

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
GEORGIAN TECHNICAL UNIVERSITY
ГРУЗИНСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

მომავალკვარტალური გამოცემა
QUARTERLY PUBLICATION
ЕЖЕКВАРТАЛЬНОЕ ИЗДАНИЕ

ISSN 1512-0996
DOI:<https://doi.org/10.36073/1512-0996>

Certificate
ICI Journals master List



ურომები
WORKS
ТРУДЫ
N3(513)



თბილისი – TBILISI – ТБИЛИСИ

2019

დაარსებულია 1924 წელს.
პერიოდულობა - 4 ნომერი წელიწადში.

საქართველოს ჟექნიკური უნივერსიტეტის სამეცნიერო შრომების კრებული ანის ყოველკვანცადური მუდგობისციპლინური რეფერირებადი პერიოდული გამოცემა, რომელიც რეგისტრირებულია საერთაშორისო ელექტრონულ მონაცემთა ბაზაში - Index Copernicus International.

ყველა უფლება დაცულია. ამ კრებულში გამოქვეყნებული ნებისმიერი სტატიის (ჟექსტი, ფოტო, ილუსტრაცია თუ სხვა) გამოყენება ანც ერთი ფონდითა და საშუალებით (ელექტრონული თუ მექანიკური) არ შეიძლება გამომცემლის წერილობითი ნებართვის გარეშე.

საავტორო უფლებების დარღვევა ისჯება კანონით.

ავტორი (ავტორები) პასუხისმგებელია სტატიის შინაარსზე და საავტორო უფლებებისა და სამეცნიერო ეთიკის საყოველთაოდ მიღებული სხვა ნორმების დაცვაზე.

სტატიის ავტორის (ავტორების) პოზიციის შეიძლება არ ემთხვეოდეს საგამომცემლო სახლის პოზიციას.

საგამომცემლო სახლი „ჟექნიკური უნივერსიტეტი“ გულწრფელი მადლიერებით მიიღებს ყველა კონსტრუქციულ შენიშვნას, წინადადებას და გამოიყენებს საქმიანობის შემდგომი სრულყოფისათვის.

მოგვწერეთ:

sagamomcemlosakhli@yahoo.com

შთაბარი რედაქტორი

ა. ფრანგიშვილი

შთაბარი რედაქტორის მოხელეები:

დ. კდიმიაშვილი

ბ. გასიცაშვილი

სარედაქციო კოლეგია:

ა. აბრადავა, გ. აბრამიშვილი, ა. აბშიდავა,
თ. ამბროლაძე, ე. ბარათაშვილი, თ. ბაცივაძე,
ჯ. ბერიძე, ს. ბიელეცკი (პოდლონეთი),
პ. ბიელივი (სლოვაკეთი), თ. გაბადაძე,
ჯ. გახოვიძე, თ. გელაშვილი, ა. გიგინეიშვილი,
გ. გობში (გერმანია), ივ. გონგიძე,
ად. გრიგორიშვილი, ედ. ედიშბარაშვილი, ს. ესაძე,
ვდ. ვარდოსანიძე, უ. ზვიადაძე, თ. ბუმბურიძე,
პ. ბუნკელი (ავსტრია), დ. თავხელიძე,
პ. თოდუა (რუსეთი), ი. კვესელავა, ფ. კვიციანი,
ა. კვეციანი (ესტონეთი), ბ. კვიციანი, თ. ლომინაძე,
ი. ლომიძე, ა. მამადისი (საბერძნეთი), მ. მაცაბერიძე,
თ. მეგრელიძე, მ. მესხი, ა. მონტონელიძე,
დ. მძინარიშვილი, დ. ნაჭროშვილი, ნ. ნაცვლიშვილი,
შ. ნემსაძე, დ. ნობაძე, გ. საღუქვაძე, ქ. ქოქრაშვილი,
ე. ქუთელია, ა. შარვაშიძე, ს. შმიდტი (გერმანია),
პ. შეროერი (გერმანია), მ. ჩხვიძე,
ბ. წვერიაძე, თ. ჯაგოდნიშვილი, თ. ჯიშკარიანი.

© საგამომცემლო სახლი „ჟექნიკური უნივერსიტეტი“, 2019

ISSN 1512-0996



9 771512 099004

Founded in 1924.
Published in quarterly editions.

Collection of Academic Works of Georgian Technical University is a multidisciplinary quarterly refereed periodical included in Index Copernicus International.

All rights reserved. No material appearing in this publication (texts, images, illustrations and other visual) can in any form or by any means (electronic or manual) be used by other parties without prior written consent of the publisher.

Infringement of copyright is punishable by law.

Author (authors) is (are) responsible for content of the article as well as protection of copyright and compliance with generally accepted norms of academic ethics.

Judgements of the author (authors) and the publishing house may vary.

Publishing House "Technical University" is open to constructive feedback and ideas for the purpose of continuous improvement.

Contact us:
sagamomcemlosakhli@yahoo.com

Editor in Chief
A. Prangishvili

Deputy Editors in Chief
L. Klimiashvili
Z. Gasitashvili

Editorial Board:

A. Abzalava, G. Abramishvili, A. Abshilava,
T. Ambroladze, E. Baratashvili, T. Batsikadze, J. Beridze,
S. Bielecki (Poland), P. Bielik (Slovakia), M. Chkheidze,
E. Elizbarashvili, S. Esadze, T. Gabadadze,
J. Gakhokidze, O. Gelashvili, A. Gigineishvili,
G. Gobsch (Germany), Iv. Gorgidze, Al. Grigolishvili,
T. Jagodnishvili, T. Jishkariani, A. Keevalik (Estonia),
Z. Kiknadze, K. Kokrashvili, E. Kutelia, I. Kveselava,
T. Kvitsiani, T. Lominadze, I. Lomidze,
A.G. Mamalis (Greece), M. Matsaberidze,
L. Mdzinarishvili, T. Megrelidze, M. Meskhi,
A. Motzonelidze, D. Natroshvili, N. Natsvlishvili,
Sh. Nemsadze, D. Nozadze, G. Salukvadze,
H. Stroher (Germany), H. Sunkel (Austria),
S.M. Schmidt (Germany), A. Sharvashidze,
D. Tavkhelidze, P. Todua (Russia), Z. Tsveraidze,
Vl. Vardosanidze, O. Zumburidze, U. Zviadadze.

© Publishing House "Technical University", 2019



Учрежден в 1924 году.
Периодичность – 4 номера в год

Сборник научных трудов Грузинского технического университета является ежеквартальным мультидисциплинарным реферируемым периодическим изданием, которое зарегистрировано в международной базе электронных данных - **Index Copernicus International**.

Защищены все права. Любую опубликованную в данном сборнике статью (текст, фото, иллюстрации) невозможно использовать ни одной из форм или средствами (электронными или механическими) без письменного разрешения издателя.

Нарушение авторских прав наказуемо законом.

Автор (авторы) несет ответственность за содержание статьи и защиту всеобщих принятых норм научной этики и авторских прав.

Мнение автора (авторов) статьи может не совпадать с мнением Издательского дома.

Издательский дом «Технический университет» с благодарностью учтет все конструктивные замечания, предложения и использует их для совершенствования дальнейшей деятельности.

Пишите:
sagamomcemlosakhli@yahoo.com

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ

А.И. Прангишвили

ЗАМ. ПРЕДСЕДАТЕЛЯ:

Л.Д. Климиашвили

З.А. Гаситашвили

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ:

А.Г. Абралава, Г.С. Абрамишвили, А.В. Абшилава,
Т.А. Амброладзе, Е.Ш. Бараташвили, Т.В. Бацикадзе,
С. Биелецки (Польша), П. Биелик (Словакия),
Дж.Л. Беридзе, Вл.Г. Вардосанидзе, Т.Г. Габададзе,
Дж.В. Гахокидзе, О.Г. Гелашвили,
А.В. Гигинеишвили, Г. Гобш (Германия), Ив.А. Горгидзе,
Ал.Р. Григолишвили, Т.А. Джагоднишвили,
Т.С. Джишқариани, У.И. Звиададзе, О.Г. Зумбуридзе,
Г. Зункел (Австрия), И.С. Квеселава, Т.А. Квициани,
А. Кеевалик (Эстония), З.Г. Кикнадзе,
К.А. Кокрашвили, Е.Р. Кутелия, И.Б. Ломидзе,
Т.Н. Ломинадзе, А. Мамалис (Греция),
М.И. Мацаберидзе, Л.Д. Мдзинаришвили,
Т.Я. Мегрелидзе, М.А. Месхи, А.Н. Моцонелидзе,
Д.Г. Натрошвили, Н.В. Нацвлишвили,
Ш.А. Немсадзе, Д.А. Нозадзе, Г.Г. Салуквадзе,
Д.Д. Тавхелидзе, П. Тодуа (Россия), З.Н. Цвераидзе,
М.М. Чхеидзе, А.М. Шарвашидзе,
С. Шмидт (Германия), Г. Штроер (Германия),
Э.Н. Элизбарашвили, С.Ю. Эсадзе.

© Издательский дом «Технический университет», 2019

ISSN 1512-0996



შინაარსი

ბიზნესი, მენეჯმენტი და ბუღალტრული აღრიცხვა

ნატალია კანდელაკი. ბლოკჩინ ტექნოლოგიის გამოყენების პერსპექტივები ელექტრონულ მმართველობაში	11
---	----

ქიმიური ინჟინერია

გივი ლოლაძე, თეიმურაზ ჭეიშვილი. ქართლ-კახეთის სამი ადგილმდებარეობის თიხების ქიმიურ-მინერალოგიური შედგენილობისა და პრაქტიკული გამოყენების შესაძლებლობათა შესწავლა	19
--	----

კომპიუტერული მეცნიერება

ზურაბ კაკულია, ვერა აბზიანიძე, დიმიტრი აბზიანიძე. მათემატიკური მოდელირების მეთოდები გეოლოგიასა და ეკოლოგიაში (პროგრამული პაკეტი Excel).....	29
---	----

საინჟინრო საქმე

ანზორ ბაბუნაშვილი, ია მოსაშვილი. ვიდეომონაცემების მიღებისა და დამუშავების ალგორითმი ციფრული დაცვის ვიდეოდაკვირვების სისტემებისათვის	40
---	----

ნორა კუხიანიძე, ია მოსაშვილი. „ჭკვიანი სახლის“ სისტემების ინფორმაციული უსაფრთხოების რისკების ანალიზი.....	47
---	----

გია გოლეთიანი, თამაზ ისაკაძე, გივი გუგულაშვილი. ხილისა და მწვანის სიცივიტ დამუშავების ჰიდროაეროზოლური ტექნოლოგია	54
--	----

გია გოლეთიანი, თამაზ ისაკაძე, გივი გუგულაშვილი. საყოფაცხოვრებო მაცივრის დგუშიანი კომპრესორის სადიაგნოსტიკო ინოვაციური მოდულატორი	61
--	----

სალომე ონიანი, ია მოსაშვილი. სამრეწველო პროცესების მონიტორინგის სისტემები და მართვის ალგორითმები	68
--	----

ლეონ მახარაძე. თავისუფალი, სითხეში გაუხსნელი ჰაერი სადაწნეო – ჰიდროსატრანსპორტო სისტემაში ჰიდრავლიკური დატყმის ჩაქრობის ეფექტური საშუალება.....	78
---	----

გარემომცხოვრებლობა

მარლენ მჭედლიშვილი, ალექსანდრე აფაქიძე. აზოტმჟავას წარმოების ნარჩენი აირების აზოტის ოქსიდებისგან გაწმენდის პროცესის კვლევა.....	86
---	----

მასალათმცოდნეობა

ხატია ანანიაშვილი, მიხეილ ოქროსაშვილი, თამარ ლოლაძე. სპილენძის ფუძემდებზე ნიობიუმის და ტანტალის დანაფარების მიღების ტექნოლოგია..... 98

მათემატიკა

თინათინ კაპანაძე. თერმოდრეკადობის თეორიის სტაციონარული რხევის სასაზღვრო ამოცანების ამონახსნის ერთადერთობის თეორემა..... 111

სალომე ბიწაძე. თერმოდრეკადობის თეორიის სტატიკის ძირითადი სასაზღვრო ამოცანები სხვადასხვა ველის გათვალისწინებით 121

ავტორთა საძიებელი 132

რეცენზენტთა საძიებელი 133

ავტორთა საყურადღებოდ 134

CONTENTS

Business, Management and Accounting

Natalia Kandelaki. Prospects for the use of blockchain technology in e-Government	11
--	----

Chemical Engineering

Givi Loladze, Teimuraz Cheishvili. Study of chemical-mineralogical composition and possibilities of practical application of clays from three locations of Kartli-Kakheti	19
--	----

Computer Science

Zurab Kakulia, Vera Abzianidze, Dimitri Abzianidze. Mathematical model methods in geology and ecology (Excel Software)	29
---	----

Engineering

Anzor Babunashvili, Ia Mosashvili. Reception and processing algorithm of videodata for digital video surveillance system	40
Nora Kukhianidze, Ia Mosashvili. Infosecuity risk Analysis for "Smart House" systems	47
Gia Goletiani, Tamaz Isakadze, Givi Gugulashvili. Hydroelectric technology of refrigeration processing of fruits and greens	54
Gia Goletiani, Tamaz Isakadze, Givi Gugulashvili. Diagnostic innovative modulator for piston compressors of household refrigerators	61
Salome Oniani, Ia Mosashvili. Monitoring systems of industrial processes and control algorithms	68
Leon Makharadze. Free combined air – as an effective remedy for water hammers attenuation in the pressure head hydrotransport systems	78

Environmental Science

Marlen Mchedlishvili, Aleksandre Aphakidze. Research of the process of exhaust gas cleaning in the production of nitric acid from nitrogen oxides	86
--	----

Materials Science

Khatia Ananiashvili, Mikheil Okrosashvili, Tamar Loladze. Technology for obtaining of Niobium and Tantalum coatings on the copper Substrate 98

Mathematics

Tinatın Kapanadze. The Uniqueness Theorem of the boundary value problems for the stationary oscillations of the Theory of Thermoelasticity 111

Salome Bitsadze. Basic boundary value problems of statics of Thermoelasticity theory considering different field 121

Author’s index 132

Reviewer’s index 133

Guidelines for Authors 140

СОДЕРЖАНИЕ

Бизнес, Менеджмент и Бухгалтерский учет

Наталья Канделаки. Перспективы использования блокчейн-технологии в электронном управлении 11

Химическая инженерия

Гиви Лоладзе, Теимураз Чеишвили. Изучение химико-минералогического содержания и возможности практического использования глин находящихся на трёх картлийско-кахетинских территориях..... 19

Компьютерные науки

Зураб Какулия, Вера Абзианидзе, Дмитрий Абзианидзе. Методы математического моделирования в геологии и экологии (программный пакет Excel) 29

Инженерное дело

Анзор Бабунашвили, Ия Мосашвили. Алгоритм приема и обработки видеоданных для цифровых охранных систем видеонаблюдения..... 40

Нора Кухианидзе, Ia Мосашвили. Анализ рисков информационной безопасности для систем «Умный дом»..... 47

Гия Голетиани, Тамаз Исакадзе, Гиви Гугулашвили. Гидроаэрозольная технология холодильной обработки фруктов и зелени..... 54

Гия Голетиани, Тамаз Исакадзе, Гиви Гугулашвили. Диагностический инновационный модулятор для поршневых компрессоров бытовых холодильников 61

Саломе Ониани, Ия Мосашвили. Системы мониторинга производственных процессов и алгоритмы управления 68

Леон Махарадзе. Свободный, нерастворенный в жидкости воздух – эффективное средство для гашения гидравлических ударов в напорных гидротранспортных системах..... 78

Наука об окружающей среде

Марлен Мchedlishvili, Александр Апакидзе. Исследование процесса очистки отходящих газов производства азотной кислоты от оксидов азота 86

Материаловедение

Хатиа Ананишвили, Михаил Окросашвили, Тамар Лоладзе. Технология получения ниобиевых и танталовых покрытий на медной подложке.....	98
---	----

Математика

Тинатин Капанадзе. Теорема единственности решений граничных задач стационарного колебания теории термоупругости.....	111
--	-----

Саломе Бицадзе. Основные граничные задачи статики теории термоупругости с учётом разных полей.....	121
--	-----

Указатель авторов	132
-------------------------	-----

Указатель рецензентов	133
-----------------------------	-----

К сведению авторов	143
--------------------------	-----

UDC 621.385

SCOPUS CODE 1405

DOI: <https://doi.org/10.36073/1512-0996-2019-3-11-18>

ბლოკჩეინ ტექნოლოგიის გამოყენების პერსპექტივები ელექტრონულ მმართველობაში

ნატალია კანდელაკი საჯარო მმართველობისა და ელექტრონული ბიზნესის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 77
E-mail: nataliakandelaki89@gmail.com

რეცენზენტები:

გ. იაშვილი, სტუ-ის ბიზნესტექნოლოგიების ფაკულტეტის პროფესორი
E-mail: genadi_iashvili@hotmail.com

შ. დოლონაძე, სტუ-ის ბიზნესტექნოლოგიების ფაკულტეტის პროფესორი
E-mail: shotad55@gmail.com

ანოტაცია. ქვეყნის განვითარების ერთ-ერთი აუცილებელი პირობა ეფექტიანი, ოპერატიული და მოქნილი მთავრობის კონცეფციაა. შესაბამისად, ამ მიმართულებით უაღრესად მნიშვნელოვანია ელექტრონული მმართველობის განვითარება და განახლებული ელექტრონული მმართველობის პოლიტიკის შემუშავება. ელექტრონულ მმართველობაში ბლოკჩეინ ტექნოლოგიის გამოყენების პერსპექტივა, საქართველოსთვის საინტერესო და აქტუალური საკითხია. ნიშანდობლივია რევოლუციურ-ინოვაციური ტექნოლოგიის არსი, მისი მუშაობის პრინციპები, გამოყენების სფეროები, ელექტრონული მმართველობის სისტემაში ტექნოლოგიის ინტეგრაციის მიზანშეწონილობა.

საკვანძო სიტყვები: ბლოკჩეინი; ელექტრონული მმართველობა; ელექტრონული სერვისები; ტექნოლოგიები.

შესავალი

თანამედროვე საინფორმაციო საზოგადოების მოლოდინი, სახელმწიფო სტრუქტურებისგან მიიღოს გამარტივებული, სწრაფი, მოქნილი და ეფექტიანი მომსახურება, რომელიც გააუმჯობესებს არსებულ ურთიერთობებს სახელმწიფო დაწესებულებებსა და მოქალაქეებს შორის, საკმაოდ დიდია. ურთიერთობის გაუმჯობესება სახელმწიფო სტრუქტურებსა და მოქალაქეებს შორის ქვეყნის მასშტაბით, შეუძლია თანამედროვე ტექნოლოგიაზე დაფუძნებულ ელექტრონულ მმართველობას, რომელიც მნიშვნელოვნად გაზრდის სახელმწიფო მმართველობის ეფექტიანობას და უფრო დინამიკურს გახდის საზოგადოებრივ ცხოვრებას.

ელექტრონული მმართველობა არის სახელმწიფო მმართველობის სისტემა, რომელიც ეფუძნება ინფორმაციულ-საკომუნიკაციო ტექნოლოგიების გამოყენებას ქვეყნის მმართველობაში. ტექნოლოგიები, რომლებიც საფუძვლად უდევს ელექტრონულ მმართველობას, ტექნიკური თვალსაზრისით,

ერთმანეთისგან განსხვავდება ინფორმაციის გადაცემის სისწრაფის, სანდოობისა და უსაფრთხოების ხარისხით. მათგან პრინციპულად განსხვავებული მსოფლიო ტექნოლოგიური ინოვაციაა ბლოკჩეინი.

ძირითადი ნაწილი

თანამედროვე მსოფლიო დეცენტრალიზაციის რევოლუციის ზღვარზეა, რაც განპირობებულია ბლოკჩეინ ტექნოლოგიის განვითარებით. **ბლოკჩეინი (ინგლ. Blockchain ანუ „ბლოკჯაჭვი“)** არის დეცენტრალიზებული მონაცემთა ბაზა, რომელიც შეიცავს ინფორმაციას, ბლოკჩეინ ქსელის მონაწილეთა მიერ განხორციელებული ტრანზაქციების (კომუნიკაციების) შესახებ. ის აღიქმება, ტექნოლოგიურ პარადიგმად და საკმაოდ დიდი პოტენციალი აქვს მის გამოყენებას ელექტრონული მმართველობის დანერგვის მიზნით. ინოვაციური ტექნოლოგია მსოფლიო მასშტაბით პირველად 2008 წელს გამოჩნდა და ემსახურებოდა კრიპტოვალუტის – „ბიტკოინის“ ეფექტიან ფუნქციონირებას. მისი შექმნა დაკავშირებულია ანონიმურ პირთან/პირთა ჯგუფთან, რომელიც ცნობილია სატოში ნაკამოტოს (Satoshi Nakamoto) სახელით.

ტექნიკური თვალსაზრისით, ბლოკჩეინი კრიპტოგრაფიულად დაცული, გარკვეული წესებით მუდმივად მზარდი უწყვეტი მიმდევრობითი ელემენტების – „ბლოკების“ ჯაჭვია [1]. აღნიშნული ტექნოლოგია იძლევა შესაძლებლობას ელექტრონულ ჟურნალში შევიტანოთ მონაცემები (ჩანაწერები), რომელთა წაშლა ან შეცვლა პრაქტიკულად შეუძლებელია. ელექტრონული ჟურნალი ბლოკჩეინ ტექნოლოგიის კონტექსტში აღნიშნავს დეცენტრალიზებულ მონაცემთა ბაზას, რომელსაც ხშირად დეცენტრალიზებული ციფრული რეესტრი ეწოდება. თავისი არსით, ჟურნალი ჩვეულებრივი ფაილია

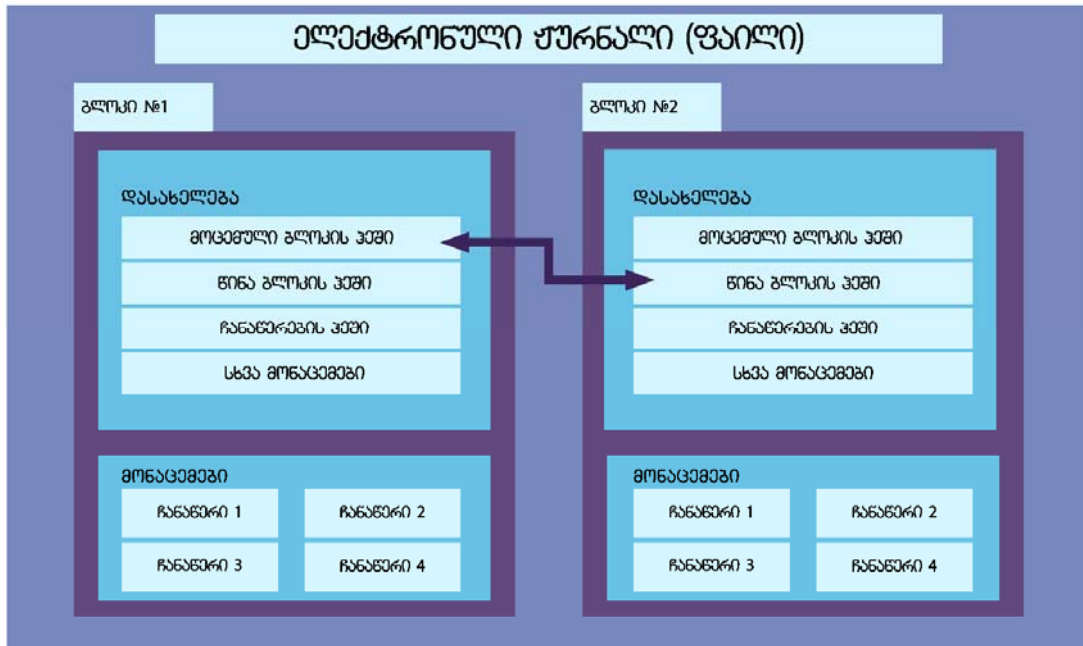
(Folder), რომელსაც აქვს გარკვეული სტრუქტურა.

სპეციალური პროგრამული უზრუნველყოფა, რომელიც არაერთ სერვერსა და კომპიუტერზეა დამონტაჟებული, წარმოადგენს ბლოკჩეინის ქსელს. ყოველ ასეთ სერვერს ან კომპიუტერს ეწოდება ბლოკჩეინ ქსელის კვანძი, რომელიც შეიცავს ფაილების (ანუ ბლოკების ჯაჭვის) ასლებს. თითოეული ბლოკჩეინ კვანძი თანაბარი მნიშვნელობისაა, ამიტომაც მიიჩნევა ბლოკჩეინი დეცენტრალიზებულ ტექნოლოგიად.

ელექტრონული ჟურნალი შედგება გარკვეული წესების დაცვით ერთმანეთთან ლოგიკურად დაკავშირებული ბლოკებისაგან. თითოეული ბლოკი, როგორც წესი, შეიცავს ჰეშ-მაჩვენებელს ანუ კოდს, როგორც წინა ბლოკთან დამაკავშირებელ ნიშანს (განსაზღვრული რაოდენობის სიმბოლოთა წყობა), დასახელებას და ჩანაწერის – ტრანზაქციის მონაცემებს. რაც უფრო მეტ ჩანაწერს – ტრანზაქციას შევიტანთ ბლოკში, მით უფრო იზრდება ბლოკების რაოდენობა. ელექტრონულ ჟურნალში ჩანაწერები ანუ ტრანზაქციები შეიძლება სხვადასხვა სახის იყოს. მაგალითად, ბლოკჩეინი (ბლოკჯაჭვი) შესაძლოა მოიცავდეს ჩანაწერებს კონტრაქტებზე, მესაკუთრის უფლებაზე და ა.შ. [2].

დავოსში გამართული მსოფლიო ეკონომიკური ფორუმის (World Economic Forum) 2015 წლის ანგარიშის თანახმად, ბლოკჩეინ ტექნოლოგია წარმოადგენს ტექნოლოგიურ პროტოკოლს, რომელიც საშუალებას იძლევა განხორციელდეს მონაცემთა ურთიერთგაცვლა მხარეებს შორის ქსელის შიგნით შუამავალი პირების გარეშე. ქსელის მონაწილენი ამ დროს ურთიერთქმედებენ დაშიფრული იდენტიფიკატორებით, ყოველი განხორციელებული ტრანზაქცია ემატება უცვლელი ტრანზაქციების ჯაჭვს, შემდეგ კი ნაწილდება ქსელურ კვანძებში [3].

ელექტრონული ჟურნალის სტრუქტურა



საქართველო იყო ერთ-ერთი პირველი ქვეყანა, რომელმაც ბლოკჩეინის ტექნოლოგია წარმატებით დანერგა საჯარო სექტორში. ამის თვალსაჩინო მაგალითია საჯარო რეესტრის ეროვნულ სააგენტოსა და კომპანია Bitfury-ის ერთობლივი პროექტის განხორციელება, რომელიც გულისხმობს საქართველოში უძრავი ქონების რეგისტრაციისას „ბლოკჩეინ ტექნოლოგიის“ გამოყენებას[4]. საჯარო რეესტრი უძრავი ქონების შესახებ უტყუარი ინფორმაციის შემცველი თითოეული დოკუმენტის ნამდვილობას ადასტურებს ელექტრონული ხელმოწერით. ბლოკჩეინ სისტემის მეშვეობით, დოკუმენტის ელექტრონულად ხელმოწერის მომენტში თითოეულ დოკუმენტს (ამონაწერს) ენიჭება ჰეშ-კოდი. თუ ჰეშირების შემდეგ დოკუმენტში შევიდა ცვლილება, მას ენიჭება ახალი ჰეშ-კოდი. საბოლოო შედეგი ანუ ჰეშირებული ამონაწერები აისახება საჯარო რეესტრის ვებგვერდზე. საქართველო ერთ-ერთი პირველი ქვეყანაა, რომელმაც უძრავი ქონების შესახებ ამონაწერი ყველაზე და-

ცულ სისტემაში განათავსა [5]. 21-ე საუკუნის ეს მაღალტექნოლოგიური გადაწყვეტა, წინადადებული ნაბიჯია როგორც პრაქტიკული კუთხით, ისე საერთაშორისო დონეზე ქვეყნის წარმოსაჩენად.

საქართველოს ნამდვილად აქვს პოტენციალი, ბლოკჩეინ რუკაზე გახდეს ერთ-ერთი წარმატებული მონაწილე. ამის დამადასტურებელია, 2018 წლის 21 სექტემბერს ბიტმეინისა (BITMAIN) და მისი პარტნიორი კომპანიის – ბიტკანის (BITKAN) მხარდაჭერით თბილისში ჩატარებული ციფრული მაინინგის¹ მსოფლიო სამიტის. სამიტის ერთ-ერთი მთავარი მიზანი იყო ბლოკჩეინ ინდუსტრიასა და მაინინგ ბიზნესში ჩართული საზოგადოების ურთიერთდაკავშირება, პრაქტიკული და თეორიული ცოდნის გაზიარება. ღონისძიების გახსნას საქართველო-

¹ მაინინგი - (ინგლ. Mining) ნიშნავს მოპოვებას (კრიპტომაინინგის შემთხვევაში ახალი ბლოკების შექმნას ბლოკჩეინის ქსელში)
<https://www.wordreference.com/enru/mining>.

ველოს მთავრობის წევრები და მსოფლიოში წამყვანი კომპანიების წარმომადგენლები ესწრებოდნენ.

სამდღიანი სამიტის ფარგლებში გაიმართა საინტერესო დისკუსიები, სადაც კრიპტომინერებსა და ბლოკჩეინის ენთუზიასტებს შესაძლებლობა მიეცათ, ერთმანეთისთვის და ინდუსტრიის წარმომადგენლებისთვის გაეზიარებინათ საინტერესო იდეები [6].



თბილისში ციფრული მინინგის მსოფლიო სამიტის გახსნა (21.09.2018) ²

ბლოკჩეინ ტექნოლოგიას ყველა ცივილიზებული სახელმწიფო აღიარებს, მათ შორის აშშ, დიდი ბრიტანეთი, იაპონია, გერმანია, კანადა და სხვ. ეტაპობრივად ინერგება ბლოკჩეინ ტექნოლოგია უკრაინაში, ესტონეთსა და სხვა ქვეყნებში. აღნიშნული ტექნოლოგია შესაძლებელია გამოიყენებოდეს სხვადასხვა სფეროში, სადაც აუცილებელია მონაცემთა შენახვა-სისტემატიზაცია, მაგალითად, სახელმწიფო მმართველობა, სამართალი, ფინანსები, ჯანდაცვა, განათლება, მეცნიერება, და სხვ.

წიგნში „ბლოკჩეინი. ეკონომიკის ახალი სქემა“ (Blockchain. Blueprint for a New Economy), ბლოკჩეინ

²https://www.google.com/search?q=%E1%83%AA%E1%83%98%E1%83%A4%E1%83%A0%E1%83%A3%E1%83%9A%E1%83%98+%E1%83%9B%E1%83%90%E1%83%98%E1%83%9C%E1%83%98%E1%83%9C%E1%83%92%E1%83%98%E1%83%A1+%E1%83%A1%E1%83%90%E1%83%9B%E1%83%98%E1%83%A2%E1%83%98&rlz=1C1KMZB_enGE577GE577&source=lnms&tbnm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjpxnzdbgAhUKjosKHVRcDv8Q_AUIDigB&biw=1920&bih=920

კვლევითი ინსტიტუტის (Institute for Blockchain Studies) მკვლევარი და დამფუძნებელი მელანი სვონი (Melanie Swan) გვამღვს ბლოკჩეინ ტექნოლოგიის კლასიფიკაციას მისი გამოყენების სამი სფეროს მიხედვით:

- Blockchain 1.0 არის ვალუტა (კრიპტოვალუტა გამოიყენება ოპერაციებში, რომლებსაც კავშირი აქვს ფინანსურ ტრანზაქციებთან, მაგალითად, ფულადი გზავნილები და ციფრული გადახდის სისტემები);

- Blockchain 2.0 არის კონტრაქტები (ეკონომიკის, ფინანსური ბაზრის სფეროში განხორციელებული ოპერაციები სხვადასხვა სახის ინსტრუმენტის გამოყენებით: აქციები, ობლიგაციები, ფიუჩერსები, აქტივები, კონტრაქტები და სხვ.)

- Blockchain 3.0 არის ოპერაციები, რომელთა დანიშნულება გასცდა ფინანსური ტრანზაქციების სფეროს (ვრცელდება ისეთ სფეროებზე, როგორცაა: საჯარო მმართველობა, განათლება, მეცნიერება, ჯანდაცვა და სხვ.) [7].

ექსპერტები გამოყოფენ ბლოკჩეინ ტექნოლოგიის გამოყენების რამდენიმე სფეროს, რომლებიც განსაკუთრებულ ყურადღებას იმსახურებს, ასეთია: [8,9,10]

საფინანსო და საბანკო სფერო, რომლისთვისაც მსოფლიო მასშტაბით მუშავდება ყველაზე მეტი ბლოკჩეინ აპლიკაცია. ტექნოლოგიური გადაწყვეტილებების ჩამონათვალი, რომელიც დაფუძნებულია ბლოკჩეინზე და მიმართულია საფინანსო სფეროს გარდაქმნისაკენ, საკმაოდ ვრცელია: ეს არის შიგა საბანკო ანგარიშები, ანგარიშები ფიზიკურ და იურიდიულ პირებს შორის, გადასახადები, ფასიანი ქაღალდები, საკრედიტო ისტორიები და სხვ. თუ ბლოკჩეინი ჩაანაცვლებს დასახელებული ოპერაციების ნაწილს, რომელიც სრულდება შუამავა-

ლი პირების მეშვეობით, ის კარდინალურად გაზრდის ფინანსური სფეროს ეფექტიანობას.

ყველაზე ცნობილი სფერო, რომელშიც გამოიყენება ბლოკჩეინი არის **ფულადი გზავნილები, ბიტკოინი და ზოგადად კრიპტოვალუტები**.

ბიტკოინი, უფრო ცნობილია საზოგადოებაში, ვიდრე ბლოკჩეინი, რომელიც საფუძვლად დაედო მის წარმოშობას. სწორედ ბიტკოინმა გამოავლინა ბლოკჩეინის დეცენტრალიზებული (გამანაწილებელი) რეესტრის პოტენციალი და განსაზღვრა სხვა მიმართულებები, სადაც შესაძლებელია მისი პრაქტიკული გამოყენება.

გონიერი კონტრაქტები (ანუ სმარტ-კონტრაქტები) არის ორ მხარეს შორის შეთანხმება, რომელიც ინახება ბლოკჩეინ მონაცემთა ბაზაში. ასეთი შეთანხმება შეიძლება დაიდოს ორ მოქალაქეს შორის ანუ peer-to-peer (P2P), მოქალაქესა და ორგანიზაციას (P2O) ან მოქალაქესა და „მანქანას“ (P2M) შორის. სმარტ-კონტრაქტები იძლევა ავტომატიზებულად გადახდის შესაძლებლობას შეთანხმებული პირობების საფუძველზე. როგორც კი სმარტ-კონტრაქტში მოცემული პირობა შესრულდება (მაგალითად, აქციის გაყიდვა „1“ ბირჟაზე „2“), შეთანხმება ავტომატურად აღსრულდება და აქტივები (მაგალითად: ფულადი სახსრები, ციფრული ვალუტა, საკუთრების უფლება) ურთიერთგაიცვლება კონტრაქტებს შორის. ექსპერტები, სმარტ-კონტრაქტების გამოყენების ფართო შესაძლებლობას შორეულ პერსპექტივაში ხედავენ, რადგან, მიუხედავად მათი რეალიზაციის არაერთი მცდელობისა, ეს ტექნოლოგია ექსპერიმენტულ სახეს ატარებს და ჯერ არ არის მზად ფართო გამოყენებისათვის [8,11].

ექსპერტების აზრით, ბლოკჩეინი კარგი ინსტრუმენტია **ჯანდაცვის სფეროსთვის** [12]. ბლოკჩეინის უსაფრთხოებიდან გამომდინარე, იდეალურ

რია მისი გამოყენება პაციენტის ავადმყოფობის ისტორიის შენახვა-გაცვლისათვის. მონაცემთა კრიპტოგრაფიულად დამიფვრა და შენახვა დეცენტრალიზებულ მონაცემთა რეესტრში, რომელიც ქსელური სახით არის წარმოდგენილი, მეტად უსაფრთხოა. ამერიკის შეერთებულ შტატებში, ჯონ ჰალამკა (John Halamka) ბოლო ათი წლის განმავლობაში მუშაობს ჯანდაცვის სფეროში ელექტრონული მმართველობის დანერგვაზე და ბლოკჩეინს განიხილავს როგორც მომავალს პაციენტთა მონაცემების შენახვის თვალსაზრისით. მაგალითად, ესტონეთი არის ქვეყანა, რომელიც წარმატებით ნერგავს ბლოკჩეინ ტექნოლოგიას სამედიცინო ჩანაწერების შენახვა-სისტემატიზაციისათვის [13].

განათლების სფეროში ბლოკჩეინ ტექნოლოგიის დანერგვა უზრუნველყოფს სწავლის პროცესის ეფექტურობას. აღსანიშნავია, დიპლომების ელექტრონული სახით შენახვა-გაცემის, ელექტრონული კურსების შემუშავება-შენახვის საკითხი და სხვ. [14]. **იურიდიული მომსახურების სფეროშიც** მრავალი ფუნქციის განხორციელების საფუძველი იქნება ბლოკჩეინი, რომლის გამოყენება დარეგულირდება შესაბამისი საკანონმდებლო აქტებით.

ელექტრონული საჯარო სერვისები ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი სფეროა ბლოკჩეინ ტექნოლოგიის გამოყენების თვალსაზრისით. განვითარებული და პროგრესული სახელმწიფოები აქტიურად მუშაობენ ბლოკჩეინ ტექნოლოგიის დანერგვის პერსპექტივებზე და ბლოკჩეინ ტექნოლოგიის ბაზაზე დაფუძნებული პლატფორმების გამოყენებაზე საჯარო სექტორში. 2018 წლის 10 აპრილს ევროკავშირის წევრმა 22-მა ქვეყანამ ხელი მოაწერა **დეკლარაციას ევროპის ბლოკჩეინის პარტნიორობის შექმნის შესახებ**. შეთანხმების თანახმად, ქვეყნები აპირებენ ერთმანეთს გაუზიარონ დაგროვილი

გამოცდილება და ცოდნა ტექნიკურ და ნორმატიულ სფეროებში და ერთობლივად დაიწყონ ბლოკჩეინის ბაზაზე დაფუძნებული პლატფორმის გამოყენება, რომელიც განკუთვნილი იქნება როგორც საჯარო, ისე კერძო სექტორისათვის [15]. მეცნიერ-ექსპერტები მიიჩნევენ, რომ აუცილებელია ეროვნული სტრატეგიის შემუშავება ბლოკჩეინის დანერგვისა და გამოყენებისათვის. ვფიქრობთ, სტრატეგიის შემუშავება და მისი განხორციელება წინადადებული ნაბიჯი იქნება ბლოკჩეინის პლატფორმაზე დაფუძნებული სფეროების განვითარებისათვის. მისი მიღება, უზრუნველყოფს სამთავრობო ეფექტიანობას, საზოგადოების კეთილდღეობასა და კანონმდებლობის ინოვაციურობას [16].

დასკვნა

მიუხედავად ბლოკჩეინ ტექნოლოგიის უდიდესი გავლენისა სხვადასხვა სფეროზე, ათწლეულებია საჭირო იმისათვის, რომ ტექნოლოგია სრულფასოვნად დაინერგოს ამა თუ იმ ქვეყნის მასშტაბით. ტექნოლოგიის სხვადასხვა სფეროში ინტეგრირება გულისხმობს არაერთი დაბრკოლების გადალახვას, მათ შორისაა ტექნოლოგიური, მმართველობითი, ორგანიზაციული, სოციალური და ა.შ. ადაპტაციის პროცესი იქნება ეტაპობრივი და

მდგრადი, რომელიც დაუკავშირდება ტექნოლოგიურ და ინსტიტუციურ ცვლილებებს. რაც უფრო ახალია ტექნოლოგია, მით უფრო მეტი ძალისხმევაა საჭირო საზოგადოებისათვის მის გასაცნობად და დასარწმუნებლად, თუ რამდენად მარტივად შეუძლია ამ ტექნოლოგიას გადაჭრას სხვადასხვა სფეროში არსებული პრობლემები. მაშასადამე, ტექნოლოგიის სხვადასხვა სფეროში გამოყენების პერსპექტივა დაკავშირებულია სახელმწიფოებრივ, საზოგადოებრივ და სამართლებრივ ასპექტებთან.

ამ ტექნოლოგიის გამოყენების უპირატესობა არის: 1. **უსაფრთხოება** – ტრანზაქციები კრიპტოგრაფიულად დამოფრულია; 2. **უცვლელია** – მდგრადია და მასში მონაცემების შეცვლა თითქმის შეუძლებელია. ერთხელ განხორციელებული ტრანზაქციის ჩანაწერის შეცვლა შეუძლებელია ყველა მომდევნო ტრანზაქციის ბლოკის შეცვლის გარეშე; 3. **გამჭვირვალობა** – ტრანზაქციები საჯარო და დეცენტრალიზებულია. ტექნოლოგიის ინტეგრაცია ელექტრონული მმართველობის სისტემაში, გაზრდის სახელმწიფო მმართველობის ეფექტიანობას, შეამცირებს ტრანზაქციების ხარჯებს, გაამარტივებს საჯარო დაწესებულებებსა და მოქალაქეებს შორის ურთიერთობებს, გახდის მას უფრო სწრაფს, მოქნილს და ეფექტიანს.

ლიტერატურა

1. Genkin A., Mikheev A. Blockchain - how it works and what awaits us tomorrow. M.: Alpina Publisher. 2018, 148 p. (in Russian).
2. URL: <https://ruhash.com/chajnikam/blokchejn-dlya-novichkov-obshhie-predstavleniya-o-tehnologii.html> (in Russian).
3. URL: http://www3.weforum.org/docs/WEF_GAC15_Technological_Tipping_Points_report_2015.pdf#page=24
4. URL: <https://ipress.ge/new/sajaro-reestri-inovatsiur> (in Georgian).
5. URL: <https://medium.com>
6. URL: <https://mybitcoin.ge/2018/09/03/bitmain> (in Georgian).
7. Swan M. Blockchain: Blueprint for a new economy. 2015.

8. Iansiti M., Lakhani K. R. The truth about blockchain. Harvard Business Review. 2017, 118–127 pp.
 9. Tech Trends 2016: Innovation in the digital era.
URL: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/global/Documents/Technology/gx-tech-trends-2016-innovating-digital-era.pdf>
 10. URL: <https://mitsloan.mit.edu/ideas-made-to-matter/blockchain-explained>
 11. URL: <https://www.forbes.ru/tehnologii/343843-programmy-blokcheyna-cto-prepyatstvuet-massovomu-vnedreniyu-smart-kontraktov> (in Russian).
 12. URL: <https://www.prnewswire.com/news-releases/blockchain-adoption-moving-rapidly-in-banking-and-financial-markets-some-65-percent-of-surveyed-banks-expect-to-be-in-production-in-three-years-300335472.html>
 13. URL: <https://zudu.co.uk/blog/blockchain-technology-industry-applications/>
 14. URL: <https://prostocoin.com/blog/blockchain-education> (in Russian).
 15. Jun M. Blockchain government: A next form of infrastructure for the twenty-first century. Journal of open innovation: Technology, market, and complexity. 2018.
 16. Kandelaki N. Blockchain technology and its future in e-Government. The science journal “Authority and society (history, theory, practice)”. №1 (49). Tbilisi. 2019. (in Georgian).
-

UDC 621.385

SCOPUS CODE 1405

DOI: [HTTPS://DOI.ORG/10.36073/1512-0996-2019-3-11-18](https://doi.org/10.36073/1512-0996-2019-3-11-18)

Prospects for the use of blockchain technology in e-Government

Natalia Kandelaki Department of Business Administration, Georgian Technical University, 77 M. Kostava str., 0160 Tbilisi, Georgia
E-mail: nataliakandelaki89@gmail.com

Reviewers:

G. Iashvili, Professor, Faculty of Business Technology, GTU
E-mail: genadi_iashvili@hotmail.com

S. Dogonadze, Professor, Faculty of Business Technology, GTU
E-mail: shotad55@gmail.com

Abstract. One of the most important conditions for the development of the country is the concept of effective, expeditious and flexible management. Therefore, in this direction it is very important to develop e-Government and updated e-Government policy.

