GRACE ZYLA® 420 M + მიკროსილიკა.

ამ დანამატების გამოყენებით ბეტონის ნარევი ხდება უფრო ძვრადი, ხოლო თვით ბეტონი წყალშეუღწევადი და მაღალი ტექნიკურ-მექანიკური მახასიათებლების მქონე მასალა.

საკვანძო სიტყვები: ქიმიური დანამატები, მოდელირებული ბეტონი, სუპერპლასტიფიკატორი, მიკროსილიკა.

ბეტონი თავისი მახასიათებლების დიდი სპექტრით ხასიათდება. ამიტომ იგი გამოიყენება პრაქტიკულად მშენებლობის ნებისმიერ სფეროში [1]. მიუხედავად ამისა, ბევრ შემთხვევაში ბეტონის კონსტრუქციები ვერ აკმაყოფილებენ წაყენებულ მოთხოვნებს გარემოს ნეგატიური მოქმედების გამო. იმისათვის, რომ გაიზარდოს ნარევის გარკვეული თვისებები, იყენებენ ბეტონის დანამატებს [2,3].

კვლევისათვის შერჩეულია დანამატები GRACE ZYLA® 420 M, სუპერ-პლასტიფიკატორი, მიკროსილიკა და მათი შერეული ნაერთი GRACE ZYLA® 420 M + მიკროსილიკა.

ნარევი ისინი მატულობენ მოცულობაში, ავსებენ ფორებსა და სიცარიელებს მისგან დევნიან ჰაერის ბუშტებს და ნარევი ხდება უფრო ძვრადი. ჩვენ მიერ გამოყენებული სუპერპლასტიფიკატორი GRACE ZYLA® 420 M სწორედ ასეთი მოქმედებით გამოირჩევა. არანაკლებ მნიშვნელოვანია მასთან ერთად მეორე ქიმიური დანამატის მიკროსილიკას გამოყენება. აღნიშნული დანამატები ბეტონის ფორებსა და კაპილარებში სიღრმეებში წარმოქმნიან არაგადამუშავებად კრისტალებს, რომელიც ლუქავს ბეტონს წყლისა და სითხის შეღწევისაგან.

ჩვენ მიერ დამზადებული და გამოცდილი იქნა ბეტონის ნიმუშები ქიმიური დანამატებით სუპერპლასტიფიკატორით (GRACE ZYLA® 420 M); მიკროსილიკით და შერეული (GRACE ZYLA® 420 M + მიკროსილიკა) და საკონტროლო საბაზისო. სულ დამზადდა 24 ცალი ბეტონის პრიზმა ზომით 10x10x30 სმ, რომელთაგან სამ-სამი პრიზმა თითოეული ვარიანტიდან გამოიცადა სიმტკიცეზე, ხოლო დანარჩენი სამი სიმტკიცესა და დეფორმატიულობაზე. 24 საათის შემდეგ მოხდა ნიმუშების განყალიბება და სპეციალურ სარეჟიმო კამერაში მოთავსება, სადაც ტენიანობა შეადგენდა 95%. 3 თვის ასაკში მოხდა მათი გამოცდა სიმტკიცეზე და დეფორმატიულობაზე.

გრძივი დეფორმაციები იზომებოდა პრიზმების ურთიერთსაწინააღმდეგო გვერდებზე დამაგრებული თანამედროვე ელექტრონული ინდიკატორებით დანაყოფის ფასით 0,001 მმ, ბაზით 15 სმ (ფოტო 1- 3).

მიღებული შედეგები მოცემულია გრაფიკების სახით, სადაც აბსცისთა ღერძზე გადაზომილია ფარდობითი დეფორმაციები 10^{-5} , ხოლო ორდინატთა ღერძზე კი - შესაბამისი ძაბვები σ .



ფოტო 1.