The prospect of using blockchain technology in e-Government represents actually interesting issue for Georgia. The article briefly discusses the essence of the revolutionary-innovative technology, principles of work performance and the scope of use, analyzes the feasibility of integrating technology into the electronic control system.

Key words: Blockchain; e-Government; electronic services; technology.

UDC 621.385

SCOPUS CODE 1405

DOI: [HTTPS://DOI.ORG/10.36073/1512-0996-2019-3-11-18](https://doi.org/10.36073/1512-0996-2019-3-11-18)

Перспективы использования блокчейн-технологии в электронном управлении

Наталья Канделаки Департамент публичного управления и электронного бизнеса, Грузинский технический университет, Грузия, 0160, Тбилиси, ул. М. Костава, 77
E-mail: nataliakandelaki89@gmail.com

Рецензенты:

Г. Яшвили, профессор факультета бизнес-технологий ГТУ
E-mail: genadi_iashvili@hotmail.com

Ш. Догондзе, профессор факультета бизнес-технологий ГТУ
E-mail: shotad55@gmail.com

Аннотация. Одним из важнейших условий развития страны является концепция эффективного, оперативного и гибкого управления. Поэтому в этом направлении очень важно развивать электронное управление и разрабатывать обновленную политику электронного управления. Перспектива использования блокчейн-технологии в электронном управлении для Грузии является интересным и актуальным вопросом. В статье кратко рассматривается суть революционно-инновационной технологии, принципы ее работы и сферы использования, проанализирована целесообразность интеграции технологии в систему электронного управления.

Ключевые слова: блокчейн; технологии; электронное управление; электронные услуги.

განხილვის თარიღი 04.02.2019

შემოსვლის თარიღი 22.05.2019

ხელმოწერილია დასაბეჭდად 24.10.2019

UDC 666.953

SCOPUS CODE 1508

DOI: <https://doi.org/10.36073/1512-0996-2019-3-19-28>

ქართლ-კახეთის სამი ადგილმდებარეობის თიხების ქიმიურ-მინერალოგიური შედგენილობისა და პრაქტიკული გამოყენების შესაძლებლობათა შესწავლა

გივი ლოლაძე ქიმიური და ბიოლოგიური ტექნოლოგიების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 69
E-mail: g.loladze@gtu.ge

თეიმურაზ ჭეიშვილი ქიმიური და ბიოლოგიური ტექნოლოგიების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 69
E-mail: t.cheishvili@gtu.ge

რეცენზენტები:

გ. ტაბატაძე, სტუ-ის ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის ასოცირებული პროფესორი

E-mail: g.tabatadze@yahoo.com

ვ. გორდელაძე, სტუ-ის ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის ასოცირებული პროფესორი

E-mail: b.gordeladze@gtu.ge

ანოტაცია. სოფ. გამარჯვების, პატარძელისა და წყაროსთავის ადგილმდებარეობის თიხოვანი ქანების შესწავლა – მინერალოგიური და ქიმიური შედგენილობის დადგენა და მათგან სამშენებლო დანიშნულების მასალების (აგური, ფილები) მიღების შესაძლებლობათა შეფასება, ტექნოლოგიური პარამეტრების დადგენა მნიშვნელოვანია მათი პრაქტიკული გამოყენების შესასწავლად. კვლევის პეტროგრაფიული მეთოდების, რენტგენოფაზური და სილიკატების სრული ქიმიური ანალიზით თიხების თვისებების შესწავლის შედეგად დადგინდა სამი

ადგილმდებარეობის თიხების ქიმიურ-მინერალოგიური შედგენილობა. განისაზღვრა თიხების დაყალიბების უნარი, განხორციელდა საცდელი ნიმუშების დაყალიბება-გამოწვა, შესწავლის შემდეგ ერთმანეთს შედარდა მათი თვისებები.

შესწავლილი თიხები ხასიათდება რთული და იმავდროულად განსხვავებული მინერალოგიური და ქიმიური შედგენილობით, საწარმოსათვის მისაღები პლასტიკურობის რიცხვით და კარგი ხსნადობით წყალში. სამშენებლო დანიშნულების კერამიკული ნაწარმის მისაღებად რეკომენდებულია წყაროსთავის ადგილმდებარეობის თიხის გამოყენება,

რომელიც 900 – 950°C-ზე სასურველი საექსპლუატაციო თვისების მატარებელი ნაწარმის მიღებას უზრუნველყოფს.

საკვანძო სიტყვები: გამოწვა; დაყალიბება; თვისებები; თიხა; მინერალოგია; ნაწარმი; ფაზური შედგენილობა.

შესავალი

ცნობილია, რომ კერამიკული და ცეცლმედეგი მასალები ფართოდ გამოიყენება როგორც მრავალ სამრეწველო დარგში (მეტალურგია, საშენი მასალები და სხვ.), ისე საყოფაცხოვრებო (ჭურჭელი, სანტექნიკა და სხვ.) დანიშნულებით. აღნიშნულის მიზეზია მათი მიღების სანედლეულო ბაზა – ბუნებრივი თიხოვანი ქანები, რომელთაგან განსაკუთრებული ადგილი თიხას უჭირავს, რადგან თიხის ქიმიურ-მინერალოგიური შედგენილობა განსაზღვრავს ამა თუ იმ სახეობისა და თვისებების მატარებელი მასალანაკეთობის მიღებას და გამოყენებას [1, 2].

თიხოვანი ქანები შეადგენს დედამიწის ქერქის დანალექი ქანების თითქმის ნახევარს. თიხების ნაირსახეობიდან გამოყოფენ სამრეწველო დანიშნულების თიხებს, რომელთა ძირითადი ნაწილი მიზნობრივად გამოიყენება სამშენებლო დანიშნულების ნაწარმის (აგური, კრამიტი, ცემენტი, კერამიტი და ა.შ.) მისაღებად. ასეთი თიხების შედგენილობათა (მინერალოგიური და ქიმიური) შორის ხშირად დიდი განსხვავებაა. როგორც წესი, თიხების ძირითადი ნაწილის შედგენილობაში რამდენიმე სახის მინერალი გვხვდება, რომლებიც სტრუქტურული მოწყობის თავისებურებებით გამოირჩევა. თიხოვან ქანებ-

ში ძირითადად გვხვდება ალუმინისა და მაგნიუმის ჰიდროსილიკატები, მაგრამ ხშირად გვხვდება კვარცი, კალციუმის კარბონატი, რკინის ჰიდროქსიდები, სულფიდები და სხვა სახის მინერალები [3].

თიხოვან ქანებში წარმოდგენილი წამყვანი მინერალის (რაოდენობა არანაკლები 50%) სახეობიდან გამომდინარე, თიხები იყოფა შემდეგ ჯგუფებად: კაოლინიტური, ჰიდროქარსული, მონტმორილონიტური, ალოფენური, ჰიდროქარსულ-კაოლინიტური, მონტმორილონიტ-ჰიდროქარსული; თუ თიხაში სამი და მეტი სახეობის მინერალია, ის პოლიმინერალურ თიხად კლასიფიცირდება [4]. ბუნებაში ძირითადად პოლიმინერალური თიხები გვხვდება და მათში შემდეგი სახის თიხოვანი მინერალებია: გალუაზიტი $Al_2(Si_2O_5)(OH)_4 \cdot 2H_2O$, Al-მონტმორილონიტი $Al_2(Si_4O_{10})OH \cdot nH_2O$, კაოლინტი $Al_2(Si_2O_5)(OH)_4$, Fe-მონტმორილონიტი $Fe_2(Si_4O_{10})OH \cdot nH_2O$, ჰიდრომუსკოვიტი $(K \cdot H_2O)Al_2(AlSi_4O_{10})_2(OH) \cdot nH_2O$, ჰიდროქარსი $K_x(Al,Mg,Fe)_2 \cdot 3(Si_{4-x}Al_xO_{10}) \cdot (OH)_2 \cdot nH_2O$, ალოფენი $pAl_2O_3 \cdot qSiO_2 \cdot nH_2O$, სადაც $X \leq 0,5$ და $n \leq 1,5$ და სხვა [5-7].

თიხის მინერალოგია განსაზღვრავს მის ქიმიურ შედგენილობას. თიხები ადგილმდებარეობის მიხედვით მკვეთრად განსხვავებული შედგენილობით გამოირჩევა (მას. %) : 42 – 75 SiO_2 , 7 – 23 Al_2O_3 , 12-მდე Fe_2O_3 , 15-მდე CaO , 4-მდე MgO , 5-მდე Na_2O და K_2O -ს ჯამი, 3-მდე SO_3 , როდესაც მათი ხურების დანაკარგები 3 – 18 %-ს შეადგენს. თიხოვანი ნედლეულის დანიშნულებიდან გამომდინარე, მათში ნორმირებულია რკინის ოქსიდების, კვარცის ქვიშის (თავისუფალი სახით წარმოდგენილი), ტუტემიწა და ტუტე ოქსიდების შემცველობა [2, 3].

სამშენებლო კერამიკაში (აგური, კრამიტი, ფილ-ბი და სხვ.) იყენებენ ადვილდნობად თიხას, თიხნარს, არგილიტებს და თიხაფიქალს (წინასწარ დაფქულს). არსებული საწარმოო გამოცდილებიდან, სამშენებლო კერამიკული ნაწარმის მისაღებად გამოყენებული თიხოვანი ქანების სასურველი შედგენილობაა (წონ. %): 53-81 SiO_2 , 7 – 23 ($Al_2O_3 + TiO_2$), 2 – 12 Fe_2O_3 და 15-მდე CaO . ზოგად რეკომენდაციებში ხაზგასმითაა გამოყოფილი არაერთი არასასურველი ფაქტორი: კალციუმის და მაგნიუმის კარბონატების მსხვილმარცვლოვანი ჩანართების არსებობა, გაზრდილი რაოდენობით SO_3 -ის და $R_2O + RO$ -ს 2 %-მდე შემცველობა [2,8].

სამშენებლო დანიშნულების კერამიკული ნაწარმის მიღების ტექნოლოგიური პროცესის თავისებურება არის საწყისი ნედლეულის და მისგან მიღებული ნაწარმის თვისებათა შესატყვისობის წინასწარ განსაზღვრის სირთულე. აქედან, ნედლეულის ვარგისობას განსაზღვრავენ ექსპერიმენტული გზით, საბოლოო მიზნის – სტანდარტიზებული ნაწარმის მიღების აუცილებლობიდან გამომდინარე. ამ მიმართულებით უნდა აღინიშნოს, რომ საქართველო მდიდარია სხვადასხვა დანიშნულების თიხის საბადოებით, რომლებიც ფართოდაა გავრცელებული მთელ საქართველოში. მრავლადაა სააგურე-საკრამიტე თიხები, რომელთა საბადოები გვხვდება აღმოსავლეთ და დასავლეთ საქართველოში (საგარეჯო, გურჯაანი, კურდღელაური, ხაშური, მეტეხი, ჩხარი, ხონი, ქუთაისი, ოჩხამური და სხვ.). ამ თიხებით ამზადებდნენ და ზოგიერთით დღესაც ამზადებენ აგურსა და კრამიტს [9].

მოცემულ საბადოთა გარდა, არსებობს მარაგებით ნაკლებად მძლავრი, მაგრამ შესწავლის თვალსაზრი-

სით პერსპექტიული საბადოები: მაგალითად, გარდაბნის რაიონის გამარჯვების, ასევე პატარძელის და წყაროსთავის ადგილობრივი თიხების ვარგისობის დადგენის შემთხვევაში, საქართველოში გაფართოდება აგურ-კრამიტის სანედლეულო ბაზა. აღნიშნულიდან გამომდინარე, ჩატარებული სამუშაო მიზნად ისახავდა ამ სამი ადგილმდებარეობის თიხის შესწავლას და მათი გამოყენების შესაძლო სფეროების დადგენას.

ძირითადი ნაწილი

სოფ. გამარჯვების, პატარძელისა და წყაროსთავის ადგილმდებარეობის თიხები შევისწავლეთ სამი მიმართულებით: დავადგინეთ მათი მინერალოგია (პეტროგრაფიული კვლევა და რენტგენოფაზური ანალიზი), ქიმიური შედგენილობა და განვსაზღვრეთ ის თვისებები, რომლებიც პრაქტიკული რეკომენდაციების გაცემის შესაძლებლობას იძლევა.

ვიზუალური შეფასებით დადგინდა, რომ პატარძელისა და წყაროსთავის თიხები ფიზიკურად ერთნაირია და მსგავსი მარცვლოვანი შედგენილობისაა. მათ შორის განსხვავება შეიმჩნევა შეფერილობის ტონალობას და მყარი ჩანართების შემცველობაში: პატარძელის თიხები მოყვითალო ტონალობისკენ იხრება და მათში ნაკლებადაა ვიზუალურად შესამჩნევი მყარი ჩანართები. გამარჯვების თიხის გასაშუალოებული სინჯი კი ნაცრისფერია, შეიცავს ვიზუალურად შესამჩნევი რაოდენობით საშუალოზე მეტი ზომის მყარ ჩანართებს. უნდა აღინიშნოს, რომ სამივე სახეობის თიხა იხსნება წყალში, მაგრამ დეკანტაციის შემდეგ რჩება წყალში უხსნარი ნაწილი, რომელშიც შეიმჩნევა კომტისმაგვარი ჩანართები. მათზე მარილმჟავას 10%-იანი ხსნარით

ზემოქმედებისას გამოიყოფა ბუმბები, რაც განსა- თადი და ცალკეული მინარევების სახეობათა არაი- კუთრებით ახასიათებს გამარჯვების ადგილმდებარე- დენტურობით (ცხრილი 1).
 რეობის თიხას. შეიძლება ვივარაუდოთ, რომ სამივე შესწავლილი თიხები გამოირჩევა განსხვავებული თიხაში არსებობს კარბონატული ნაერთები, რომელ- ქიმიური შედგენილობით, რაც გარკვეულწილად შე- თა შორის წამყვანი მინერალი კალციტია. თიხების ესატყვისება თიხების მინერალოგიას. ქიმიური ანა- შემდგომმა შესწავლამ გვიჩვენა, რომ საკვლევი თი- ლიზით გამოვლინდა, რომ ალუმინსილიკატური შე- ხები ხასიათდება რთული მინერალოგიური შედგე- მადგენლის ჯამური შემცველობის სიდიდის მიხედ- ნილობით, რაც პეტროგრაფიული და რენტგენო- ვით გამოირჩევა გამარჯვების თიხა, მაგრამ რკინის სტრუქტურული ანალიზით გამოვლინდა. ოქსიდთა შემცველობით ის შუალედურ სიდიდეს პეტროგრაფიული კვლევების შედეგები მოცემუ- იძლევა (4,7 %), ხოლო მასში ნაკლებია ტუტემიწათა ლია პირველ ცხრილში, საიდანაც იკვეთება საცდე- ოქსიდების შესატყვისი ნაერთების რაოდენობა (14,2 ლი თიხების მინერალოგიური შედგენილობის რო- %). ქიმიური შედგენილობის შეფასებით შეიძლება გორც მსგავსება (სტრუქტურა – თიხოვანი), ისე მნი- გამოითქვას მოსაზრება, რომ დაბალანსებული შვნელოვანი განსხვავება. ეს უკანასკნელი გამოვ- შედგენილობა აქვს წყაროსთავის თიხას (SiO_2 , Al_2O_3 , ლინდა თიხებში შემავალი მყარი ჩანარების, ძირი- რკინის და ტუტემიწათა ოქსიდების ჯამური შემცვე- ლობის მიხედვით).

ცხრილი 1

საკვლევი თიხების პეტროგრაფიული კვლევის შედეგები

N	თიხა (ადგილმდებარეობა)	სტრუქტურა (ძირითადი შემადგენელი)	მყარი შემადგენელი (ჩანარები)	ძირითადი მინარევი	ცალკეული მინარევები
1	გამარჯვება	წვრილმაცვლოვან-თიხოვანი	ბუნებრივი ალუმინსილიკატები	კარბონატების წმინდა მინარევები	ქარსის ქერცლები, რქატყუარას მარცვლები
2	პატარძეული	თიხოვანი (მჭლე)	კარბონატები	ჰიდროქარსები	კვარცი, მინდვრის შპატი, ქლორიტები
3	წყაროსთავი	თიხოვანი (მჭლე)	კარბონატები	ჰიდროქარსები	კვარცი, მინდვრის შპატი, მონტმორილონიტი

ცხრილი 2

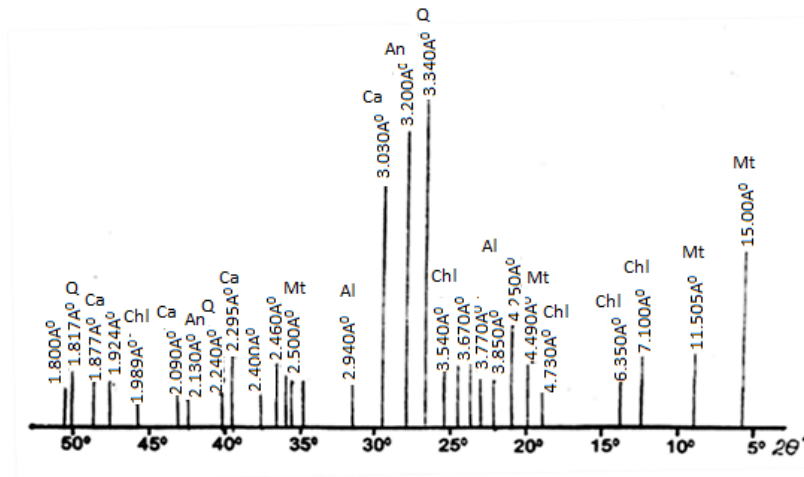
თიხების ქიმიური შედგენილობა

თიხის ადგილმდებარეობა	ოქსიდების შემცველობა, მას. %										
	SiO_2	Al_2O_3	$FeO + Fe_2O_3$	$CaO + MgO$	$Na_2O + K_2O$	SO_3	TiO_2	P_2O_5	MnO	სინჯ. სინეს-ტი	ხ.დ.
გამარჯვება	50,2	14,9	4,7	14,2	2,3	0,2	0,7	-	-	2,1	10,7
პატარძეული	44,9	13,1	5,0	16,8	2,2	0,2	0,6	0,1	0,1	2,3	14,7
წყაროსთავი	47,2	12,7	3,8	15,7	2,4	-	0,8	0,2	0,2	2,6	14,4

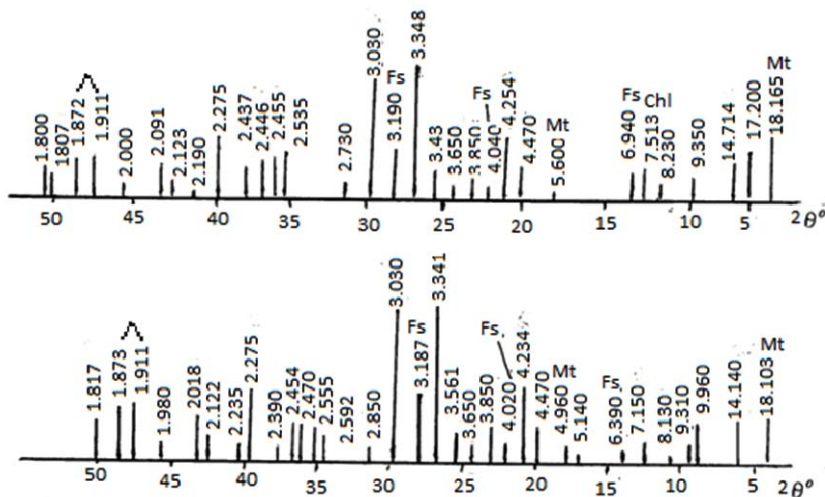
რენტგენოფაზური ანალიზის შედეგებით, ერთი მხრივ დადგინდა პატარძელის და წყაროსთავის თიხების მსგავსება (სურ. 1) და ასევე მათი და გამარჯვების თიხის ფაზურ შედგენილობათა (სურ. 2) განსხვავებული ბუნება.

რენტგენოფაზური კვლევის შედეგების მიხედვით პატარძელისა და წყაროსთავის თიხების რენტგენ-

ნოგრამებზე ფიქსირდება კალციტის ($CaCO_3$) შესატყვისი ძლიერი რეფლექსი, რაც მის წამყვან როლს ადასტურებს. მკაფიოდ იკვეთება კვარცისათვის დამახასიათებელი რეფლექსები და შედარებით სუსტი რეფლექსები, რომლებსაც შეესაბამება მინდვრის შპატების და ჰიდროქარსების ქლორიტები (სურ.1).



სურ. 1. გამარჯვების ადგილმდებარეობის თიხის შტრიხ-დიაგრამა.
ფაზათა პირობითი აღნიშვნა: Mt -მონტმორილონიტი; Ca - კალციტი; An-ანორტიტი;
Al - ალბიტი; Chl-ქლორიტები; Q - კვარცი



სურ. 2. პატარძელის (ა) და წყაროსთავის (ბ) ადგილმდებარეობის თიხების შტრიხ-დიაგრამა.
ფაზათა პირობითი აღნიშვნა: Q - კვარცი; Ca - კალციტი, Fs - მინდვრის შპატი;
Chl-ქლორიტები; Mt -მონტმორილონიტი; Fs - ქარსები

სოფ. გამარჯვების თიხის შემთხვევაში, იმავე რენტგენოგრაფიული ანალიზის მიხედვით, მასში დისპერსიული ფაზა Ca მონტმორილონიტია. თიხაში არის სხვა კრისტალური ნაერთები, კერძოდ: კალციტი და კვარცი, ხოლო მცირე რაოდენობით – მინდვრის შპატები და ქლორიტები. მოსალოდნელია, რომ არსებობდეს Ca - Na მინდვრის შპატი – პლაგიოკლასი და რკინაშემცველი ალუმინსილიკატი (ქლორიტი), რაც ნაჩვენებია [8]-ში.

ორი ადგილმდებარეობის თიხაში არათიხოვანი ჩანართების რაოდენობას ვსაზღვრავდით თიხის

ულუფის (100 გ) გაჯირჯვებით წყალში (1000 მლ) და მიღებული სუსპენზიის გატარებით საცერთა წყებაში (ცხრ. 3). მიღებული შედეგების მიხედვით, წყაროსთავის თიხაში ნაკლებადაა მსხვილფრაქციული – 1მმ-ზე მეტი ზომის – წყალში უხსნარი მყარი ჩანართები (9,8%), გამარჯვების თიხაში მათი რაოდენობა 0,8%-ს შეადგენს. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ წყალში ხსნადი შემადგენლების მიხედვით გამარჯვების თიხა ოდნავ უკეთესი ხსნადობით (96,4%) ხასიათდება, ვიდრე წყაროსთავის თიხა (96,2%).

ცხრილი 3

თიხის წყალხსნარის გაცრითი ანალიზის შედეგები

თიხის ადგილმდებარეობა	საცრის ნომერი და მასზე ნარჩენი ფრაქცია (%)						ჯამი %
	10	5	2	1	0,5	გასული 0,5 საცერში	
გამარჯვება	0,8	1,4	0,6	0,5	0,3	96,4	100,0
წყაროსთავი	X	X	0,8	0,9	2,1	96,2	100,0

შენიშვნა: (X) – საცერზე მყარი ნარჩენი არ არის

საცრებზე დალექილი მყარი ნარჩენების შეფასება განხორციელდა პეტროგრაფიულად. მოკროსკოპში მათი შესწავლით დადგინდა, რომ გამარჯვების თიხის უხსნარი ნარჩენები ძირითადად წარმოდგენილია სფეროიდული და ნაჭუჭისებრი ფორმატის ჩანართებით: კაოლინური კირქვები, აგლომერირებული კვარცი და სხვა სახის მინერალების მარცვლები. განსხვავებული შემცველობისაა წყაროსთავის თიხის უხსნარი ნაწილი, რომლის წამყვანი შემადგენელი კვარცის და მინდვრის შპატის ნატეხებია.

არსებული რეკომენდაციების გათვალისწინებით

მომზადდა გამარჯვებისა და წყაროსთავის თიხები მათგან კერამიკული ნაწარმის, კერძოდ, სამშენებლო აგურისა და ბლოკის მისაღებად [2,8]. თავდაპირველად განისაზღვრა თიხების პლასტიკურობის რიცხვი, რომელიც 10 – 12-ს შეადგენს (ზომიერად პლასტიკური თიხები). ცეცხლგამძლეობის განსაზღვრით დადგინდა, რომ გამარჯვების თიხა უფრო ადვილდნობადია და თანაც უფრო ნაკლებად შეცხოვადი, ვიდრე წყაროსთავისა. აღნიშნულის დასტური და ასევე მიღებული ნაწარმის თვისებები მოცემულია მე-4 ცხრილში.

გამარჯვების (A) და წყაროსთავის (B) თიხებისგან მიღებული საცდელი ნიმუშების
პირითადი მახასიათებლები (გასაშუალოებული მნიშვნელობები)

ნიმუ- შის N	გამოწვის პარამეტრები		საერთო ჩაჯდომა, %		წყალშთანთქმა, %		სიმტკიცე კუმშვაზე, მგპა		ნიმუშის ვიზუალური შეფასება	
	T, °C	τ _{სთ}	A	B	A	B	A	B	A	B
1	850	1	5	10	40	14,9	3,6	13,8	-	+
2	900	1	5	10	38	14,0	4,0	15,0	-	-
3	950	1	5	11	32	13,5	4,6	15,1	-	-
4	1000	1	6	12	31	13,0	5,4	15,4	-	+
5	1050	1	6	12	29	12,7	6,5	15,8	-	+

შენიშვნა : (+) ბზარები წარმოიქმნა , (-) ბზარები არ არის

ორი სახის თიხის ნიმუშების შესწავლით გამოვლინდა ის თავისებურება, რომ წყაროსთავის თიხებისგან მიღებული აგურის გამოწვის ოპტიმალური ტემპერატურაა 900-950°C, რადგან ამ პირობებში მიიღწევა წყალშთანთქმისა (დაახლოებით 15%) და სიმტკიცის (დაახლოებით 15 მგპა) ის ოპტიმალური მნიშვნელობები, რომლებსაც სამშენებლო აგური უნდა აკმაყოფილებდეს. რაც შეეხება გამარჯვების თიხებისგან მიღებულ საცდელ ნიმუშს, შედეგები დადებითად ვერ ჩაითვლება, რადგან გამოწვის მაღალი (950 – 1050°C) ტემპერატურაც კი ვერ უზრუნველყოფს სასურველი წყალშთანთქმისა და სიმტკიცის მატარებელი ნიმუშების მიღებას (ცხრ. 4).

დასკვნა

სამივე ადგილმდებარეობის (გამარჯვება, პატარძელი, წყაროსთავი) თიხების მინერალოგიური და ქიმიური შედგენილობა რთულია, მაგრამ, ამავე დროს, მათ შორის მეტ-ნაკლები მსგავსებაა. მსგავ-

სება გამოვლინდა თიხებში არაერთი მინერალისა და ქიმიურ შედგენილობაში არსებული ინგრედიენტების სახეობათა იდენტურობაში. თიხებს შორის განსხვავება ისაა, რომ მათში მეტ-ნაკლები რაოდენობითაა თიხური მინერალები და კალციტური შემადგენელი. კერძოდ, წვრილი და საშუალო ზომის ნაწილაკებით წარმოდგენილი კალციტის შემცველობა მაღალია გამარჯვების ადგილმდებარეობის თიხაში. სხვა კრისტალურ არათიხოვან მინერალებთან შედარებით, საკვლევ თიხებში წარმოდგენილია კვარცი, მინდვრის შპატი, ქლორიტები, ქარსები (პატარძელის და წყაროსთავის თიხები) და ასევე რქატყუარა, ანორტიტი, ალბიტი (გამარჯვების თიხა). შესწავლილი თიხების ქიმიურ შედგენილობათა თავისებურებაა ალუმინსილიკატური ($SiO_2 + Al_2O_3$) და რკინის ოქსიდთა ($FeO + Fe_2O_3$) სხვადასხვა რაოდენობით შემცველობა. ალუმინსილიკატური შემადგენელი მეტია გამარჯვების თიხაში (65 წონ.%-ზე მეტი), ხოლო რკინის ოქსიდების

სიუხვით პატარძელის თიხა (5 წონ. %) გამოირჩევა. შედარებით „ზომიერი“ შედგენილობით ხასიათდება წყაროსთავის ადგილმდებარეობის თიხა, რომელშიც ($SiO_2 + Al_2O_3$)-ის შემცველობა დაახლოებით 60 წონ. %, ხოლო რკინის ოქსიდების ჯამური რაოდენობა (3,8%), შესწავლილ თიხებს შორის ყველაზე ნაკლებია.

სამივე ადგილმდებარეობის თიხის შემოწმებით დადგინა, რომ წყაროსთავის თიხის გარდა ისინი ადვილდნობადია და იმავდროულად ნაკლებად

შეცხოვადი: პატარძელისა და გამარჯვების თიხების მონოკაზმად გამოყენება მიზანშეწონილი არ არის და სამშენებლო ნაწარმის მისაღებად მათი გამოყენება შესაძლებელი იქნება სხვა სახის და შედგენილობის მასალებით კაზმის კორექტირების შემდეგ. წყაროსთავის ადგილმდებარეობის თიხიდან შესაძლებელია ისეთი სამშენებლო აგურის მიღება (გამოწვის ტემპერატურა 900 – 950°C, წყლშთანთქმა 14%, სიმტკიცე კუმშვაზე 15 მგპა), რომელიც აკმაყოფილებს არსებულ მოთხოვნებს [2].

ლიტერატურა

1. URL: https://znaytovar.ru/s/Klassifikaciya_i_assortiment_ke.html (in Russian).
2. Budnikov P.P. The technology of ceramics and refractories. The MIT Press. 1964, 374 p. (in Russian).
3. URL: <https://studopedia.org/6-45351.html> (in Russian).
4. GOST 9169-75. Raw materials for ceramics industry. (in Russian).
5. URL: <http://www.mining-enc.ru/g/gliny/> (in Russian).
6. URL: https://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_geolog/1377/%D0%93%D0%B8%D0%B4%D1%80%D0%BE%D1%81%D0%BB%D1%8E%D0%B4%D1%8B (in Russian).
7. URL: <http://www.mining-enc.ru/g/gidroslyudy/> (in Russian).
8. Augustinik A. I. Ceramics. L.: “Stroyizdat”. 1975, 590 p. (in Russian).
9. Natural resources of the Georgian USSR. Non-material useful minearls. AN USSR. Vol. II. M. 1959. (in Russian).

UDC 666.953

SCOPUS CODE 1508

DOI: <https://doi.org/10.36073/1512-0996-2019-3-19-28>

Study of chemical-mineralogical composition and possibilities of practical application of clays from three locations of Kartli-Kakheti

Givi Loladze Department of Chemical Technology and Biotechnology, Georgian Technical University, 69 M. Kostava str, 0160 Tbilisi, Georgia

E-mail: g.loladze@gtu.ge

Teimuraz Cheishvili Department of Chemical Technology and Biotechnology, Georgian Technical University, 69 M. Kostava str, 0160 Tbilisi, Georgia

E-mail: t.cheishvili@gtu.ge

Reviewers:

G. Tabatadze, Associate Professor, Faculty of Chemical Technology and Metallurgy, GTU

E-mail: g.tabatadze@yahoo.com

V. Gordeladze, Associate Professor, Faculty of Chemical Technology and Metallurgy, GTU

E-mail: b.gordeladze@gtu.ge

Abstract. The main objective of the research was to establish mineralogical and chemical composition of the argillaceous rocks from Gamarjveba, Patardzeuli and Tskarostavi locations, to assess the possibilities of manufacturing the building materials (brick, tiles) from them and to identify appropriate technological parameters.

Establishment of mineralogical and chemical composition of examined clays through petrographic methods, X-ray phase analysis and complete chemical analysis of silicates as well as article manufacture from clays and study of their basic and peculiar properties had been conducted.

Mineralogical and chemical composition of the clays from three locations was identified and their comparative study was conducted. Molding ability of clays was determined, test samples were molded and baked and their properties were studied as well.

Examined clays are characterized by complex and different mineralogical and chemical composition at the same time. Clays are distinguished by plasticity index acceptable for enterprises and high water solubility. For obtaining the ceramic items for industrial purposes it is recommended to use the clays from Tskarostavi location, which provide receipt of items with desirable operational properties at 900-950°C.

Key words: Baking; clay; item; mineralogy; molding; phase composition; properties.

UDC 666.953

SCOPUS CODE 1508

DOI: [HTTPS://DOI.ORG/10.36073/1512-0996-2019-3-19-28](https://doi.org/10.36073/1512-0996-2019-3-19-28)

Исследование химико-минералогического содержания и возможности практического использования глин находящихся на трёх картлийско-кахетинских территориях

Гиви Лоладзе Департамент химической и биологической технологий, Грузинский технический университет, Грузия, 0160, Тбилиси, ул. М. Костава, 69
E-mail: g.loladze@gtu.ge

Теимураз Чеишвили Департамент химической и биологической технологий, Грузинский технический университет, Грузия, 0160, Тбилиси, ул. М. Костава, 69
E-mail: : t.cheishvili@gtu.ge

Рецензенты:

Г. Табатадзе, кандидат технических наук, ассоциированный профессор факультета химической технологии и металлургии ГТУ

E-mail: g.tabatadze@yahoo.com

В. Горделадзе, кандидат технических наук, ассоциированный профессор факультета химической технологии и металлургии ГТУ

E-mail: b.gordeladze@gtu.ge

Аннотация. Изучение месторождения глинистых пород селений Гамарджвеба, Патардзеули и Цкаростави - установление минералогического и химического состава и оценка возможности получения из них материала (кирпича, плиток) для строительного назначения, установления технологических параметров петрографическими методами, полным рентгенофазовым и силикатным химическим анализом, важно для изучения их практического использования.

Установлен химико-минералогический состав глин трёх месторождений. Определена способность формовки - обжига глин, осуществилась калибровка-обжиг исследуемого образца, после изучения были сравнены их качества. Исследованные глины характеризуются сложным и в то же время разным минералогическим и химическим составом, приемлемым для производства числом пластичности и хорошим растворением в воде. Для получения керамического продукта строительного назначения рекомендуется применение глины Цкароставского участка, которая обеспечивает получение продукта желательных эксплуатационных свойств на 900-950°C.

Ключевые слова: выжигание; глина; качество; минералогия; продукт; фазовое содержание; формовка.

განხილვის თარიღი 20.04.2019

შემოსვლის თარიღი 24.04.2019

ხელმოწერილია დასაბეჭდად 24.10.2019

UDC 004.942

SCOPUS CODE 1706

DOI: <https://doi.org/10.36073/1512-0996-2019-3-29-39>

მათემატიკური მოდელირების მეთოდები გეოლოგიასა და ეკოლოგიაში (პროგრამული პაკეტი Excel)

- ზურაბ კაკულია** ჰიდროგეოლოგიისა და საინჟინრო გეოლოგიის ინსტიტუტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0126, სოფ. დილომი, მოციქულთა სწორი წმინდა ნინოს ქუჩა, №1
E-mail: zukakulia@yahoo.com
- ვერა აბზიანიძე** ჰიდროგეოლოგიისა და საინჟინრო გეოლოგიის ინსტიტუტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0126, სოფ. დილომი, მოციქულთა სწორი წმინდა ნინოს ქუჩა №1
E-mail: veriko_abz@mail.ru
- დimitრი აბზიანიძე** ჰიდროგეოლოგიისა და საინჟინრო გეოლოგიის ინსტიტუტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0126, სოფ. დილომი, მოციქულთა სწორი წმინდა ნინოს ქუჩა №1
E-mail: dimitri.abz@mail.ru

რეცენზენტები:

ნ. ჯაფარიძე, სტუ-ის სამთო-გეოლოგიური ფაკულტეტის ასისტენტ-პროფესორი

E-mail: ninojap@mail.ru

ბ. მხეიძე, სტუ-ის ჰიდროგეოლოგიისა და საინჟინრო გეოლოგიის ინსტიტუტის მთავარი მეცნიერი თანამშრომელი

E-mail: b.mkheidze@gtu.ge

ანოტაცია. გეოლოგიური ობიექტების, ეკოლოგიური სისტემების თვისებების აღწერის, კლასიფიკაციისა და მათი ქცევის პროგნოზირებისთვის საჭიროა მათემატიკური მოდელის შექმნა. მოდელის შექმნის პროცესი საკმაოდ რთულია და რამდენიმე ეტაპისგან შედგება. დაკვირვების ან ექსპერიმენტების შედეგად მიღებული მონაცემები მუშავდება სტატისტიკური ანალიზის გამოყენებით.

კომპიუტერული ტექნოლოგიების ფართო გამოყენებამ შესაძლებელი გახადა გეოლოგიისა და ეკოლოგიის ყველა დარგში ახალი ტექნოლოგიების გამოყენება. პროგრამა Excel-ის ინსტრუმენტების ნაკრების და ფუნქციების გამოყენებით შესაძლებელია მონაცემების სტატისტიკური დამუშავება. ძირითადი სტატისტიკური მაჩვენებლები, როგორც არის საშუალო მნიშვნელობა, დისპერსია, ასიმეტრია, კვადრატული ფესვი დისპერსიიდან, ექსცესი და სხვა თავმოყრილია ერთ ოფციაში, რამდე-

ნიმე აუცილებელი სტატისტიკური მახასიათებელი შეიძლება განისაზღვროს შესაბამისი ფუნქციით (მირითადად სტატისტიკური და მათემატიკური), რაც დაწვრილებითაა აღწერილი.

საკვანძო სიტყვები: გეოლოგია; ეკოლოგია; მათემატიკური მოდელი; პროგრამული პაკეტი; სტატისტიკა; ფუნქცია.

შესავალი

ბოლო ათწლეულში კიდევ უფრო აქტუალური გახდა მათემატიკური მეთოდების გამოყენება საბუნებისმეტყველო მეცნიერებებში. გეოლოგიასა და ეკოლოგიაში ექსპერიმენტული მონაცემების ანალიზის ნებისმიერ შერჩეულ მეთოდს საფუძვლად უდევს ამ ობიექტის ან მოვლენის მოდელის შექმნა.

მათემატიკური მოდელი არის ჰიპოთეზის, ვარაუდის და წარმოდგენის ერთობლიობა, რომელიც ასახავს შესასწავლი გეოლოგიური ობიექტის ან მოვლენის არსს. მოდელი გამოისახება მათემატიკური ფორმით და იძლევა გეოლოგიური ობიექტის თვისებების აღწერის, ანალიზისა და პროგნოზირების საშუალებას. მოდელირების მიზანია ობიექტების აღწერა და კლასიფიკაცია, გეოლოგიური (ეკოლოგიური) სისტემის თვისებების და ქცევის პროგნოზირება, არაერთ შემთხვევაში სისტემის მართვა და კონტროლი. გეოლოგიური ობიექტის მათემატიკური მოდელირება შეიძლება დავყოთ რამდენიმე ეტაპად:

1. სისტემის განსაზღვრა ანუ სისტემის საზღვრების დადგენა;
2. მათემატიკური დამუშავებისთვის საწყისი

მონაცემების მიღება ანუ სისტემაში შემავალი ობიექტების თვისებების განსაზღვრა;

3. გეოლოგიური (ეკოლოგიური) მოდელის შექმნა და გეოლოგიური ამოცანის ფორმულირება;
4. გეოლოგიური (ეკოლოგიური) ცნებების მათემატიკური ფორმით გამოხატვა;
5. მათემატიკური მოდელის კვლევა ანუ განტოლებებისა და ფორმულების ამოხსნა და დასმულ გეოლოგიურ (ეკოლოგიურ) ამოცანაზე პასუხის მიღება;
6. მიღებული შედეგის შემოწმება.

მირითადი ნაწილი

ვინაიდან გეოლოგიური სისტემა არსით საკმაოდ რთული სტრუქტურაა, ნებისმიერი მათემატიკური მოდელი არის რეალური გეოლოგიური სისტემის მიახლოებითი მოდელი.

მათემატიკური მოდელები იყოფა სამ ჯგუფად:

1. სტატისტიკური მოდელირების ჯგუფი – გამოიყენება იმ ობიექტის თვისების შესასწავლად, რომლის სივრცულ განლაგებას არა აქვს მნიშვნელობა და შეიძლება იყოს ერთგანზომილებიანი, ორგანზომილებიანი და მრავალგანზომილებიანი;
2. ჯგუფი, რომელიც ითვალისწინებს სივრცულ კოორდინატებს და იყოფა დეტერმინირებულად და ალბათურად. დეტერმინირებულ მოდელში იგულისხმება, რომ გეოლოგიური სისტემის მდგომარეობა განისაზღვრება საწყისი მონაცემებით და სრულად პროგნოზირებადია. ალბათური მოდელი ხასიათდება იმით, რომ სისტემის მდგომარეობა და

გეოლოგიური ობიექტის თვისებები ცალსახად დამოკიდებულია საწყის მონაცემებზე და შეიძლება განისაზღვროს გარკვეული ალბათობით მათი მნიშვნელობების განსაზღვრულ დიაპაზონში;

3. მესამე ჯგუფი შეიცავს შემთხვევით პროცესებს, რომლებშიც გათვალისწინებულია დროის ფაქტორი.

სტატისტიკური მოდელები გამოიყენება:

- გეოლოგიური (ეკოლოგიური) ობიექტების კლასიფიკაციისათვის;
- გეოლოგიური (ეკოლოგიური) ობიექტების თვისებების შეფასებისათვის;
- გეოლოგიური (ეკოლოგიური) ჰიპოთეზების შემოწმებისათვის;
- გეოლოგიური (ეკოლოგიური) ობიექტების თვისებებს შორის დამოკიდებულების გამოვლენისა და აღწერისათვის.

მეორე ჯგუფის მოდელები გამოიყენება:

- გეოლოგიური წარმონაქმნების ფორმირების ჰიპოთეზების შესამოწმებლად;
- გეოლოგიური (ეკოლოგიური) ობიექტების სტრუქტურათა მიხედვით კლასიფიკაციისათვის;
- გეოლოგიურ და გეოფიზიკურ ველებში ანომალიების გამოყოფისათვის;

- გეოლოგიური ობიექტების განლაგების კანონზომიერების ჰიპოთეზების გადამოწმებისათვის.

ამ სტატიაში განვიხილავთ მხოლოდ ერთგანზომილებიან და ორგანზომილებიან სტატისტიკურ მოდელებს.

დაკვირვების ან ექსპერიმენტების შედეგად მიღებული მონაცემების ანალიზისთვის ხდება მათი სტატისტიკური დამუშავება. Excel-ის პროგრამულ პაკეტში არის ინსტრუმენტების ნაკრები (Data Analysis) და არაერთი ფუნქცია (ძირითადად სტატისტიკური და მათემატიკური), რომლებიც გამოიყენება მონაცემთა სიღრმისეული ანალიზისათვის. Excel-ი არის თანამედროვეობის ერთ-ერთი ყველაზე პოპულარული პროგრამული პაკეტი. ის გამოიყენება სხვადასხვა დარგში: მათემატიკაში, ეკონომიკაში, სტატისტიკაში და ა. შ. Excel-ის პოპულარობა აიხსნება მისი ფართო ფუნქციური შესაძლებლობებით და გამოყენების სიმარტივით (მოსახერხებელი და გასაგები ინტერფეისი, ინფორმაციის თვალსაჩინოება, ინფორმაციის შეტანის სისწრაფე და ა.შ.).

ელემენტარული სტატისტიკური მაჩვენებლებისთვის შეიძლება გამოვიყენოთ Data Analysis-ის ოფცია Descriptive Statistics. მისი ძირითადი მახასიათებლებია:

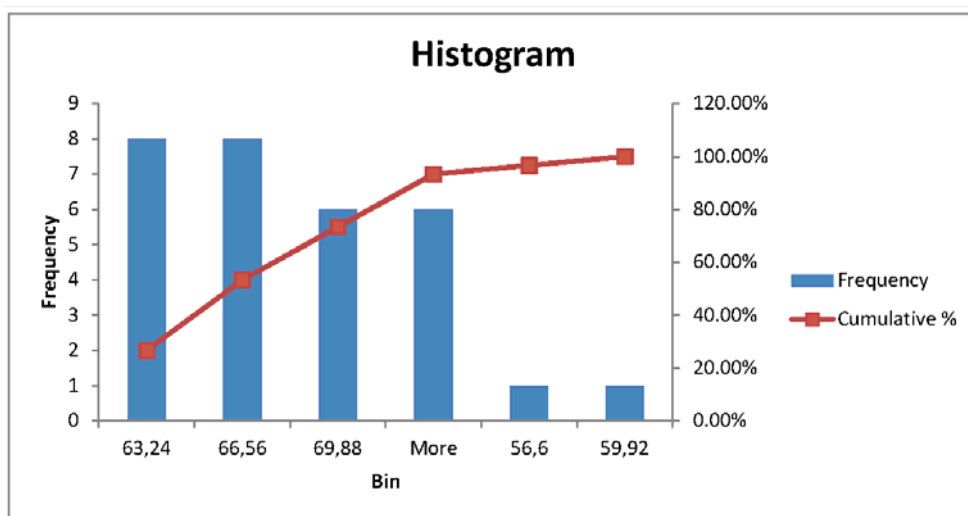
Mean – საშუალო მნიშვნელობა
Standard Error – პარამეტრი, რომელიც განსაზღვრავს სავარაუდო გადახრას საშუალო მნიშვნელობიდან
Median – მნიშვნელობების რიგის შუაში მდებარე მნიშვნელობა. თუ მნიშვნელობების რაოდენობა ლუწია, მაშინ მნიშვნელობების რიგში შუაში აღმოჩნდება ორი მნიშვნელობა, ამ შემთხვევაში Median უდრის მათ ნახევარჯამს
Mode – მნიშვნელობა, რომელიც ყველაზე მეტად გვხვდება

Standard Deviation – კვადრატული ფესვი დისპერსიიდან
Sample Variance – დისპერსია - პარამეტრი, რომელიც განსაზღვრავს ელემენტების გაბნევას საშუალო მნიშვნელობის მიმართ
Kurtosis – ექსცესი – კოეფიციენტი, რომელიც ახასიათებს მნიშვნელობების განაწილებას, თუ $E=0$, განაწილება ნორმალურია, თუ $E>0$, მაშინ განაწილება ციცაბოა, თუ $E<0$ - დამრეცი
Skewness – ასიმეტრია – კოეფიციენტი, რომელიც ახასიათებს ელემენტების ასიმეტრიულ განაწილებას საშუალო მნიშვნელობის მიმართ, იცვლება -1 დან 1-მდე. თუ უდრის 0-ს, განაწილება სიმეტრიულია
Range – სხვაობა მაქსიმალურ და მინიმალურ მნიშვნელობებს შორის
Minimum – მინიმალური მნიშვნელობა
Maximum – მაქსიმალური მნიშვნელობა
Sum – ყველა მნიშვნელობის ჯამი
Count – მნიშვნელობების საერთო რაოდენობა

ამ მახასიათებლებს შორის ყველაზე მნიშვნელოვანია Mean, Standard Error და Standard Deviation. Standard Deviation და Sample Variance ასახავენ შემთხვევითი სიდიდის გაბნევას მისი საშუალო მნიშვნელობის მიმართ. რაც უფრო დიდია ეს მაჩვენებლები, მით უფრო ძლიერია გაბნევა.

გეოლოგიური და ეკოლოგიური მონაცემების სტატისტიკური ანალიზი მიზანშეწონილია დავიწყოთ იმ ეტაპიდან, რომელიც გარდაქმნის მონაცემებს თვალსაჩინო ფორმად. ამ ეტაპზე გამოიყენება

მეთოდები, რომლებიც არ მოითხოვს შრომატევად სამუშაოს, ციფრულ ინფორმაციას გარდაქმნის გრაფიკულად და საშუალებას გვაძლევს ანალიზის გაგრძელებისათვის უფრო გამართულად შევარჩიოთ ტრადიციული სტატისტიკური მეთოდები. მაგალითად, პირველ სურათზე მოცემულია ელემენტის შემცველობის ემპირიული განაწილება შემდგომი ღრმა ანალიზის ჩატარებისთვის. გამოყენებული იყო სპეციალური ფუნქცია Frequency და Data analysis-ის Histogram პროცედურა.



სურ. 1. ელემენტის განაწილების ჰისტოგრამა

იმის გათვალისწინებით, რომ გეოლოგიური ობიექტი რთულია და ვერანაირი მათემატიკური მოდელი ვერ ასახავს ზუსტად მის თვისებებს, ერთი და იმავე ობიექტის სხვადასხვა თვისების აღსაწერად გამოიყენება სხვადასხვა მათემატიკური მოდელი. ამასთანავე, დარწმუნებული უნდა ვიყოთ, რომ შერჩეული მოდელი სრულად ასახავს ობიექტის თვისებებს. სტატისტიკური შეფასების მეთოდს აქვს აზრი, როცა ამონარჩევის რაოდენობა 30-ზე მეტია. გეოლოგიურ პრაქტიკაში ერთგანზომილებიანი სტატისტიკური მოდელი გამოიყენება ობიექტის ერთი თვისების კვლევისთვის, იგი გამოიყენება ორი ტიპის ამოცანის გადასაჭრელად: გეოლოგიური ობიექტის პარამეტრების შეფასებისა და გეოლოგიური ჰიპოთეზის შესამოწმებლად. ვინაიდან გეოლოგიური და ეკოლოგიური ობიექტები ხასიათდება თვისებების ცვალებადობით, კვლევებში ხშირად აუცილებელია მათი თვისებების საშუალო მნიშვნელობების შეფასება და მათი ცვალებადობის ხარისხის რაოდენობრივი განსაზღვრა. ეს რიცხობრივი მახასიათებელი გამოიყენება სხვადასხვა ამოცანის გადასაჭრელად. ობიექტის ერთ-ერთი მახასიათებელი აგრეთვე არის სანდო ინტერვალი, რომელიც მოიცავს უცნობ პარამეტრს მოცემული საიმედოობის კოეფიციენტით. ჩვეულებრივ, ეს კოეფიციენტი წინასწარ განისაზღვრება რიცხვით, რომელიც მიახლოებულია 1-თან. სანდო ინტერვალის საშუალებით მოწმდება ჰიპოთეზების ვარგისობა. Excel-ში სანდო ინტერვალის ასაგებად იყენებენ Confidence ფუნქციას, ხოლო როცა ამონარჩევი 30-ზე ნაკლებია, გამოიყენება Tinv ფუნქცია.

სანდო ინტერვალის აგება საშუალებას გვაძლევს არა მარტო ვნახოთ შესაძლო შეცდომები ამონარ-

ჩევის თვისებების შეფასებისას, არამედ შეგვიძლია ის გამოვიყენოთ უკუამოცანის ამოხსნისათვის – ისეთი რაოდენობის ამონარჩევის შერჩევა, რომელიც უზრუნველყოფს შეფასებას მოცემული სიზუსტით.

მრავალი გეოლოგიური და ეკოლოგიური ამოცანის ამოხსნისას საფუძვლად აღებულია ანალოგიის პრინციპი. ანალოგიური ობიექტების დისპერსიების სხვაობა მიუთითებს მათი ფორმირების განსხვავებულ პირობებზე. დისპერსიების შედარების მეთოდი აგრეთვე გამოიყენება სხვადასხვა ჩატარებული ანალიზის ცდომილების განსაზღვრისთვის. დისპერსიების იდენტურობის ჰიპოთეზის შემოწმებისთვის იყენებენ ფიშერის კრიტერიუმს. განსხვავებას ან იდენტურობას ადასტურებენ სტატისტიკური მეთოდებით. Excel-ში არის Chitest ფუნქცია, რომელიც ანგარიშობს ფაქტობრივი და თეორიული (ჰიპოთეტური) მნიშვნელობების დამთხვევას. თუ მნიშვნელობათა დამთხვევა < 0.05 , პროგრამა ჰიპოთეზას უარყოფს, თუ უახლოვდება 1-ს, შეიძლება ლაპარაკი ექსპერიმენტული მონაცემებისა და ნორმალური განაწილების შესაბამისობაზე.

ერთი ამონარჩევის სტატისტიკური ანალიზის და დახასიათების შემდეგ გადავდივართ უფრო რთულ ამოცანაზე – რამდენიმე შერჩეული ამონარჩევის ერთობლივ ანალიზზე. ამ შემთხვევაში უმთავრესი საკითხია, არის თუ არა ორ ამონარჩევს შორის სხვაობა. ასეთი ამოცანების ამოხსნისათვის იყენებენ ე.წ. სხვაობის კრიტერიუმებს. ერთი და იმავე ჰიპოთეზის შემოწმებისათვის შესაძლებელია რამდენიმე სტატისტიკური კრიტერიუმის გამოყენება. ყველაზე პოპულარული კრიტერიუმი არის სტიუდენტის კრიტერიუმი. Excel-ში სხვაობის შეფასებისათვის სტიუდენტის კრიტერიუმის მიხედ-

ვით გამოიყენება სპეციალური Ttest ფუნქცია და Data Analysis ინსტრუმენტების პაკეტი.

ორი ამონარჩევის ანალიზისთვის შეიძლება გამოვიყენოთ Data Analysis-ის შემდეგი პროცედურები: t-Test Paired Two Sample for Means, t-Test Two Sample Assuming Equal Variances, t-Test Two Sample Assuming Unequal Variances.

გეოლოგიური და ეკოლოგიური მონაცემების სტატისტიკური ანალიზი მიზანშეწონილია დავყოთ ორ – სამიეზო და დამადასტურებელ ეტაპებად. პირველი ეტაპის მიზანია მონაცემების გარდაქმნა ისეთ კომპაქტურ და თვალსაჩინო ფორმად, რომელიც გამოავლენს არსებულ კანონზომიერებას. ამ შემთხვევაში უპირატესობა უნდა მივაჩიოთ იმ მეთოდებს, რომელთა დროს ციფრული ინფორმაცია გარდაიქმნება გრაფიკულად. ციფრული და სქემატური დიაგრამების ვიზუალური შედარება საშუალებას გვაძლევს გამოავლინოთ ობიექტის დამახასიათებელი თვისებები.

თვისებების აღწერისას სტატისტიკური მოდელების გამოყენებით იგულისხმება, რომ მოცემული ობიექტი ერთგვაროვანია. ობიექტი ითვლება სტატისტიკურად ერთგვაროვანად, თუ ის არის ერთგვაროვანი გეოლოგიური აგებულებით. აგებულებაში ლოკალური არაერთგვაროვნების (ანომალიების) აღმოჩენას აქვს განსაკუთრებით დიდი მნიშვნელობა. ობიექტის თვისებები დამოკიდებულია რამდენიმე ფაქტორზე, რომლებიც იწვევს მის ცვალებადობას. ამ ფაქტორების გამოვლენა და ობიექტის არაერთგვაროვნებაზე მათი ზეგავლენის შეფასება ხდება დისპერსიული ანალიზის საშუალებით. Excel-ში ერთფაქტორიანი დისპერსიული ანალიზისთვის გამოიყენება Single Factor პროცედურა, ორფაქტორიანი დისპერსიული ანალიზისთვის – Two-Factor Replication და Two-Factor without Replication პროცედურები.

გეოლოგიური და ეკოლოგიური წარმონაქმნებისა და პროცესების მოდელირება ხშირად ითხოვს ობიექტის რამდენიმე თვისების ერთობლივ განხილვას. ზოგიერთ შემთხვევაში ობიექტის შესასწავლი თვისებები ვლინდება ერთმანეთისგან დამოუკიდებლად, სხვა შემთხვევაში ვლინდება სხვადასხვა ხარისხის ურთიერთობა. გეოლოგიური წარმონაქმნების თვისებებს შორის დამოკიდებულების შესწავლა ხელს უწყობს გეოლოგიური პროცესების თავისებურებათა უფრო ღრმა აღქმას. არაერთ შემთხვევაში იგი საშუალებას გვაძლევს მივიღოთ რაოდენობრივი მნიშვნელობა რომელიმე სხვა მნიშვნელობის მიხედვით, რომლის განსაზღვრა უფრო მარტივია. ვინაიდან ამდაგვარ ურთიერთობებს სტატისტიკური ხასიათი აქვს, მათი შესწავლისა და აღწერისათვის იყენებენ ორ- და მრავალ-განზომილებიან სტატისტიკურ მოდელებს.

ობიექტების თვისებებს შორის კორელაციური კავშირის აღმოჩენა ხელს გვიწყობს მრავალი ამოცანის ამოხსნისას. ხანდახან კი პრაქტიკულ ინტერესს იწვევს, პირიქით, მონაცემებს შორის კორელაციის არარსებობა. ურთიერთკავშირის ხარისხის შეფასებისთვის ყველაზე გავრცელებული მეთოდია წრფივი კორელაციის კოეფიციენტის განსაზღვრა. კორელაციის კოეფიციენტი იცვლება -1-დან 1-მდე. 0 მნიშვნელობის დროს კავშირი ამონარჩევებს შორის არ არსებობს. დადებითი მნიშვნელობის დროს იგულისხმება ისეთი დამოკიდებულება, როცა ერთი ამონარჩევის მნიშვნელობების მომატების ან კლების შემთხვევაში, მეორის მნიშვნელობები შესაბამისად

იმატებს ან იკლებს. უარყოფითი მნიშვნელობისას ერთ-ერთის ზრდა იწვევს მეორის კლებას. Excel-ში წრფივი კორელაციისათვის გამოიყენება Corre-ს ფუნქცია, აგრეთვე Correlation პროცედურა.

რეგრესია გამოიყენება ცალკეულ ცვლადებზე ერთი ან რამდენიმე ცვლადის ზემოქმედების განსაზღვრისათვის. რეგრესიული ანალიზი ადგენს კავშირს შემთხვევით სიდიდესა (დამოკიდებულს) და ერთ ან რამდენიმე ცვლადს (დამოუკიდებელს) შორის, ამასთანავე, დამოუკიდებელი ცვლადები ზუსტად უნდა იყოს მოცემული. ამგვარი დამოკიდებულება განისაზღვრება მათემატიკური მოდელით (რეგრესიის განტოლებით), რომელიც შეიცავს რამდენიმე უცნობ პარამეტრს. რეგრესიული ანალიზისას მიიღება ამ პარამეტრების შეფასება, განისაზღვრება შეფასების სტატისტიკური ცდომილე-

ბები ან სანდო ინტერვალების საზღვრები და მოწმდება მათემატიკური მოდელის და ექსპერიმენტული მონაცემების ადეკვატურობა. Excel-ი აგრეთვე საშუალებას გვაძლევს ავაგოთ ექსპონენციალური რეგრესია. ამისათვის არსებობს Growth და Logest ფუნქციები. რეგრესიული ანალიზის ეფექტიანობა განისაზღვრება R^2 დეტერმინაციის კოეფიციენტით, რომელიც საზღვრავს თუ რა სიზუსტით მიღებული რეგრესიული განტოლება აღწერს მოვლენას. თუ $R^2 > 0.95$, შეიძლება ითქვას, რომ მოდელი კარგად აღწერს მოვლენას, თუ $R^2 0.8 - 0.95$ დიაპაზონშია, ამ შემთხვევაში აპროქსიმაცია დამაკმაყოფილებელია (მოდელი მოვლენის ადეკვატურია), თუ $R^2 < 0.6$, ამ შემთხვევაში აპროქსიმაცია არ არის დამაკმაყოფილებელი და მოდელი ითხოვს გაუმჯობესებას.

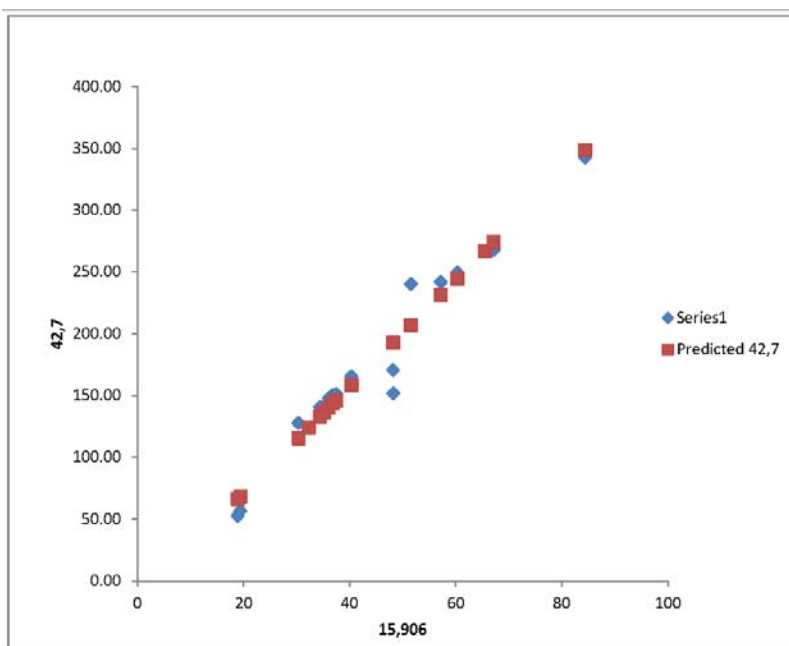
Regression Statistics

Multiple R	0,978578674
R Square	0,957616221
Adjusted R Square	0,955123058
Standard Error	15,66506144
Observations	19

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regressio	1	94255,11971	94255,11971	384,0968488	4,168E-13
Residual	17	4171,700549	245,3941499		
Total	18	98426,82026			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>
Intercept	-15,38108394	10,41818423	-1,47636897	0,158128556	-37,3615313
15,906	4,314836586	0,220162821	19,59838893	4,168E-13	3,850333637



სურ. 2. რეგრესიული დამოკიდებულება ნავთობის მოპოვებასა და ინვესტიციას შორის

მე-2 სურათზე გრაფიკის სახით მოცემულია რეგრესიული დამოკიდებულება ნავთობის მოპოვებასა და ინვესტიციებს შორის. ამ პროცესს წინ უძღოდა კორელაციული ანალიზი, კორელაციით მიღებული მაჩვენებელი (კორელაციის კოეფიციენტი არის 0.98, რაც მეტყველებს მათ შორის კავშირზე) შევარჩიეთ Data Analysis-ის Regression პროცედურა. ანალიზის შედეგი გვიჩვენებს რეგრესიის კოეფიციენტს (0.96), ანგარიშის სტანდარტულ ცდომილებას, საშუალო კვადრატულ გადახრას, დაკვირვების რაოდენობას. რეგრესიის კოეფიციენტის სიდიდე მეტყველებს აპროქსიმაციის მაღალ დონეზე ანუ მოდელი ზუსტად ასახავს პროცესს.

დასკვნა

ნებისმიერი მათემატიკური მოდელის შექმნისათვის საჭიროა იმიტაციური სისტემის შექმნა, რომელიც შეიცავს მონაცემთა შეყვანას, დაპროგრამებას და მოდელის შემოწმებას. ყველა ამ ფუნქციის შესრულება ოპტიმალურად და მარტივად შესაძლებელია Excel პროგრამული პაკეტით. Data Analysis-ის სტატისტიკური პროცედურების საშუალებით შესაძლებელია მონაცემთა დამუშავების მრავალი რთული პროცესის გამარტივება და არაერთი პრაქტიკული ამოცანის გადაჭრა. Excel-ს აქვს კიდევ საჭირო ფუნქცია – შეასრულოს მონაცემთა გრაფიკული ანალიზი.

ლიტერატურა

1. Walkenbach J. Excel 10 Bible. Wiley; 1 edition. 2010.
2. Diakonov V.V., Gorg N.V. Computer methods for processing geological information. Moscow. 2008. (in Russian).
3. Korbunov A.I. Mathematical modeling methods in applied geophysics. Part I. Functional and analytical framework. Moscow. 2014. (in Russian).
4. Belkina V.A., Bembel S.R., Zaboeva A.A., Sankova N.V. Fundamentals of geological modeling. Tyumen: Tyumen State Technical University. 2015. (in Russian).
5. Carlberg C. Predictive analytics: Microsoft Excel. Colorado. 2012.
6. Alexander M., Kusleika R. Excel 2016 Formulas. 2017.
7. Shaorshadze M. Mathematical statistics in geology. Tbilisi. 1980. (in Georgian).
8. Abzianidze D., Tabatadze G., Khundadze N., Meskhishvili T. Use of mathematical modeling methods to solve environmental tasks. Tbilisi. 2013. (in Georgian).
9. Pantsulaia G., Kvatadze Z., Giorgadze G. Probability theory and mathematical statistics. Part I. Tbilisi. 2007. (in Georgian).
10. Pantsulaia G., Kvatadze Z., Giorgadze G. Probability theory and mathematical statistics. Part II. Tbilisi. 2007. (in Georgian).

UDC 004.942

SCOPUS CODE 1706

DOI: <https://doi.org/10.36073/1512-0996-2019-3-29-39>

Mathematical model methods in geology and ecology (Excel Software)

Zurab Kakulia Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, 1 Tsminda Nino str, Digomi Village, 0126 Tbilisi, Georgia
E-mail: zukakulia@yahoo.com

Vera Abzianidze Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, 1 Tsminda Nino str, Digomi Village, 0126 Tbilisi, Georgia
E-mail: veriko_abz@mail.ru

Dimitri Abzianidze Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, 1 Tsminda Nino str, Digomi Village, 0126 Tbilisi, Georgia
E-mail: dimitri.abz@mail.ru

Reviewers:

N. Japaridze, Assistant Professor, Faculty of Mining and Geology, GTU
E-mail: ninojap@mail.ru

B. Mkhheidze, Chief Research Scientist, Institute of Hydrogeology and Engineering Geology
E-mail: b.mkheidze@gtu.ge

Abstract. For the description and classification of geological objects and ecological systems, for the forecasting of its actions it's needed to be developed appropriate mathematical models. The process of such model creation is quite difficult and consists of several stages. Data obtained from the observations or experiments are processed by using of statistical analysis.

The development of computer technologies made it possible to apply new technologies in geology and ecology.

The article describes usage of software package Excel's tools and a number of functions in the statistical analysis.

Basic statistical indicators, such as the mean value, dispersion, asymmetry, square root dispersion, excess, etc. are located in one option, some other essential statistical characteristics can be defined by the corresponding functions (mainly by statistical and mathematical), which is described in the article in detail.

Key words: Ecology; function; geology; mathematical model; software package; statistics.

UDC 004.942

SCOPUS CODE 1706

DOI: [HTTPS://DOI.ORG/10.36073/1512-0996-2019-3-29-39](https://doi.org/10.36073/1512-0996-2019-3-29-39)

Методы математического моделирования в геологии и экологии (программный пакет Excel)

- Зураб Какулия** Институт гидрогеологии и инженерной геологии, Грузинский технический университет, Грузия, 0126, Тбилиси, село Дигоми, ул. Св. равноапостольной Нины, №1
E-mail: zukakulia@yahoo.com
- Вера Абзианидзе** Институт гидрогеологии и инженерной геологии, Грузинский технический университет, Грузия, 0126, Тбилиси, село Дигоми, ул. Св. равноапостольной Нины, №1
E-mail: veriko_abz@mail.ru
- Дмитрий Абзианидзе** Институт гидрогеологии и инженерной геологии, Грузинский технический университет, Грузия, 0126, Тбилиси, село Дигоми, ул. Св. равноапостольной Нины, №1
E-mail: dimitri.abz@mail.ru

Рецензенты:

Н. Джапаридзе, ассистент-профессор горно-геологического факультета ГТУ

E-mail: ninojap@mail.ru

Б. Мхеидзе, главный научный сотрудник Института гидрогеологии и инженерной геологии ГТУ

E-mail: b.mkheidze@gtu.ge

Аннотация. Для описания, классификации геологических объектов и прогнозирования действий экологических систем необходимо создание их математических моделей. Процесс создания модели весьма сложный и состоит из нескольких этапов. Данные, полученные путем наблюдений и экспериментов, обрабатываются с применением инструментов статистического анализа.

С развитием компьютерных технологий стало возможным в геологии и экологии применять новые технологии. В статье показано, как с помощью ряда инструментов и функций программного пакета Excel можно произвести статистический анализ. Основные такие статистические показатели, как среднее значение, дисперсия, квадратный корень из дисперсии, асимметрия, эксцесс и другие сосредоточены в одной опции, другие статистические характеристики можно определить с помощью соответствующих функций. Все это показано в статье.

Ключевые слова: геология; математическая модель; программный пакет; статистика; функция; экология.

განხილვის თარიღი 25.03.2019

შემოსვლის თარიღი 02.04.2019

ხელმოწერილია დასაბეჭდად 24.10.2019

UDC 681.3

SCOPUS CODE 2207

DOI: <https://doi.org/10.36073/1512-0996-2019-3-40-46>

ვიდეომონაცემების მიღებისა და დამუშავების ალგორითმი ციფრული დაცვის ვიდეოდაკვირვების სისტემებისათვის

- ანზორ ბაბუნაშვილი** კომპიუტერული ტექნოლოგიების დეპარტამენტი, აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, საქართველო, 4600, ქუთაისი, თამარ მეფის 59
E-mail: anzori.babunashvili@mail.ru
- ია მოსაშვილი** კომპიუტერული ინჟინერიის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 77
E-mail: i_mosashvili@gtu.ge

რეცენზენტები:

ნ. მჭედლიშვილი, სტუ-ის ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის პროფესორი

E-mail: galoba47@mail.ru

ი. დავითაშვილი, სტუ-ის ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის ასოცირებული პროფესორი

E-mail: i.davitashvili@gtu.ge

ანოტაცია. დაცვის სისტემებიდან თანამედროვე პირობებში ყველაზე მეტად გავრცელებულია ვიდეოდაკვირვების სისტემები, რომლებსაც სულ უფრო ხშირად და აქტიურად იყენებენ სახელმწიფო და კომერციული ობიექტების უსაფრთხოებისათვის. ამდენად საინტერესოა ის ფუნქციები, რომელსაც უზრუნველყოფს ვიდეოდაკვირვების სისტემები; ტექნიკურ-აპარატურული საშუალებების მახასიათებლები, რომლებიც საჭიროა ამ სისტემების გამართული ფუნქციონირებისათვის; ძირითადი პარამეტრები, რომლითაც დადგენილია ამ სისტემების უპირატესობა სხვა დაცვის სისტემებთან

შედარებით, კონკრეტული სიგნალიზაციის სქემა და მისი გამოყენების უპირატესობები.

საკვანძო სიტყვები: დაცვა; ვიდეოკამერა; ვიდეორეგისტრატორი; სისტემა.

შესავალი

სამრეწველო ობიექტის დაცვისა და უსაფრთხოების გასაზრდელად გამოიყენება მაღალი დონის ტექნიკური საშუალებები. მათ მიეკუთვნება სახანძრო სისტემები, შესვლის ნებართვისა და წვდომის სისტემები, სატელევიზიო დაკვირვების სისტემები. ჩამოთვლილი სისტემები მუშაობს როგორც

ცალკე, ისე კომპლექსში. უნდა აღინიშნოს, რომ ვიდეოდაკვირვების სისტემები გამოიყენება სახელმწიფო და კომერციული ობიექტების უსაფრთხოების სიტემებში.

მისი მთავარი მომხიბლავი თავისებურებაა ის, რომ არა მარტო აფიქსირებს ობიექტის დაცვის რეჟიმის დარღვევას, არამედ საშუალებას გვაძლევს ვიზუალურად გავაკონტროლოთ ვითარება. სწორად დაპროექტებული ვიდეოდაკვირვების სისტემის მიზანია საკონტროლო ზონაში დროის რეალური მასშტაბით სიტუაციის შეფასების შესაძლებლობა. დაცვის ვიდეოდაკვირვების სისტემის გამოყენება მნიშვნელოვნად ზრდის დაცვის ეფექტურობას [1].

ძირითადი ნაწილი

ვიდეოდაკვირვების სისტემები და კომპლექსები

დაცვის ვიდეოდაკვირვების სისტემების და კომპლექსების გამოყენება უზრუნველყოფს შემდეგი ფუნქციების შესრულებას:

- საკონტროლო ზონის პირდაპირი ვიდეოდაკვირვება ოპერატორის მიერ, დანიშნულების მიხედვით დაკვირვების ობიექტების აღმოჩენა და იდენტიფიკაცია, მათ შორისაა ხალხი, სატრანსპორტო საშუალებები, ობიექტების ინფრასტრუქტურის ელემენტები;
- დასაცავი ზონის მდგომარეობის შესახებ ვიზუალური ინფორმაციის გადაცემა ობიექტის პერიმეტრის, დაცვის პუნქტისა და გადაადგილების შესახებ განგაშის ვიდეოვერიფიკაციისათვის; დაცვის სატელევიზიო სისტემების ტიპობრივ შედგენილობაში შედის ვიდეოკამერები, რომელთა რაოდენობა განისაზღვრება ვიდეოსისტემაზე დაკისრებული ამოცანების

მიხედვით, ვიდეოსიგნალის გადაცემის არხებით, ასევე ვიდეოინფორმაციის შენახვისა და დამუშავების, გამოსახვის საშუალებებით [2].



სურ.1. ვიდეოდაკვირვების კომპლექტი

დაცვის ვიდეოდაკვირვების სისტემების ძირითადი აპარატურულ-ტექნიკური და პროგრამული ქონება, საშუალებები ფუნქციურად იყოფა:

- ❖ ვიდეოსიგნალების წყაროებად (ობიექტივებიანი ვიდეოკამერები);
- ❖ ვიდეოსიგნალების ანალოგურ-ციფრული გარდაქმნის მოწყობილობებად;
- ❖ ვიდეოსიგნალის გადაცემისა და კომუტაციის საშუალებებად;
- ❖ ვიდეოგამოსახულების გამომტან მოწყობილობებად;
- ❖ ციფრული დაცვის ვიდეოდაკვირვების სისტემებისათვის ვიდეომონაცემების მიღებისა და დამუშავების საშუალებებად; დამატებით ამ სისტემის შედგენილობაში შეიძლება შედიოდეს: კვების ბლოკები, კომუტაციის მოწყობილობები, სხვადასხვა არხით ვიდეოსიგნალების გადაცემის აპარატურა, ვიდეოკამერების დამაგრებისა და ბრუნვის მოწყობილობები, ვიდეოკამერების ფარები, განათებისა და ინფრაწითელი მინათების საშუალებები, ასევე სხვა მოწყობილობები, რომლებიც

აუცილებელია სისტემის ნორმალური მუშაობისათვის [2].

ვიდეოკამერის გამოსახულების ხარისხი განპირობებულია არაერთი მაჩვენებლით, მაგრამ უმეტეს შემთხვევაში კონკრეტული სისტემის კამერის ამორჩევისათვის ორიენტაცია აღებულია შემდეგ პარამეტრებზე:



სურ. 2. ვიდეოკამერა

ოპტიკური ფორმატი – სენსორის ფოტომგრძობელობის ზომა დუიმობით დიაგონალზე (1 დუიმი შეესაბამება 2,54 სმ-ს). ძირითადი ფორმატებია: 1/4“, 1/3“, 1/2“, 2/3“ და 1“. რაც უფრო მეტია ოპტიკური ფორმატი, მით უფრო ნაკლებია გამოსახულების გეომეტრიული დამახინჯება.

გარჩევადობის უნარი – კამერის პარამეტრი, რომელიც განსაზღვრავს ვიდეოკამერის შესაძლებლობას, გამოსასვლელზე მაღალი ხარისხით გადმოსცეს გამოსახულების უმცირესი დეტალები.

განათებულობის მუშა დიაპაზონი – ვიდეოკამერის ხედვის არეში (განათებულობის არე მინიმალურიდან მაქსიმალურამდე) გარჩევადობის უნარის შეფარდება ვიდეოკამერის სიგნალთან არაა მოცემულზე ნაკლები.

ზღვრული მგრძობელობა – ფოტომგრძობიარე ფართობზე მინიმალური განათებულობა, რო-

მელზეც ვიდეოკამერა ინარჩუნებს მუშაობისუნარიანობას.

დაცვის სატელევიზიო სისტემების მთავარი ელემენტია ობიექტივი. მის ამორჩევაზეა დამოკიდებული კამერის ხედვის კუთხე, მგრძობელობა და მთელი სისტემის გარჩევადობა. არსებობს კამერების ძალიან ფართო სპექტრი, რომლებსაც წარმატებით იყენებენ ობიექტის დაცვისათვის დასახული ამოცანების შესაბამისად, განსაკუთრებით IP და ქსელური კამერები [3].



სურ. 3. დღის/ღამის კლასის ფერადი კამერა



სურ. 4. სტატიკურად ბრუნვადი კამერა



სურ. 5. სიჩქარიანი ბრუნვადი კამერა

დაცვის ვიდეოდაკვირვების სისტემების ერთ-ერთი ძირითადი ფუნქციაა ვიდეოჩაწერა, რომელიც შეიძლება რეალიზებული იყოს ვიდეოჩაწერი მოწყობილობებით – ციფრული ვიდეორეგისტრატორებით ან პროგრამული მეთოდით პერსონალური კომპიუტერების ბაზაზე შესაბამისი პროგრამული უზრუნველყოფით.

ვიდეორეგისტრატორი არის მოწყობილობა, რომელიც გამოიყენება ვიდეოინფორმაციის ჩასაწერად, აღსაქმნელად და შესანახად. თითოეული ვიდეოკამერისათვის შეიძლება ინდივიდუალურად შემუშავდეს პარამეტრების განლაგება ჩაწერის რეჟიმისათვის.



სურ. 6. IP ვიდეოკამერა, ბრუნვადი

ვიდეორეგისტრატორების ძირითადი პარამეტრებია:

ვიდეოარხი – ტექნიკურ საშუალებათა ერთობლიობა ვიდეოგამოსახულების გადასაცემად ვიდეოკამერიდან ვიდეომონიტორის ეკრანზე. ძირითადად გამოიყენება 4-, 8-, 16-ვიდეოარხიანი ვიდეორეგისტრატორები, იშვიათად გამოიყენება 24- ან 32- არხიანი.

გარჩევადობის უნარი – გამოსახება პიქსელე-ბით ჰორიზონტალურად და ვერტიკალურად, უფ-

რო ხშირად გამოიყენება 352X288, 704X288, 704X576 პიქსელი.

ჩაწერის სიჩქარე – იმ კადრების რაოდენობა, რომელსაც რეგისტრატორი ამუშავებს 1 წამის განმავლობაში. ვიდეოდაკვირვების სისტემებში კადრის სიჩქარე არ უნდა აჭარბებდეს 25 კადრს წამში.



სურ. 7. ვიდეორეგისტრატორი

უკანასკნელი წლების ერთ-ერთი ყველაზე თავბრუდამხვევი ტექნოლოგიური ნამუშევარია თანამგზავრული ნავიგაციის სფეროში არსებული მიღწევები, ამ წლების განმავლობაში თანამგზავრულმა ნავიგაციამ გადალახა გზა მეცნიერული ფაქტიდან სწრაფად განვითარებად ტექნოლოგიამდე მთელ მსოფლიოში, რომლის დროსაც იოლად და საიმედოდ განისაზღვრება ობიექტის პოზიცია რეალურ დროში [3].



სურ. 8. თანამგზავრული ვიდეოდა-კვირვების სისტემები

ვიდეოდაკვირვების სისტემის გამოყენების ერთ-ერთი ვარიანტია განხილული ჩვენ მიერ აწყობილ სიგნალიზაციის სქემაში, რომელიც არა მარტო აფიქსირებს დამრღვევს, არამედ მოკლე ტექსტურ შეტყობინებას უგზავნის მფლობელს.

ამ სქემის გამოყენება შეიძლება როგორც სახელმწიფო ობიექტებზე, ისე კერძო შენობისა და კომერციული ობიექტის დაცვისათვის. სქემაში გამოყენებულია შესასვლელი ერთჯერადი პაროლი, თუმცა შეიძლება პროგრამულად მისი შეცვლაც. კარის გაღებისას სიგნალი აქტიურია 9 წამის განმავლობაში, შემსვლელი პირი სიგნალის განგაშის შესაჩერებლად კრებს 4-ციფრიან პაროლს (ჩვენს შემთხვევაში 1234), ხოლო კლავიატურის B ღილაკზე ხელის დაჭერისას ჩვენ შევდივართ პაროლის ცვლილების მენიუში, პაროლის შეცვლის შემდეგ განგაშის შეჩერებას შევძლებთ მხოლოდ ახალი პაროლის აკრებით. თუ პაროლი შეყვანილია არასწორად, ეკრანზე მივიღებთ შეტყობინებას „კიდევ სცადეთ“.

დასკვნა

ამრიგად, დაცვის ვიდეოდაკვირვების სისტემის გამოყენება მნიშვნელოვნად უწყობს ხელს ობიექტის დაცვის ეფექტურობის გაზრდას, უზრუნველყოფს სადღეღამისო ავტომატური ვიდეოკონტროლის ორგანიზებას, ქმნის ვიდეოარქივებს; დარღვევის სიგნალის მიღების შემთხვევაში შეუძლია დანამდვილებით დაადასტუროს შეღწევის ფაქტი, განსაზღვროს დარღვევის ხასიათი და მიიღოს აუცილებელი ზომები; უზრუნველყოფს როგორც ადმინისტრაციის, ისე ობიექტის უსაფრთხოების სამსახურის მუშაობის კომფორტულობა.

სქემის შექმნისათვის საჭირო კომპონენტების საკმაოდ ფართო არჩევანია, ამიტომ მისი წარმოება და გამოყენება არ იქნება დაკავშირებული დიდ ფინანსებთან, გარდა ამისა, იგი წარმატებით ჩაანაცვლებს ადამიანს, რაც მისი კიდევ ერთი უპირატესობაა ფინანსების მხრივ და მომგებიანია პატარა ფირმებისა და ორგანიზაციებისათვის.

ლიტერატურა

1. Volkovitsky V.D. Digital systems of TV. Sankt-Peterburg. 2012. (in Russian).
2. Gedzberg U.M. CCTV. M., 2012. (in Russian).
3. Gabdullin T.R., Zagretdinov R.V. Productivity Improvement of Machine Control Systems Using new Global Satellite Positioning Systems. Izvestiya KGASU. №4(26). Kazan. 2013, 397-402 pp. (in Russian).

UDC 681.3

SCOPUS CODE 2207

DOI: <https://doi.org/10.36073/1512-0996-2019-3-40-46>

Reception and processing algorithm of videodata for digital video surveillance system

Anzor Babunashvili Department of Computer Technology, Akaki Tsereteli State University, 59 Tamar Mepe, 4600 Kutaisi, Georgia

E-mail: anzori.babunashvili@mail.ru

Ia Mosashvili Department of Computer Engineering, Georgian Technical University, 77 M. Kostava str, 0160 Tbilisi, Georgia

E-mail: i_mosashvili@gtu.ge

Reviewers:

N. Mchedlishvili, Professor, Faculty of Informatics and Control Systems, GTU

E-mail: galoba47@mail.ru

I. Davitashvili, Associate Professor, Faculty of Informatics and Control Systems, GTU

E-mail: i.davitashvili@gtu.ge

Abstract. The article considers commonly used modern video surveillance systems that are often used for state and commercial objects security. The article discusses the issues related to the functions provided by video surveillance systems; the technical characteristics of hardware and tools, which are necessary for the proper functioning of these systems; key parameters providing advanced features as well as specific alarm system and its advantages.

Key words: Security; system; videocamera; videorecorder.

UDC 681.3

SCOPUS CODE 2207

DOI: <https://doi.org/10.36073/1512-0996-2019-3-40-46>

Алгоритм приема и обработки видеоданных для цифровых охранных систем видеонаблюдения

Анзор Бабунашвили Департамент компьютерных технологий Государственного университета Акакия Церетели, Грузия, Кутаиси, 4600, ул. Тamar мepე, 59
E-mail: anzori.babunashvili@mail.ru

Ия Мосашвили Департамент компьютерной инженерии, Грузинский технический университет, Грузия, 0160, Тбилиси, ул. М. Костава, 77
E-mail: i_mosashvili@gtu.ge

Рецензенты:

Н. Мчедlishvili, профессор факультета информатики и систем управления ГТУ
E-mail: galoba47@mail.ru

И. Давиташвили, ассоциированный профессор факультета информатики и систем управления ГТУ
E-mail: i.davitashvili@gtu.ge

Аннотация. Наиболее часто используемые из современных систем охраны системы видеонаблюдения, которые все чаще и активнее применяют для обеспечения безопасности государственных и коммерческих объектов. Описаны те функции, которые обеспечиваются системами видеонаблюдения. Приведены технико-аппаратные характеристики, необходимые для исправного функционирования этих систем, рассмотрены основные параметры, которыми устанавливается преимущество к другим системам безопасности, обсуждается конкретная схема сигнализации и преимущества ее использования.

Ключевые слова: видеокамера; видеорегистратор; защита; система.

განხილვის თარიღი 16.04.2019

შემოსვლის თარიღი 02.05.2019

ხელმოწერილია დასაბეჭდად 24.10.2019

UDC 513.21

SCOPUS CODE 2207

DOI: <https://doi.org/10.36073/1512-0996-2019-3-47-53>

„ჭკვიანი სახლის“ სისტემების ინფორმაციული უსაფრთხოების რისკების ანალიზი

ნორა კუხიანიძე კომპიუტერული ტექნოლოგიების დეპარტამენტი, აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, საქართველო, 4600, ქუთაისი, თამარ მეფის 59
E-mail: kukhianidze05nona@gmail.com

ია მოსაშვილი კომპიუტერული ინჟინერიის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 77
E-mail: i_mosashvili@gtu.ge

რეცენზენტები:

თ. ფესტენიძე, აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ზუსტ და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა ფაკულტეტის ასოცირებული პროფესორი

E-mail: t_pestvenidze@mail.ru

ნ. ჭანტურია, აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ზუსტ და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა ფაკულტეტის ასოცირებული პროფესორი

E-mail: nodarichanturia9@gmail.com

ანოტაცია. „ჭკვიანი სახლის“ აგების ძირითადი მეთოდები და „ჭკვიანი სახლის“ ინფორმაციული უსაფრთხოების რისკების შეფასება დღეისათვის აქტუალური თემაა. ამ მოდელის უპირატესობა ისაა, რომ საშუალება გვაქვს ქსელში გავაერთიანოთ სხვადასხვა მწარმოებლის მოწყობილობები, უარყოფითი მხარეა ის, რომ სისტემის მართვა მთლიანად დამოკიდებულია ცენტრალურ სერვერზე. პრობლემების წარმოქმნის შემთხვევაში, რომლებიც გამოწვეულია აპარატურულ-პროგრამული წყვეტით ან სერვერიდან არასრული ბრძანებების მიღებით,

„ჭკვიანი სახლის“ მართვა ხდება შეუძლებელი.

დეცენტრალიზებულ მოდელში არ არსებობს მართვის ცენტრალური სერვერი, სისტემა კი შედგება სხვადასხვა სენსორისაგან, აქტივატორებისა და გადამწოდებისაგან. გადამწოდები და სენსორები ამოქმედებს შენობის მახასიათებლების გადახრას ნორმიდან და ბრძანებებს გადასცემს შემსრულებელი მოწყობილობები, რომლებიც ამოქმედებულია აქტივატორებით. ამ მოდელის მთავარი უპირატესობა მისი მტყუნებისადმი მდგრადობაა. ცალკეული ელემენტების მწყობრიდან გამოსვლა არ ახდენს გავლენას სისტემის მთლიან მუშაობაზე.

ნას სხვა ელემენტების ფუნქციონირებაზე, ხოლო მისი ნაკლია სირთულე და დანერგვის სიძვირე.

საკვანძო სიტყვები: ინფორმაციული უსაფრთხოების რისკი; სისტემის ცენტრალიზებული მოდელი; სისტემის სერვერი; „ჭკვიანი სახლი“.