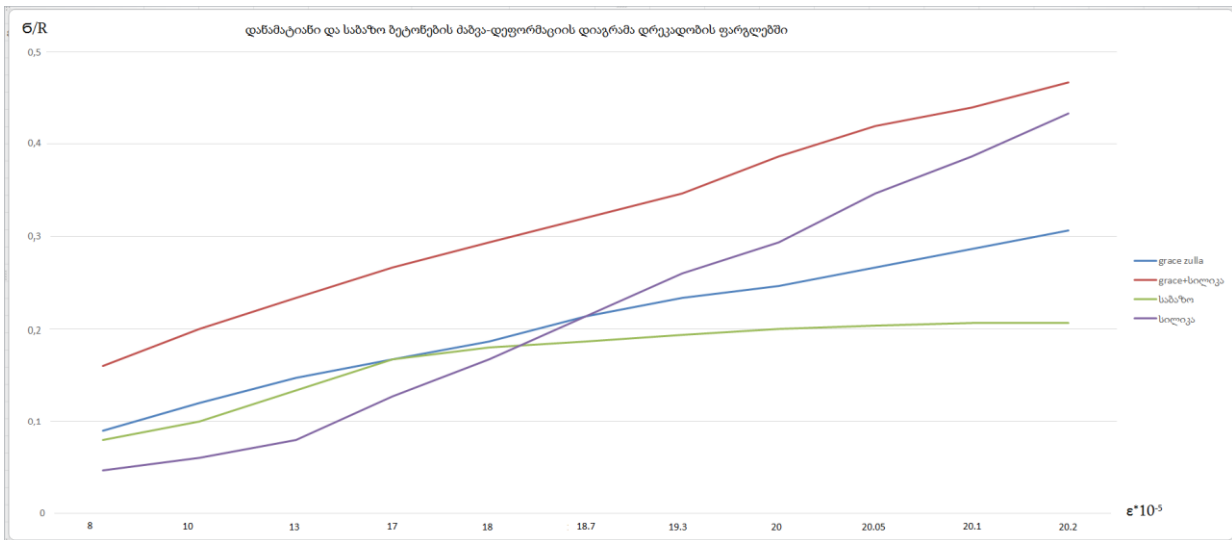
ფოტო 2.



ფოტო 3.

ხანმოკლე დატვირთვების დროს სიმტკიცემ შეადგინა საბაზოსთვის M350, მიკროსილიკით დანამატიანი ბეტონის შემთხვევაში M460, სუპერპლასტიფიკატორით - M410, ხოლო შერეულმა დანამატებით შედგენილმა ბეტონმა - M490.

საბაზო და დანამატიანი ბეტონების ძაბვა-დეფორმაციაზე ჩატარებული გამოცდების შედეგები მოყვანილია ნახაზზე. აბსცისთა ღერძზე გადაზომილია დეფორმაციები $\epsilon \cdot 10^{-5}$. ხოლო ორდინატთა ღერძზე კი - შესაბამისი ძაბვები.



ნახაზი. საბაზო და დანამატებიანი ბეტონის ნიმუშების დეფორმაციის დიაგრამა

მიკროსილიკის დამატებით დამზადებული დანამატიანი ბეტონის ნიმუშის სიმტკიცის ზღვარმა კუმშვაზე შეადგინა 46 მპა-ს, რაც საბაზისო ბეტონზე 20%-ით მეტია. ეს იმის მანიშნებელია, რომ ამ შემთხვევაშიც ბეტონის სტრუქტურა ერთგვაროვანია და მისი ფორები შეივსო მიკროსილიკასა და წყლის ქიმიური რეაქციის შედეგად წარმოქმნილი კრისტალებით. ამ დანამატის უარყოფით მხარეს წარმოადგენს ის, რომ მისგან შედგენილი ბეტონის ნარევი სწრაფად მყარდება და ბეტონი ხდება მყიფე, ამ უარყოფითი ფაქტორის გათვალისწინებით ნარევის ძვრადობის გაზრდის მიზნით ჩვენ მიერ მოხდა მასზე სუპერპლასტიფიკატორის დამატება. მიღებული შერეულდანამატიანი ბეტონი მაღალი ზღვრული დეფორმაციულობის და მაღალი სიმტკიცის აღმოჩნდა.

აქედან გამომდინარე, შესაძლებელია გაკეთდეს დასკვნა: ყველაზე ოპტიმალურ შედეგს იძლევა შერეული დანამატებით შედგენილი ბეტონის ნიმუშები, რომლებიც გამოირჩევიან მაღალი სიმტკიცითა და დრეკადობის მოდულით.