შესავალი

დღევანდელ პირობებში მიმდინარეობს „ჭკვიანი სახლის“ ტექნოლოგიის აქტიური განვითარება და დანერგვა ყოველდღიურ ცხოვრებაში. ეს ტექნოლოგია სპეციალური მოწყობილობების საშუალებით გვეხმარება ვმართოთ სისტემა როგორც შენობის შიგნით, ისე მის გარეთ. ამ სისტემის მაგალითებია განათების მართვის, გათბობის, სახანძრო დაცვის, ვიდეოდაკვირვების და სხვა სისტემები.

„ჭკვიანი სახლის“ სისტემის აგებისას გამოიყენება ორი ძირითადი მოდელი – ცენტრალიზებული და დეცენტრალიზებული, თითოეულს აქვს თავისი პლუსები და მინუსები [1].

„ჭკვიანი სახლის“ აგების ცენტრალიზებული სისტემები აგებულია ცენტრალური სერვერის საფუძველზე, რომელიც გულისხმობს სერვერთან მიერთებულ სენსორებსა და ქსელურ კვანძებს შორის ინფორმაციისა და ბრძანებების გაცვლას.

ძირითადი ნაწილი

ინფორმაციული უსაფრთხოება სატელეკომუნიკაციო ქსელი უმთავრესი ელემენტია, რომელიც უზრუნველყოფს ამ სისტემის ფუნქციონირებას, იგი აიგება უსადენო ან სადენებიანი კავშირის არხების საშუალებით [2].

ამ მოდელის უპირატესობა ისაა, რომ საშუალება გვაქვს ერთ ქსელში გავაერთიანოთ სხვადასხვა მწარმოებლის მოწყობილობები, ძირითადი მინუსი – სისტემის მართვა, მთლიანად დამოკიდებულია ცენტრალურ სერვერზე. სხვადასხვა პრობლემის წარმოქმნის შემთხვევაში, რომლებიც გამოწვეულია აპარატურულ-პროგრამული წყვეტით, „ჭკვიანი სახლის“ მართვა ხდება შეუძლებელი ან სერვერიდან მოსული ბრძანებები სრულდება არაკორექტულად.

დეცენტრალიზებულ მოდელში არ არსებობს მართვის ცენტრალური სერვერი და სისტემა შედგება სხვადასხვა სენსორისაგან, აქტივატორისა და გადამწოდისაგან. გადამწოდები და სენსორები აძლიერებენ შენობის მახასიათებლების ნორმიდან გადახრას და ბრძანებებს გადასცემენ აქტივატორებს. ამ მოდელის მთავარი უპირატესობაა მისი მტყუნებისადმი მდგრადობა. ცალკეული ელემენტების მწყობრიდან გამოსვლა არ ახდენს გავლენას სხვა ელემენტების ფუნქციონირებაზე. მოდელის ნაკლია სირთულე და დანერგვის სიძვირე.

„ჭკვიანი სახლის“ სისტემას, ისევე როგორც სხვა სისტემებს აქვს თავისი დაუცველობის ნიუანსები. ისინი დამყარებულია პროგრამული უზრუნველყოფის არასრულყოფილებაზე, სისტემურ მოწყობილობებზე და ამ აპარატურის მართვის პროტოკოლების ცნობილ დაუცველობაზე.

სისტემის კომპეტენტურად აგების, მისი ანალიზის, სრულყოფისა და საფრთხეებზე დროული რეაგირებისათვის, აუცილებელია ინფორმაციული უსაფრთხოების რისკების შეფასება [3].

სისტემას ვაფასებთ ინფორმაციული უსაფრთხოების კლასიკური საფრთხეების საფუძველზე, კერძოდ ესაა:

- ✓ კონფიდენციალურობის საფრთხე;
- ✓ წვდობის საფრთხე;
- ✓ მთლიანობის საფრთხე;

რისკის დონის გამოთვლისათვის გამოვიყენოთ უსაფრთხოების რისკების სახელმძღვანელო, რომელიც შემუშავებულია კომპანია Microsoft-ის მიერ.

პირველ ეტაპზე განისაზღვრება კლასიკური საფრთხეების გავლენის სიდიდე, რისთვისაც აუცილებელია გავაერთიანოთ აქტივის კლასისა და აქტივზე ზემოქმედების ცნობები, რომელსაც ვღებულობთ მონაცემთა შეკრების მომენტში.

მეორე ეტაპზე, გავლენის სიდიდის განსაზღვრისა და ინფორმაციული უსაფრთხოების საშიშრო-

ების აღბათობის შეფასების შემდეგ, გამოითვლება საბოლოო რისკი.

შევაფასოთ „ჭკვიანი სახლის“ სისტემის ინფორმაციული უსაფრთხოების რისკები ცენტრალიზებული მოდელის საფუძველზე. მაგალითის სახით ავიღოთ ოფისში ობიექტების განლაგების გეგმა, რომელიც მოითხოვს შენობაში განლაგებულ ყველა მოწყობილობასა და საკომუნიკაციო ქსელს, სადაც კონფიდენციალურობის, წვდომის და ინფორმაციის მთლიანობის ყველა მოთხოვნა დაცულია [4].

უნდა აღინიშნოს, რომ საინფორმაციო უსაფრთხოების რისკების შეფასება რთული და გარკვეული დანახარჯების მოთხოვნადი პროცესია, რომელიც უნდა ჩატარდეს კერძო წესით. ჩვენ განვიხილავთ მხოლოდ მიმსგავსებულ შეფასებას (ცხრილი 1) [5].

ცხრილი 1

საინფორმაციო უსაფრთხოების საფრთხეები

შედეგის ტიპი	დაუცველობა	შედეგები
შედეგი ცენტრალურ სერვერზე	ქსელური დაცვის I მექანიზმების დაცულობის არასაკმარისი დონე	„ჭკვიანი სახლის“ სისტემის სრული გამოსვლა მწყობრიდან
მაგნე პროგრამული უზრუნველყოფა	ქსელური დაცვის I მექანიზმების დაცულობის არასაკმარისი დონე	პროგრამული და აპარატურული წყვეტა სისტემის მუშაობისას
კავშირის არხები გადაცემული ინფორმაციის დატაცება	ბოროტმოქმედის მიერ კავშირის არხების წვდომის შესაძლებლობა	გადაცემული ინფორმაციის კონფიდენციალურობის დარღვევა, სისტემის მართვისადმი წვდომის მიღება
არავტორიზებული მომხმარებლის წვდომა სისტემაზე	ქსელური დაცვის I მექანიზმების დაცულობის არასაკმარისი დონე	კონფიდენციალურობის, მთლიანობის და წვდომის დარღვევა
არავტორიზებული მომხმარებლის წვდომა სისტემაზე ადმინისტრატორის უფლებებით	ქსელური დაცვის I მექანიზმების დაცულობის არასაკმარისი დონე	სისტემის მუშაობის დარღვევა
წყვეტა ელექტროქსელში	ავტონომიური კვების სისტემის არარსებობა	სისტემის მუშაობის დარღვევა

სისტემის აპარატურის დამტკრევა	აპარატურის დაბალი დონე, პერსონალის დაბალი კვალიფიკაცია	სისტემის მუშაობის დარღვევა
მომხმარებლის შცდომა	მომხმარებლის მცდარი მოქმედებისაგან დაცვის მექანიზმების არარსებობა	სისტემის მუშაობის დარღვევა
ქურდობა/წინასწარ განსაზღვრული ქმედება, სისტემის მწყობრიდან გამოსაყვანად	ობიექტის ფიზიკური დაცვის მექანიზმების დაბალი ეფექტურობა	სისტემის მუშაობის დარღვევა

ზემოთ აღწერილი საფრთხეების რისკების დონე

შედეგის ტიპი	აქტივის კლასი	რისკის დონე	შედეგის ალბათობა	ზემოქმედებისადმი მიდრეკილების დონე
შედეგი ცენტრალურ პროცესორზე	დიდი გავლენა	მაღალი	მაღალი	მაღალი
მაგნე პროგრამული უზრუნველყოფა	დიდი გავლენა	მაღალი	მაღალი	მაღალი
კავშირი არხებით გადაცემული ინფორმაციის დატაცება	საშუალო გავლენა	საშუალო	საშუალო	საშუალო
არაავტომატიზებული მომხმარებლის წვდომა სისტემაზე	საშუალო, დაბალი გავლენა	მაღალი, საშუალო	მაღალი	საშუალო
არაავტომატიზებული მომხმარებლის წვდომა სისტემაზე ადმინის უფლებებით	დიდი გავლენა	მაღალი	დაბალი, საშუალო	მაღალი
წყვეტა ელექტროქსელში	დიდი გავლენა	საშუალო-მაღალი	უწყვეტი კვების წყვეტის არსებობის შემთხვევაში – დაბალი, არარსებობის დროს – მაღალი	მაღალი
სისტემის აპარატურის მტკრევა	საშუალო გავლენა	საშუალო	საშუალო	საშუალო
მომხმარებლის შეცდომა	მცირე გავლენა	საშუალო	მაღალი	საშუალო
ქურდობა/წინასწარ განსაზღვრული ქმედება სისტემის მწყობრიდან გამოსაყვანად	საშუალო-მცირე გავლენა	მაღალი საშუალო	საშუალო	მაღალი
ცენტრალურ სერვერზე შედეგი	დიდი გავლენა	მაღალი	მაღალი	მაღალი

დასკვნა

ამრიგად, ინფორმაციული უსაფრთხოების რისკების შედარების შედეგებზე დაყრდნობით, ყველაზე საშიში საფრთხეები, რომლის დროსაც ჰაკერები ლეზულობენ სისტემის ნაწილობრივი ან მთლიანი კონტროლის შესაძლებლობას არის კვების წყაროს დაკარგვა, მტვრევა და აპარატურული ან პროგრამული გარემოს მტყუნება. სწორედ

ამიტომაც აუცილებელი რისკების ლოკალური შეფასება სისტემის აგების ეტაპზე, რის შედეგადაც უნდა მოხდეს დაცვის მეთოდების სრულყოფა და „ჭკვიანი სახლის“ თითოეული ელემენტის მტყუნებისადმი მდგრადობის შემოწმება.

დამატებით სასურველია „ჭკვიანი სახლის“ მოწყობილობებზე წვდომისა და მართვისათვის საჭირო დაცვის მექანიზმების შემუშავება.

ლიტერატურა

1. “Smat house” (e-resource)-access model: /www/ URL: http://umnydom.kiev.ua/index.php?nma=catalog&fla=stat&cat_id=3&page=1&nums=24/ — 05.03.2015 გ. — Загл. С экрана. (In Rissian).
2. Market perspectives of smart house system (e-resource)/Center of Engineering technologies CENTEC.ACCESS mode: /www/ URL: <http://www.Centecgroup.ru/press/articles/18/> — 02.03.2011 გ. — Загл. С экрана. (In Rissian).
3. Girak P. Intellectual building: why we pay money? [Text]/P.Girak//Yournal.S.M.A.R.T. – 2018-#2-p.8-12. (In Rissian).
4. Kurmich A. Tireless Worker. Syste, “Smart house” [Text]/kuzmich//yournal S.M.A.R.T. – 2017 - -#2. pages – 10-13. (In Rissian).
5. Cetegories “Smart House” (e-resource)/Bussines house – access mode: /www/ URL: http://ruswires.net/post_1267720042.html/ — 04.03.2016 გ. — Загл. С экрана. (In Rissian).

UDC 513.21

SCOPUS CODE 2207

DOI: <https://doi.org/10.36073/1512-0996-2019-3-47-53>

Infosecuity risk analysis for "Smart House" systems

Nora Kukhianidze Department of Computer Technology, Akaki Tsereteli State University, 59 Tamar Mepe, 4600 Kutaisi, Georgia

E-mail: kukhianidze05nona@gmail.com

Ia Mosashvili Department of Computer Engineering, Georgian Technical University, 77 M. Kostava str, 0160 Tbilisi, Georgia

E-mail: i_mosashvili@gtu.ge

Reviewers:

T. Pestvenidze, Associate Professor, Department of Computer Technology, ATSU

E-mail: t_pestvenidze@mail.ru

N. Chanturia, Associate Professor, Department of Computer Technology, ATSU

E-mail: nodarichanturia9@gmail.com

Abstract. The article discusses basic methods of design a "Smart House" and analyzes the infosecuity risks. The advantage of this model is that we can combine different manufacturers' devices in a single network, the main disadvantage is - the system management depends entirely on the central server. In case of various problems caused by a hardware-program breakdown, the "Smart House" is impossible to manage or the orders from the server are inaccurate.

In the decentralized model there is no central server management and the system consists of different sensors, activators and transmitters. The sensors and transmitters enhance building performance characteristics deviation from the rated value and deliver orders to the actuation devices that are activated by activators. The main advantage of this model is its stability against failure. Failures of separate elements don't affect the functioning of other elements. The disadvantage is its complexity and high cost implementation.

Key words: Centralized system model; infosecuity risk; server system; Smart House.

UDC 513.21

SCOPUS CODE 2207

DOI: <https://doi.org/10.36073/1512-0996-2019-3-47-53>

Анализ рисков информационной безопасности для систем «Умный дом»

Нора Кухиანიдзе Департамент компьютерных технологий, Государственный университет им. Акакия Церетели, Грузия, 4500, Кутаиси, ул. Тamar Мепе, 59
E-mail: kukhianidze05nona@gmail.com

Ия Мосашвили Департамент компьютерной инженерии, Грузинский технический университет, Грузия, 0160, Тбилиси, ул. М. Костава, 77
E-mail: i_mosashvili@gtu.ge

Рецензенты:

Т. Пественидзе, асоц. профессор факультета точных и естественных наук Государственного университета им. Акакия Церетели

E-mail: t_pestvenidze@mail.ru

Н. Чантурия, асоц. профессор факультета точных и естественных наук Государственного университета им. Акакия Церетели

E-mail: nodarichanturia9@gmail.com

Аннотация. В статье рассматриваются основные методы построения «Умного дома», анализируются риски информационной безопасности «Умного дома». Преимущество этой модели в том, что мы можем объединять устройства разных производителей в одной сети, главный недостаток – управление системой полностью зависит от центрального сервера. В случае возникновения различных проблем, вызванных сбоем аппаратно-программных средств, управление «Умным домом» становится невозможным или заказы, полученные от сервера, выполняются некорректно.

В децентрализованной модели отсутствует централизованное управление сервером, а система состоит из разных датчиков, активаторов и передатчиков. Передатчики и датчики улучшают рабочие характеристики здания от нормы и доставляют заказы на устройство-исполнители, которые приводятся в действие активаторами. Основным преимуществом этой модели является ее устойчивость от сбоев. Сбои отдельных элементов не влияют на функционирование других элементов, а недостаток – на сложность и дороговизну внедрения.

Ключевые слова: модель централизованной системы; риск информационной безопасности; сервер системы; «Умный дом».

განხილვის თარიღი 16.04.2019

შემოსვლის თარიღი 02.05.2019

ხელმოწერილია დასაბეჭდად 24.10.2019

UDC 620.16

SCOPUS CODE 2209

DOI: <https://doi.org/10.36073/1512-0996-2019-3-54-60>

ხილისა და მწვანის სიცივით დამუშავების ჰიდროაეროზოლოური ტექნოლოგია

გია გოლეთიანი კვების ინდუსტრიის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 68°

E-mail: gia_goletiani@yahoo.com

თამაზ ისაკაძე კვების ინდუსტრიის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 68°

E-mail: tamazisakadze@gmail.com

გივი გუგულაშვილი კვების ინდუსტრიის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 68°

E-mail: Givi.Gugulashvili@gmail.com

რეცენზენტები:

ზ. ჯაფარიძე, სტუ-ის სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტის პროფესორი

E-mail: zurabjaparidze@yahoo.com

ს. სულაძე, შპს „საქართველოს მაცივარაგენტების შეგროვებისა და რეციკლირების ცენტრის“ დირექტორი, ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი

E-mail: sulkhansuladze@gmail.com

ანოტაცია. ხილისა და მწვანის ხარისხის შენარჩუნების უნივერსალური მეთოდი მათი სიცივით დამუშავების ჰიდროაეროზოლოური ტექნოლოგიაა. ეს მეთოდი გულისხმობს საკანში საჭირო ტემპერატურის შექმნასთან ერთად პროდუქტისთვის აუცილებელი ფარდობითი ტენიანობის შექმნას და შენარჩუნებას ანუ ინოვაციური ტექნოლოგია ხილის და მწვანის კლასიკური შენახვის მეთოდებისგან განსხვავებით, პროდუქტის გაცივებასთან ერთად ითვალისწინებს მის დატენიანებას სპეცია-

ლური დამტენიანებელი მოწყობილობით, რომელსაც შეუძლია წყალი გააფრქვიოს მცირედისპერსიულ ნაწილაკებად. დამტენიანებლებად გამოიყენება ტანგენციური ტიპის ფრქვევანა, რომელსაც ხილის ან მწვანის სათავსში შეუძლია შექმნას წყლის ნისლის არე. ვინაიდან ხილი და მწვანილი ითვლება ცოცხალ პროდუქტებად, ამიტომ ინოვაციური სამაცივრო დანადგარის სქემაში გათვალისწინებულია მომდენ-გამწოვი ვენტილაცია, რომლის მეშვეობითაც საკნიდან გამოიდევენება ნამუშევარი ჰაერი და მის ადგილს შეავსებს გარემოდან მიწოდე-

ბული სუფთა ჰაერი. ასეთი ტიპის დანადგარი გამო-
ირჩევა ფულადი სახსრების ეკონომიით და კონსტ-
რუქციის სიმარტივით.

საკვანძო სიტყვები: დროსელი; ვენტილატო-
რი; ზეთგამომყოფი; კომპრესორი; კონდენსატორი.

შესავალი

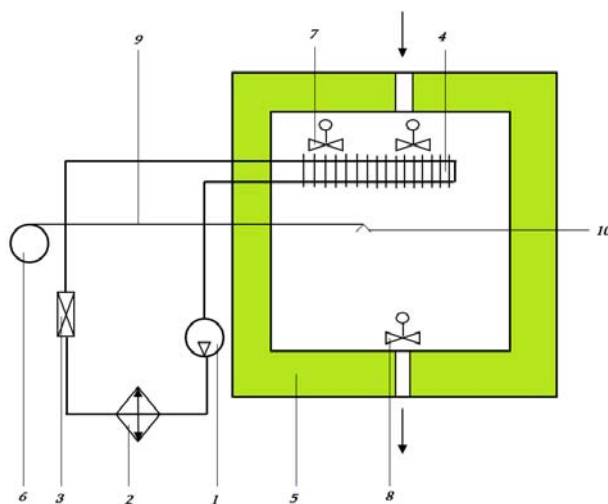
ხილისა და მწვანილის სამაცივრო დამუშავების უმნიშვნელოვანესი თავისებურებაა უშუალოდ დაკ-
რევის ადგილზე მათი წინასწარ გაცივება. ამ პრო-
ცესს წინასწარი გაცივების სპეციალურ სადგურებსა
ან დამამზადებელი მაცივრების საკნებში ატარებენ.
იმ შემთხვევაში, როდესაც ხილი და მწვანილი დაუ-
ყოვნებლივ გადაზიდვისთვის არის განკუთვნილი,
მათ აცივებენ რეფრეჟერატორებში ან ავტომობი-
ლებში ტრანსპორტირებისას, სადაც გამოიყენება სა-
მაცივრო მანქანები და დანადგარები. გარდა ამისა,
გაცივება შეიძლება გაყინული წყლით, თოვლით,
ვაკუმ-დანადგარების მეშვეობით და სხვა.

წინასწარი გაცივების სადგურები არსებობს სტა-
ციონარული და მოძრავი. ასეთი მაცივრები, რო-
გორც წესი, მცირე ტევადობისაა.

ევროპის ზოგიერთ ქვეყანაში იყენებენ ვაშლის
გაცივებას ყინულივით ცივ წყალში (წყალში, რომ-
ლის ტემპერატურა ახლოსაა 0°C-თან). ამ მიზნით
ყუთებსა და კალათებში ჩაწყობილ პროდუქტს
ათავსებენ კონვეიერზე. მასზე მოძრაობისას პრო-
დუქტი გაივლის ყინულივით ცივი წყლის ფენას ან
ორწყვება ასეთი წყლით.

ძირითადი ნაწილი

საექსპერიმენტო ინოვაციური დანადგარის შე-
მადგენელი ნაწილებია: კომპრესორი, კონდენსატო-
რი, კაპილარული მილი, საორთქლებელი, სამაცივრო
კამერა, წყლის ტუმბო, მომდენ-გამწოვი ვენტილაცია
და ფრქვევანა. სამაცივრო აგრეგატში ცირკულირებს
მაცივარაგენტი მ22, რომლის დუდილის ტემპე-
რატურაა -10°C. კამერაში ტემპერატურის კიდევ
უფრო დაწევა ხდება ფრქვევანას მიერ გაშხეფებული
წყლის ნაკადის ხარჯზე, რის შედეგადაც კამერაში
ვარდობითი ტენიანობა იზრდება 95%-მდე.

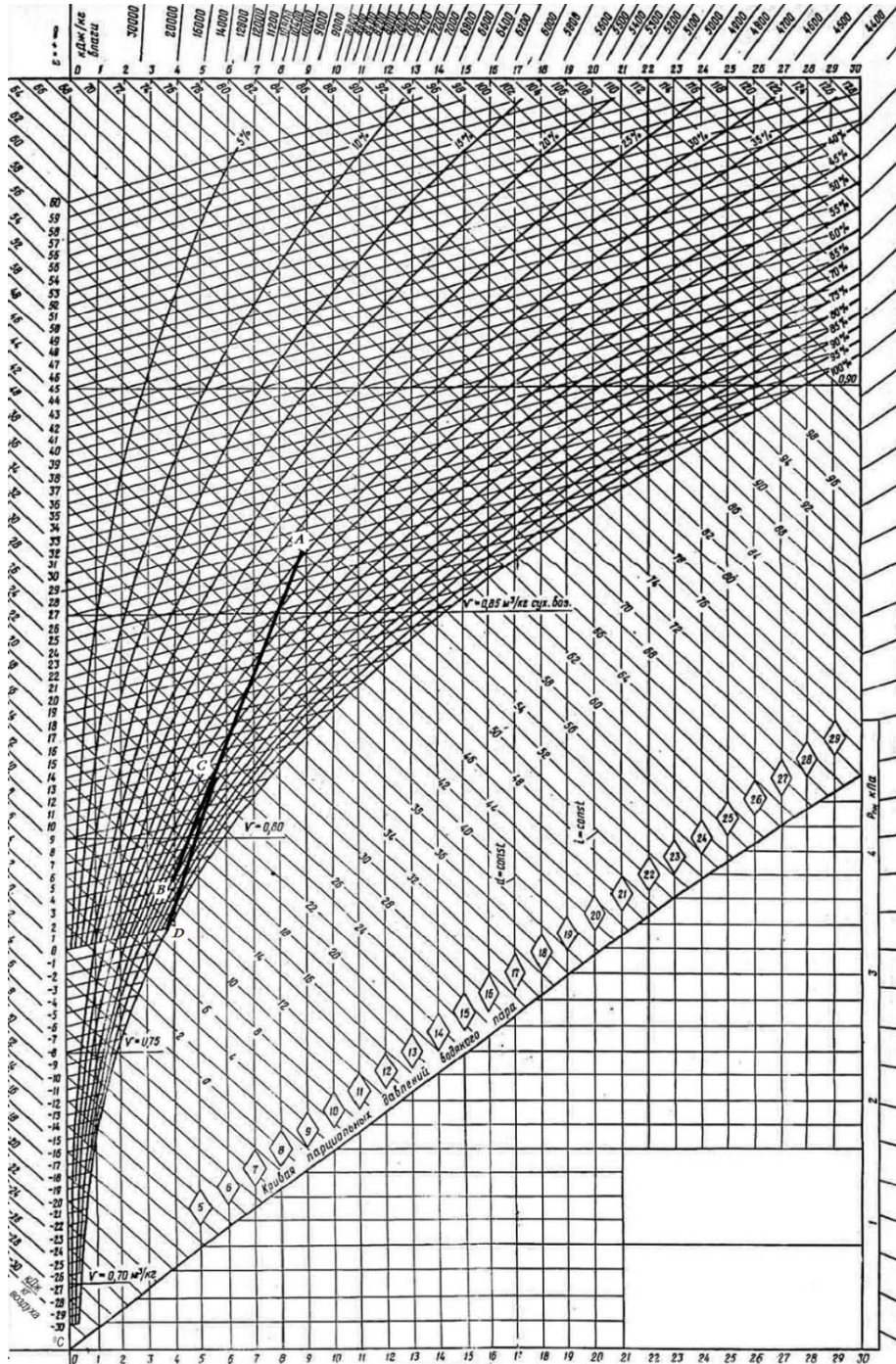


სურ. 1. ინოვაციური დანადგარის პრინციპული სქემა
1 – კომპრესორი, 2 – კონდენსატორი, 3 – დროსელი,
4 – საორთქლებელი, 5 – კამერა, 6 – წყლის ტუმბო, 7 – მომდენი
ვენტილაცია, 8 – გამწოვი ვენტილაცია, 9 – წყლის მილი,
10 – ფრქვევანა

რადგან სიცივით დასამუშავებელ პროდუქტად
წარმოდგენილია ხილი და მწვანილი, ამიტომ გათ-
ვალისწინებული უნდა იყოს საკანში გარე ჰაერის
მიწოდებაც, ე. ი. უნდა შეერიოს გარე და შიგა ჰაერი
და საკანში მიეწოდოს ეს ნარევი. ჰაერის დამუშა-
ვების პროცესი ასეთია: გარე ჰაერი ერევა შიგა ჰაერს
გარკვეული პროპორციით (სურ. 2, AB წირი).

შერევის წერტილიდან (C წერტილი) ნარევი ტენიანდება მცირედისპერსიული წყლის ნაკადით ტანგენციური ფრქვევანას მეშვეობით. I-D დიაგრამაზე ეს პროცესი გამოსახულია CD წირით. გარე

ჰაერის ტემპერატურაა 27°C, შიგა ჰაერის ტემპერატურა კი – 5°C. ტენის ნაკადით დამუშავებისას ჰაერის ტემპერატურა ეცემა 1°C-მდე.

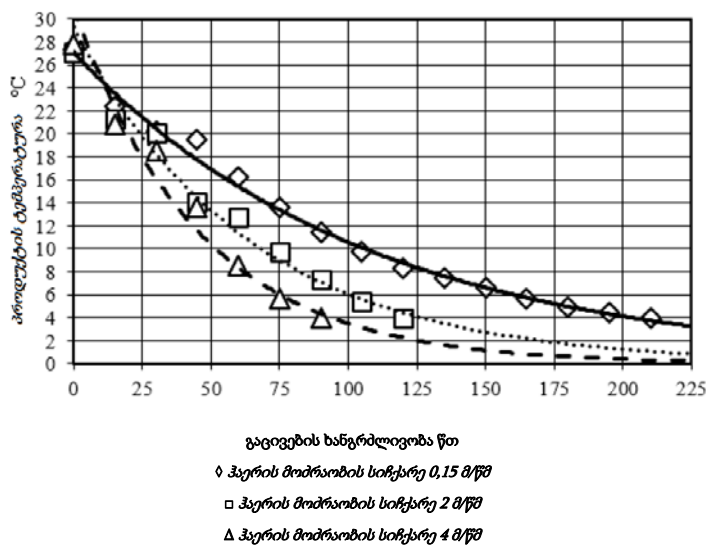


სურ. 2. ჰაერის დამუშავების პროცესის I-D დიაგრამა

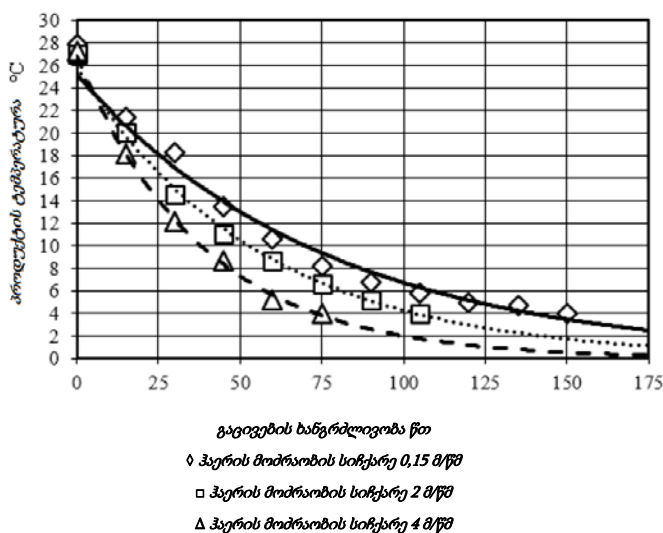
კვლევების საფუძველზე გაანგარიშებული და აგებულია თერმოგრამები, რომლებიც გვიჩვენებს დამოკიდებულებას პროდუქტის გაცივების პროცესსა და ჰაერის მოძრაობის სიჩქარეს შორის (სურ. 3 და სურ. 4).

მიღებული მონაცემების ანალიზმა გვიჩვენა, რომ

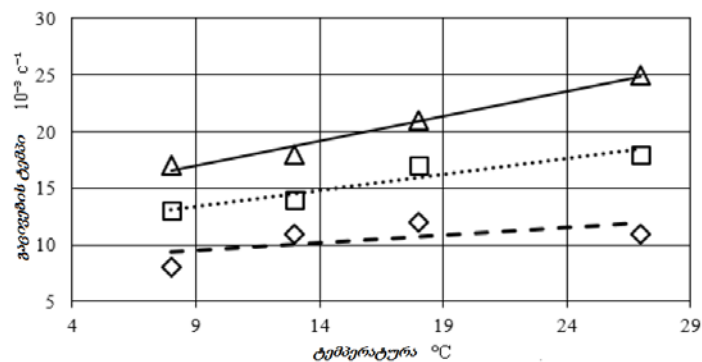
ჰიდროაეროზოლური გაცივებისას პროდუქტის დამუშავების პროცესის ხანგრძლივობა ნაკლებია, ვიდრე ჰაერით გაცივებისას. ეს შეიძლება აიხსნას იმით, რომ პროდუქტის ჰაერწვეთოვანი გაცივებისას ხდება სითბოს დამატებითი მოცილება წყლის ორთქლის ფაზაში გადაყვანის ხარჯზე.



სურ. 3. პროდუქტის დამუშავების პროცესის თერმოგრამა ჰაერით გაცივებისას

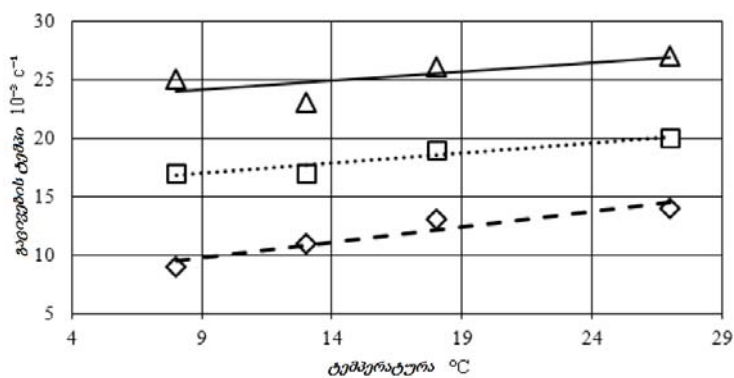


სურ. 4. პროდუქტის დამუშავების პროცესის თერმოგრამა ჰიდროაეროზოლური დამუშავებისას



◊ ჰაერის მოძრაობის სიჩქარე 0,15 მ/წმ
 □ ჰაერის მოძრაობის სიჩქარე 2 მ/წმ
 Δ ჰაერის მოძრაობის სიჩქარე 4 მ/წმ

სურ. 5. პროდუქტის დამუშავების ტემპი ჰაერით გაცივებისას



◊ ჰაერის მოძრაობის სიჩქარე 0,15 მ/წმ
 □ ჰაერის მოძრაობის სიჩქარე 2 მ/წმ
 Δ ჰაერის მოძრაობის სიჩქარე 4 მ/წმ

სურ. 6. პროდუქტის დამუშავების ტემპი ჰიდროაეროზოლური გაცივებისას

მე-5 და მე-6 სურათებზე გამოსახულია ხილისა და მწვანის სიცივით დამუშავების ტემპი როგორც ჰაერით, ისე ჰიდროაეროზოლური გაცივებისას, სადაც აშკარად ჩანს ჰიდროაეროზოლური გაცივების ეფექტის უპირატესობა.

დასკვნა

ხილისა და მწვანის სიცივით დამუშავების ინოვაციური ტიპის დანადგარი საშუალებას იძ-

ლევა მნიშვნელოვნად შემცირდეს პროდუქტის სიცივით დამუშავების დრო და მაქსიმალურად შევინარჩუნოთ პროდუქტის ხარისხი. ამიტომ ასეთი ტიპის სამაცივრო დანადგარის წარმოება ძალზე წაადგება საქართველოს სოფლის მეურნეობას. დანადგარის ამ დადებითი მხარეების გარდა აღსანიშნავია მისი კონსტრუქციის სიმარტივე, რაც აისახება ფულადი დანახარჯების დიდ ეკონომიაში.

ლიტერატურა

1. Megrelidze T., Japaridze Z., Suladze S., Gugulashvili G., Goletiani G., Tepnadze A., Kvirikashvili G., Omiadze Z. Refrigerator machines (Piston compressors). "Teqniki Universiteti". Tbilisi. 2009, 52-53 pp. (in Georgian).
 2. Megrelidze T., Sadagashvili E., Beruashvili G., Gugulashvili G. Study of the optimal working regimes of refrigerator machines with difficult cycle. "Teqniki Universiteti". #2 (480). Tbilisi. 2011, 91-96 pp. (in Georgian).
 3. System trouble shooting measuring instruments. Danfoss A/S (RC-SM/MWA), 09-2002. (in Russian).
 4. Honeywell refrigerants. Honeywell International Inc. 2006.
-

UDC 620.16

SCOPUS CODE 2209

DOI: <https://doi.org/10.36073/1512-0996-2019-3-54-60>

Hydroelectric technology of refrigeration processing of fruits and greens

Gia Goletiani Department of Food Industry, Georgian Technical University, 68 a M. Kostava str, 0160 Tbilisi, Georgia
E-mail: gia_goletiani@yahoo.com

Tamaz Isakadze Department of Food Industry, Georgian Technical University, 68 a M. Kostava str, 0160 Tbilisi, Georgia
E-mail: tamazisakadze@gmail.com

Givi Gugulashvili Department of Food Industry, Georgian Technical University, 68 a M. Kostava str, 0160 Tbilisi, Georgia
E-mail: Givi.Gugulashvili@gmail.com

Reviewers:

Z. Japaridze, Professor, Faculty of Transportation and Mechanical Engineering, GTU
E-mail: zurabjaparidze@yahoo.com

S. Suladze, Doctor of Technical Sciences, Director of LTD "Georgian Refrigerant Recovery and Recycling Center"
E-mail: sulkhansuladze@gmail.com

Abstract. A universal method of preserving the quality of greens and fruits is hydrolic cold processing technology. This method involves creating of the required temperature and maintaining the necessary relative humidity for the product. Unlike the cooling of the product, innovative technology with use of classical technology of storage of fruits and greens, includes rode holding moisture using special devices into smaller pieces. Compounding devices are tangential-type nozzles that can form a region of water mist in a fruit or greens storage.

Since fruits and greens are considered as living products, the innovative refrigeration equipment design is based on supply and exhaust ventilation, which allows the environment to be filled with clean air. The production of this type of equipment, in contrast to the factory facilities, is distinguished by great money savings.

Key words: Capillary tube; compressor; condenser; oil separator; ventilator.

UDC 620.16

SCOPUS CODE 2209

DOI: <https://doi.org/10.36073/1512-0996-2019-3-54-60>

Гидроаэрозольная технология холодильной обработки фруктов и зелени

- Гია Голетиანი** Департамент пищевой индустрии, Грузинский технический университет, Грузия, 0160, Тбилиси, ул. М. Костава, 68^ა
E-mail: gia_goletiani@yahoo.com
- Тамаз Исакадзе** Департамент пищевой индустрии, Грузинский технический университет, Грузия, 0160, Тбилиси, ул. М. Костава, 68^ა
E-mail: tamazisakadze@gmail.com
- Гиви Гугулашвили** Департамент пищевой индустрии, Грузинский технический университет, Грузия, 0160, Тбилиси, ул. М. Костава, 68^ა
E-mail: Givi.Gugulashvili@gmail.com

Рецензенты:

З. Джапаридзе, профессор факультета транспорта и машиностроения ГТУ

E-mail: zurabjaparidze@yahoo.com

С. Суладзе, директор ООО «Центра сбора и рециклирования хладоагентов Грузии», доктор технических наук

E-mail: sulkhansuladze@gmail.com

Аннотация. Универсальным методом сохранения качества зелени и фруктов является гидроаэрозольная технология холодной обработки. Этот метод включает создание необходимой температуры и поддержание необходимой относительной влажности для продукта. Инновационная технология в отличие от охлаждения продукта, с использованием классической технологии хранения фруктов и зелени, включает поддержку влажности с помощью специальных увлажнительных устройств на более мелкие части. Увлажнительными устройствами являются форсунки тангенциального типа, которые могут образовывать в хранилище зелени или овощей область водяного тумана.

Поскольку фрукты и зелень считаются живыми продуктами, схема инновационного холодильного оборудования снабжена приточно-вытяжной вентиляцией, которая позволяет заполнять окружающую среду чистым воздухом. Производство такого типа оборудования в отличие от заводских устройств, отличается большой экономией денежных средств.

Ключевые слова: вентилятор; капиллярная труба; компрессор; конденсатор, маслоотделитель.

განხილვის თარიღი 22.03.2019

შემოსვლის თარიღი 27.03.2019

ხელმოწერილია დასაბეჭდად 24.10.2019

UDC 621.51:621.56/.57

SCOPUS CODE 2209

DOI: <https://doi.org/10.36073/1512-0996-2019-3-61-67>

საყოფაცხოვრებო მაცივრის დგუშიანი კომპრესორის სადიაგნოსტიკო ინოვაციური მოდულატორი

- გია გოლეთიანი** კვების ინდუსტრიის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 68°
E-mail: gia_goletiani@yahoo.com
- თამაზ ისაკაძე** კვების ინდუსტრიის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 68°
E-mail: tamazisakadze@gmail.com
- გივი გუგულაშვილი** კვების ინდუსტრიის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 68°
E-mail: Givi.Gugulashvili@gmail.com

რეცენზენტები:

ზ. ჯაფარიძე, სტუ-ის სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტის პროფესორი

E-mail: zurabjaparidze@yahoo.com

ს. სულაძე, შპს „საქართველოს მაცივარაგენტების შვედროვებისა და რეციკლირების ცენტრის“ დირექტორი, ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი

E-mail: sulkhansuladze@gmail.com

ანოტაცია. საყოფაცხოვრებო მაცივრის დგუშიანი კომპრესორის სადიაგნოსტიკო ინოვაციური მოდულატორი არის უნივერსალური ხელსაწყო, რომელსაც შეუძლია საყოფაცხოვრებო მაცივრის კომპრესორის სრული დიაგნოსტიკა. იგი გამოირჩევა კომპაქტურობით, ელექტრომოწყობილობის სიმარტივით, მუშაობის ხანგამძლეობით, მცირე გაბარიტებით და წონით. ასეთი ტიპის ხელსაწყო ძალზე აიოლებს სამაცივრო ტექნიკის მექანიკოსის მუშაობას. მისი არქონის შემთხვევაში სამაცივრო ტექნიკის მექანიკოსს უწევს მრავალი მკონტროლებელი ხელსაწყო გამოყენება, რათა შეძლოს კომპრესორის მუ-

შაობის ხარვეზის დადგენა მაშინ, როდესაც ერთ ასეთ მოდულატორს შეუძლია გაცილებით მეტი სამუშაოს შესრულება. ინოვაციურ მოდულატორს შეუძლია ზედმიწევნით ზუსტად დაუსვას დიაგნოზი ყველა ტიპის საყოფაცხოვრებო მაცივრის კომპრესორს და გადაარჩინოს მოქალაქე ზედმეტი სარემონტო ხარჯისაგან. ეს ფაქტორი კი ჩვენი მოსახლეობის დღევანდელი მძიმე ეკონომიკური პირობებისათვის შეიძლება უმნიშვნელოვანესად ჩაითვალოს.

საკვანძო სიტყვები: დიოდი; კლემა; კნოპი; კომპრესორი; ტუმბლერი.

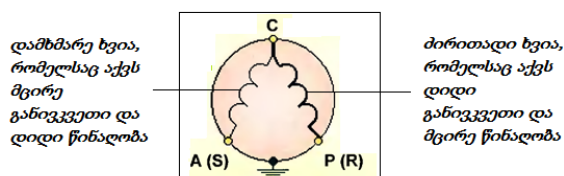
შესავალი

როგორც ცნობილია, ნებისმიერი სახის სამაცივრო აგრეგატში ყველაზე ძვირად ღირებულ კვანძად ითვლება კომპრესორი. ამიტომ მასთან მუშაობისას ყველა პირს განსაკუთრებული ყურადღება მართება, რათა დაუდევრობით ან უმეცრებით არ გადაიტვიტოს და შედეგად მწყობრიდან არ გამოვიდეს ეს კვანძი. ეს ფაქტორი განსაკუთრებით საყურადღებო უნდა იყოს მოსახლეობისათვის. მაგრამ გარდა ზემოთ თქმულისა არსებობს მრავალი გარე ფაქტორი, რასაც შეუძლია კომპრესორის მწყობრიდან გამოყვანა. მაგალითად, დასაშვებზე დიდი ძაბვა ქსელში, ქარხანა-მწარმოებლის მიერ სამაცივრო აგრეგატის დაბინძურება, სისტემაში არასრული ვაკუუმი და სხვა. კომპრესორს მეორენაირად მაცივრის გულსაც უწოდებენ, ამიტომ მაცივრის სიცოცხლისუნარიანობაში გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს მის სწორ და უშეცდომო „მკურნალობას“.

ძირითადი ნაწილი

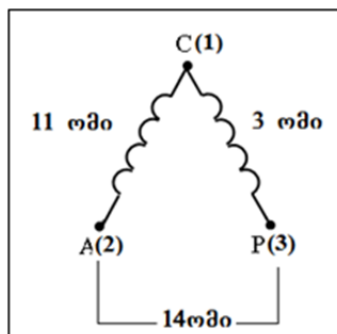
მცირე სიმძლავრის მაცივრის უმრავლესობა აღჭურვილია ერთფაზიანი ელექტროძრავათი. ასეთი ძრავა შედგება ორი ხვიისაგან: 1) ძირითადია P ხვია, რომელსაც მუშა ხვია ეწოდება (მისი ინგლისური აღნიშვნაა Run (R)). ძირითადი ხვიის მავთულს აქვს დიდი განივკვეთის ფართობი და ძრავას მუშაობის მთელი დროის განმავლობაში ის ჩართულია ელექტრულ ქსელში); 2) დამხმარე A ხვია, რომელსაც გაშვების ხვია ეწოდება (მისი ინგლისური აღნიშვნაა Start (S)). დამხმარე ხვიის მავთული წვრილია და განივკვეთის ფართობი მცირეა, შესაბამისად, მისი წინალობა დიდია).

თუ ელექტრულ კვებას მივაწვდით მხოლოდ მუშა ხვიას, მაშინ ძრავა იწყებს ხმაურს, მაგრამ არ იბრუნებს. თუ ამ მდგომარეობაში ძრავას ლილვს ხელით დავაბრუნებთ, ძრავა დაიწყებს ბრუნვას იმ მიმართულებით, რა მიმართულებასაც მივცემთ. ამ მეთოდით ძრავას გაშვება მიუღებელია. ძრავა-კომპრესორის შემთხვევაში, როდესაც ძრავა ჩასმულია ლითონის გარსაცმში, მისი ასეთი მეთოდით გაშვება საერთოდ შეუძლებელია (სურ. 1.).



სურ. 1. მუშა და გაშვების ხვიების განთავსება კომპრესორის გარსაცმში

განვიხილოთ ერთფაზიანი ძრავას კლემების კოლოფი, რომელიც მონტაჟდება ჰერმეტიკულ კომპრესორზე. მასში დამონტაჟებულია თბური რელე, რომელიც კომპრესორს იცავს გადახურებისაგან. კლემები აღინიშნება ციფრებით: 1, 2, 3. გამორთულ მდგომარეობაში გავზომოთ წინალობები კლემებს შორის (სურ. 2.). დავუშვათ, რომ $R_{12} = 11$ ომს, ხოლო $R_{13} = 3$ ომს. მაშინ $R_{32} = 14$ ომს.



სურ. 2. წინალობების სიდიდეები ძრავას კლემებს შორის

ყველაზე დიდი წინაღობა არის მე-3 და მე-2 წერტილებს შორის. შესაბამისად, პირველ წერტილს ეწოდება საერთო წვერო. მუშა და გაშვების ხვეების არევას შეიძლება მოჰყვეს ძრავას გადაწვა. უძრავ-ლეს შემთხვევაში ყველაზე მცირე წინაღობა არის საერთო წვეროსა და მუშა წვეროს შორის. მხოლოდ „დანფოსის“ ფირმის კომპრესორს აქვს შებრუნებით: ყველაზე მცირე წინაღობა არის საერთო წვეროსა და გაშვების წვეროს შორის. გარდა ამისა, ამ ფირმის კომპრესორში თბური რელე ჩამონტაჟებულია კომპრესორის გარსაცმში.

კომპრესორის გასაშვებად გამოიყენება გაშვება-დაცვის რელე. მიუხედავად გაშვების რელეს კონსტრუქციის სხვადასხვაობისა, მისი დანიშნულებაა გაშვების ხვეის გათიშვა ქსელიდან, იმ დროს, როდესაც ძრავას ბრუნთა რიცხვი გახდება ნომინალური მნიშვნელობის 80 %-ის ტოლი. ამის შემდეგ ძრავა ითვლება გაშვებულად და მუშაობს მუშა ხვეის მეშვეობით. არსებობს ორი სახის გაშვების რელე: 1) დენის რელე, 2) ძაბვის რელე. ელექტროძრავას გაშვება შესაძლებელია აგრეთვე თერმისტორის მეშვეობით.

გაშვების დენის რელე

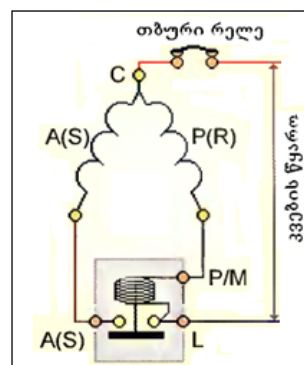
ასეთი ტიპის რელე გამოიყენება მცირე სიმძლავრის ერთფაზიან ელექტროძრავაში, რომლის სიმძლავრე არ აღემატება 600 ვტ-ს (საყოფაცხოვრებო მაცივარი). ეს რელე უშუალოდ პირდაპირ ჩაერთვება კომპრესორთან ორი ან სამი ბუდით.

P/M [^]	მუშა (Main)	->	მუშა ხვია
A/S ->	გაშვება (START)	->	გაშვების ხვია
L ->	ხაზი (Line)	->	კვების ფაზა

ომმეტრით შემოწმებისას A/S და P/N ბუდეებს შორის წინაღობა უსასრულობის ტოლია. ასევე უსას-

რულობას გვიჩვენებს ომმეტრი L და A/S ბუდეებს შორის წინაღობის გაზომვისას. P/M და L ბუდეებს შორის წინაღობა კი ნულის ტოლი იქნება, რადგან რელეს კოჭას წინაღობა, რომელიც საჭიროა გაშვების დენის გასატარებლად, ძალზე მცირეა (ის დახვეული მსხვილი განივკვეთის მავთულია). თუ რელეს დავა-მონტაჟებთ ისრის საწინააღმდეგო მიმართულებით, მისი კონტაქტები შეიძლება მუდმივად ჩართული დარჩეს, რაც გამოიწვევს გაშვების ხვეის მუდმივად ჩართულ მდგომარეობაში ყოფნას და, შესაბამისად, ელექტროძრავა სწრაფად გადაიწვება.

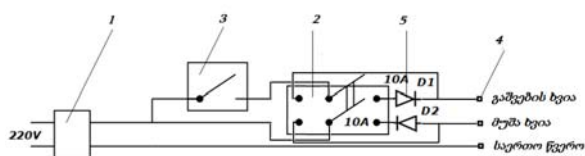
განვიხილოთ გაშვების რელეს მუშაობის პრინციპი მე-3 სურათზე მოცემული სქემის მიხედვით.



სურ. 3. გაშვება-დაცვის რელეს პრინციპული სქემა

ძაბვის მიწოდებისას, დენი თბური რელეს გავლით მიეწოდება მუშა ხვიას და რელეს კოჭას. რადგან A/L და S კონტაქტები განართულია, ამიტომ გაშვების ხვიაც რჩება განართულ მდგომარეობაში და ძრავა არ ბრუნავს. ეს იწვევს დენის ძალის მკვეთრად გაზრდას. ამის გამო, აღძრული ელექტრომაგნიტური ინდუქციის საფუძველზე A/S და L კონტაქტები შეერთდება. ეს კი გამოიწვევს გაშვების ხვეის ჩართვას. ელექტროძრავა იწყებს ბრუნვას, იზრდება ბრუნთა რიცხვი და ამავე დროს მცირდება მოხმარე-

ბული დენის ძალის სიდიდე, რის გამოც რელეს კოჭაზე დაზვა დაეცემა. როდესაც ძრავას ბრუნთა რიცხვი მიაღწევს ნომინალური მნიშვნელობის 80 %-ს, მაშინ A/S და L-ს შორის კონტაქტი გაწყდება, რაც გამოიწვევს გაშვების ხვიის გათიშვას. რელეს არქონისას კომპრესორის გასაშვებად გამოიყენება ინოვაციური მოდულატორი. საყოფაცხოვრებო მაცივრის დგუშინი კომპრესორის სადიაგნოსტიკო ინოვაციური მოდულატორის პრინციპული სქემა ნაჩვენებია მე-4 სურათზე.



სურ. 4. საყოფაცხოვრებო მაცივრის დგუშინი კომპრესორის სადიაგნოსტიკო ინოვაციური მოდულატორის პრინციპული სქემა

1 – შტეფსელი, 2 – ორპოზიციური ტუმბლერი, 3 – მკაცრად განართული კნოპი, 4 – კლემა, 5 – ნახევარგამტარული დიოდი

ხელსაწყოს შეუძლია მუშაობა ორ რეჟიმში: 1) კომპრესორის გაშვების რეჟიმსა და 2) კომპრესორის ვიბრორეჟიმში.

სამაცივრო ტექნიკის მექანიკოსს ხშირად შეიძლება შეხვდეს კომპრესორი გაშვება-დაცვის რელეს გარეშე. ამ შემთხვევაში კომპრესორის გაშვება შეუძლებელია და, მამასადამე, შეუძლებელი ხდება კომპრესორის ვარგისობის დადგენა. ამ პრობლემის გადაჭრა შეიძლება ინოვაციური მოდულატორის მეშვეობით. ამ დროს ორპოზიციური ტუმბლერი (პოზ. 2) უნდა გადავიყვანოთ იმ პოზიციაში, სადაც ცენტრალურ ფეხებთან ნახევარგამტარული დიოდები კონტაქტში აღარ იქნება ანუ ცენტრალური ფეხები კონტაქტში იქნება მარცხენა ფეხებთან. ამის შემდეგ

მულტიმეტრის მეშვეობით კომპრესორის გამომავალ კონტაქტებზე უნდა განისაზღვროს საერთო წვეროს, მუშა წვეროსა და გაშვების წვეროს მდებარეობა. ამ კონტაქტებზე დამაგრდეს მოდულატორის კლემები (პოზ. 4), ხელსაწყო ელექტროქსელში ჩაერთოს შტეფსელით (პოზ. 1) და მკაცრად განართული კნოპის წამიერი შერთვით ჩაერთოს კომპრესორი. ამ დროს სტატორის გაშვების ხვია გადამოკლდება მუშა ხვიასთან და აღიძვრება გაშვების დიდი დენი, რაც დაატრიალებს კომპრესორის მუხლა ლილვს. თუ ხელსაწყოთან მიმდევრობით ჩავრთავთ ამპერმეტრს, მაშინ ამპერმეტრის ისარი საწყის მომენტში დაგვიფიქსირებს გაშვების დენის ძალას, ხოლო რამდენიმე წამის მოგვიანებით კი – მუშა დენის ძალას. თუ ამპერმეტრის ჩვენებები აღემატება კომპრესორის საპასპორტო მონაცემებს, ეს იმის მაჩვენებელი იქნება, რომ სტატორის ხვიები გამოსულია მწყობრიდან. თუ გაშვების მომენტში ამპერმეტრის ისარი მუდმივად დარჩა გაშვების დენი ძალის ნიშნულზე, ეს იმის მაჩვენებელი იქნება, რომ კომპრესორის სტატორის ხვიები გადამწვარია ან კომპრესორი გაჭედილია.

ინოვაციურ მოდულატორს აქვს შესაძლებლობა აღმოფხვრას კომპრესორის ეს გაუმართაობაც. ამისათვის საჭიროა მოდულატორი გადავიყვანოთ ვიბრორეჟიმში. ამ დროს ორპოზიციური ტუმბლერის (პოზ. 2) ცენტრალური ფეხები უნდა განერთოს მარცხენა კონტაქტებისგან და შეერთოს მარჯვენა კონტაქტებთან, რომლებიც შერთავენ ნახევარგამტარულ დიოდებს (პოზ. 5). როგორც წინა შემთხვევაში, კომპრესორის გამომავალ კონტაქტებზე ვსვამთ მოდულატორის კლემებს (პოზ.4) ზემოთ აღნიშნული წესის შესაბამისად. ვრთავთ ქსელში

ხელსაწყოს და მკაცრად განთულ კნოპზე ვაჭერთ თითს. ამ დროს კომპრესორში ნახევარგამტარული დიოდებით იქმნება ვიბროველი, რასაც შეუძლია გახსნას კომპრესორის ესა თუ ის გაჭედული კვანძი. თითოეული ვიბრორეჟიმის ხანგრძლივობა არ უნდა აღემატებოდეს 5 წამს.



სურ. 5. საყოფაცხოვრებო მაცივრის დგუშიანი კომპრესორის სადიაგნოსტიკო ინოვაციური მოდულატორის ხედი

დასკვნა

საყოფაცხოვრებო მაცივრის დგუშიანი კომპრესორის სადიაგნოსტიკო ინოვაციური მოდულატორი არის აუცილებელი ინსტრუმენტი სამაცივრო ტექნიკის მექანიკოსისათვის. ასეთი მოდულატორის დამზადება ძალზე იოლად არის შესაძლებელი ამ საქმეზე მომუშავე ნებისმიერი პირისათვის. ასეთი ტიპის ინსტრუმენტით საყოფაცხოვრებო მაცივრის კომპრესორზე ზუსტად შეიძლება დაისვას ყველა დიაგნოზი და აღმოიფხვრას გაუმართაობანი.

ყოველივე ზემოთ თქმულიდან შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ აღნიშნული კონსტრუქცია იძლევა ფულადი სახსრებისა და დროის დანახარჯების დიდ ეკონომიას.

ლიტერატურა

1. Megrelidze T., Japaridze Z., Suladze S., Gugulashvili G., Goletiani G., Tepnadze A., Kvirikashvili G., Omiadze Z. Refrigerator machines (Piston compressors). "Teqnikuri Universiteti". Tbilisi. 2009, 52-53 pp. (in Georgian).
2. Megrelidze T., Sadagashvili E., Beruashvili G., Gugulashvili G. Study of the optimal working regimes of refrigerator machines with difficult cycle. "Teqnikuri Universiteti". #2 (480). Tbilisi. 2011, 91-96 pp. (in Georgian).
3. System trouble shooting measuring instruments. Danfoss A/S (RC-SM/MWA), 09-2002. (in Russian).
4. Honeywell refrigerants. Honeywell International Inc. 2006.

UDC 6

SCOPUS CODE 2209

DOI: [HTTPS://DOI.ORG/10.36073/1512-0996-2019-3-61-67](https://doi.org/10.36073/1512-0996-2019-3-61-67)

Diagnostic innovative modulator for piston compressors of household refrigerators

- Gia Goletiani** Department of Food Industry, Georgian Technical University, 68 a M. Kostava str, 0160 Tbilisi, Georgia
E-mail: gia_goletiani@yahoo.com
- Tamaz Isakadze** Department of Food Industry, Georgian Technical University, 68 a M. Kostava str, 0160 Tbilisi, Georgia
E-mail: tamazisakadze@gmail.com
- Givi Gugulashvili** Department of Food Industry, Georgian Technical University, 68 a M. Kostava str, 0160 Tbilisi, Georgia
E-mail: Givi.Gugulashvili@gmail.com

Reviewers:

Z. Japaridze, Professor, Faculty of Transportation and Mechanical Engineering, GTU

E-mail: zurabjaparidze@yahoo.com

S. Suladze, Doctor of Technical Sciences, Director of LTD “Georgian Refrigerant Recovery and Recycling Center”

E-mail: sulkhansuladze@gmail.com

Abstract. The diagnostic innovative modulator for piston compressors of household refrigerators is a universal tool capable for complete diagnosis of compressors. It is distinguished by its compactness, simplicity of the electric device, durability, small dimensions and weight of work. This type of device facilitates the work of the refrigerator. In case of non-availability, the refrigerator has to use a number of controlling devices to determine the shortcomings of the compressor work, while one such modulator can perform much more work than all above-mentioned. An innovative modulator can accurately diagnose all types of household refrigerators compressors and save citizens from excessive repair costs. This can be considered as critically important factor for severe economic conditions of today.

Key words: Compressor; connection terminal; diode; knob; tumbler.

UDC 6

SCOPUS CODE 2209

DOI: [HTTPS://DOI.ORG/10.36073/1512-0996-2019-3-61-67](https://doi.org/10.36073/1512-0996-2019-3-61-67)

Диагностический инновационный модулятор для поршневых компрессоров бытовых холодильников

- Гია Голетиანი** Департамент пищевой индустрии, Грузинский технический университет, Грузия, 0160, Тбилиси, ул. М. Костава, 68^ა
E-mail: gia_goletiani@yahoo.com
- Тамаз Исакадзе** Департамент пищевой индустрии, Грузинский технический университет, Грузия, 0160, Тбилиси, ул. М. Костава, 68^ა
E-mail: tamazisakadze@gmail.com
- Гиви Гугулашвили** Департамент пищевой индустрии, Грузинский технический университет, Грузия, 0160, Тбилиси, ул. М. Костава, 68^ა
E-mail: Givi.Gugulashvili@gmail.com

Рецензенты:

З. Джаппаридзе, профессор факультета транспорта и машиностроения ГТУ.

E-mail: zurabjaparidze@yahoo.com

С. Суладзе, директор ООО «Центра сбора и рециклирования хладагентов Грузии», доктор технических наук

E-mail: sulkhansuladze@gmail.com

Аннотация. Диагностический инновационный модулятор поршневых компрессоров бытовых холодильников – универсальный инструмент, способный полностью диагностировать компрессоры. Он отличается компактностью, простотой электрического устройства, долговечностью, малыми габаритами и весом. Этот тип устройства очень облегчает работу холодильника. В случае отсутствия такого инструмента, холодильник должен использовать несколько устройств для определения недостатков работы компрессора, в то время как один такой модулятор может выполнять намного больше работы. Инновационный модулятор может точно диагностировать все типы компрессоров бытовых холодильников и спасать граждан от чрезмерных затрат на ремонт. Этот фактор можно рассматривать как решающую черту для суровых экономических условий сегодняшнего дня.

Ключевые слова: диод; клемма; кнопка; компрессор; тумблер.

განხილვის თარიღი 22.03.2019

შემოსვლის თარიღი 27.03.2019

ხელმოწერილია დასაბეჭდად 24.10.2019

UDC 65.012.122:658.284

SCOPUS CODE 2209

DOI: <https://doi.org/10.36073/1512-0996-2019-3-68-77>

სამრეწველო პროცესების მონიტორინგის სისტემები და მართვის ალგორითმები

სალომე ონიანი კომპიუტერული ინჟინერიის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 77

E-mail: s.oniani@gtu.ge

ია მოსაშვილი კომპიუტერული ინჟინერიის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 77

E-mail: i_mosashvili@gtu.ge

რეცენზენტები:

ქ. კოტრიკაძე, სტუ-ის ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის ასოც. პროფესორი

E-mail: ketino27@gmail.com

პ. ჯოხაძე, სტუ-ის ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის პროფესორი

E-mail: paata_j@yahoo.com

ანოტაცია. ტექნოლოგიების განვითარებასთან ერთად საგრძნობლად იმატა ავტომატიზებული საწარმოების რიცხვმა. პირველ ეტაპზე, ავტომატიზების მიზანი იყო წარმადობის გაზრდა და ადამიანური რესურსების შემცირება. თუმცა დღეს, ძირითადი აქცენტი მიმართულია პროდუქციის ხარისხისა და მისი წარმოების პროცესის სანდოობის გაზრდაზე. შესაბამისად, ფაბრიკა-ქარხნების მფლობელებმა დაიწყეს ისეთი ქსელური სისტემებისა და პროგრამული უზრუნველყოფის გამოყენება, რომელთა მეშვეობითაც შესაძლებელია პროდუქციის დამზადების პროცესის მონიტორინგი რეალურ დროში და

პროდუქციის ხარისხის შენარჩუნება. სწორედ ამიტომ გამოყენებული რეალურ დროში საწარმოო პროცესების მონიტორინგისათვის სისტემების კრიტიკული ანალიზი და Festo Didactic-ის მიერ შექმნილი სამი სახის საწარმოო დანადგარის მართვის მოდელი (გამანაწილებელი სადგური – Distribution Station, აღებისა და განთავსების სადგური – Pick&Place Station, დახარისხების სადგური – Sorting Station).

საკვანძო სიტყვები: ავტომატიზებული დანადგარების მართვის მოდელები; მონიტორინგის სისტემები; სამრეწველო რეალური დროის სისტემები.

შესავალი

დღეს საწარმოო ხაზებში ჩართული მართვის ელემენტები ძირითადად რეალური დროის სისტემებია, რადგან ისინი აკონტროლებენ ფიზიკურ პროცესებს ან ქარხნებს, რომლებიც ითხოვენ რეალურ დროში პროცესების მართვას. შესაბამისად, ნებისმიერი პროცესის რეგულირებისათვის საჭიროა კონტროლერი, რომელსაც შეუძლია გარკვეული შემავალი სიგნალის მიღება და სპეციფიკური გამომავალი სიგნალის ფორმირება მითითებული დროის ფარგლებში. ფიზიკური სისტემისა და მართვის ტიპის მიხედვით შეიძლება განვასხვაოთ ტექნიკური და პროგრამული რეალური დროის სისტემები [1]. ტექნიკური რეალური დროის სისტემა ითვალისწინებს ფიზიკური მოწყობილობის მუშაობის პროცესისათვის საჭირო დროის შუალედს, პროგრამული რეალური დროის სისტემა კი – პროგრამული კოდებით ბრძანებების შესრულების ხანგრძლივობას.

რეალური დროის პროცესი მჭიდროდ უკავშირდება სიგნალის მიღებას, გამტარუნარიანობას, საკონტროლო წერტილების სიმრავლეს და სხვა ასპექტებს, რომლებიც დამოკიდებულია პროცესის მდგომარეობის ცვლილებაზე, გაზომვებსა და მართვის გამომუშავებაზე.

დღესდღეობით მწარმოებლებმა უკვე დაიწყეს აპარატურის, პროგრამული უზრუნველყოფისა და ქსელური სისტემების შემუშავება, ისეთი ინტერნეტსაგნებისა (IoT) და სერვისების შესაქმნელად, რომლებიც გამოყენებადი იქნება სამრეწველო ინდუსტრიაში. მაგალითად, გერმანიაში შეიქმნა სტრატეგია, რომელსაც უწოდებს ინდუსტრია 4.0 (Industrie 4.0), ხოლო ამერიკაში – „ჭკვიანი წარმოე-

ბა“ (Smart Manufacturing), რომლებიც ეფუძნება რეალური დროის მონიტორინგის სისტემების ტექნოლოგიას. სწორედ ამიტომ, ჩვენ სტატიაში განვიხილავთ უკვე არსებული და პრაქტიკაში გამოყენებული სამრეწველო ავტომატიზების რეალური დროის სისტემების ანალიზსა და Festo Didactic-ის მიერ შექმნილ სამი სახის დანადგარის მართვის მოდელს.

სტატიაში მოცემულია დღეს მოქმედ სამრეწველო ხაზებში გამოყენებული ოთხი სახის რეალური დროის სისტემის კრიტიკული ანალიზი. ეს სისტემებია: RFID, ZigBee, WIA-PA და IWSAN. ასევე წინამდებარე ნაშრომი მოიცავს სამი დანადგარისათვის, როგორც არის გამანაწილებელი სადგური (Distribution Station), აღებისა და განთავსების სადგური (Pick&Place Station) და დახარისხების სადგური (Sorting Station), ჩვენ მიერ შემუშავებულ მართვის ალგორითმებს.

ძირითადი ნაწილი

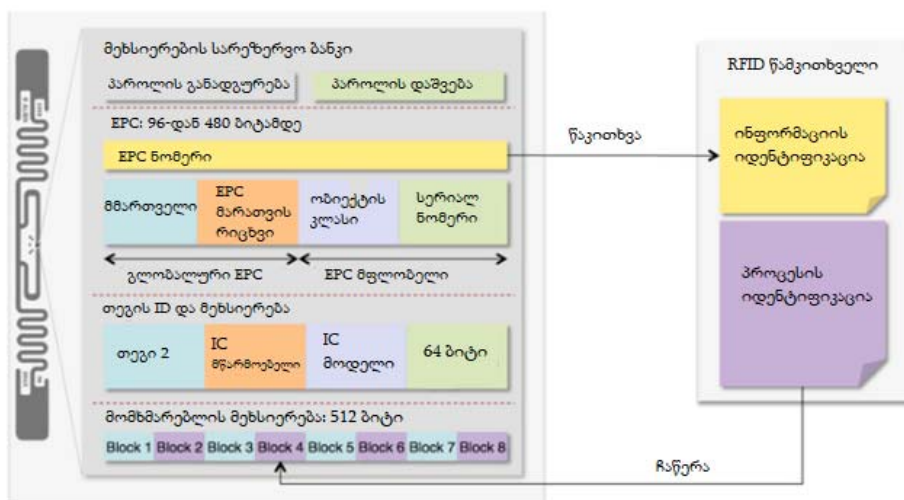
RFID ტექნოლოგია გამოიყენება OEM-ის (Original equipment manufacturer) მოქნილი წარმოებისას, საცავებსა და პროდუქციის მიწოდების ავტომატიზებულ ხაზებში. ინფორმაციის გაცემისათვის ის იყენებს უკაბელო კავშირის მქონე რადიოსიხშირულ ელექტრომაგნიტურ ველს და მისი ეტიკეტი (ანუ თეგი) დამაგრებულია უშუალოდ ობიექტებზე. ეტიკეტი (თეგი) მოიცავს ელექტრონულად დაგროვებულ ინფორმაციას. ზოგიერთი მათგანი საჭიროებს დამუხტვას და მათი წაკითხვა შესაძლებელია რამდენიმე მეტრის დაშორებით ელექტრომაგნიტური ინდუქციის მეშვეობით (electromagnetic induction). ზოგიერთი იყენებს ლოკალურ ენერგორესურსებს, როგორცაა ბატარეა და შესაძლებელია მათი მუშაო-

ბა დისტანციურადაც ასობით მეტრის დაშორებით. ბარკოდისგან განსხვავებით RFID თეგის წამკითხველს არ სჭირდება უშუალოდ თეგის დანახვა, საკმარისია მხოლოდ თეგის გატარება წაკითხვის არეში.

RFID თეგი შეიძლება გამოყენებული იყოს დეცენტრალიზებულ მონაცემთა შენახვის საშუალებად. მას აქვს დამატებითი მეხსიერება (EEPROM), რომლის მოცულობა იწყება 256 ბიტიდან და შესაძლებელია 64 კილობაიტიც კი იყოს. ასეთი მიდგომა ცნობილია, როგორც მიდგომა „მონაცემები თეგზე“. ეს მიდგომა მოითხოვს უსაფრთხო ქსელის კონფიგურაციას შუალედური ფილტრების გამოყენებით, რომლებიც გაასუფთავებენ RFID წამკითხველიდან მიღებულ ინფორმაციას მანამ, სანამ მონაცემები

განთავსდება ცენტრალურ მონაცემთა ბაზაში. პირველ სურათზე მოცემული სქემა გვიჩვენებს, რომ საიდენტიფიკაციო ინფორმაცია და პროცესის ინფორმაციული მონაცემები წაკითხულია და ჩაწერილი RFID წამკითხველის მიერ სხვადასხვა მეხსიერების ბანკში, EPC (European Policy Centre) კი აკეთებს საიდენტიფიკაციო ინფორმაციის კოდირებას. ის მოიცავს: თავსართს, EPC-ის მენეჯერის ნომერს, ობიექტის კლასს და სერიულ ნომერს [2].

ამრიგად, RFID ფართოდ გამოიყენება საავტომობილო და საავიაციო კომპანიებში მათი ნაწილების იდენტიფიკაციისა და ინერტული საწარმოების მუშაობის წარმართვისათვის, აგრეთვე საწარმოო და ლოგისტიკური პროცესების გაუმჯობესების მიზნით.



სურ. 1. RFID თეგზე ინფორმაციის შენახვის არქიტექტურა

ZigBee ჩაშენებული სისტემა გამოიყენება საწარმოო გადაზიდვების უსაფრთხოებისათვის. მას აქვს უკაბელო გადაცემის ფუნქცია და შესაძლებელია მისი გამოყენება დისტანციური მონიტორინგისათვის. ZigBee-ს აქვს შესაძლებლობა გაზომოს ვიბრაცია, წონა და ტემპერატურა, ასევე ჩაატაროს ენერ-

გიის მოხმარების და ნახშირორჟანგის კონცენტრაციის მონიტორინგი. ტექნიკური თვალსაზრისით, ZigBee არის მოკლე მანძილზე გადამცემი, მარტივი სტრუქტურის, დაბალი სიმძლავრის და დაბალი გადაცემის სიჩქარის მქონე უკაბელო კავშირგაბმულობის ტექნოლოგია. მას აქვს 100 მ რა-

დიუსზე გადაცემის დიაპაზონი და იყენებს 900 მგჰც-დან 2.4 გიგაჰც-მდე სიხშირეებს. მის ქსელს აქვს წამყვანი/დაქვემდებარებულის (Master /Slave) სტრუქტურა და უზრუნველყოფს ორმხრივი კომუნიკაციის ფუნქციას, ხოლო მუშაობისა და „ძილის“ რეჟიმებს შორის კონვერტაციისას, ნორმალური „ძილის“ რეჟიმის გააქტიურებისათვის საჭიროა 15 მილიწამი და მხოლოდ 30 მილიწამი სჭირდება აღჭურვილობის შემოწმებისათვის, რის საფუძველზეც ZigBee ზრდის ენერგოეფექტურობას. ZigBee MAC-ის დონეზე იყენებს „talk-when-ready“ პრევენციის მექანიზმს, რომელიც გულისხმობს შემდეგ: მონაცემები საჭიროების შემთხვევაში დაუყოვნებლივ გადადის მოთხოვნის ადგილზე და თითოეული გადამცემი კვანძი ადასტურებს მონაცემების მიღებას დადასტურების გაგზავნით. იმ შემთხვევაში, როდესაც ინფორმაციის გამგზავნი კვანძი ვერ მიიღებს დადასტურების სიგნალს, ის კვლავ იმეორებს მონაცემთა პაკეტების გადაცემას [3]. ასეთი მიდგომა მნიშვნელოვნად ზრდის ინფორმაციის გადაცემისას სისტემის საიმედოობას [3]. მაგრამ, უნდა აღინიშნოს, რომ მანძილსა და დროითი შუალედების შეზღუდვის გამო ZigBee რეალურ დროში სრულყოფილი მონიტორინგის საშუალებას არ იძლევა.

WIA-PA (Wireless Networks for Industrial Automation and Process Automation) სისტემა შეიქმნა ჩინეთში და გამოიყენება სამრეწველო ხაზებში უკაბელო კომუნიკაციისათვის. ის იძლევა ქსელში ჩართულ მოწყობილობებს შორის შეთანხმებებსა და ქსელის სტრუქტურის კომუნიკაციის ტიპებზე დაკვირვების საშუალებას. ქსელის მოწყობილობებს შორის კომუნიკაციის საიმედოობის უზრუნველყოფისა და სინქ-

რონიზაციისათვის, WIA-PA პროტოკოლი იყენებს IEEE 802.15.4 სტანდარტის შესაბამის სტრუქტურას (IEEE 802.15.4 არის ტექნიკური სტანდარტი, რომელიც განსაზღვრავს უმარტივესი უკაბელო პერსონალური ქსელების ფუნქციებს (LR-WPANs). იგი აგრეთვე განსაზღვრავს LR-WPAN სისტემისათვის ფიზიკურ ფენას და მედიის ხელმისაწვდომობის მართვის კრიტერიუმებს) [4].

სამრეწველო პროცესების მონიტორინგისათვის WIA-PA სისტემა დამატებით იყენებს წნევის უკაბელო გადამცემს (wireless pressure transmitter), რომელიც იძლევა შესაძლებლობას ქსელში გამოყენებული იყოს უკაბელო ადაპტერი და სენსორიდან მიღებული სიგნალის შეუცვლელად გადაცემა, მაგრამ WIA-PA სისტემებში ხშირად გამოიყენება ისეთი აპლიკაციები, რომლებსაც არა აქვს რეალურ დროში კომუნიკაციის საიმედოობის მხარდაჭერი მექანიზმები.

სამრეწველო ხაზებში WSN კვანძები აღჭურვილია სენსორებით და/ან აქტივატორებით, რომლებიც გვაძლევს მონიტორინგის პროცესის შესაძლებლობებს. ვინაიდან მათი რესურსები შეზღუდულია, გადამუშავების სიმძლავრე დაბალია და ზოგიერთ შემთხვევაში შეზღუდულია ენერგომომარებაც WSN კვანძების სენსორები განლაგებულია საწარმოს კრიტიკულ ადგილებში, სადაც მოსალოდნელია ვიბრაცია, ტემპერატურისა და წნევის მკვეთრი ცვალებადობა, ძრავების ეფექტურობის შემცირება ან საწარმოო ხაზზე დამაგრებული მეტალის ნაწილების ცვეთა. ასეთი შეზღუდვების გამო ზოგიერთ სამრეწველო ქსელში გამოყენებულია არხის გადართვის მექანიზმი, რომლის ფუნქციაა განსაზღვროს ქსელში მიმდინარე მონაცემის მოთხოვნის ტიპი (დროებითი მოთხოვნა, ხელმისაწვდომობის

მოთხოვნა, ფუნქციური და არაფუნქციური მოთხოვნა) და საფუძველი ჩაეყარა სამრეწველო უსადენო სენსორებისა და აქტივატორების ქსელებს (IWSAN - Industrial Wireless Sensor and Actuator Networks) [5]. IWSAN უზრუნველყოფს მექატრონული მოწყობილობების მონიტორინგს, დიაგნოსტიკასა და მართვას, რომლისთვისაც იყენებს უკაბელო ქსელის კვანძებს. ის მოიცავს სამრეწველო ხაზებისათვის შექმნილ უკაბელო სენსორებს, რომლებიც იყენებენ CR (Cognitive Radio) რადიოს სისტემებს. CR არის ინტელექტუალური რადიო და ქსელური ტექნოლოგია, რომელსაც ავტომატურად შეუძლია აღმოაჩინოს ხელმისაწვდომი არხები უკაბელო სპექტრში და შეცვალოს გადამცემი პარამეტრები, რაც კომუნიკაციისა და რადიომოქმედების გაუმჯობესების საშუალებას იძლევა. CR სისტემის მეშვეობით ქსელის კვანძს შეუძლია გარემოს მონიტორინგი და მონაცემების შეგროვება, ასევე გადაწყვეტილების მიღება სენსორიდან მიღებული ინ-

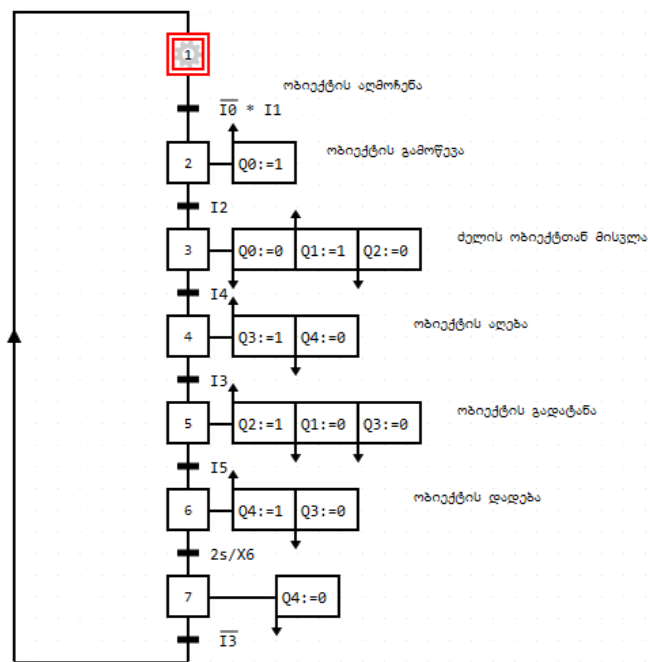
ფორმაციის საფუძველზე და შესაბამისი მოქმედებების ორგანიზება.

ნაშრომში წარმოდგენილი სადგურები იყენებს SIMATIC S7-300 პროგრამირებადი ლოგიკური კონტროლერის ოჯახის CPU313C ცენტრალური მართვის ბლოკებს, სადაც გამანაწილებელი სადგური (Distribution Station) უზრუნველყოფს სამრეწველო ხაზებში არსებული დანადგარებისათვის მასალის მიწოდებას. მას აქვს 6 ციფრული შემავალი სიგნალი და 5 ციფრული გამომავალი სიგნალი, ასევე მოიცავს პნევმატიკის ელემენტებს, როგორცაა ჰორიზონტალურად მოძრავი დგუში, ვერტიკალურად ბრუნვადი დერმი, რომლის მობრუნების კუთხეა 90-დან 270⁰-მდე და ვაკუუმის სარქველებს. პირველ ცხრილში მოცემულია აღნიშნული დანადგარის შემავალ-გამომავალი სიგნალების მისამართები და მათი დანიშნულება, ხოლო მართვის ალგორითმი მოცემულია მე-2 სურათზე, სადაც 2s/X6 ნიშნავს მე-6 ბიჯის დროით დაყოფნებას 2 წამის განმავლობაში.

ცხრილი 1

გამანაწილებელი სადგურის შემავალი-გამომავალი სიგნალები

სისტემის შემავალი სიგნალები	
ნომერი	დანიშნულება
I0	ნორმალურად ჩაკეტილი სენსორი, რომელიც აგზავნის 0-ს თუ საწყობში არის მასალა
I1	გვიჩვენებს ჰორიზონტალურად მოძრავი დგუშის საწყის მდგომარეობაში ყოფნას
I2	გვიჩვენებს ჰორიზონტალურად მოძრავი დგუშის საბოლოო მდგომარეობაში ყოფნას
I3	ვაკუუმის წარმოქმნის აღმოჩენა
I4	გვიჩვენებს ვერტიკალურად ბრუნვადი ძელის მარცხენა პოზიციაში ყოფნას
I5	გვიჩვენებს ვერტიკალურად ბრუნვადი ძელის მარჯვენა პოზიციაში ყოფნას
სისტემის გამომავალი სიგნალები	
ნომერი	დანიშნულება
Q0	ჰორიზონტალურად მოძრავი დგუშის გადაადგილება
Q1	ვაკუუმის შექმნისათვის სარქვლის ჩართვა
Q2	ჰაერის გამოშვება სარქვიდან
Q3	ვერტიკალურად ბრუნვადი ძელის მარცხნივ გადატანა
Q4	ვერტიკალურად მოძრავი ძელის მარჯვნივ გადატანა



სურ. 2. გამანაწილებელი სადგურის მართვის ალგორითმი

აღებისა და განთავსების სადგური (Pick& Place Station) უზრუნველყოფს საწარმოო ხაზზე მოძრავ ჭურჭელზე თავსახურის დახურებასა და მის გადაადგილებას მომდევნო სამუშაო სადგურისაკენ. მას აქვს 7 ციფრული შემავალი და 5 ციფრული გამომავალი სიგნალი, ასევე მოიცავს პნევმატიკის ელემენტებს, როგორც არის ჰორიზონტალურად მოძრავი დგუში, ვერტიკალურად მოძრავი დგუში, ვაკუუმის

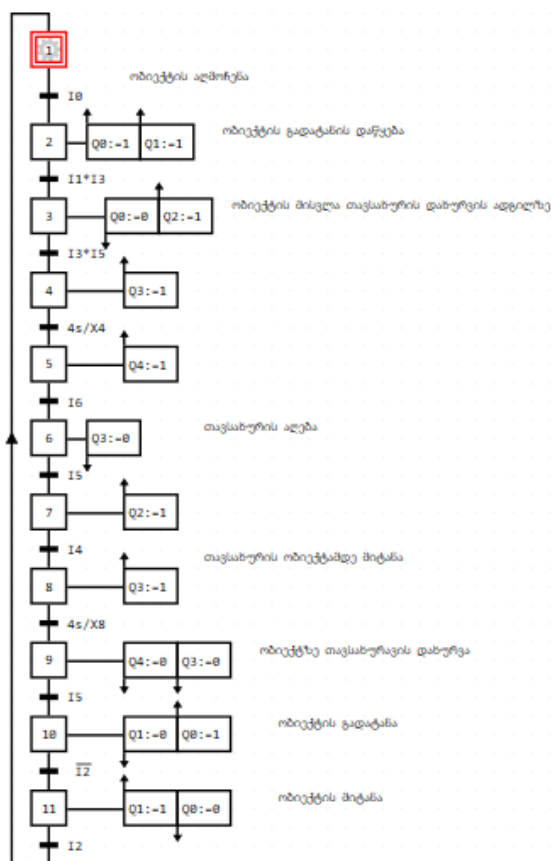
სარქვლები, ელექტრული ძრავა და ელექტრული გადამრთველი. მე-2 ცხრილში მოცემულია აღნიშნული დანადგარის შემავალ-გამომავალი სიგნალების მისამართები და მათი დანიშნულება, ხოლო მართვის ალგორითმი წარმოდგენილია მე-3 სურათზე, სადაც 4s/X4 ნიშნავს მე-4 ბიჯის დროით დაყოვნებას 4 წამის განმავლობაში და 4s/X8 ნიშნავს მე-8 ბიჯის დროით დაყოვნებას 4 წამის განმავლობაში.

ცხრილი 2

აღებისა და განთავსების სადგურის შემავალ-გამომავალი სიგნალები

სისტემის შემავალი სიგნალები	
ნომერი	დანიშნულება
I0	გადამზიდი ხაზის დასაწყისში ობიექტის აღმოჩენა
I1	გადამზიდი ხაზის შუა წერტილში ობიექტის აღმოჩენა
I2	გადამზიდი ხაზის ბოლო წერტილში ობიექტის აღმოჩენა
I3	გვიჩვენებს ჰორიზონტალურად მოძრავი დგუმის საწყის მდგომარეობას
I4	გვიჩვენებს ჰორიზონტალურად მოძრავი დგუმის საბოლოო მდგომარეობას
I5	გვიჩვენებს ვერტიკალურად მოძრავი დგუმის ზედა პოზიციას
I6	ვაკუუმის წარმოქმნის აღმოჩენა

სისტემის გამომავალი სიგნალები	
ნომერი	დანიშნულება
Q0	ელექტრული ძრავას ჩართვა
Q1	ელექტრული გადამრთველის პოზიციის შეცვლა
Q2	ჰორიზონტალური დგუშის მოძრაობა
Q3	ვერტიკალური დგუშის მოძრაობა
Q4	ვაკუუმის შექმნისათვის სარქვლის ჩართვა



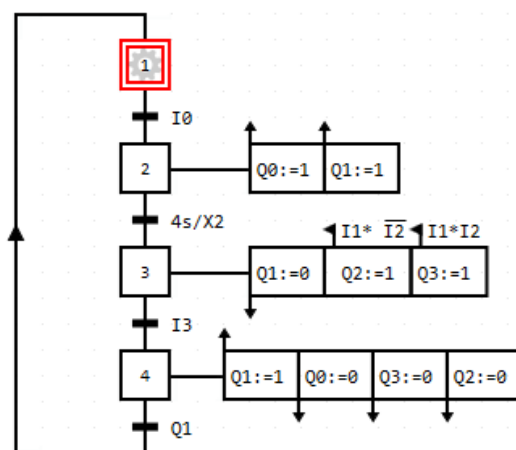
სურ. 3. ალებისა და განთავსების სადგურის მართვის ალგორითმი

დახარისხების სადგური (Sorting Station) უზრუნველყოფს საწარმოო ხაზზე დამზადებული მასალის ფერისა და სახეობის მიხედვით დახარისხებას. მას აქვს 4 ციფრული შემავალი და 4 ციფრული გამომავალი სიგნალი, ასევე მოიცავს პნევმატიკის ელემენტებს, როგორც არის ჰორიზონტალურად მოძრავი დგუში და ელექტრული

ძრავა. მე-3 ცხრილში მოცემულია აღნიშნული დახარისხების შემავალ-გამომავალი სიგნალების მისამართები და მათი დანიშნულება, ხოლო მართვის ალგორითმი მოცემულია მე-4 სურათზე, სადაც 4s/X2 ნიშნავს მე-2 ბიჯის დროით დაყოფნას 4 წამის განმავლობაში.

დახარისხების სადღურის შემავალ-გამომავალი სიგნალები

სისტემის შემავალი სიგნალები	
ნომერი	დანიშნულება
I0	გადამზიდი ხაზის დასაწყისში ობიექტის აღმოჩენა
I1	გადამზიდი ხაზზე ლითონის ობიექტის აღმოჩენა
I2	გადამზიდი ხაზზე მოძრავი ობიექტის ფერის გარჩევა
I3	გადამზიდი ხაზის ბოლო წერტილში ობიექტის აღმოჩენა
სისტემის გამომავალი სიგნალები	
ნომერი	დანიშნულება
Q0	ელექტრული ძრავას მართვა
Q1	ელექტრული გადამრთველის პოზიციის ცვლილება
Q2	პირველი ჰორიზონტალური დგუმის მოძრაობა
Q3	მეორე ჰორიზონტალური დგუმის მოძრაობა



სურ. 4. დახარისხების სადღურის მართვის ალგორითმი

დასკვნა

ჩატარებული კრიტიკული ანალიზის საფუძველზე შესაძლებელია ითქვას, რომ WIA-PA სისტემებში გამოყენებული აპლიკაციები პრაქტიკაში არ იძლევა რეალურ დროში კომუნიკაციის საიმედოობის მხარდაჭერას, ხოლო ZigBee-ს ტექნოლოგიის თავისებუ-

რებები ვერ უზრუნველყოფს რეალურ დროში მართვის პროცესის მონიტორინგს, RFID და IWSAN სისტემები კი ფართოდ გამოიყენება დღევანდელ საწარმოო ხაზებში პროდუქციის დამზადების პროცესის რეალურ დროში მონიტორინგისათვის და ლოგისტიკური პროცესების გაუმჯობესების მიზნით.