მნიშვნელოვანია, რომ ზღვრული დეფორმაციები ყველა შემთხვევაში დაახლოებით ერთმანეთის ტოლია და $\epsilon = 160 \cdot 10^{-5}$.

ნიმუშების გამოცდების შედეგებიდან ჩანს, რომ შერეული დანამატიანი ბეტონის სიმტკიცე და დრეკადობის მოდული მეტია დანარჩენი ბეტონების სიმტკიცესა და დრეკადობის მოდულებზე, თვით მრუდის ხასიათიც მიგვანიშნებს მისი სტრუქტურის ერთგვაროვნებაზე.

დასკვნა

დანამატიანი ბეტონის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების კვლევების შედეგად შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ ყველაზე ოპტიმალურ შედეგს იძლევა შერეული დანამატებით

შედგენილი ბეტონის ნიმუშები, რომლებიც გამოირჩევიან მაღალი სიმტკიცითა და დრეკადობის მოდულით. ექსპერიმენტით მიღებული ბეტონის ნიმუშების სიმტკიცისა და დეფორმაციის მრუდები გვიჩვენებს, რომ სიმტკიცისა და დრეკადობის მოდული დანამატთან ბეტონში მეტია დანამატების გარეშე ბეტონის იგივე მახასიათებლებზე.

ლიტერატურა

1. Патуроев В.В. Полимербетоны. СИ. М. 1987.
2. ლორთქიფანიძე მ., ჯოჯუა თ., დონდოლაძე ნანა. აგრესიული გარემოს მიმართ მდგრადი ბეტონის მიღება/ ენერჯია. №4(64). 2012. თბილისი.
3. ლორთქიფანიძე მ., ნარეკლიშვილი თ., ტაბატაძე ნ., ქემერტელიძე გ. მსუბუქი კონსტრუქციული მასალის - პოლისტიროლბეტონის ექსპერიმენტული კვლევა მისი შედგენილობის ოპტიმიზაციისა და დანამატების საშუალებით/ ენერჯია. №1(65). 2013. თბილისი.

STUDY OF PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES OF CONCRETE MODIFIED WITH CHEMICAL ADDITIVES.

M. Lortkipanidze, T. Jojua, B. Khachidze. "Energy". №3(99). 2021. Tbilisi. p. 46-50. geo. sum geo. engl. rus.

Concrete applied in modern construction should have high physico-mechanical properties for it to allow its use in any construction field. Various types of additives are used in order to achieve this. In particular, the additives - GRACE ZYLA® 420 M, super-plasticizer, micro-silica and their admixture GRACE ZYLA® 420 M + micro-silica have been selected for study in this article. By using these additives, the concrete admixture would become more movable and the concrete itself would become a waterproof material with high physico-mechanical properties.

Ill. 1, foto 1.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МОДИФИЦИРОВАННОГО БЕТОНА С ХИМИЧЕСКИМИ ДОБАВКАМИ

М.Лордкипанидзе, Т.Джоджуа, Б.Хачидзе. "Энергия". №3(99). 2021. Тбилиси. с. 46-50. груз. реф. груз. англ. рус.

Бетон, используемый в современном строительстве, должен характеризоваться высокими физико-механическими свойствами при применении в любой сфере строительства.

Для достижения указанного используют разного рода добавки. В частности, в данной работе для исследований были подобраны следующие добавки: GRACE ZYLA® 420 M, суперпластификатор, микросилика и их смешанная смесь - GRACE ZYLA® 420 M + микросилика.

При использовании указанных добавок бетонная смесь становится более подвижной, а сам бетон - водонепроницаемым материалом с высокими технико-механическими показателями.

Илл. 1, фото 3.

პროფესორ რევაზ არველაძე - 80 წლისაა



დაიბადა 28.10.1941 წ. ქ. თბილისში. დაამთავრა საქართველოს პოლიტექნიკური ინსტიტუტის ენერგეტიკის ფაკულტეტი სპეციალობით “ელექტრული ქსელები და სისტემები” (1964) და სახალხო მეურნეობის მართვის ინსტიტუტი (1986); ტ.მ.კ. - (1970); ტ.მ.დ. - (1993), პროფესორი.