ლიტერატურა

1. URL: <https://www.controleng.com/articles/fundamentals-of-real-time-processing-in-automation-and-control/>
 2. Segura-Velandia D.M., Kaur N., Whittow W.G., Conway P.P., West, A.A.. Towards industrial internet of things: Crankshaft monitoring, traceability and tracking using RFID. 2018, 66-77 pp.
 3. Sung W.T., Hsu Y.C. Designing an industrial real-time measurement and monitoring system based on embedded system and ZigBee. Expert Syst. Appl. 38(4). 2011, 4522-4529 pp.
 4. das Neves Valadão Y., Künzel G., Müller I., Pereira C.E. Industrial wireless automation: Overview and evolution of WIA-PA. IFAC-PapersOnLine, 51(10). 2018, 175-180 pp.
 5. Val I., Etxabe A., Torrego R., Rodriguez P.M., Cruces C., Diez V., Mendicute M., Arriola A. Design, analysis and implementation of a time-bounded spectrum handoff algorithm for real-time industrial wireless sensor and actuator networks. Journal of network and computer applications. 2018, 1-16 pp.
-

UDC 65.012.122:658.284

SCOPUS CODE 2209

DOI: <https://doi.org/10.36073/1512-0996-2019-3-68-77>

Monitoring systems of industrial processes and control algorithms

- Salome Oniani** Department of Computer Engineering, Georgian Technical University, 77 M. Kostava str, 0160 Tbilisi, Georgia
E-mail: s.oniani@gtu.ge
- Ia Mosashvili** Department of Computer Engineering, Georgian Technical University, 77 M. Kostava str, 0160 Tbilisi, Georgia
E-mail: i_mosashvili@gtu.ge

Reviewers:

- K. Kotrikadze**, Associate Professor, Faculty of Informatics and Control Systems, GTU
E-mail: ketino27@gmail.com
- P. Jokhadze**, Professor, Faculty of Informatics and Control Systems, GTU
E-mail: paata_j@yahoo.com

Abstract. The number of automated industries is increased significantly with the development of technology. At the beginning of this process, the aim of the automatization was increasing productivity and decreasing human resources. However, today the process is focused on the product quality and reliability of the manufacturing processing. The factories' owners started to set up networking systems and software for monitoring the production process in real time and maintenance of product quality. This paper presents a critical analysis of the systems used for the monitoring of the production process in real time and the control algorithms with three types of equipment developed by Festo Didactic.

Key words: Control algorithms of automated machines; monitoring systems; real time industrial systems.

UDC 65.012.122:658.284

SCOPUS CODE 2209

DOI: <https://doi.org/10.36073/1512-0996-2019-3-68-77>

Системы мониторинга производственных процессов и алгоритмы управления

Саломე Ониანი Департамент компьютерной инженерии, Грузинский технический университет,
Грузия, 0160, Тбилиси, ул. М. Костава, 77
E-mail: s.oniani@gtu.ge

Ия Мосашвили Департамент компьютерной инженерии, Грузинский технический университет,
Грузия, 0160, Тбилиси, ул. М. Костава, 77
E-mail: i_mosashvili@gtu.ge

Рецензенты:

К. Котрикадзе, ассоц. профессор факультета информатики и систем управления, ГТУ

E-mail: ketino27@gmail.com

Р. Джохадзе, профессор факультета информатики и систем управления, ГТУ

E-mail: paata_j@yahoo.com

Аннотация. С развитием технологий число автоматизированных предприятий значительно увеличилось, и на первом этапе развития целью автоматизации было повышение производительности и сокращение человеческих ресурсов. Тем не менее, их основной задачей сегодня является повышение качества продукции и надежности ее производственного процесса. Вследствие этого владельцы заводов начали настраивать сетевые системы и программное обеспечение, благодаря которым появилась возможность контролировать процесс производства продукта и поддержание трения продукта. Вот почему в настоящем документе представлен критический анализ систем, используемых для мониторинга процесса производственных процессов в режиме реального времени, и модель управления тремя типами оборудования, созданного Festo Didactic.

Ключевые слова: автоматизированные модели управления оборудованием; промышленные системы реального времени; системы мониторинга.

განხილვის თარიღი 16.05.2019

შემოსვლის თარიღი 22.05.2019

ხელმოწერილია დასაბეჭდად 24.10.2019

UDC 532.595 : 534.833 : 622.648

SCOPUS CODE 2210

DOI: <https://doi.org/10.36073/1512-0996-2019-3-78-85>

Свободный, нерастворенный в жидкости воздух – эффективное средство для гашения гидравлических ударов в напорных гидротранспортных системах

Леон Махарадзе

Департамент горной технологии, Грузинский технический университет, Грузия,
0160, Тбилиси, ул. М. Костава 75
E-mail: lmakharadze@gtu.ge

Рецензенты:

Г. Кирмелашвили, профессор факультета информатики и систем управления ГТУ

E-mail: gkirmelashvili@gtu.ge

А. Бежанишвили, профессор горно-геологического факультета ГТУ

E-mail: bezhanishvili@gmail.com

Аннотация. В настоящее время напорные гидротранспортные системы находят широкое распространение во многих отраслях промышленности из-за своих многих положительных сторон. Однако из-за специфики эксплуатации, в аналогичных системах часто возникают нестационарные процессы и гидравлические удары, которые отрицательно влияют на режим их работы, так как нередко являются причинами серьезных аварий. Исходя из этого, борьба против таких явлений является актуальной проблемой. Из многих средств и способов, разработанных нами, таким способом является свободный выпуск нерастворенного в капельной жидкости воздуха в напорные гидротранспортные системы, который эффективно

предотвращает возникновение гидравлических ударов, что подтверждено теоретическими и экспериментальными исследованиями, проведенными нами.

Ключевые слова: гидравлические удары; гидротранспортные системы; затухание процесса; концентрация воздуха; многофазный поток; нестационарные процессы; превышение давлений.

Введение

Со второй половины прошлого века напорные гидротранспортные системы, т.е. транспортирование различных твердых сыпучих материалов посредством потока капельной жидкости (в основном воды) по трубопроводам нашло широкое применение во

многих сферах промышленности и сельского хозяйства. Это обусловлено многими положительными свойствами по отношению к традиционным видам транспорта [1-7]. Кроме того, что этот вид транспорта очень чистый, в некоторых случаях, например, в горном деле, когда необходимо частичное или полное обогащение полезных ископаемых, с этим видом транспорта не может конкурировать ни один другой вид транспорта.

При напорном трубопроводном гидротранспорте по трубопроводам фактически всегда транспортируется трехфазная гидроаэросмесь (частицы твердых сыпучих материалов+несущая среда – капельная жидкость+ нерастворенный в жидкости воздух, которым обложены частицы твердого сыпучего материала). Особенно примечательным является то обстоятельство, что в процессе транспортирования, т.е. при перемещении по трубопроводу, в зависимости от изменения давления, могут измениться объемы составляющих элементов и соответственно их концентрации в данном сечении. Из-за этого обстоятельства по всей длине трубопроводной магистрали режим движения потока гидроаэросмеси не может быть полностью установившимся, что соответственно влияет как на характер протекания процесса, так и на величину изменения давления.

Из вышеизложенного видно, что процесс является весьма сложным, поэтому со второй половины прошлого века в Горном институте им. Г.А. Цулукидзе начались крупномасштабные фундаментальные исследования нестационарных процессов и гидравлических ударов в напорных трубопроводных гидротранспортных системах и с учетом полученных результатов разработка эффективных способов и

средств для борьбы против этих нежелательных явлений [1-7], чтобы обеспечить надежную работу аналогичных систем в любом случае эксплуатации.

В настоящей работе рассматривается фрагмент из этих исследований, в котором отражены результаты исследований свободного, нерастворенного в жидкости воздуха, как эффективного средства для гашения гидравлических ударов в напорных трубопроводных гидротранспортных системах.

Основная часть

Как было сказано выше, нами были проведены фундаментальные исследования нестационарных процессов и гидравлических ударов в напорных гидротранспортных системах. Были проведены теоретические и экспериментальные исследования как на лабораторных, так и на промышленных установках. Для исследований в лабораторных условиях специально были смонтированы полупромышленные установки. В теоретической части исследования были основаны на теории Н.Е. Жуковского [8]. По этой теории основным параметром существенно влияющим как на характер протекания в трубопроводах, так и на величину превышения давления над давлением при установившемся режиме, является скорость распространения волны возмущения при неустановившихся процессах. Исходя из этого, нами на лабораторных экспериментальных установках были проведены исследования по ее определению при транспортировании двухфазных (частицы твердых сыпучих материалов+несущая среда – капельная жидкость) и трехфазных (частицы твердых сыпучих материалов+несущая среда – капельная жидкость+ сво-

ბოდნადი ნარსტვორენადი ვადკოსი ვოზდუხ) პოტოკოვ. ნად ვადკოსადი სკოროსი რასპროსტრანენადი ვოლნი გიდრავლიჩესკოგო უდარად ვად ტრუბოპროვადე პრი ტრანსპორტიროვადი რადრუხფაზადი გიდროაეროსმესეი სუესტენენო ვლიენად ნადლიჩე სვობოდნოგო, ნარსტვორენოგო ვად კადელენადი ვადკოსადი ვოზდუხად, ობუენადი მოდულუ უპრუგოსადი კოტოროგო ზნადჩიტელენო მენუესე ობუენოგო მოდულად უპრუგოი ნესუესეი კადელენადი ვადკოსადი, კად პრადვილო, ვადეი, ტემ ბოლესე რადრუხფადი სუესტენენოგო მადრიალოვ. ს ცელუო ოპრედელენადი სტენენი ვლიენადი ობუენადი სვობოდნოგო, ნარსტვორენოგო ვად კადელენადი ვადკოსადი ვოზდუხად ნად სკოროსად რასპროსტრანენადი ვოლნი გიდრავლიჩესკოგო უდარად, ნად ლაბორატორნადი უსანოვკად ვად ტრუბოპროვადე ვადრუენადი დიამეტრადი 51,5; 68, 81, 104 დი 146 მმ ბადი პროდენადი სპეციალენადი ისტოდენადი, რესულტადი კოტორადი სვადენადი ვად ტადბლიცე 1. პო ეტიმ დანადი პოსტროენადი ექსპერიმენტალენადი კრადვიე, კოტორადი პრადვენადი ვად მონოგრაფიი [7]. ოპტადი ბადი პროდენადი პრი ტრანსპორტიროვადი ჩისტოი ვადეი, რადრუხფადი პოტოკოვ (ვად+ნარსტვორენადი

რენადი ნადეი ვოზდუხ, დი ვადე+ჩადსტიცი რადრუხფადი სუესტენენოგო მადრიალოვ დი რადრუხფადი პოტოკად (ვად+ნარსტვორენადი ნადეი ვოზდუხ+ჩადსტიცი რადრუხფადი სუესტენენოგო მადრიალოვ).

ნად ოსნოვე ანალიზად ექსპერიმენტალენადი ისტოდენადი ნადი პოლუჩენადი ემპირიჩესკადი ვადკოსადი სვადიკოსადი ოპრედელენადი სკოროსი რასპროსტრანენადი ვოლნი გიდრავლიჩესკოგო უდარად ვად ტრუბოპროვადე პრი ტრანსპორტიროვადი რადრუხფადი პოტოკად (ვად – კადელენადი ვადკოსადი+სვობოდნოი, ნარსტვორენადი ვად კადელენადი ვადკოსადი ვოზდუხ) ვად ვადკოსადი ოტ კონცენტრაციი ვოზდუხად ვად პოტოკე, კოტორადი იმეეტ ვადკოსადი:

$$a_{\text{эмп.}} = \frac{0,049 \cdot a_{\text{теор.}}}{K_{\text{воз.}}^{1,86} + 0,065} + a_{\text{воз.}}, \quad (1)$$

ვადე $a_{\text{воз.}}$ – სკოროსად რასპროსტრანენადი ვოლნი გიდრავლიჩესკოგო უდარად ვად ვოზდუხე, მ/ს; $a_{\text{теор.}}$ – თეორეტიჩესკოი ზნადჩენადი სკოროსი ვოლნი გიდრავლიჩესკოგო უდარად ვად ტრუბოპროვადე,

ტადბლიცე 1

რესულტადი ექსპერიმენტალენადი ისტოდენადი ეფექტივნოსადი ვლიენადი სვობოდნოგო, ნარსტვორენოგო ვად კადელენადი ვადკოსადი ვოზდუხად, ნად სტენენი გადენადი გიდრავლიჩესკოგო უდარად ვად ტრუბოპროვადე

პარამეტრადი ტრუბოპროვადე: ვადრუენადი დიამეტრ $D_{\text{тр.}}$, მმ; ტოლენადი სტენკი, $\delta_{\text{тр.}}$, მმ	თეორეტიჩესკოი ზნადჩენადი სკოროსი რასპროსტრანენადი ვოლნი გიდრავლიჩესკოგო უდარად (პო ფორმულე 6), $a_{\text{теор.}}$, მ/ს	პლენოტენადი ტრანსპორტიროვადი პო ტრუბოპროვადე გიდროსმესეი (ვადეი), ρ , კგ/მ ³	ობუენადი კონცენტრაციი ვოზდუხად ვად პოტოკე გიდროსმესეი (ვადეი), $K_{\text{воз.}}$	კონცენტრაციი ვოზდუხად ვად % ოტ ობუენადი მასადი, ტრანსპორტიროვადი გიდროსმესეი (ვადეი), $K_{\text{вод.}}$, %	ექსპერიმენტალენადი ზნადჩენადი სკოროსი რასპროსტრანენადი ვოლნი გიდრავლიჩესკოგო უდარად, $a_{\text{эксп.}}$, მ/ს	თეორეტიჩესკოი ზნადჩენადი პრადენადი სტენენადი ვადკოსადი რასპროსტრანენადი ვოლნი გიდრავლიჩესკოგო უდარად (პო ფორმულე 4) ΔP , მპად	ექსპერიმენტალენადი ზნადჩენადი პრადენადი სტენენადი ვადკოსადი რასპროსტრანენადი ვოლნი გიდრავლიჩესკოგო უდარად, $\Delta P_{\text{эксп.}}$, მპად
1	2	3	4	5	6	7	8
$D_{\text{тр.}}= 51,5; \delta_{\text{тр.}}=6$	1368	1000	0,005	0,5	575	3,42	1,40
-«-	1368	1150	0,001	0,1	1150	3,93	3,15
-«-	1368	1150	0,003	0,3	1020	3,93	2,86

-«-	1368	1150	0,005	0,5	630	3,93	1,82
-«-	1368	1150	0,008	0,8	480	3,93	1,35
-«-	1368	1150	0,010	1,0	440	3,93	1,21
$D_{тр}= 68; \delta_{тр}= 4$	1368	1000	0,005	0,5	540	3,29	1,38
-«-	1368	1150	0,001	0,1	1140	3,79	3,25
-«-	1368	1150	0,003	0,3	780	3,79	2,25
-«-	1368	1150	0,005	0,5	620	3,79	1,70
-«-	1368	1150	0,008	0,8	510	3,79	1,52
-«-	1368	1150	0,010	1,0	460	3,79	1,30
$D_{тр}= 81; \delta_{тр}= 4,25$	1307	1000	0,005	0,5	520	2,61	1,05
-«-	1307	1150	0,0012	0,12	1050	3,00	2,40
-«-	1307	1150	0,0017	0,17	950	3,00	2,20
-«-	1307	1150	0,0038	0,38	680	3,00	1,50
-«-	1307	1150	0,0053	0,53	550	3,00	1,30
-«-	1307	1150	0,0099	0,99	410	3,00	0,92
$D_{тр}= 104; \delta_{тр}= 5$	1298	1000	0,005	0,5	500	3,24	1,31
-«-	1298	1150	0,001	0,1	1080	3,73	3,10
-«-	1298	1150	0,003	0,3	750	3,73	2,25
-«-	1298	1150	0,005	0,5	570	3,73	1,52
-«-	1298	1150	0,008	0,8	460	3,73	1,30
-«-	1298	1150	0,010	1,0	430	3,73	1,18
$D_{тр}= 146; \delta_{тр}= 11,5$	1339	1000	0,005	0,5	420	2,68	0,82
-«-	1339	1150	0,0014	0,14	940	3,08	2,20
-«-	1339	1150	0,0019	0,19	840	3,08	1,92
-«-	1339	1150	0,0038	0,38	600	3,08	1,40
-«-	1339	1150	0,0086	0,86	390	3,08	0,90
-«-	1339	1150	0,0120	1,20	360	3,08	0,81

определенное согласно теории Н.Е. Жуковского [8],
 м/с; $K_{воз.}$ - концентрация воздуха в потоке капельной
 жидкости – воды.

На основе анализа этих же экспериментальных
 исследований нами получена эмпирическая зависи-
 мость для определения скорости распространения
 волны гидравлического удара в трубопроводах при
 транспортировании трехфазного потока (вода – ка-
 пельная жидкость+твердые частицы твердых сыпу-
 чих материалов+свободный, нерастворенный в ка-
 пельной жидкости воздух), которая имеет вид:

$$a_{эмп.} = \frac{0,49 \cdot a_{теор.}}{K_{воз.}^{1,86} \cdot K_{см.}^{1,05} + 0,065} + a_{воз.}, \quad (2)$$

где $K_{см.}$ – концентрация твердого сыпучего мате-
 риала в потоке гидроаэросмеси.

На основании наших исследований установлено,
 что при транспортировании твердых частиц сыпучих
 материалов скорость теоретического значения этого
 же параметра для данного трубопровода всегда мень-
 ше теоретического значения этого же параметра, оп-
 ределенного по формуле Н.Е. Жуковского. Эта раз-
 ница (в сторону уменьшения) увеличивается с уве-

личением концентрации гидросмеси, то есть с увеличением насыщения потока воды частицами твердого сыпучего материала. Это можно объяснить тем, что с твердыми частицами сыпучих материалов в трубопровод все же попадает определенный объем свободного, нерастворенного в воде воздуха. При увеличении же концентрации воздуха в потоке водовоздушной смеси, увеличение насыщенности последнего частицами твердого материала практически не влияет на скорость распространения волны гидравлического удара.

На основании анализа экспериментальных исследований нами получена эмпирическая зависимость для определения скорости распространения волны гидравлического удара для данного трубопровода, в зависимости от объемной концентрации гидросмеси, которая имеет вид:

$$a_{\text{эмп.}} = a_{\text{теор.}} \exp(-1,2 \cdot 8,5 D_{\text{тр}} S_{\text{см}}), \quad (3)$$

где $D_{\text{тр}}$ - внутренний диаметр трубопровода, мм;
 $S_{\text{см}}$ - объемная концентрация гидросмеси.

Справедливость результатов, полученных нами на лабораторных установках нами проверена на крупных промышленных установках. Эти исследования позволили установить оптимальный объем свободного, нерастворенного в капельной жидкости (в воде) воздуха, впуск которого в трубопроводы обеспечивает снижение скорости распространения волны гидравлического удара для данного трубопровода до такой степени, что повышение давлений при гидравлических ударах не превышало допустимых значений. Для этого достаточно в трубопроводы впускать воздух под атмосферным давлением в объеме 0,25 –

1,5 % от общего объема транспортируемой по трубопроводу гидросмеси [10], подтверждением этого являются осциллограммы, приведенные на рис. 1.

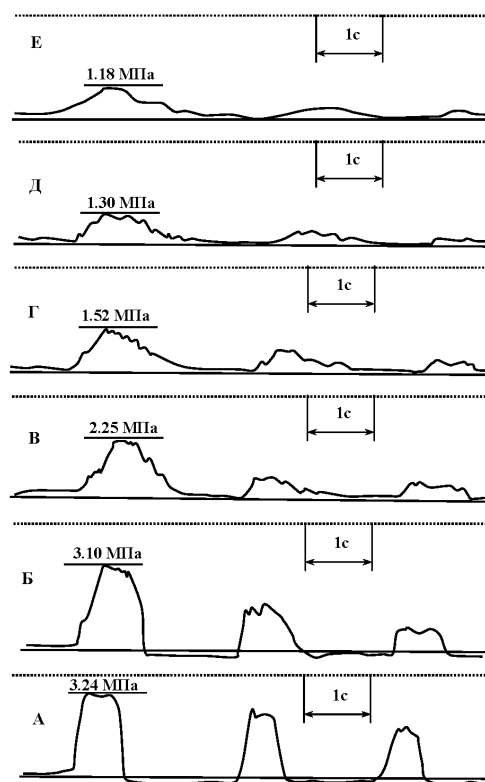


Рис. 1. Осциллограммы гидравлических ударов в трубопроводе $D_{\text{тр}}=104$ мм, при транспортировании гидросмеси плотностью $\rho_{\text{см}}=1100$ кг/см³ со скоростью $v_0 = 2,5$ м/с, скорость распространения волны гидравлического удара (экспериментальное значение) $a_{\text{эмп.}} = 1180$ м/с: А – прямой гидравлический удар; Б – при концентрации воздуха в потоке $K_{\text{воз.}}=0,1$ %; В – при $K_{\text{воз.}}=0,3$ %; Г – при $K_{\text{воз.}}=0,5$ %; Д – при $K_{\text{воз.}}=0,8$ %; Е – при $K_{\text{воз.}} = 1,0$ %

Основным параметром при определении изменения давления во время нестационарных процессов и гидравлических ударов, согласно теории Н.Е. Жуковского [8], является скорость распространения волны возмущения в напорных трубопроводах, так как превышение давления ΔP при таких процессах определяется по зависимости

4. Dmitriev G., Makharadze L., Gochitashvili T. Pressure hydrotransport system. Manual. Moscow: “Nedra”. 1991, 304 p. (in Russian).
5. Makharadze L.I. The guide for protection of the pressure hydrotransport systems against water hammers of BCH 01-81. Tbilisi: “Metsniereba”. 1981, 151 p. (in Russian).
6. Makharadze L.I. Means for prevention of fluctuation and deformations of pipelines. Construction of pipelines. №10. Moscow. 1974, 31-32 pp. (in Russian).
7. Makharadze L.I., Kirmelashvili G.I. Nonstationary processes in foreign hydrotransport systems and protection from water hammers. Tbilisi: “Metsniereba”. 1986, 152 p. (In Russian).
8. Zhukovsky N.E. About water hammer in water pipes. Moscow-Leningrad: “Gostekhtheoretizdat”. 1949, 104 p. (in Russian).
9. Makharadze L.I., Gochitashvili T.Sh., Sulaberidze D.G. Rational method of calculation of hydrotransport systems pipelines. Moscow: “Construction of pipelines”. № 8. 1980, 29-30 pp. (in Russian).
10. Makharadze L.I. and others. The method to prevent water hammers in slurry pipelines and conduits. Patent 501245. USSR. Bulletin №4. 1976. (In Russian).

UDC 532.595 : 534.833 : 622.648

SCOPUS CODE 2210

DOI: [HTTPS://DOI.ORG/10.36073/1512-0996-2019-3-78-85](https://doi.org/10.36073/1512-0996-2019-3-78-85)

თავისუფალი, სითხეში გაუხსნელი ჰაერი – სადაწნეო ჰიდროსატრანსპორტო სისტემაში ჰიდრავლიკური დატყმის ჩაქრობის ეფექტური საშუალება

ლეონ მახარაძე

სამთო ტექნოლოგიების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 75
E-mail: lmakharadze@gtu.ge

რეცენზენტები:

გ. ყირმელაშვილი, სტუ-ის ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის პროფესორი

E-mail: gkirmelashvili@gtu.ge

ა. ბეჟანიშვილი, სტუ-ის სამთო-გეოლოგიური ფაკულტეტის პროფესორი

E-mail: bezhanishvili@gmail.com

ანოტაცია. სადაწნეო მილსადენი ჰიდროსატრანსპორტო სისტემა ფართოდ გამოიყენება მრეწველობის მრავალ სფეროში, რაც განპირობებულია მისი მრავალი დადებითი თვისებით ტრანსპორტის სხვა ტრადიციულ სახეობებთან შედარებით. მის ერთ-ერთ უარყოფით მხარედ უნდა ჩაითვალოს ის ფაქტი, რომ დანიშნულების და ექსპლუატაციის სპეციფიკურობის გამო, ანალოგიურ სისტემებში ხშირად წარმოიქმნება არასტაციონარული პროცესები და ჰიდრავლიკური დარტყმები, რაც უარყოფით გავლენას ახდენს სისტემის ეფექტურობაზე, რადგან იწვევს სერიოზულ ავარიებს. ამდენად, ასეთი მოვლენების წინააღმდეგ ბრძოლა აქტუალური სამეცნიერო და საინჟინრო პრობლემაა. მათ წინააღმდეგ ბრძოლის

ერთ-ერთი აქტუალურ მეთოდია თავისუფალი, წვეთოვან სითხეში გაუხსნელი ჰაერი, რომლის შეშვება სადაწნეო მილსადენ სისტემებში აღნიშნული არასასურველი პროცესების წინააღმდეგ ბრძოლის ერთ-ერთი ყველაზე ეფექტური მეთოდია, რაც დადასტურებულია ჩვენ მიერ შესრულებული თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევებით.

საკვანძო სიტყვები: არასტაციონარული პროცესები; მრავალფაზიანი ნაკადი; პროცესის მიღევა; წნევის ნაზრდი; ჰაერის კონცენტრაცია; ჰიდრავლიკური დარტყმები; ჰიდროსატრანსპორტო სისტემები.

UDC 532.595 : 534.833 : 622.648

SCOPUS CODE 2210

DOI: [HTTPS://DOI.ORG/10.36073/1512-0996-2019-3-78-85](https://doi.org/10.36073/1512-0996-2019-3-78-85)

Free combined air – as an effective remedy for water hammers attenuation in the pressure head hydrotransport systems

Leon Makharadze Department of Mining Technology, Georgian Technical University, 75 M. Kostava str. 0160, Tbilisi, Georgia
E-mail: lmakharadze@gtu.ge

Reviewers:

G. Kirmelashvili, Professor, Faculty of Informatics and Control Systems, GTU

E-mail: gkirmelashvili@gtu.ge

A. Bezhanishvili, Professor, Faculty of Mining and Geological, GTU

E-mail: bezhanishvili@gmail.com

Abstract. For now the pressure head hydrotransport systems are used in many industries because of a number of their advanced features. However, because of specific operations and exploitation, there are occurred non-stationary processes and water hammers in similar systems, which have a negative effect on the system performance and often represent the reasons of serious accidents. Obviously it's an actual problem nowadays. To solve this problem we have developed the method of free combined air induction in the pressure head hydrotransport systems which effectively prevents formation of water hammers. It is proved by conducted theoretical and experimental researches and obtained results considered in this article.

Key words: Air-concentration; excess pressure; hydrotransport systems; multiphase flow; nonstationary processes; process attenuation; water hammers.

Дата рассмотрения 08.05.2019

Дата поступления 13.05.2019

Подписано к печати 24.10.2019

UDC 66.074.32

SCOPUS CODE 2310

DOI: <https://doi.org/10.36073/1512-0996-2019-3-86-97>

აზოტმჟავას წარმოების ნარჩენი აირების აზოტის ოქსიდებისგან გაწმენდის პროცესის კვლევა

მარლენ მჭედლიშვილი ქიმიური და ბიოლოგიური ტექნოლოგიების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 69
E-mail: m.mchedlishvili@gtu.ge

ალექსანდრე აფაქიძე რუსთავის სს „აზოტი“, საქართველო, 3702, რუსთავი, მშვიდობის ქ. 2
E-mail: alika.aphak@gmail.com

რეცენზენტები:

ჯ. შენგელია, სტუ-ის ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის პროფესორი
E-mail: jemal.shengelia@gtu.ge

ი. ბაზღაძე, სტუ-ის ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის ასოცირებული პროფესორი
E-mail: i.bazgadze@gtu.ge

ანოტაცია. აზოტმჟავას წარმოების ნარჩენი აირების, აზოტის ოქსიდებისგან ($\text{NO} + \text{NO}_2$) ბუნებრივი აირით, საწარმოო პირობებში, კატალიზური აღდგენის გზით გაწმენდის შედეგად დადგინდა, რომ თუმცა აზოტის ოქსიდების შემცველობა რეაქტორიდან გამომავალ აირებში არ არის დიდი, ის შეესაბამება ტექნოლოგიური რეგლამენტის მოთხოვნებს და არ აჭარბებს შესაბამისი საერთაშორისო ორგანიზაციების მიერ აღიარებულ ზღვრის ნორმებს; კატალიზატორის აქტიურობა დაბალია – გაწმენდის ხარისხი 50%-ს არ აღემატება. იმავდროულად თერმოდინამიკურმა გათვლებმა აჩვენა, რომ რეგლამენტით შერჩეულ ტემპერატურაზე, აზოტის ოქსიდების ბუნებრივი აირით აღდგენის ხარისხი თეორიულად 99,97%-ია.

შესაბამისი ორგანიზაციების მიერ აზოტმჟავას წარმოების ნარჩენ აირებში აზოტის ოქსიდების შემცველობაზე მოთხოვნების გამკაცრების შემთხვევაში არსებობს აირების გაწმენდის ხარისხის გაუმჯობესების ორი ძირითადი გზა: 1) ტექნოლოგიურ რეგლამენტში შესაბამისი ცვლილებების შეტანა და 2) უფრო ეფექტური კატალიზატორის გამოყენება.

საკვანძო სიტყვები: აზოტმჟავა; აზოტის ოქსიდები; გაწმენდა; თერმოდინამიკური ანალიზი; კატალიზატორი.

შესავალი

აზოტმჟავა ხელოვნურად მიღებულ არაორგანულ ნაერთთაგან უმნიშვნელოვანესია, ხასიათდება მოხ-

მარების ფართო სპექტრით და წარმოების მოცულობის მხრივ, რომელიც ყოველწლიურად იზრდება, მას ერთ-ერთი პირველი ადგილი უჭირავს მსოფლიოში. ამჟამად მსოფლიო ცივილიზაციის ტექნიკური განვითარების დონე ისეთია, რომ მრეწველობის ნებისმიერ დარგში არსებულ საწარმოთა უდიდესი უმრავლესობა ხასიათდება ნარჩენების სახით მყარი, თხევადი თუ აირადი ნაერთების გამოყოფით, რაც არსებით გავლენას ახდენს ადამიანის საარსებო გარემოზე. ამ მხრივ არც აზოტმჟავას წარმოებაა გამონაკლისი და მიეკუთვნება გარემოს დამაბინძურებელ პროცესთა რიცხვს; მის წარმოებას გარკვეულწილად ახლავს თხევადი და აირადი ნარჩენების გამოყოფა და გარემოზე ზემოქმედება.

თანამედროვე ტექნოლოგიური სქემებით მომუშავე აზოტმჟავას მწარმოებელი ქარხნები საერთაშორისო შეთანხმებებით გათვალისწინებულ ნორმებს აკმაყოფილებს და ნარჩენების სახით ატმოსფეროში გატყორცნილ აირებში გარემოს დამაბინძურებელი ნაერთების შემცველობა საერთაშორისო ნორმებით დადგენილ ზღვრულ დასაშვებ კონცენტრაციებს არ აჭარბებს. მათ რიცხვს მიეკუთვნება რუსთავის სს „აზოტი“. აქვე გვინდა აღვნიშნოთ, რომ სამრეწველო თუ სასოფლო-სამეურნეო ნაწარმზე, ტრანსპორტზე, კომუნიკაციებსა და სხვა საშუალებებზე მოსახლეობის მზარდი მოთხოვნილების გამო პროპორციულად იზრდება მათ მიერ ატმოსფეროში მავნე გამონაყოფების მოცულობაც, რაც უარყოფით გავლენას ახდენს არა მარტო დედამიწის ფლორასა და ფაუნაზე, არამედ თვით გლობალურ გეოლოგიურ პროცესებზეც. აღნიშნულიდან გამომდინარე, უნდა მოველოდეთ, რომ ახლო მომავალში გარემოს დამცველი მსოფლიო ორგანიზაციები გადახედავენ

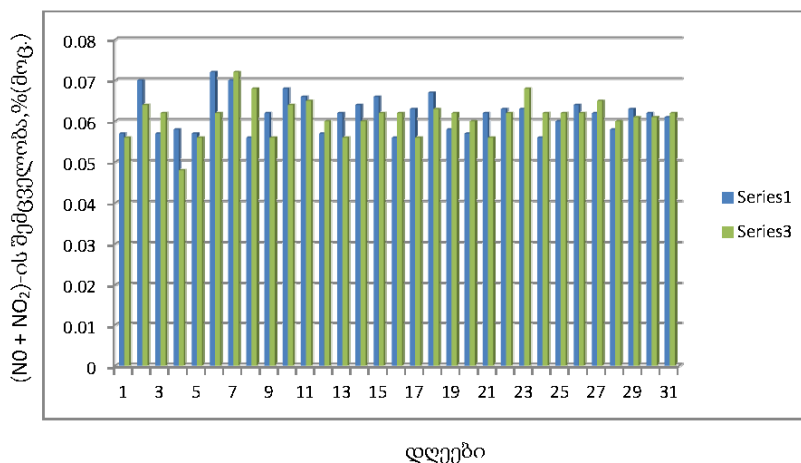
ზღვ-ს. ეს კი გამოიწვევს საწარმოების მიერ შემუშავებული რეგლამენტის გადახედვას და ახალ რეგულაციებთან შესაბამისობაში მოყვანას, რაც საკმაოდ მტკივნეული პროცესი იქნება ნებისმიერი საწარმოსთვის. ამ მხრივ არც რუსთავის სს „აზოტი“ გამონაკლისი და მიუხედავად იმისა, რომ იქ არსებული სიტუაცია სავსებით შესაბამეობა დღეს არსებულ საყოველთაოდ აღიარებულ მოთხოვნებს, საჭიროა საერთაშორისო საკანონმდებლო ცვლილებებისათვის მზადყოფნა. დამყარებული ტექნოლოგიური რეჟიმის პირობებში აზოტმჟავას წარმოების ნარჩენ აირებში აზოტის ოქსიდების ($NO + NO_2$) შემცველობა დამოკიდებულია წარმოებისთვის შერჩეულ ტექნოლოგიურ სქემაზე. ამჟამად ძირითადად გამოყენებულია კომბინირებულ ან ერთიან მაღალწნევაზე მომუშავე სქემები. ამ სქემებით მუშაობისას, სააბსორბციო სვეტიდან გამომავალ აირებში, რომელიც „კუდის აირების“ სახელწოდებით არის ცნობილი, აზოტის ოქსიდების შემცველობა 0,05-დან 0,2%-მდეა (მოც.), რაც სანიტარიული ნორმებით არ არის დაშვებული და მოითხოვს მათ გაწმენდას ატმოსფეროში გაშვებამდე. წინამდებარე კვლევის მიზანი იყო რუსთავის სს „აზოტი“ „კუდის აირების“ აზოტის ოქსიდებისგან გაწმენდი კატალიზატორის აქტიურობის დადგენა და საჭიროების შემთხვევაში გაწმენდის ხარისხის ასამაღლებლად საჭირო რეზერვების მოძებნა.

ძირითადი ნაწილი

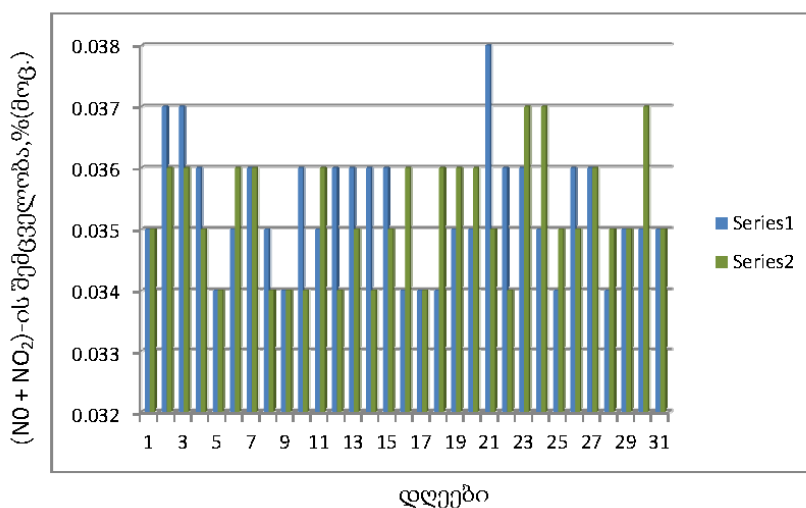
კვლევები ტარდებოდა რუსთავის სს „აზოტის“ აზოტმჟავას სააქროში ტექნოლოგიურად გამართული მუშაობის რეჟიმში, რის გამოც შეუძლებელი იყო კვლევისათვის საჭირო ყველა პირობის დაცვა. დაკ-

ვირეების ობიექტად შერჩეული იყო კუდის აირებში აზოტის ოქსიდების შემცველობა (კონცენტრაცია) სააბსორბციო სვეტიდან გამოსვლისას და, გამწმენდი რეაქტორის შემდეგ; მოწმდებოდა ასევე მათი ტემპერატურა გამწმენდ რეაქტორში შესვლის წინ,

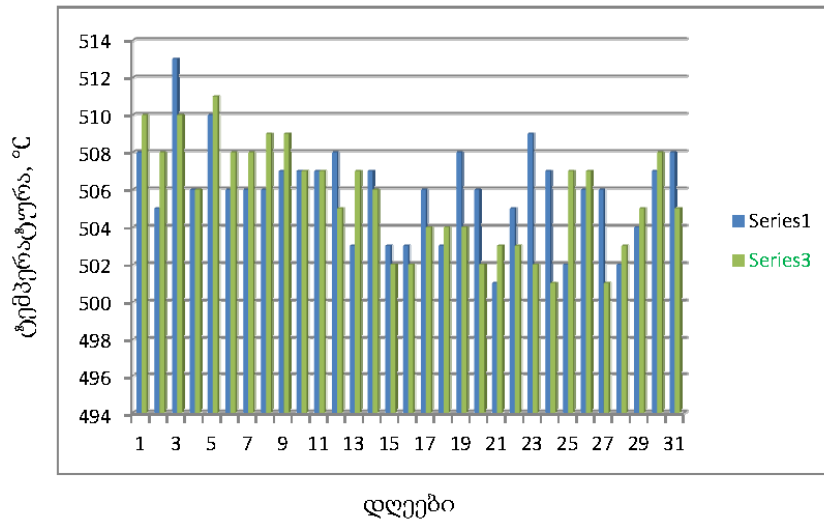
რეაქტორის შემდეგ და მათი ატმოსფეროში გატყორცნის ხაზზე. დაკვირვება წარმოებდა ერთი თვის განმავლობაში დღე-ღამეში ორჯერ, დღის და ღამის ცვლაში. შედეგები მოცემულია 1-5 სურათებზე.



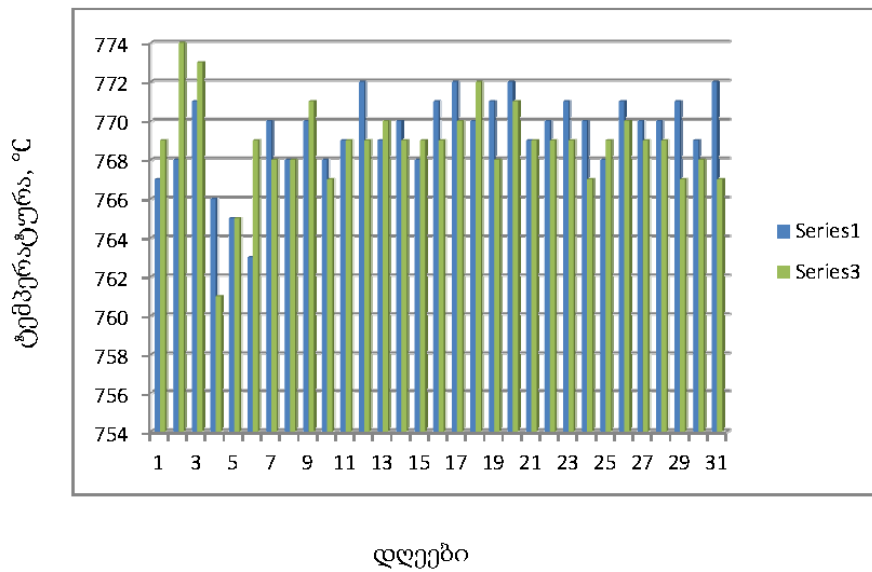
სურ. 1. (NO+NO₂) - ის შემცველობა სააბსორბციო კოლონის შემდეგ. რეგლამენტით: ა/უ 0,1% („1“ – დღის მონაცემი, „2“ – ღამის)



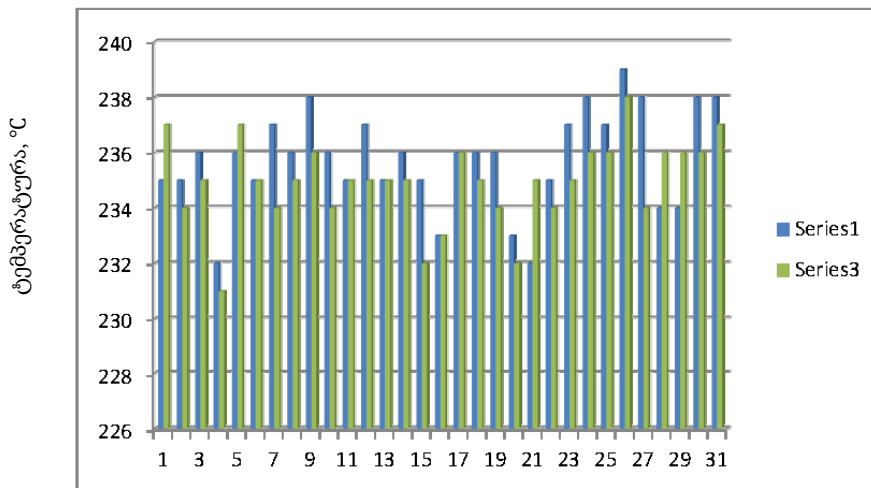
სურ. 2. (NO+NO₂) - ის შემცველობა რეაქტორის შემდეგ. რეგლამენტით: ა/უ 0,038% („1“ – დღის მონაცემი, „2“ – ღამის).



სურ. 3. „კუდის აირების“ ტემპერატურა რეაქტორის შესასვლელში. რეგლამენტით: ა/ნ 500°C („1“ – დღის მონაცემი, „2“ – ღამის).



სურ. 4. „კუდის აირების“ ტემპერატურა რეაქტორის გამოსასვლელში. რეგლამენტით, 750-760°C („1“ – დღის მონაცემი, „2“ – ღამის).



დღეები

სურ. 5. გამონაბოლქვი აირების ტემპერატურა ატმოსფეროში გაშვების წინ. რეგლამენტი: 170-220°C („1“ – დღის მონაცემი, „2“ – ღამის).

პირველ და მე-2 სურათებზე წარმოდგენილი კვლევის შედეგები გვიჩვენებს, რომ აზოტის ოქსიდების შემცველობა სააბსორბციო სვეტიდან, ხოლო შემდეგ რეაქტორიდან გამომავალ „კუდის აირებში“ სტაბილურად უცვლელია – კონცენტრაციები იცვლება მცირე საზღვრებში. შესაბამისად, დიდი რყევებით არ ხასიათდება „კუდის აირების“ გაწმენდის ხარისხის მნიშვნელობა, რომელიც გამოითვლება ფორმულით:

$$\eta = \frac{(C_1 V_1 - C_2 V_2)}{C_1 V_1} \cdot 100,$$

სადაც η არის გაწმენდის ხარისხი, %;

C_1 – აზოტის ოქსიდების კონცენტრაცია სააბსორბციო სვეტიდან გამომავალ აირში, %(მოც.);

C_2 – აზოტის ოქსიდების შემცველობა აღდგენის რეაქტორიდან გამომავალ აირში, %(მოც.);

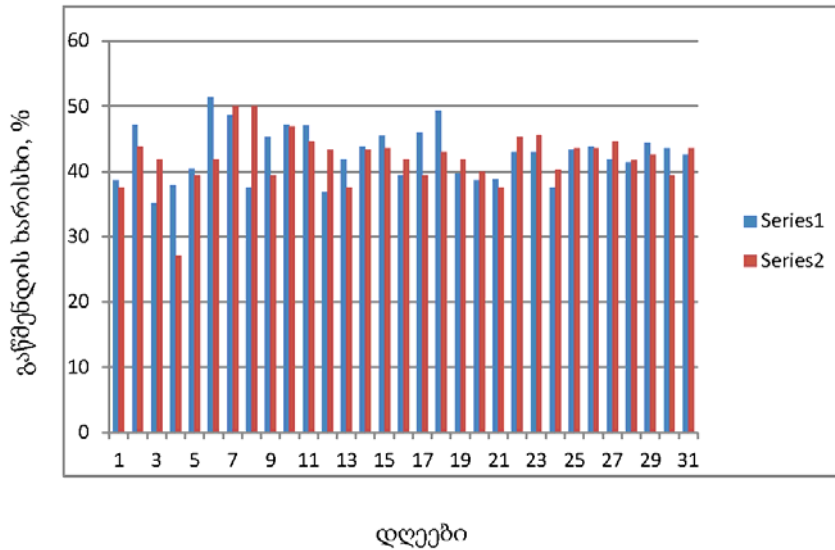
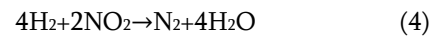
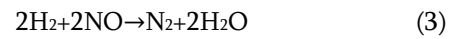
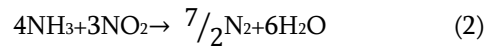
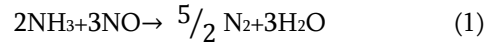
V_1 – აირის მოცულობა სააბსორბციო სვეტიდან გამოსვლისას ($\text{ნმ}^3/\text{სთ}$);

V_2 – აირის მოცულობა გამწმენდი რეაქტორის შემდეგ ($\text{ნმ}^3/\text{სთ}$).

კვლევის შედეგები გვიჩვენებს, რომ დიდი რყევებით არც რეაქტორში შემავალი „კუდის აირების“ ტემპერატურა ხასიათდება – ცვლილება 10-12⁰-ს არ აჭარბებს (სურ.3). ამასთანავე, არ შეინიშნება კანონზომიერება ტემპერატურის ცვლილებასა და გარდაქმნის ხარისხის მნიშვნელობას შორის. შეიძლება ითქვას, რომ არსებული ტემპერატურული საზღვრების ფარგლებში გაწმენდის ხარისხის ცვლილება სხვა ფაქტორებით არის განპირობებული. საგულისხმოა ის ფაქტიც, რომ წარმოებაში გამოყენებულ კატალიზატორზე აზოტის ოქსიდების ბუნებრივი აირით აღდგენის ხარისხი (გაწმენდის ხარისხი) 50%-ს არ აჭარბებს. ხშირად მისი მნიშვნელობა კიდევ უფრო ნაკლებია (<35%). აღდგენის დაბალი ხარისხი შესაძლებელია გამოწვეული იყოს, ერთი მხრივ, პროცესის ტემპერატურაზე წონასწორული გარდაქმნის ხარის-

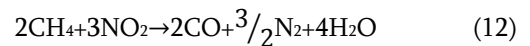
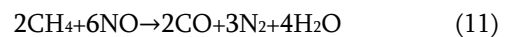
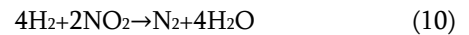
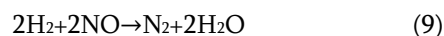
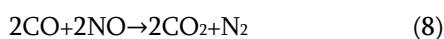
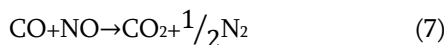
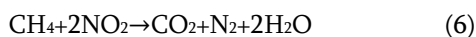
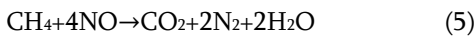
ხის დაბალი მნიშვნელობით, მეორე მხრივ – არა-ერთი ტექნოლოგიური ფაქტორით. წონასწორული გარდაქმნის ხარისხის ცოდნით შეგვიძლია ვიმსჯელოთ, კატალიზატორის შეცვლის გარეშე გარდაქმნის ხარისხის გაზრდაზე. დასკვნების გაკეთებას არ-თულებს ის გარემოებაც, რომ აღმდგენად ბუნებრივი აირის, ისევე როგორც ამიაკის გამოყენების შემთხვე-ვაში, აღდგენის პროცესი მიმდინარეობს არა მხო-ლოდ ერთი რომელიმე კონკრეტული რეაქციით, არა-

მედ პარალელურად მიმდინარე რეაქციებით. მაგალითად, აღმდგენად ამიაკის გამოყენების შემთხვევაში შესაძლებელია აღდგენის პროცესში მონაწილეობდეს როგორც თვით ამიაკი, ისე ამიაკის დაშლის შედეგად გამოყოფილი წყალბადი:



სურ. 6. (NO+NO₂) - ისგან გაწმენდის ხარისხი,
% („1“ – დღის მონაცემი, „2“ – ღამის)

კიდევ უფრო მეტია პარალელურად მიმდინარე აღდგენის რეაქციების რიცხვი აღმდგენად მეთანის გამოყენების შემთხვევაში:



წონასწორული რეაქციის განხორციელებისას პროცესი ითვლება ოპტიმალურად, თუ დიდია რე-აქციის გამოსავლიანობა თეორიულთან შედარებით. ეს უკანასკნელი გამოითვლება ფორმულით:

$$\alpha = \frac{\eta_{\text{პრ}}}{\eta_{\text{თეორ}}}$$

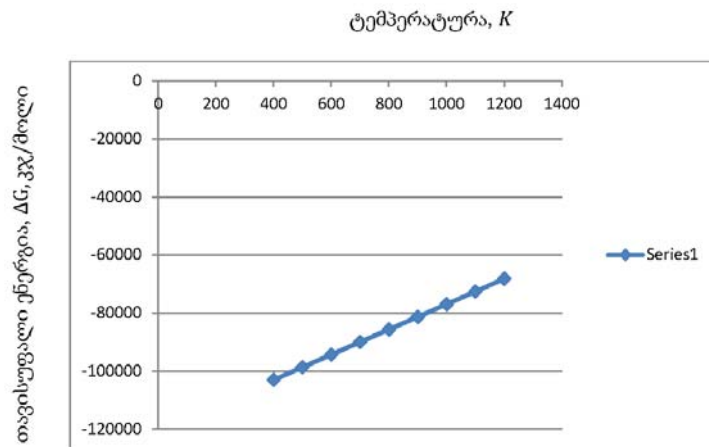
სადაც α არის რეაქციის გამოსავლიანობა (ერთეული წილი);

$\eta_{პრ}$ – პრაქტიკულად მიღებული გარდაქმნის ხარისხი;

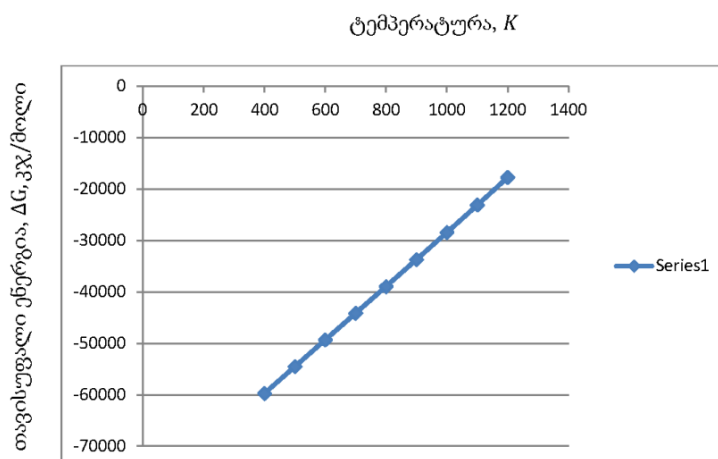
$\eta_{თეორ}$ – თეორიული (წონასწორული) გარდაქმნის ხარისხი;

წარმოებაში გამოყენებული კატალიზატორისთვის ასეთი გათვლები, ჩვენთვის ხელმისაწვდომი ლიტერატურაში ვერ მოიძებნა.

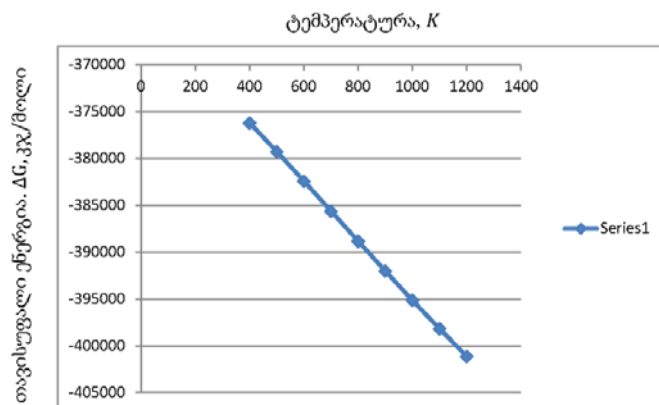
ზემოთ მოცემული ზოგიერთი რეაქციისათვის, ჩვენ შევასრულეთ თერმოდინამიკური გათვლები, კერძოდ, ჯერ განვსაზღვრეთ რეაქციების თავისუფალი ენერჯის მნიშვნელობები რეაქციის პროდუქტებისა და მორეაგირე კომპონენტების თბოტევადობათა შორის სხვაობის გათვალისწინებით, ხოლო შემდეგ – წონასწორობის მუდმივას მნიშვნელობები (5), (11), (6), (1), (2) რეაქციებისათვის. მიღებული შედეგები მოცემულია 7- 11 სურათებზე.



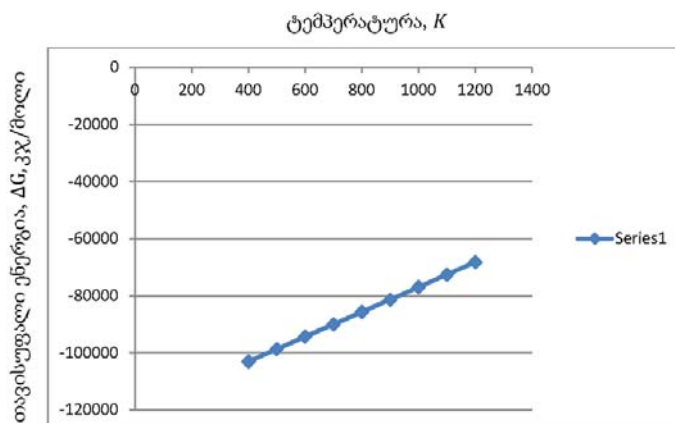
სურ. 7. თავისუფალი ენერჯის ტემპერატურაზე დამოკიდებულება რეაქციისათვის $CH_4 + 4NO \rightarrow CO_2 + 2N_2 + 2H_2O$



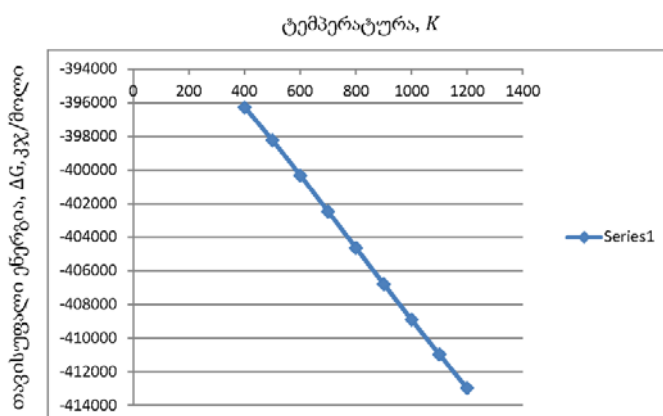
სურ. 8. თავისუფალი ენერჯის ტემპერატურაზე დამოკიდებულება რეაქციისათვის: $2CH_4 + 6NO \rightarrow 2CO + 3N_2 + 4H_2O$



სურ. 9. თავისუფალი ენერგიის ტემპერატურაზე დამოკიდებულება რეაქციისათვის: $\text{CH}_4 + 2\text{NO}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{N}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$



სურ. 10. თავისუფალი ენერგიის ტემპერატურაზე დამოკიდებულება რეაქციისათვის: $4\text{NH}_3 + 6\text{NO} \rightarrow 5\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$



სურ. 11. თავისუფალი ენერგიის ტემპერატურაზე დამოკიდებულება რეაქციისათვის: $8\text{NH}_3 + 6\text{NO}_2 \rightarrow 7\text{N}_2 + 12\text{H}_2\text{O}$

გამოთვლების შედეგები გვიჩვენებს, რომ თითოეული ჩვენ მიერ განხილული რეაქცია პრაქტიკულად ბოლომდე უნდა მიმდინარეობდეს. საცდელად ავიღეთ (5) რეაქცია. მარტივი ალგებრული გარდაქმნით ჩვენ მივიღეთ აზოტის (II) ოქსიდის თეორიული გარდაქმნის ხარისხის წონასწორობის მუდმივაზე დამოკიდებულების ფორმულა:

$$x = \frac{1,741 \times K_p^{0.8}}{1 + 1,741 \times K_p^{0.8}}$$

სადაც K_p არის განსახილველი რეაქციის (5) წონასწორობის მუდმივა;

x – თეორიული გარდაქმნის ხარისხი წონასწორობის პირობებში.

რეაქციის თავისუფალ ენერგიასა და წონასწორობის მუდმივას შორის ალგებრული დამოკიდებულების გამოყენებით განისაზღვრა წონასწორობის გარდაქმნის ხარისხი 1000K-ზე, რომელიც ტოლი აღმოჩნდა 0,9997-ის ანუ 99,97%- ის.

წარმოებაში მიმდინარე აღდგენის პროცესის გამოკვლევის შედეგების და გათვლებით მიღებული თეორიული გარდაქმნის ხარისხის (x) გამოყენებით დგინდება, რომ რეაქციის გამოსავალი თეორიულიდან (α) არ აღემატება 50,02%-ს და ეს არ არის გამოწვეული წონასწორობის ფაქტორებით. გარდაქმნის უფრო მაღალი ხარისხის მისაღწევად საჭიროა ან უფრო ეფექტური კატალიზატორის გამოყენება, ან კატალიზატორთან შეხების დროის გაზრდა. ამ უკანასკნელის მიღწევა შესაძლებელი იქნება კატალიზატორის მოცულობის გაზრდით ან აზოტმჟავას წარმოების მოცულობის შემცირებით. როგორც ერთი, ისე მეორე გზა გულისხმობს კატალიზატორის მოცულობის გაზრდას პროდუქციის

ერთეულზე, რაც ეკონომიკური ხარჯის გაზრდასთან იქნება დაკავშირებული.

დასკვნა

1. აზოტმჟავას საამქროდან ატმოსფეროში გამავალ აირებში აზოტის ოქსიდების შემცველობა რეგულაციით და საერთაშორისო ნორმებით გათვალისწინებულის ფარგლებშია, თუმცა კატალიზატორით მათი გაწმენდის ხარისხი უკეთეს შემთხვევაში 40-50%-ს არ აჭარბებს.
2. თერმოდინამიკური გათვლებით დადგენილია, რომ აზოტის ოქსიდების თავისუფალ აზოტამდე აღდგენის რეაქციები, აღმდგენად ამიაკის, წყალბადის ან ბუნებრივი აირის გამოყენების შემთხვევაში პრაქტიკულად შეუქცევადია და ბოლომდე მიმდინარეობს. დადგენილია, რომ წარმოებაში აზოტის ოქსიდებისგან გაწმენდის დაბალი ხარისხი გამოწვეული არ არის რეაქციის შექცევადობით და განპირობებულია ტექნოლოგიური რეჟიმის ნორმებით და/ან კინეტიკური ფაქტორებით.
3. ატმოსფეროში გამავალ აირებში აზოტის ოქსიდების შემცველობაზე მოთხოვნების გამკაცრების შემთხვევაში საჭირო გახდება რეგულაციით გათვალისწინებული ტექნოლოგიური რეჟიმის ნორმებში გარკვეული ცვლილებების შეტანა. ასეთთა რიცხვს მიეკუთვნება: წარმოების მოცულობის შემცირება, კატალიზატორის მოცულობის გაზრდა, აბსორბციის პროცესის ისე განხორციელება, რომ შემცირდეს აზოტის ოქსიდების კონცენტრაცია სვეტიდან გამომავალ აირში; ერთ-ერთი გზა აგრეთვე უფრო ეფექტური კატალიზატორის მოძიებაა.

ლიტერატურა

1. Weks E. U. Blok F. Ye. Thermodynamic properties of 65 elements--their oxides, halides, carbides, and nitrides. M.: „Metallurgy”. 1965, 145 p. (in Russian).
2. Ryabin V.A., Ostroumov M.A., Sweet T.F. Yakhontova E. L., Petropavlovsky I. A. Thermodynamic properties of substances. L.: “Khimiya”. 1977, 392 p. (in Russian).
3. Zagoruchenko V.A., Zhuravlev A.M. Thermodynamic properties of gaseous and liquid methane. M.: “Izdatelstvo standartov”. 1969, 235 p. (in Russian).
4. Handbook of Nitrogen. Vol.2. M.: “Khimiya”. 1969. 445 p. (in Russian).
5. Nitric acid production in large-scale single units. Edited by V.M. Olevsky. M.: “Khimiya”. 1985, 400 p. (in Russian).
6. Veriatan W.D. Thermodynamic properties of inorganic substances. Handbook. M.: “Atomizdat”. 1965, 112 p. (in Russian).
7. Method for catalytic purification of waste gases from nitrogen oxides. Patent for invention N2174430. 10.10.2001. (in Russian).
8. Karavaev M.M., Zasorin A.P., Kleshchev N.F. Catalytic Oxidation of Ammonia. M.: “Khimiya “. 1983, 232 p. (in Russian).

UDC 66.074.32

SCOPUS CODE 2310

DOI: <https://doi.org/10.36073/1512-0996-2019-3-86-97>

Research of the process of exhaust gas cleaning in the production of nitric acid from nitrogen oxides

Marlen Mchedlishvili Department of Chemical Technology and Biotechnology, Georgian Technical University, 69 M. Kostava str, 0160 Tbilisi, Georgia
E-mail: m.mchedlishvili@gtu.ge

Aleksandre Aphakidze Rustavi JSC "Azoti", Peace 2, 3702 Rustavi, Georgia
E-mail: alika.aphak@gmail.com

Reviewers:

J. Shengelia, Professor, Faculty of Chemical Technology and Metallurgy, GTU
E-mail: jermal.shengelia@gtu.ge

I. Bazgadze, Associate Professor, Faculty of Chemical Technology and Metallurgy, GTU
E-mail: i.bazgadze@gtu.ge

Abstract. The process of exhaust gas cleaning in the production of Nitric acid from Nitrogen oxides ($\text{NO} + \text{NO}_2$) was studied by catalytic reduction of natural gases. It has been established that the content of Nitrogen oxides in gases leaving the catalytic reactor is low, however it complies with the production regulations and does not exceed the maximum permissible concentrations (MPC) standards adopted by the relevant international organizations, the catalyst activity is low - the purification rate does not exceed 50%.

At the same time, thermodynamic analysis showed that the theoretical extent of gas purification from Nitrogen oxides, at the temperature of the catalytic reduction of natural gas production process, is 99.97%.

Within the strict requirements of the relevant organizations for the content of Nitrogen oxides in the exhaust gases of Nitric acid production, there are two main solutions available to increase the degree of gas purification: 1) providing appropriate changes in process regulations and 2) using more efficient catalyst for exhaust gas cleaning from nitrogen oxides.

Resume:

Key words: Catalyst; cleaning; Nitric acid; Nitrogen oxides; thermodynamic analysis.

UDC 66.074.32

SCOPUS CODE 2310

DOI: <https://doi.org/10.36073/1512-0996-2019-3-86-97>

Исследование процесса очистки отходящих газов производства азотной кислоты от оксидов азота

Марлен Мchedlishvili Департамент химической технологии и металлургии, Грузинский технический университет, Грузия, 0160, Тбилиси, ул. М. Костава, 69
E-mail: m.mchedlishvili@gtu.ge

Александр Апакидзе Руставское А/О «Азот», Грузия, 3702, Рустави, ул. Мшвидоба 2
E-mail: alika.aphak@gmail.com

Рецензенты:

Д. Шенгелия, профессор факультета химической технологии и металлургии ГТУ
E-mail: jemal.shengelia@gtu.ge

И. Базгадзе, профессор факультета химической технологии и металлургии ГТУ
E-mail: i.bazgadze@gtu.ge

Аннотация. Изучен процесс очистки выхлопных газов в производстве азотной кислоты от оксидов азота (NO+NO₂) путем каталитического восстановления природным газом. Установлено, что хотя содержание оксидов азота в выходящих из каталитического реактора газах, небольшое, соответствует регламенту производства и не превышает норм П.Д.К., принятых соответствующими международными организациями, активность катализатора низкая, – степень очистки не превышает 50%.

При этом термодинамический анализ показал, что теоретическая степень очистки газа от оксидов азота, при температуре производственного процесса каталитического восстановления оксидов азота природным газом составляет 99,97%.

При ужесточении требований соответствующими организациями на содержание оксидов азота в выхлопных газах производства азотной кислоты, имеются два решения проблемы повышения степени очистки газа: 1) внесение изменений в технологический регламент и 2) использование более эффективного катализатора для очистки газов от оксидов азота.

Ключевые слова: азотная кислота; катализатор; оксиды азота; очистка; термодинамический анализ.

განხილვის თარიღი 03.05.2019

შემოსვლის თარიღი 15.05.2019

ხელმოწერილია დასაბეჭდად 24.10.2019

UDC 669:187.526.001.5

SCOPUS CODE 2501

DOI: <https://doi.org/10.36073/1512-0996-2019-3-98-110>

სპილენძის ფუბეშრეზე ნიობიუმის და ტანტალის დანაფარების მიღების ტექნოლოგია

- ხატია ანანიაშვილი** მეტალურგიის, მასალათმცოდნეობისა და ლითონების დამუშავების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 69
E-mail: kh.ananiashvili@gtu.ge
- მიხეილ ოქროსაშვილი** მეტალურგიის, მასალათმცოდნეობისა და ლითონების დამუშავების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 69
E-mail: m.okrosashvili@gtu.ge
- თამარ ლოლაძე** მეტალურგიის, მასალათმცოდნეობისა და ლითონების დამუშავების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 69
E-mail: t.loladze@gtu.ge

რეცენზენტები:

დ. ნოზაძე, სტუ-ის ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის პროფესორი

E-mail: d.nozadze@gtu.ge

ვ. გორდელაძე, სტუ-ის ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის ასოცირებული პროფესორი

E-mail: v.gordeladze@gtu.ge

კვლევა განხორციელდა შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდის (SRNSFG) ფინანსური მხარდაჭერით [PHDF-18-736, სპეციალური დანიშნულების ფუბეშრეზე ფუნქციონალური დანაფარების მიღების ტექნოლოგიის შემუშავება]

ანოტაცია. თანამედროვე ეპოქაში აქტუალურია ახალი მასალების შექმნის აუცილებლობის საკითხი. ამ მხრივ საინტერესოა სპილენძის ფუბეშრეზე მნელდნობადი ლითონების – ნიობიუმისა და ტან-ტალის დანაფარების მიღების ტექნოლოგიის შემუშავება საწყისი მასალის ელექტრონული სხივით აორთქლებისა და ორთქლის ნაკადის შემდგომი კონდენსაციის გზით. შევისწავლეთ გრადიენტულ ფუბეშრეზე ფორმირებული დანაფარების მაკრო-

სტრუქტურა, განივი კვეთის მიკროსტრუქტურა, ფაზური შედგენილობა და ფუძემშრესა და კონდენსატის შორის შეჭიდულობის ხარისხი. დადგენილია ფუძემშრის ოპტიმალური ტემპერატურული დიაპაზონები, რომელიც უზრუნველყოფს სპილენძის ფუძემშრესთან დანაფარების საუკეთესო შეჭიდულობას. ნიობიუმის კონდენსატისათვის იგი შეადგენს 300-500°C, ხოლო ტანტალის კონდენსატისათვის – 600-750°C. გამოთვლილია სპილენძის, ნიობიუმისა და ტანტალის კრისტალური მესრების შეუსაბამობის ხარისხი, რის საფუძველზეც გაკეთებულია დასკვნა, რომ სპილენძის ფუძემშრეზე ნიობიუმისა და ტანტალის კონდენსაციის პროცესში ფაზურ შედგენილობაზე, აგრეთვე ფუძემშრესა და დანაფარს შორის ადჰეზიის ხარისხზე არსებით გავლენას ახდენს როგორც კონდენსაციის ტემპერატურა, ისე ფუძემშრისა და კონდენსირებული ფაზების სტრუქტურული და გეომეტრიული ფაქტორები.

საკვანძო სიტყვები: აორთქლება და კონდენსაცია; დანაფარი; ელექტრონული სხივი; სპილენძის ფუძემშრე.

შესავალი

თანამედროვე ეპოქაში ტექნიკური პროგრესისა და, ზოგადად, მანქანათმშენებლობის განვითარების ტემპი მთელი აქტუალურობით აყენებს საკითხს ახალი მასალებისა და ტექნოლოგიების შექმნის აუცილებლობის შესახებ. ხშირად ამ მოთხოვნების დასაკმაყოფილებლად საჭირო ხდება თვისებრივად ახალი თაობის მასალების შექმნა ან არსებულის თვისებების მკვეთრად გაუმჯობესება ერთდროულად

კონსტრუქციების გეომეტრიის, ფორმის თუ ზედაპირული სტრუქტურისა და თვისებების რადიკალურად შეცვლის გზით, რაც ტრადიციული ტექნოლოგიების გამოყენებით პრაქტიკულად შეუძლებელია.

მანქანა-დანადგარებში, საფრენ აპარატებსა თუ ძრავებში ნაკეთობის ზედაპირს ყველაზე რთულ პირობებში უწევს მუშაობა, რადგან იგი ექსპლუატაციის ადრეულ სტადიაში განიცდის სამუშაო გარემოსა და მასთან კონტაქტში მყოფი დეტალების ზემოქმედებას. ამიტომ მათი მუშაობისუნარიანობის, საიმედოობისა და ხანმედგობის გასაზრდელად აუცილებელი ხდება ზედაპირის საექსპლუატაციო მახასიათებლების გაზრდა. ამ პირობის რეალიზაციის ერთ-ერთი ხერხი ნაკეთობის ზედაპირზე ისეთი სპეციალური დანაფარის დატანაა, რომელიც შედგენილობით, სტრუქტურითა და თვისებებით განსხვავებული იქნება ძირითადი ლითონისაგან.

მრეწველობაში დამცავი დანაფარების დატანის არაერთი მეთოდი გამოიყენება [1-3]. ენერჯის კონცენტრირებულ ნაკადებთან მუშაობის სამეცნიერო და ტექნოლოგიურმა გამოცდილებამ აჩვენა, რომ მასალების დამუშავებისა თუ დანაფარების წარმოებისას განსაკუთრებით ეფექტური ენერჯის წყაროა ელექტრონული სხივი. ელექტრონულ სხივში ენერჯის სიმძლავრისა და კონცენტრაციის დიაპაზონები მნიშვნელოვნად მაღალია – 1 მგვტ და მეტი, რის მიღწავაც შეუძლებელია ლაზერისა და პლაზმის გამოყენების შემთხვევაში. ამასთან, კონდენსატის დასმა შეიძლება პრაქტიკულად ნებისმიერ მასალაზე ფუძემშრესთან საუკეთესო შეჭიდულობისა და რეგულირებადი სტრუქტურისა და თვისებების უზრუნველყოფით. აქედან გამომდინარე,

სპეციალური ფუძემდებლის, მათ შორის სპილენძის ზედაპირზე ელექტრონულ-სხვიური ტექნოლოგიით ძნელდნობადი ლითონების – ტანტალისა და ნიობიუმის ფუნქციური, ყოველმხრივი დანაფარების მიღების ტექნოლოგიის შემუშავება, რასაც წარმოდგენილი სამუშაო ისახავს მიზნად, მეტად აქტუალურ საკითხთა რიცხვს მიეკუთვნება.

სპილენძის ფუძემდებლის მისი სპეციალური დანიშნულებით გამოყენების ფართო დიაპაზონის გამო შეირჩა. სპილენძი და მისი შენადნობები ფართო გამოყენებას პოულობს მრეწველობაში, დენგამტარ კონსტრუქციებსა და თბომომოცვლის ელემენტებში, ასევე თანამედროვე ინტეგრირებული მიკროსქემების მაკავშირებელ კონსტრუქციებში [4-6]. სპილენძის უარყოფითი მხარეა ჟანგვისადმი მიდრეკილება გაზრდილ ტემპერატურაზე და წყალბადის გარემოში, რაც შეიძლება გამოსწორდეს სხვადასხვა დამცავი, მათ შორის ძნელდნობადი ლითონის დანაფარებით.

მხურვალმდე და ანტირადიაციულ დანაფარებად ჩვენ შევარჩიეთ ძნელდნობადი ლითონები – ტანტალი (დნობის ტემპერატურა 2996°C) და ნიობიუმი (2500°C). ტანტალი ხასიათდება ნეიტრონების შთანთქმის ძლიერი უნარით, დიდი წინააღმდეგობით მჟავას ზემოქმედების მიმართ, კარგი თბოგამტარობით და პლასტიკურობით, დაბალი ტემპერატურული გაფართოების კოეფიციენტით. ტანტალი ბირთვული რეაქტორების წარმოებაში გამოყენებული საკონსტრუქციო მასალის ერთ-ერთი ძირითადი კომპონენტია. ის ერთ-ერთი უნიკალური მასალაა იმ მცირერიცხოვან ლითონებს შორის, რომლებიც ხასიათდება მაღალი მდგრადობით ცოცხალი ორგანიზმის ქიმიური ნივთიერებების ზემოქმედების

მიმართ და კარგი თავსებადობით ანუ ქსოვილთან შეზრდის უნარით. ამიტომ მისი დანაფარების გამოყენება პერსპექტიულია ძვლის და პლასტიკურ ქირურგიაში. თვისებებით ტანტალთან ახლოს დგას ნიობიუმი, რომელიც დამატებით გამოირჩევა განსაკუთრებული მდგრადობით არაორგანულ ძლიერ მჟავა არეებში. ნიობიუმი წარმატებით გამოიყენება ელექტრონიკაში ელექტროლიტური კონდენსატორების დასამზადებლად. იგი გამოიყენება აგრეთვე მძლავრი მაგნიტის დასამზადებლად განკუთვნილი ზეგამტარი შენადნობების (ტიტანის, ცირკონიუმისა და სხვა ლითონების დამატებით) მისაღებად, რომლებიც ძირითადად გამოიყენება სამედიცინო-დიაგნოსტიკურ მოწყობილობებში, ბუნებრივი მინერალების მაგნიტურ სეპარატორებში. ასევე უკვე შექმნილია მაგნიტურ ბალიშზე მოძრავი მატარებლების მაგისტრალები და ძალიან პერსპექტიულია პლაზმის მაგნიტური იზოლაციის სისტემის შექმნა თერმობირთვული სინთეზის დანადგარებში. როგორც ტანტალი, ისე ნიობიუმი ფართოდ გამოიყენება ქიმიურ მანქანათმშენებლობაში ცალკეული კვანძების ზედაპირის დასაფარად, აგრეთვე ატომურ ენერგეტიკაში თბომომოცვლის ელემენტების დამცავი გარსაცმის დასამზადებლად [7-9].

ყოველივე ზემოთქმულის გათვალისწინებით კვლევის მოცემულ მიმართულებას აქვს როგორც თეორიული, ისე პრაქტიკული ღირებულება.

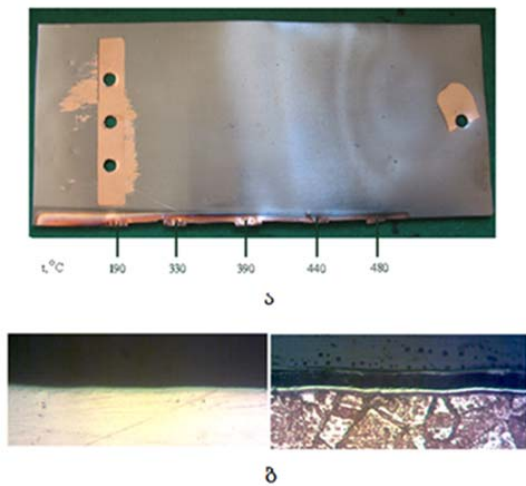
ძირითადი ნაწილი

სამუშაოს მიზანია სპილენძის ფუძემდებზე ძნელდნობადი ლითონების – ნიობიუმისა და ტანტალის დანაფარების მიღების ტექნოლოგიის შემუშავება ელექტრონული სხვიით ლითონის აორთქლებისა

და ორთქლის ნაკადის შემდგომი კონდენსაციის გზით. დანაფარების მიღება და მათი თვისებების შესწავლა ხორციელდებოდა [10] ნაშრომში მოცემული მეთოდით.

საწყის ასაორთქლებელ მასალებად გამოიყენებოდა ნიობიუმის (Product №41MR-0001, Lot № IAM5240Nb, Grain Size 5 μm) და ტანტალის (Product № 73MR-0001, Lot № IAM1283TAM, Grain Size 5 μm) ფხვნილები, რომლებიც იწნებოდა 50 მმ-იანი დიამეტრის მქონე ცილინდრული ბრიკეტების სახით. ბრიკეტების სიმაღლე იყო 30 მმ და აორთქლების წინ ხდებოდა მათი გადადნობა ვაკუუმში ელექტრონული სხივით. ფუძემდებ გამოიყენებოდა ბრტყელი სპილენძის (M2, 99,7%Cu) ფირფიტები, რომელთა ზომები იყო 120x280 მმ. სისქე კი – 2მმ.

ვაკუუმური კონდენსატების სტრუქტურისა და თვისებების კვლევისათვის ფუძემდრის ტემპერატურაზე დამოკიდებულებით, ორთქლის ნაკადის კონდენსაცია წარმოებდა ტემპერატურული გრადიენტის მქონე (100–დან 600°C–მდე) ფუძემდრეზე.



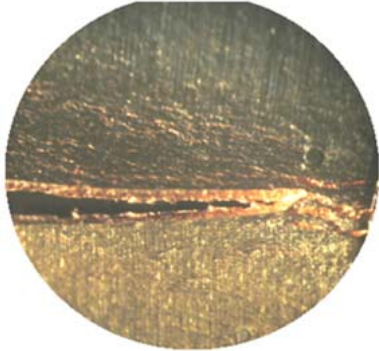
სურ. 1. სპილენძის ფუძემდრეზე ნიობიუმის კონდენსატის მაკრო- (ა) და განვივი კვეთის მიკროსტრუქტურა (ბ), x360. კონდენსატის სისქეა 5-6 მკმ

პირველ სურათზე მოცემულია ტემპერატურული გრადიენტის მქონე სპილენძის ფუძემდრეზე კონდენსირებული ნიობიუმის დანაფარის მაკრო-(ა) და მიკროსტრუქტურა (ბ). როგორც მაკროსტრუქტურის ხასიათიდან გამომდინარეობს, 250-300°C-ის ქვემოთ შეინიშნება კონდენსატის თავისთავადი აშრევა ფუძემდრიდან. აღნიშნული ტემპერატურის ზემოთ კონდენსატი ხასიათდება ერთგვაროვანი აგებულებით, არ მყდვანდება აგრეთვე რაიმე სახის დეფექტების არსებობა. აქედან გამომდინარე, ფუძემდრესა და კონდენსირებული ნიობიუმის დანაფარს შორის შეჭიდულობის ხარისხის შესაფასებლად ნიმუშები ამოჭრილია 250-300°C-ზე მაღალი ტემპერატურული ზონებიდან.

250-310°C ტემპერატურულ დიაპაზონში კონდენსირებულ 5-8 მკმ სისქის კონდენსატებში შენატყლეფი წარმოიქმნება პირველივე ნიშანცვლადი ($\pm 180^\circ$) გადაღუნვისას. ბზარწარმოქმნა კონდენსატში ფიქსირდება 12-13 გადაღუნვის შემდეგ, ხოლო მე-17 გადაღუნვაზე ნიმუშის მთლიანობა ირღვევა. შედარებით მაღალ ტემპერატურაზე კონდენსირებულ დანაფარში ფუძემდრესა და კონდენსატს შორის შეჭიდულობის ხარისხი პრაქტიკულად უცვლელად არის შენარჩუნებული.

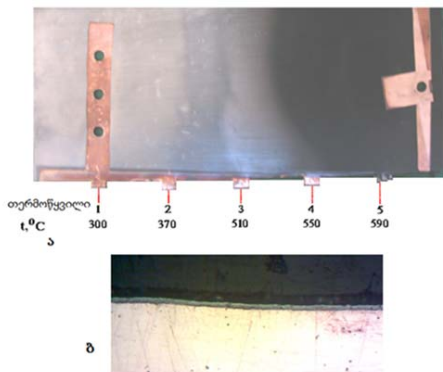
კონდენსატის სისქის გაზრდით 20-25 მკმ-მდე (კონდენსაციის ტემპერატურა 300-440°C) ნიმუში მთლიანობას ინარჩუნებს 12-13 ნიშანცვლად გადაღუნვამდე. კონდენსაციის ტემპერატურის გაზრდით 500°C-ის ზემოთ გადაღუნვების რიცხვი მცირდება 7-9-მდე. არც ერთ შემთხვევაში არ შეინიშნება კონდენსატის აშრევა ფუძემდრიდან ნიმუშის მთლიანობის დარღვევის შემდეგაც კი (სურ. 2), რაც ფუძემდრესა და დანაფარს შორის მაღალი ხარისხის შეჭიდულობაზე მიუთითებს.

ამრიგად, სპილენძის ფუძეშრეზე ნიობიუმის კონდენსაციის ოპტიმალური ტემპერატურული დიაპაზონი შეადგენს 300-500°C.



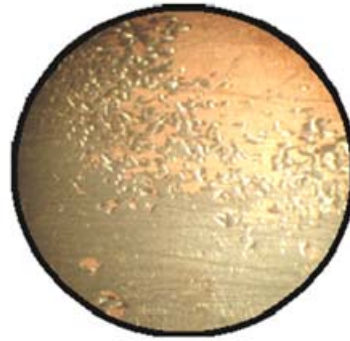
სურ. 2. სპილენძის ფუძეშრეზე კონდენსირებული ნიობიუმის დანაფარი თხუთმეტჯერადი ნიშანცვლადი გადაღუნვების შემდეგ. x16

გრადიენტული ტემპერატურის მქონე სპილენძის ფუძეშრეზე კონდენსირებული ტანტალის დანაფარის მაკროსტრუქტურული ანალიზით ვლინდება შეფერილობით განსხვავებული ორი სტრუქტურული ზონის არსებობა (სურ. 3, ა). პირველ, დაბალტემპერატურულ ზონაში (კონდენსაციის ტემპერატურა <math>< 370^{\circ}\text{C}</math>), კონდენსატის შეფერილობა მოვერცხლისფროა. კონდენსაციის ტემპერატურის გაზრდასთან ერთად იგი თანდათან მუქ შეფერილობაში გადადის და $\sim 530^{\circ}\text{C}$ -ის ზემოთ შავით იცვლება.



სურ. 3. სპილენძის ფუძეშრეზე ტანტალის კონდენსატის მაკრო- (ა) და ნიშუმის განივი კვეთის მიკროსტრუქტურა (ბ, x360) კონდენსირებული შრის სისქე

პირველ ზონაში კონდენსირებული დანაფარი ფუძეშრეს ფხვნილის სახით სცილდება (სურ. 4), ამიტომ საცდელი ნიმუშები იჭრებოდა 300°C -ის ზემოთ ფორმირებული კონდენსატებიდან.



სურ. 4. ტანტალის დანაფარი სპილენძის ფუძეშრეზე ნიმუშის ამოჭრის შემდეგ. კონდენსაციის ტემპერატურაა $250-300^{\circ}\text{C}$

$300-520^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურულ ინტერვალში ფორმირებულ დანაფარებში კონდენსატის აშრეება 1-2 ნიშანცვლადი გადაღუნვისას შეინიშნება. კონდენსაციის ტემპერატურის გაზრდასთან ერთად გადაღუნვების რიცხვი მატულობს და მეორე ზონაში, 550°C -ის ზემოთ, სადაც დანაფარი შავ შეფერილობას ღებულობს, ათზე მეტ გადაღუნვას უძლებს. მაკროსტრუქტურული ანალიზი თვალნათლივ ცხადყოფს კონდენსაციის ტემპერატურის არსებით გავლენას სპილენძის ფუძეშრესთან ტანტალის შეჭიდულობის ხარისხზე: ტემპერატურის გაზრდასთან ერთად 400 -დან 750°C -მდე ნიშანცვლადი გადაღუნვების რიცხვი კონდენსატში პირველი ბზარის ჩასახვამდე ექვსიდან თოთხმეტამდე მატულობს.

ამრიგად, სპილენძის ფუძეშრეზე დამაკმაყოფილებელი შეჭიდულობის უზრუნველყოფით ტანტალის დანაფარის მისაღებად ოპტიმალურ ტემპერატურულ დიაპაზონს $600-750^{\circ}\text{C}$ წარმოადგენს.

ერთ-ერთი უმთავრესი ფაქტორი, რომელიც დანაფარის გამოყენების პირობებს და მისი მიღების ტექნოლოგიის სწორად შერჩევას განაპირობებს, არის ნაკეთობაში ნარჩენი ძაბვების სიდიდე. მაკროდაძაბულობამ (I გვარის ძაბვებია) შეიძლება არსებითად შეცვალოს კომპოზიტის ფორმა და ფუძემშრესა და დანაფარს შორის ადჰეზიის პირობები. ნარჩენი ძაბვების წარმოქმნის ძირითადი მიზეზია ფუძემშრისა და დანაფარის მოცულობით ცვლილებებს შორის სხვაობა, რაც განპირობებული შეიძლება იყოს ტემპერატურის არათანაბარი განაწილებით სისტემაში „ფუძემშრე-დანაფარი“, თერმული გაფართოების კოეფიციენტებსა და კრისტალური მესრის პარამეტრებს შორის განსხვავებით, ფაზური და სტრუქტურული გარდაქმნებით ფუძემშრეში, დანაფარსა და მათ შორის გარდამავალ ზონაში, აგრეთვე დანაფარში რაიმე ჩანართების არსებობით [11]. ფუძემშრესთან კონდენსირებადი ფაზის შეზრდისათვის უმთავრესი განმსაზღვრელი ფაქტორი მაინც სტრუქტურულ-გეომეტრიული ფაქტორი – კრისტალური მესრების ტიპები და მათი პერიოდების შესაბამისობის ხარისხია $\{\Delta=(a_1-a_2)/a_1$, სადაც a_1 არის ფუძემშრის მასალის კრისტალური მესრის, ხოლო a_2 – კონდენსირებადი ფაზის კრისტალური მესრის პერიოდი} [12, 17].

სპილენძის გრადიენტულ ფუძემშრეზე კონდენსირებული მოვერცხლისფრო და შავი შეფერილობის ტანტალის დანაფარების რენტგენოფაზური ანალიზით ორივე ზონაში ფიქსირდება ტანტალისა (დანაფარი) და სპილენძის (ფუძემშრე) შესაბამისი მაქსიმუმები (სურ. 5), თუმცა $2\theta=91-124$ კუთხეების დიაპაზონში ჩამოყალიბებული გალოები კონდენსირებულ ფირში რენტგენოსტრუქტურულად ამო-

რფული, წვრილდისპერსიული შემდგენის არსებობაზეც მიუთითებს.