წლების განმავლობაში მუშაობდა ენერგეტიკის დარგში სახვდასხვა საპასუხისმგებლო თანამდებობებზე: 1980-1984 წწ. იყო საქართველოს მინისტრთა საბჭოს უფროსი რეფერენტი, მრეწველობისა და ენერგეტიკის განყოფილების გამგის მოადგილე; 1984-1990 წწ. სახელმწიფო დეპარტამენტის “საქმთავარენერგოს” უფროსის პირველი მოადგილე-მთავარი ინჟინერი; 1990-1996 წწ. საქართველოს ენერგეტიკისა და ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა სამეცნიერო კვლევითი ინსტიტუტის დირექტორი; 1992-1993 წწ. საქართველოს სათბობ-ენერგეტიკის მინისტრი; 1994-1995 წწ. საქართველოს სახელმწიფოს მეთაურთან არსებული სათბობ-ენერგეტიკული კომპლექსის საკოორდინაციო სამსახურის უფროსი, მთავარი სახელმწიფო კოორდინატორი, საქართველოს სახელმწიფოს მეთაურის პირადი წარმომადგენელი; 1996-1997 წწ. საქართველოს სათბობ-ენერგეტიკის მინისტრის პირველი მოადგილე; 1999-2004 წწ. საქართველოს პარლამენტის მე-5 მოწვევის, 2016-2020 წწ. მე-9 მოწვევის წევრი.

1989-1990 წწ. იყო “თბილსრესის” 300 მეგავატი სიმძლავრის #9 და #10 ენერგობლოკების სახელმწიფო მიმღები კომისიის თავმჯდომარე. 1995-1996 წწ. ხელმძღვანელობდა 500 კვ ელექტროგადამცემი ხაზი “კავკასიონის” აღდგენით სამუშაოებს. 1997 წელს იყო ენგურჰესის ავარიულ-აღდგენითი სამუშაოების სახელმწიფო კომისიის თავმჯდომარე.

1992-1995 წწ. ხელმძღვანელობდა საქართველოს ეკონომიკის სამინისტროს სამეცნიერო საბჭოს ენერგეტიკის განყოფილებას. 1996-1997 წწ. იყო საქართველოს სათბობ-ენერგეტიკის სამინისტროს სამეცნიერო-საკონსულტაციო საბჭოს თავმჯდომარე. მისი ხელმძღვანელობით და აქტიური მონაწილეობით დამუშავდა “საქართველოს ენერგეტიკული პოლიტიკის” პროექტი, საქართველოს კანონი “ელექტროენერგეტიკისა და

ბუნებრივი გაზის შესახებ” და რიგი კანონპროექტები, რომელთა მიღებამ მნიშვნელოვანი წვლილი შეიტანა საქართველოს ენერგეტიკის განვითარების საქმეში.

1990-2008 წწ. იყო საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკის ფაკულტეტის სახელმწიფო საგამოცდო კომისიის თავმჯდომარე. 2006-2009 წწ. ხელმძღვანელობდა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციების ფაკულტეტის პროფესორ-მასწავლებელთა შესარჩევ კონკურსს.

1994 წლიდან არის საქართველოს ენერგეტიკის აკადემიის პრეზიდენტი. მეცნიერების, განათლების, მრეწველობისა და ხელოვნების საერთაშორისო აკადემიის ნამდვილი წევრი, საქართველოს საინჟინრო აკადემიის ვიცე-პრეზიდენტი, საერთაშორისო ენერგეტიკის აკადემიის ნამდვილი წევრი, ენერგეტიკის ეკონომისტთა საერთაშორისო ასოციაციის წევრი, გაერთიანებული ერების ორგანიზაციის ევროპის ეკონომიკური საბჭოს ექსპერტი. 1997 წელს მისი ინიციატივით დაფუძნდა სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი “ენერჯია” და დღემდე მისი სარედაქციო კოლეგიის წევრია. არის 100-ზე მეტი სამეცნიერო ნაშრომის ავტორი. მონაწილეობდა მრავალ საერთაშორისო კონფერენციაში და სიმპოზიუმში.

დაჯილდოებულია საბჭოთა კავშირის სახელმწიფო ჯილდოებით და ვახტანგ გორგასლის მეორე ხარისხის ორდენით.

ბატონო რევაზს, გულითადად ვულოცვით საიუბილეო თარიღს, ვუსურვებთ ჯანმრთელობას, ხანგრძლივ სიცოცხლეს და შემდგომ შემოქმედებით წარმატებებს სამეცნიერო-პედაგოგიურ მოღვაწეობაში, ჩვენი ქვეყნის და ტექნიკური უნივერსიტეტის საკეთილდღეოდ.

სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალ „ენერჯის“ რედაქცია

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკის ფაკულტეტი

რელაქციაში სტატიების შემოტანის წესები

1. ჟურნალის რელაქციაში შემოსატანი მასალა უნდა შეიცავდეს:
 - საკუთრივ სტატიას - 1 ეგზ. (სტატია და რეფერატი უნდა იყოს სტრუქტურირებული და შედგებოდეს შემდეგი ნაწილებისგან:
 - მეცნიერების დარგი;
 - სამუშაოს საგანი, თემა, მიზანი;
 - სამუშაოს შესრულების მეთოდი ან მეთოდოლოგია;
 - სამუშაოს შედეგები;
 - შედეგების გამოყენების სფერო;
 - დასკვნები.
 - ანოტაციას ქართულ ენაზე - 1 ეგზ.
 - ანოტაციას რუსულ ენაზე - 1 ეგზ.
 - ანოტაციას ინგლისურ ენაზე - 1 ეგზ.
 - დისკეტაზე ჩაწერილ სტატიასა და სამივე ანოტაციას (სათაურებით ქართულ, რუსულ და ინგლისურ ენებზე).
2. რელაქციაში შემოტანილი სტატიის გვერდის მოცულობა განისაზღვრება ერთნახევარი ინტერვალით. შრიფტის ზომაა 12; გვერდის ველები – ზევიდან, ქვევიდან, მარცხნიდან და მარჯვნიდან – 25 მმ. შრიფტები: ქართული – Sylfaen, AcadNusx, ინგლისური და რუსული – Times New Roman.
3. სტატია შეიძლება წარმოდგენილი იქნას ქართულ, რუსულ ან ინგლისურ ენაზე. მისი მოცულობა არ უნდა იყოს 3 გვერდზე ნაკლები და 10 გვერდზე მეტი.
4. გრაფიკული (ნახაზი, ფიგურა, სქემა, დიაგრამა, ნომოგრამა) და ფოტო მასალა აღირიცხება ტექსტის შემადგენლობაში ისევე, როგორც ციტირებული ლიტერატურის ნუსხა და, თანაც აუცილებელია უახლესიც. აუცილებელია ციტირებული ლიტერატურის რიგითი თანმიმდევრობის ნუმერაციის განთავსება ტექსტში. წარმოდგენილი გრაფიკული ან ფოტო მასალა იბეჭდება შავ-თეთრი გამოსახულებით. ფერად გამოსახულებაში მათი შესრულების შესაძლებლობა ყოველ კონკრეტულ შემთხვევაში დგინდება გამომცემლობა "ენერჯის" ხელმძღვანელობასთან შეთანხმებით. ყველა გრაფიკულ ან ფოტო მასალას უნდა ჰქონდეს დასახელება.
5. სტატიის ქართული, რუსული და ინგლისური ანოტაცია თითოეული უნდა შეიცავდეს 500 ნიშანს (დაახლოებით ხელნაწერი ტექსტის 10 სტრიქონს). ქართული, რუსული და ინგლისური ტექსტები უნდა ემთხვეოდეს ერთმანეთს.
6. ფიზიკური სიდიდეები უნდა იყოს წარმოდგენილი საერთაშორისო SI სისტემასთან შესაბამისობაში. ფორმულებში შემავალი სიდიდეები და აღნიშვნები უნდა გამოისახოს ქართული, ბერძნული ან ლათინური ანბანის შესაბამისად. როგორც გამონაკლისი, დასაშვებია რუსული ანბანის ასოების გამოყენება ეკონომიკური ხასიათის სტატიის წარმოდგენისას.
7. აუცილებელია სტატიის ავტორის (ავტორების) სახელის, სამეცნიერო ხარისხის, წოდების ან სპეციალობის მოყვანა. ავტორის (ავტორების) ხელმოწერის გარეშე სტატია არ მიიღება. საჭიროა ბინის ან სამუშაო ადგილის ტელეფონის მითითება.