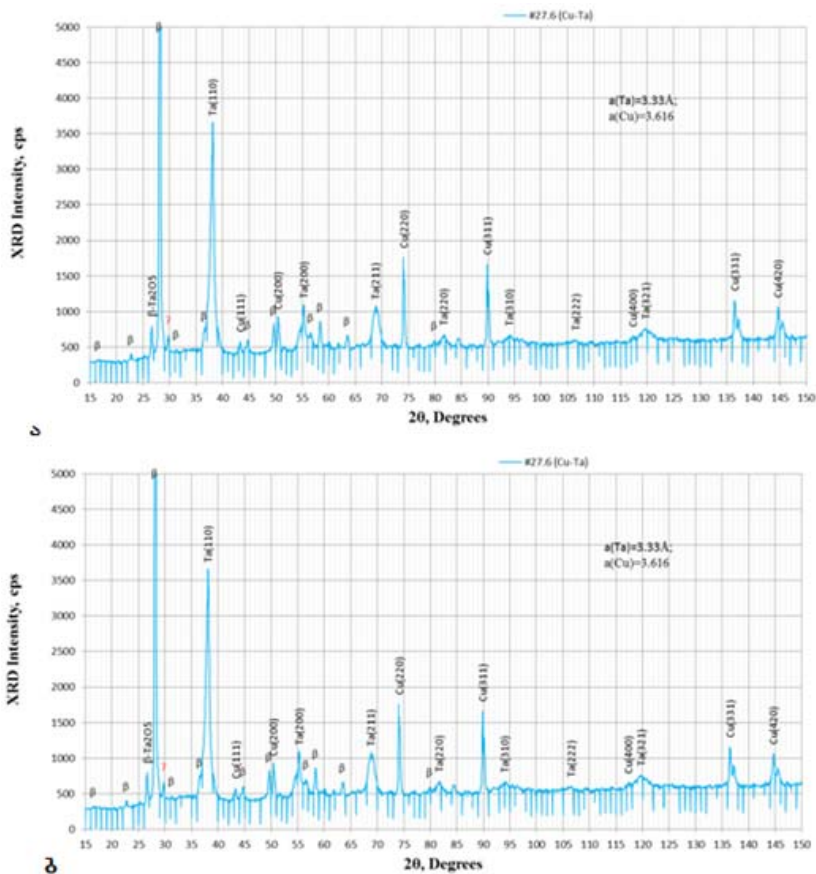
ლიტერატურული წყაროების მიმოხილვიდან ცხადი ხდება, რომ ფერთა ცვლილება მოსალოდნელია არა მარტო სუფთა ლითონის, არამედ ქიმიური ნაერთების კონდენსატებშიც. შეფერილობის შეცვლა უნდა დავაკავშიროთ ორთქლის ფაზიდან ფირთა მიღების ტექნოლოგიის თავისებურებებთან, რაც არაწონასწორული მდგომარეობის დაფიქსირებას უწყობს ხელს დეფექტების გაზრდილი კონცენტრაციით. თუ გავითვალისწინებთ, რომ კრისტალების ზრდის სიჩქარე მეტად მგრძობიარე ფაქტორია დეფექტური სტრუქტურის მიმართ [13], ხოლო ზრდის ზედაპირი ვაკუუმური კონდენსაციის პირობებში დამატებითი ვაკანსიების ნაკადის გენერატორია [14], აორთქლებისა და კონდენსაციის დიდი სიჩქარე ხელს შეუწყობს არაწონასწორული სტრუქტურის ჩამოყალიბებას წყობის დეფექტებისა და ვაკანსიების მაღალი კონცენტრაციით, რაც, თავის მხრივ, კონდენსატის მუქ შეფერილობას განაპირობებს. ცხადია, რაც უფრო მეტად არის გადახრილი კრისტალების ზრდის პირობები წონასწორულისაგან, მით უფრო მეტი დეფექტი წარმოიქმნება [15].

ამრიგად, მაღალ ტემპერატურულ პირობებში სპილენძის ფუძემშრეზე კონდენსირებული ტანტალის დანაფარის მუქი შეფერილობა უნდა დავაკავშიროთ წყობის საკუთარი დეფექტების არსებობასთან.

Cu-Nb და Cu-Ta სისტემების მდგომარეობის დიაგრამებიდან გამომდინარე [16], როგორც სპილენძისა და ნიობიუმის, ისე სპილენძისა და ტანტალის ურთიერთხსნადობა უმნიშვნელოა, მათ შორის არ წარმოიქმნება არც რაიმე შუალედური ნა-

ერთი. ამიტომ „ფუძემრე-კონდენსატი“ ფაზათა გამყოფ საზღვარზე არ უნდა ველოდეთ ფართო არის მქონე მყარი ხსნარების ან შუალედური ლითონთშორისი ფაზების წარმოქმნას, რამაც შეიძ-

ლება გარდამავალი შორის როლი შეასრულოს ფუძემრეა და დანაფარს შორის დამაკმაყოფილებელი ადჰეზიის ხარისხის უზრუნველყოფით.



სურ. 5. სპლენძის ფუძემრეზე ტანტალის დანაფარის დიფრაქციული სურათი. კონდენსაციის ტემპერატურა: ა – -370°C (მოვერცხლისფრო); ბ – -530°C (შავი)

აქედან გამომდინარე, სპილენძის ფუძემრეა და ნიობიუმისა და ტანტალის დანაფარებს შორის დამაკმაყოფილებელი ადჰეზიის უზრუნველყოფის თვალსაზრისით უმთავრეს როლს უნდა ასრულებდეს კრისტალური მესრების სტრუქტურულ-გეომეტრიული შესაბამისობა, რაც, უპირველეს ყოვლისა, გულისხმობს იმ სიბრტყეების გეომეტრიულ მსგავსებას, რომელთა შეზრდაც მიმდინარეობს, ხოლო მათი პერიოდების ფარდობითი განსხვავება

არ უნდა აღემატებოდეს 15%-ს. თუმცა არაერთ შემთხვევაში ურთიერთშესაუღლებელი ფაზების მესრის პერიოდებს შორის სხვაობა შეიძლება აღემატებოდეს კიდევ 15%-ს [17]. ჩვენი გამოკვლევების თანახმად, ნიობიუმის კონდენსაციის ტემპერატურაზე (500°C) მესრის პერიოდების შეუსაბამობის ხარისხი $\Delta_{\text{Cu-Nb}}=0,0907$, ხოლო ტანტალის კონდენსაციის ტემპერატურაზე (700°C) – $\Delta_{\text{Cu-Ta}}=0,0936$. იგივე მახასიათებლები ოთახის ტემპერატურაზე ტოლია:

$\Delta_{\text{Cu-Nb}}=0,0875$, $\Delta_{\text{Cu-Ta}}=0,0865$. როგორც ამ მონაცემებიდან გამომდინარეობს, კონდენსაციის პროცესის დამთავრების შემდეგ, ოთახის ტემპერატურამდე გაცივებისას, კრისტალური მესრების შეუსაბამობის ხარისხი კიდევ უფრო მცირდება, რაც გამორიცხავს მნიშვნელოვანი ნარჩენი ძაბვების დაგროვებას და დამაბული მდგომარეობის დაფიქსირებას ოთახის ტემპერატურაზე.

სტრუქტურულ-გეომეტრიული შესაბამისობის პრინციპის თანახმად, ზედაპირული ფსევდომორფიზმის შემთხვევაში ფუძემშრის კრისტალურ ველში დრეკად დეფორმაციას ზრდადი სტრუქტურა განიცდის, რის შედეგადაც ფაზათა გამყოფ საზღვარზე წარმოქმნილი ფსევდომორფული შრე დრეკადი (კოჰერენტული) დეფორმაციის ხარჯზე მესრების ურთიერთმისადაგებას შეუწყობს ხელს და ფუძემშრესთან ეპიტაქსიურ შეზრდას განაპირობებს. ფსევდომორფულ შრეში ატომთშორისი მანძილი ცვალებადია: იგი მერყეობს ფუძემშრის მახასიათებლებიდან ზრდადი ფენის ატომთშორისი მანძილის საზღვრებში, შრის სისქეს კი შესაუღლებელი ფაზების ბუნება განსაზღვრავს [17].

კრისტალური მესრის დრეკადი დეფორმაცია შეზღუდულია. ამიტომ, მიუხედავად სტრუქტურულ-გეომეტრიული შესაბამისობის მაღალი ხარისხისა, ფუძემშრისა და დანაფარის თბოფიზიკურ მახასიათებლებს შორის განსხვავების გამო (ტანტალისათვის წრფივი გაფართოების კოეფიციენტი $20-1500^{\circ}\text{C}$ დიაპაზონში შეადგენს $8 \cdot 10^{-6}$ 1/გრად [16], ნიობიუმისათვის $20-600^{\circ}\text{C}$ დიაპაზონში – $7,33 \cdot 10^{-6}$ 1/გრად. [17], ხოლო სპილენძისათვის $0-100^{\circ}\text{C}$ დიაპაზონში – $16,5 \cdot 10^{-6}$ 1/გრად [18]) კონდენსატის სისქის განუხრელი ზრდის პირობებში ფაზათა შორის სა-

ზღვარზე დამაბულობამ შეიძლება რაღაც ზღვრულ მნიშვნელობას მიაღწიოს. ამიტომ განსახილველ შემთხვევაში მიზანშეწონილია ვან დერ მერვეს მოდელის გათვალისწინებაც [19]. აქედან გამომდინარე, კონდენსირებული ფირის რაღაც კრიტიკულ სიდიდემდე გაზრდის შემთხვევაში თუ არსებობს დისლოკაციის წყარო, ფსევდომორფულ შრესა და ფუძემშრეს შორის, ზრდად ფაზაში, შეიძლება ჩამოყალიბდეს შეუსაბამობის დისლოკაცია, რაც ენერგეტიკულად უფრო მომგებიანია და ხელს შეუწყობს დრეკადი დეფორმაციის დონისა და ფაზათა გამყოფ ზედაპირზე ენერჯის შემდგომ შემცირებას. შეუსაბამობის დისლოკაციის სიმკვრივე დამოკიდებულია ურთიერთშეზრდილი ფაზების მესრების პერიოდების შეუსაბამობის ხარისხზე. რაც უფრო მეტია შეუსაბამობის ხარისხი, მით უფრო მეტია შეუსაბამობის დისლოკაციის სიმკვრივე.

ზემოთ განხილული საკითხების ანალიზი შესაძლებლობას იძლევა დავასკვნათ, რომ $300-500^{\circ}\text{C}$ ინტერვალში ნიობიუმისა და $600-750^{\circ}\text{C}$ ინტერვალში ტანტალის კონდენსაციის პირობებში ექსპერიმენტულად დადგენილი დადებითი ეფექტი განპირობებული უნდა იყოს „ფუძემშრე-კონდენსატი“ ფაზათა გამყოფ ზედაპირზე ფუძემშრესა და კონდენსირებულ ფაზას შორის კოჰერენტული ან ნახევრად კოჰერენტული სასაზღვრო ზონის ჩამოყალიბებით, რაც ოთახის ტემპერატურამდეა შენარჩუნებული. ფუძემშრესა და დანაფარს შორის შეჭიდულობის მაღალ ხარისხს უდავოდ ხელს შეუწყობს ის ფაქტიც, რომ არც ფუძემშრესა და არც კონდენსირებულ ფირებში გაცივების პროცესში არ მიმდინარეობს ფაზური და სტრუქტურული გარდაქმნები.

ჩვენ შევეცადეთ აგვეხსნა სპილენძის ფუძე-შრეზე ძნელდნობადი ლითონების – ნიობიუმისა და ტანტალის ორთქლის ნაკადების კონდენსაციის პროცესში დანაფარის ფორმირების თავისებურებანი. ორთქლის ნაკადის კონდენსაციის პროცესში „ფუძეშრე-კონდენსირებული ფირი“ ფაზათა გამყოფ საზღვარზე რეალური მდგომარეობა ზემოთ აღწერილთან შედარებით ბევრად უფრო რთული შეიძლება აღმოჩნდეს. სურათს, უპირველეს ყოვლისა, ის გარემოება ართულებს, რომ ორთქლის ფაზიდან კონდენსაციის პროცესის არაწონასწორული პირობები განაპირობებს ფაზათა წარმოქმნის ტემპერატურის დაწევას, მრავალ სისტემაში მყარი ხსნარების არსებობის უბნების გაფართოებას, კვაზიეკვტუიდეობის არის და არაპროგნოზირებადი გარდამავალი სტრუქტურების ჩამოყალიბებას, რომლებიც კონტროლს არ ექვემდებარება ან ისეთი შუალედური ფაზების სინთეზს, რომლებიც მოცემულ სისტემაში წონასწორულ პირობებში საერთოდ არ არსებობს [20-22].

„ფუძეშრე-ორთქლის ნაკადი“ ფაზათა გამყოფ ზედაპირზე სიტუაცია მუდმივად იცვლება ტექნოლოგიური პარამეტრებისა და კონდენსირებადი ფირის სისქის ცვლილების შესაბამისად. გასათვალისწინებელია ის ფაქტიც, რომ ორთქლის ფაზიდან ფუძეშრეზე ატომების ადსორბცია თერმული აკომოდაციით მიმდინარეობს [13], რაც პროცესის ევოლუციურ ხასიათს განაპირობებს. ამიტომ განსახილველ შემთხვევაში ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი ფაქტორი მზარდ ფირში კონდენსაციის ფარული სიბრტყის დაგროვებაა, რაც ცვლის ფაზათა წარმოქმნის ტემპერატურულ პირობებს და პროცესს კიდევ უფრო ართულებს.

ჩატარებული ექსპერიმენტების ერთ-ერთი ძირითადი შედეგი ისაა, რომ სპილენძის ფუძეშრეზე ძნელდნობადი ლითონების – ნიობიუმისა და ტანტალის კონდენსაციის პროცესში ფაზათა ფორმირებასა და ფუძეშრესა და დანაფარს შორის ადჰეზიის ხარისხზე არსებით გავლენას ახდენს ფუძეშრისა და კონდენსირებული ფაზების სტრუქტურული და გეომეტრიული ფაქტორები, აგრეთვე კონდენსაციის ტემპერატურა, რომლის ოპტიმალური მნიშვნელობა საკმაოდ ვიწრო დიაპაზონით არის შემოსაზღვრული.

დასკვნა

1. შესწავლილია გრადიენტული ტემპერატურის მქონე სპილენძის ფუძეშრეზე კონდენსირებული ნიობიუმისა და ტანტალის დანაფარების ზედაპირის მაკროსტრუქტურა და განივი კვეთის მიკროსტრუქტურები. ტანტალის კონდენსატებში გამომჟღავნებულია ერთმანეთისგან შეფერილობით განსხვავებული ორი სტრუქტურული ზონა. პირველ, დაბალტემპერატურულ ზონაში, კონდენსატის შეფერილობა მოვერცხლისფროა. კონდენსაციის ტემპერატურის გაზრდასთან ერთად იგი მუქ შეფერილობაში გადადის და ~530°C-ის ზემოთ შავით იცვლება;

2. რენტგენოსტრუქტურული ანალიზით დადგენილია, რომ სპილენძის გრადიენტულ ფუძეშრეზე კონდენსირებული მოვერცხლისფრო და შავი შეფერილობის ტანტალის დანაფარების ფაზური შედგენილობა იდენტურია, თუმცა 2θ=91-124 კუთხეების დიაპაზონში გამომჟღავნებულია რენტგენოსტრუქტურულად ამორფული, წვრილდისპერსიული სტრუქტურული შემდგენის არსებობაც;

3. ლიტერატურული წყაროების ანალიზის საფუძველზე გამოთქმულია ვარაუდი, რომ ტანტალის კონდენსატის შავი შეფერილობა მეორე სტრუქტურულ ზონაში დაკავშირებულია წყობის საკუთარი დეფექტების არსებობასთან;

4. დადგენილია ორთქლის ნაკადის კონდენსაციის ოპტიმალური ტემპერატურული დიაპაზონები, რომლებიც უზრუნველყოფს სპილენძის ფუძემშრესთან დანაფარების საუკეთესო შეჭიდულობას. ნიობიუმის კონდენსატისათვის იგი შეადგენს 300-500°C, ხოლო ტანტალის კონდენსატისათვის – 600-750°C; დანაფარები უძლებს 13-14 ნიშანცვლად გადალუნვას ±180 გრადუსით პირველი ბზარის წარმოქმნამდე. ნიმუშის მთლიანობის დარღვევის შემდეგ კონდენსატის ამრევება არ შეინიშნება;

5. გამოვლილია სპილენძის, ნიობიუმისა და ტანტალის კრისტალური მესრების შეუსაბამობის ხარისხი, რომელიც შეადგენს: კონდენსაციის ტემპერატურაზე – $\Delta_{\text{Cu-Nb}}=0,0907$; $\Delta_{\text{Cu-Ta}}=0,0936$; ოთახის ტემპერატურაზე – $\Delta_{\text{Cu-Nb}}=0,0875$, $\Delta_{\text{Cu-Ta}}=0,0865$. კრისტალურ მესრებს შორის ასეთი უმნიშვნელო შეუსაბამობის ხარისხი საფუძველს იძლევა დავასკვნათ, რომ სპილენძის ფუძემშრეზე ნიობიუმისა და ტანტალის კონდენსაციის პროცესში ფაზათა ფორმირებისა და ფუძემშრესა და დანაფარს შორის ადპეზიის ხარისხზე არსებით გავლენას ახდენს როგორც კონდენსაციის ტემპერატურა, ისე ფუძემშრისა და კონდენსირებული ფაზების სტრუქტურული და გეომეტრიული ფაქტორები.

ლიტერატურა

1. Mattox D. M. Handbook of Physical Vapor Deposition (PVD) processing. Noyes Publications. 1998, 945 p.
2. Bunshah R. F. Handbook of deposition technologies for films and coatings. Noyes Publications. 1994, 888 p.
3. Arshi N., Lu J., Chan Gyu Lee, Jae Hong Yoon, Bon Heun Koo, Ahmed F. Thickness effect on properties of titanium film deposited by d.c.magnetron sputtering and electron beam evaporation techniques. Bull. Mater. Sci., Vol. 36. No. 5. 2013, 807-812 pp.
4. The Copper advantage. A guide to working with Copper and Copper alloys. URL: www.antimicrobialcopper.com
5. Michel J. Introduction to Copper and Copper alloys. Copper Development Association Inc. 2013.
6. Klaver T.P.C., Thijsse B.J. Molecular dynamics simulations of Cu/Ta and Ta/Cu thin film growth. Journal of computer-aided materials design. 10: 2003, 61-74 pp.
7. Maslov A.A., Ostvald R.V., Shagalov V.V., Maslova E.S., Gorenyuk Yu. S. Chemical technology of Niobium and Tantalum. Isdatelstvo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. 2010, 5-17 pp. (in Russian).
8. "Tantalum coatings. UTL: <https://npozp.ru/razrab/cvdpokr/28-ta> (in Russian)
9. URL: <http://metal-archive.ru/osnovy-metallurgii/1638-niobiy-i-tantal.html> (in Russian).
10. Okrosashvili M.N., Razmadze G.L., Lomaia T.P., Loladze T.O., Peikrishvili A.B. Technology of obtaining Ni, Nb and Ta coatings on Aluminum substrate. Transactions of GTU. #3 (497). Tbilisi. 2015, 161-175 pp. (in Russian).
11. Barvinok V.A. Control of the stress state and properties of Plasma coatings. M.: "Mashinostroenie". 1990, 384 p. (in Russian).
12. Palatnik L.S., Sorokin V.K. Materials science and microelectronics. M.: "Energiya". 1978, 277 p. (in Russian).
13. Strickland-Constable R.F. Kinetic and mechanism of chystallization. Leningrad. "Nedra". 1971, 310 p. (in Russian).

14. Kosevich V. M., Karpovskyi F.V., Kosmachev S.M., Klimenko V.N. Growth surface as a generator of vacancies under vacuum condensation. Rost Kristallov Proceedings. №19. 1991, 22-39 pp. (in Russian).
15. Ruykorararn R., Sites J.R. Crystallization of Zirconia films by thermal annealing. J. Sci and Technol. A4. №3, Pt.1. 1986, 568-571 pp.
16. Barabash O.M., Koval Yu.N. Structure and properties of metals and alloys. Crystal structure of metals and alloys. Handbook. Kiev. "Naukova Dumka". 1996, 598 p. (in Russian).
17. Maltsev M.V. Metallography of industrial non-ferrous metals and alloys. M.: "Metallurgiya". 1970, 368 p. (in Russian).
18. Van der Merwe J. H. Monocrystalline films. M.: "Mir". 1966, 172 p. (in Russian).
19. Okrosashvili M., Kutelia E., Makharadze T., Topuria M., Peikrishvili A. Phase formation at the condensation of a vapor stream and associated diffusion reaction. Surface engineering. Proceedings of the 5th international surface engineering congress. Ohio. 2006, 102-105 pp.
20. Okrosashvili M.N., Kutelia E.R., Kopaleishvili V.P. Study of phase formation processes in condensates of the Ti-Cu system obtained from the vapor state. Fizika metallov i metallovedenie. Vol. 80. #6. Nauka. 1995, 60-66 pp. (in Russian).
21. Palatnik L.S., Sorokin V.K. Fundamentals of semiconductor film materials science. M.: "Energiya". 1973, 294 p. (in Russian).

UDC 669:187.526.001.5

SCOPUS CODE 2501

DOI: <https://doi.org/10.36073/1512-0996-2019-3-98-110>

Technology for obtaining of Niobium and Tantalum coatings on the copper Substrate

Khatia Ananiashvili Department of Metallurgy, Metals Science and Metal Processing, Georgian Technical University, 69 M. Kostava str, 0160 Tbilisi, Georgia
E-mail: kh.ananiashvili@gtu.ge

Mikheil Okrosashvili Department of Metallurgy, Metals Science and Metal Processing, Georgian Technical University, 69 M. Kostava str, 0160 Tbilisi, Georgia
E-mail: m.okrosashvili@gtu.ge

Tamar Loladze Department of Metallurgy, Metals Science and Metal Processing, Georgian Technical University, 69 M. Kostava str, 0160 Tbilisi, Georgia
E-mail: t.loladze@gtu.ge

Reviewers:

D. Nozadze, Professor, Faculty of Chemical Technology and Metallurgy, GTU
E-mail: d.nozadze@gtu.ge

V. Gordeladze, Associate Professor, Faculty of Chemical Technology and Metallurgy, GTU
E-mail: v.gordeladze@gtu.ge

The research was supported by Shota Rustaveli National Science Foundation of Georgia (SRNSFG) [PHDF-18-736, Development of the Technology for Obtaining of Functional Coatings on the Special Substrate]

Abstract. The work is aimed at the development of technology for obtaining of coatings of refractory metals - Niobium and Tantalum on a Copper substrate, by evaporating the starting material with an electron beam and further condensation of a vapor stream. The macrostructure and the microstructure of the cross section, the phase composition of the coatings, obtained on the gradient substrate, and the degree of adhesion of the condensate to the substrate have been studied. The optimum temperature ranges of the substrate, which provide the best adhesion of coatings to a Copper substrate, are determined. For Niobium condensate it is 300-500°C, and for Tantalum condensate it is 600-750°C. The degree of mismatch between the crystal lattices of Copper, Niobium and Tantalum was calculated. Respectively it was concluded that the condensation temperature, structural and geometric factors of the substrate and condensed phases sufficiently affect the phase composition and degree of adhesion of the condensate to the substrate during the condensation of Niobium and Tantalum on the Copper substrate.

Key words: Coating; Copper substrate; electron beam; evaporation and condensation.

UDC 669:187.526.001.5

SCOPUS CODE 2501

DOI: <https://doi.org/10.36073/1512-0996-2019-3-98-110>

Технология получения ниобиевых и танталовых покрытий на медной подложке

Хатია Ананиашвили Департамент металлургии, материаловедения и обработки металлов, Грузинский технический университет, Грузия, 0160, Тбилиси, ул. М. Костава, 69
E-mail: kh.ananiashvili@gtu.ge

Михаил Окросашвили Департамент металлургии, материаловедения и обработки металлов, Грузинский технический университет, Грузия, 0160, Тбилиси, ул. М. Костава, 69
E-mail: m.okrosashvili@gtu.ge

Тамар Лоладзе Департамент металлургии, материаловедения и обработки металлов, Грузинский технический университет, Грузия, 0160, Тбилиси, ул. М. Костава, 69
E-mail: t.loladze@gtu.ge

Рецензенты:

Д. Нозадзе, профессор факультета химической технологии и металлургии ГТУ
E-mail: d.nozadze@gtu.ge

В. Горделадзе, ассоциированный профессор факультета химической технологии и металлургии ГТУ
E-mail: v.gordeladze@gtu.ge

„Исследование осуществилось при финансовой поддержке Национального научного фонда Грузии им. Шота Руставели (SRNSFG) [PHDF–18–736, Разработка технологии получения функциональных покрытий на подложке специального назначения]“.

Аннотация. Работа посвящена разработке технологии получения покрытий тугоплавких металлов - ниобия и тантала на медной подложке путем испарения исходного материала электронным лучом и последующей конденсацией потока пара. Изучены макроструктура и микроструктура поперечного сечения, фазовый состав покрытий, полученных на градиентной подложке и степень адгезии конденсата с подложкой. Определены оптимальные температурные диапазоны подложки, которые обеспечивают лучшую адгезию покрытий с медной подложкой. Для конденсата ниобия это 300-500°C, а для конденсата тантала - 600-750°C. Вычислена степень несоответствия кристаллических решеток меди, ниобия и тантала, на основе чего сделан вывод, что в процессе конденсации ниобия и тантала на медной подложке на фазовый состав, а также степень адгезии конденсата с подложкой существенно влияет как температура конденсации, так и структурные и геометрические факторы подложки и конденсированных фаз.

Ключевые слова: испарение и конденсация; медная подложка; покрытие; электронный луч.

განხილვის თარიღი 22.04.2019

შემოსვლის თარიღი 25.04.2019

ხელმოწერილია დასაბეჭდად 24.10.2019

UDC 621.397.2

SCOPUS CODE 2610

DOI: <https://doi.org/10.36073/1512-0996-2019-3-111-120>

თერმოდრეკადობის თეორიის სტაციონარული რხევის სასაზღვრო ამოცანების ამონახსნის ერთადერთობის თეორემა

თინათინ კაპანაძე მათემატიკის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 77
E-mail: tinatin.kapanaZe@gmail.com

რეცენზენტები:

ს. ხარიბეგაშვილი, სტუ-ის ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის პროფესორი
E-mail: kharibegashvili@yahoo.com

ლ. ზინაძე, ი. ვეკუას სახელობის გამოყენებითი მათემატიკის ინსტიტუტის მეცნიერი თანამშრომელი
E-mail: lamarabits@yahoo.com

ანოტაცია. ინტერესს იწვევს თერმოდრეკადობის თეორიის სტაციონარული რხევის (ფსევდორხევის, როცა რხევის სიხშირე $\sigma = \sigma_1 + i\sigma_2$, $\sigma_2 > 0$, $\sigma_1 \in \mathbb{R}$) ძირითადი, დირიხლესა და ნეიმანის სასაზღვრო ამოცანები, როდესაც საზღვარზე მოცემულია $U = (u, w, \omega, v, \theta)^T$ ვექტორის ზღვრული მნიშვნელობა (დირიხლეს ამოცანა), სადაც $u = (u_1, u_2)^T$ გადაადგილების ვექტორია, $w = (w_1, w_2)^T$ – მიკროტემპერატურის ვექტორი, ω – მიკრობრუნვის ფუნქცია, v – მიკროდაჭიმულობის ფუნქცია, θ – ტემპერატურის ცვლილება, $T_0 (T_0 > 0)$ ფიქსირებული ტემპერატურიდან. ნეიმანის ამოცანის შემთხვევაში საზღვარზე მოცემულია განზოგადებული თერმოდრეკადობის ზღვრული მნიშვნელობა.

ძირითადი დიფერენციალური განტოლებების ერთგვაროვანი სისტემის შესაბამისი გრინის ფორ-

მულების გამოყენებით მტკიცდება დირიხლესა და ნეიმანის სასაზღვრო ამოცანების ამონახსნის ერთადერთობის თეორემები, კერძოდ ის, რომ თუ დირიხლესა და ნეიმანის როგორც შიგა, ისე გარე ამოცანებს აქვთ ამონახსნი, მაშინ იგი ერთადერთია.

საკვანძო სიტყვები: მიკროტემპერატურა; რხევის სიხშირე; სტაციონარული რხევა; ფსევდორხევა.

შესავალი

კლასიკური დრეკადობის მათემატიკური მოდელი არ ითვალისწინებს ტემპერატურულ ცვლილებებს, მაგრამ სხეულის დეფორმაციას თან სდევს ტემპერატურის ცვლილება, ხოლო ტემპერატურის ცვლილებას მაშინაც კი, როცა სხეულზე არ მოქმე-

დებს გარე ძალები, თან სდევს მისი დეფორმაცია. განხილულია დრეკადობის თეორიის ისეთი მოდელი, როცა ტემპერატურული ცვლილების გარდა გათვალისწინებულია სხვადასხვა ველი, კერძოდ მიკროტემპერატურული, მიკრობრუნვის და მიკროდაჭიმულობის ველები.

ნაშრომში განიხილულია სტაციონარული რხევის შემთხვევა, როცა სიხშირე $\sigma = \sigma_1 + i\sigma_2$, $\sigma_2 > 0$, $\sigma_1 \in \mathbb{R}$ კომპლექსური პარამეტრია, ე.ი. განიხილულია

ფსევდორხევა. შესწავლილია დირიხლესა და ნეიმანის სასაზღვრო ამოცანების ამონახსნის ერთადერთობის თეორემები. ამ მიზნით მიღებულია მოდელის შესაბამის დიფერენციალურ განტოლებათა ერთგვაროვანი სისტემისათვის გრინის ფორმულები, რომელთა საშუალებითაც დამტკიცებულია, რომ თუ დირიხლესა და ნეიმანის, როგორც შიგა, ისე გარე ამოცანებს აქვს ამონახსნი, მაშინ იგი ერთადერთია.

ძირითადი ნაწილი

თერმოდრეკადობის თეორიის სტაციონარული რხევის დიფერენციალურ განტოლებათა ერთგვაროვან სისტემას, მიკროდაჭიმულობის, მიკროტემპერატურისა და მიკრობრუნვის გათვალისწინებით აქვს შემდეგი სახე [1]

$$[(\mu + \kappa)\Delta + \rho\sigma^2]u + (\lambda + \mu)grad\operatorname{div}u - \kappa\operatorname{rot}\omega + \mu_0\operatorname{grad}v - \beta_0\operatorname{grad}\theta = 0, \quad (1)$$

$$(\kappa_6 + \kappa_0)w + (\kappa_4 + \kappa_5)grad\operatorname{div}w + i\sigma\mu_1\operatorname{rot}\omega + i\sigma\mu_2\operatorname{grad}v - \kappa_3\operatorname{grad}\theta = 0 \quad (2)$$

$$(\gamma\Delta + \delta)\omega + 2\kappa\omega + \kappa\operatorname{rot}u - \mu_1\operatorname{rot}w = 0 \quad (3)$$

$$(\alpha_0\Delta - \eta_0)v - \mu_0\operatorname{div}u - \mu_2\operatorname{div}w + \beta_1\theta = 0, \quad (4)$$

$$(\kappa_7\Delta + i\sigma C)\theta + i\beta_0T_0\sigma\operatorname{div}u + \kappa_1\operatorname{div}w + i\beta_1T_0\sigma v = 0, \quad (5)$$

სადაც Δ არის ლაპლასის ორგანზომილებიანი დიფერენციალური ოპერატორი, $u = (u_1, u_2)^T$ – გადაადგილების ვექტორი, Γ ტრანსპორტირების სიმბოლოა. $w = (w_1, w_2)^T$ არის მიკროტემპერატურის ვექტორი, ω – მიკრობრუნვის ფუნქცია, v – მიკროდაჭიმულობის ფუნქცია, θ – ტემპერატურის ცვლილება $T_0 (T_0 > 0)$ ფიქსირებული ტემპერატურიდან, $\sigma = \sigma_1 + i\sigma_2$, $\sigma_2 > 0$, $\sigma_1 \in \mathbb{R}$ რხევის სიხშირეა, $c = aT_0$, $\kappa_0 = i\sigma b - \kappa_2$, $\sigma = I_1\sigma^2 - 2\kappa$; $\eta_0^2 = I_1\sigma^2 - \eta$, $a, b, I, I_1, \gamma, \lambda, \mu, \kappa, \eta, \beta_0, \beta_1, \mu_0, \mu_1, \mu_2, a_0, \kappa_j, j = 1, 2, \dots, 7$, ნამდვილი მუდმივებია, რომლებიც განსაზღვრავს სხეულის მექანიკურ და ტემპერატურულ თვისებებს. ეს მუდმივები აკმაყოფილებს შემდეგ უტოლობებს [1], [2]

$$a_0 > 0, \mu > 0, \eta > 0, \gamma > 0, \kappa > 0, 2\lambda + 2\mu + \kappa - 2\mu_0^2 > 0, a_0\gamma - b_0^2 > 0, \kappa_7 > 0, (\kappa_1 + \kappa_3T_0)^2 \leq 4T_0\kappa_2\kappa_7, \quad (6)$$

$$\kappa_6 \pm \kappa_5 \geq 0, 2\kappa_4 + \kappa_5 + \kappa_6 > 0, \mu + \lambda > 0.$$

(1)–(5) სისტემაში შემოღებულია შემდეგი აღნიშვნები:

$$\begin{aligned} \text{rot} &:= \left(-\frac{\partial}{\partial x_2}, \frac{\partial}{\partial x_1} \right)^T, \text{rot}\omega := \left(-\frac{\partial\omega}{\partial x_2}, \frac{\partial\omega}{\partial x_1} \right)^T \\ \text{rot}u &:= \frac{\partial u_2}{\partial x_1} - \frac{\partial u_1}{\partial x_2}, \text{rot}w := \frac{\partial w_2}{\partial x_1} - \frac{\partial w_1}{\partial x_2}, \end{aligned}$$

ამ ტოლობებიდან ვღებულობთ, რომ

$$\begin{aligned} \text{rotrot}\omega &= \Delta\omega, \text{rotrot}u = \Delta u - \text{graddiv}u, \\ \text{rotgrad} &= 0, \text{divrot} = 0. \end{aligned}$$

განზოგადებულ თერმოდინამიკის ვექტორს აქვს შემდეგი სახე [1], [3]

$$P(\partial, n)U = (T^{(1)}(\partial, n)U, T^{(2)}(\partial, n)U, T^{(3)}(\partial, n)U, T^{(4)}(\partial, n)U, T^{(5)}(\partial, n)U)^T, \quad (7)$$

სადაც

$$\begin{aligned} T^{(1)}(\partial, n)U &:= (2\mu + \kappa) \frac{\partial u}{\partial n} + \lambda n \text{div}u - (\mu \text{rot}u + \kappa\omega)s + (\mu_0 v - \beta_0 \theta)n, \\ T^{(2)}(\partial, n)U &:= (\kappa_5 + \kappa_6) \frac{\partial w}{\partial n} + \kappa_4 n \text{div}w - \kappa_5 s \text{rot}w, \\ T^{(3)}(\partial, n)U &:= \gamma \frac{\partial\omega}{\partial n} - \mu_1 (s \cdot w) - b_0 (s \cdot \text{grad}v), \\ T^{(4)}(\partial, n)U &:= a_0 \frac{\partial v}{\partial n} - \mu_2 (n \cdot w) + b_0 (s \cdot \text{grad}\omega), \\ T^{(5)}(\partial, n)U &:= \mu_7 \frac{\partial\theta}{\partial n} + \kappa_1 (n \cdot w). \end{aligned} \quad (8)$$

აქ $n = (n_1, n_2)^T, s = (-n_2, n_1)^T, b_0$ გარკვეული მუდმივაა,

$$\frac{\partial}{\partial n} = n_1 \frac{\partial}{\partial x_1} + n_2 \frac{\partial}{\partial x_2}, \text{ არის } n = (n_1, n_2)^T \text{ ნორმალის მიმართულებით წარმოებული.}$$

ვთქვათ Ω^+ არის ორგანზომილებიანი სასრული არე, რომელიც შემოსაზღვრულია $\partial\Omega$ შეკრული წირით, $\Omega^- = R^2 \setminus \Omega^+$.

ამოცანა. ვიპოვოთ $\Omega^+ (\Omega^-)$ არეში (1)–(5) სისტემის ისეთი რეგულარული $U = (u, w, \omega, v, \theta)^T$ ამონახსნი, რომელიც $\partial\Omega$ საზღვარზე აკმაყოფილებს შემდეგი სასაზღვრო პირობებიდან ერთ-ერთს:

$$\begin{aligned} (I)^\pm \text{ (დირიხლეს ამოცანა)} \\ \{U(z)\}^+ = f(z), \{U(z)\}^- = f(z), \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} (II)^\pm \text{ (ნეიმანის ამოცანა)} \\ \{P(\partial, n)U(z)\}^+ = f(z), \{P(\partial, n)U(z)\}^- = f(z), \end{aligned} \quad (10)$$

სადაც

$$f = (f^{(1)}, f^{(2)}, f_3, f_4, f_5)^T, f^{(j)} = (f_1^{(j)}, f_2^{(j)})^T, j = 1, 2,$$

$f_k^{(j)}, k, j = 1, 2, f_l, l = 3, 4, 5$ მახვილვარზე მოცემული ფუნქციებია, $n(z)$ არის $z \in \partial\Omega$ წერტილში გავლებული Ω^+ არის მიმართ გარე ნორმალის ორტი. $P(\partial, n)U$ თერმოდამბვის ვექტორია, რომელიც განსაზღვრულია (7) ფორმულით.

გარე ამოცანების შემთხვევაში, უსასრულოდ დაშორებული წერტილის მახლობლობაში $U(x)$ ვექტორი უნდა აკმაყოფილებდეს ქრობის შემდეგ პირობებს:

$$U(x) = O(|x|^{-1}), \partial_k U(x) = o(|x|^{-1}), k = 1, 2. \quad (11)$$

თეორემა. თუ $(I^\sigma)^\pm, (II^\sigma)^\pm$ ამოცანებს აქვს ამონახსნი, მაშინ იგი ერთადერთია.

დამტკიცება. თეორემა დამტკიცებული იქნება, თუ ვაჩვენებთ, რომ შესაბამის ერთგვაროვან $(I^\sigma)^\pm$ და $(II^\sigma)^\pm$ ($f(z) = 0, z \in \partial\Omega$) ამოცანებს აქვს მხოლოდ ტრივიალური ამონახსნი.

(1) ტოლობის ორივე მხარე სკალარულად გავამრავლოთ U ვექტორის კომპლექსურად შეუღლებულ \bar{U} ვექტორზე, (2) ტოლობის კომპლექსურად შეუღლებული გამოსახულება სკალარულად გავამრავლოთ w ვექტორზე,

(3) ტოლობის ორივე მხარე ალგებრულად გავამრავლოთ $\omega(x)$ ფუნქციის კომპლექსურად შეუღლებულ $\bar{\omega}(x)$ ფუნქციაზე, (4) ტოლობის ორივე მხარე ალგებრულად გავამრავლოთ $v(x)$ ფუნქციის კომპლექსურად შეუღლებულ $\bar{v}(x)$ ფუნქციაზე, (5) ტოლობის კომპლექსურად შეუღლებული გამოსახულება სკალარულად გავამრავლოთ $\theta(x)$ ფუნქციაზე და ვაინტეგრირებთ $\Omega^+(\Omega^-)$ არეზე. თუ ვისარგებლებთ სტოქსის ფორმულით, მივიღებთ

$$\begin{aligned} & \pm \int_{\partial\Omega} \{\bar{u}(z) \cdot T^{(1)}(\partial, n)U(z)\}^\pm ds - \int_{\Omega^\pm} [E^{(1)}(\bar{u}, u) + \rho\sigma^2 |u(x)|^2 + \\ & + \mu_0 v(x) \operatorname{div} \bar{u}(x) - \beta_0 \theta(x) \operatorname{div} \bar{u}(x) - \kappa \omega \operatorname{rot} \bar{u}(x)] dx = 0 \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} & \pm \int_{\partial\Omega} \{\bar{w}(z) \cdot T^{(2)}(\partial, n)\bar{U}(z)\}^\pm ds - \int_{\Omega^\pm} [E^{(2)}(\bar{w}, w) - \kappa_0 |w(x)|^2 + \\ & + i\bar{\sigma}\mu_1 w(x) \operatorname{rot} \bar{\omega}(x) + i\bar{\sigma}\mu_2 w(x) \operatorname{grad} \bar{v}(x) + \kappa_3 w(x) \operatorname{grad} \bar{\theta}(x)] dx = 0 \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} & \pm \int_{\partial\Omega} \{\bar{\omega}(z) \cdot T^{(3)}(\partial, n)U(z)\}^\pm ds - \int_{\Omega^\pm} [\gamma | \operatorname{grad} \omega(x) |^2 + -\delta | \omega(x) |^2 - 2\kappa \omega^2 - \\ & - \kappa \bar{\omega}(x) \operatorname{rot} u(x) - \mu_1 w(x) \operatorname{rot} \bar{\omega}(x) - b_0 \operatorname{grad} v(x) \operatorname{rot} \bar{\omega}(x)] dx = 0 \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} & \pm \int_{\partial\Omega} \{\bar{v}(z) \cdot T^{(4)}(\partial, n)U(z)\}^\pm ds - \int_{\Omega^\pm} [a_0 | \operatorname{grad} v(x) |^2 - \eta_0 | v(x) |^2 + \\ & + \mu_0 \bar{v}(x) \operatorname{div} u(x) - \beta_1 \bar{v}(x) \theta(x) - \mu_2 w(x) \operatorname{grad} \bar{v}(x) \cdot \operatorname{rot} \omega(x)] dx = 0 \end{aligned} \quad (15)$$

$$\pm \int_{\partial\Omega} \{\theta(z) \cdot T^{(5)}(\partial, n)\bar{U}(z)\}^{\pm} ds - \int_{\Omega^{\pm}} [\kappa_7 |grad\theta(x)|^2 + \kappa_1 \bar{w}(x) grad\theta(x) + i\bar{\sigma}c |\theta(x)|^2 + i\bar{\sigma}\beta_0 T_0 \theta(x) div\bar{u}(x) + i\bar{\sigma}\beta_1 T_0 \theta(x) \bar{v}(x)] dx = 0 \quad (16)$$

სადაც \bar{U} -თი აღნიშნულია U ვექტორის კომპლექსურად შეუღლებული ვექტორი. $E^{(1)}(\bar{u}, u)$ და $E^{(1)}(\bar{w}, w)$ კვადრატული ფორმები მოცემულია შემდეგი ფორმულებით:

$$E^{(1)}(\bar{u}, u) dx = \frac{2\lambda + 2\mu + \kappa}{2} |divu|^2 + \frac{2\mu + \kappa}{2} \left[\left| \frac{\partial u_2}{\partial x_1} + \frac{\partial u_1}{\partial x_2} \right|^2 + \left| \frac{\partial u_1}{\partial x_1} + \frac{\partial u_2}{\partial x_2} \right|^2 \right] + \frac{\kappa}{2} |rotu|^2$$

$$E^{(2)}(\bar{w}, w) = \frac{2\kappa_4 + \kappa_5 + \kappa_6}{2} |divw|^2 + \frac{\kappa_5 + \kappa_6}{2} \left[\left| \frac{\partial w_1}{\partial x_2} + \frac{\partial w_2}{\partial x_1} \right|^2 + \left| \frac{\partial w_1}{\partial x_1} - \frac{\partial w_2}{\partial x_2} \right|^2 \right] + \frac{\kappa_6 - \kappa_5}{2} |rotw|^2$$

თუ (12)–(16) ტოლობებში გავითვალისწინებთ $(I_h^{\pm}, (II_h^{\pm})$ ერთგვაროვანი ($f(z)=0, z \in \partial\Omega$) ამოცანების სასაზღვრო პირობებს, კერძოდ

$$\{ \bar{U}(z) \}^{\pm} = 0, \{ w(z) \}^{\pm} = 0, \{ \bar{\alpha}(z) \}^{\pm} = 0, \{ \bar{v}(z) \}^{\pm} = 0, \{ \theta(z) \}^{\pm} = 0, \\ \{ T^{(j)}(\partial, n)U(z) \}^{\pm} = 0, \quad j=1,3,4, T^{(j)}(\partial, n)\bar{U}(z) = 0, \quad j=2,5,$$

მაშინ $\partial\Omega$ საზღვარზე გავრცელებული ინტეგრალები ტოლი იქნება ნულის, რის გამოც (12)–(16) ტოლობები ასე გადაიწერება:

$$\int_{\Omega^{\pm}} [E^{(1)}(\bar{u}, u) + \mu_0 v(x) div\bar{u}(x) - \beta_0 \theta(x) div\bar{u}(x) - \rho\sigma^2 |u(x)|^2 - \kappa\omega(x) rot\bar{u}(x)] dx = 0 \quad (17)$$

$$\int_{\Omega^{\pm}} [E^{(2)}(\bar{w}, w) + \kappa_0 |w(x)|^2 + i\bar{\sigma}\mu_1 w(x) \cdot rot\bar{\omega}(x) + i\bar{\sigma}\mu_2 w(x) \cdot grad\bar{v}(x) + \kappa_3 w(x) \cdot grad\bar{\theta}(x)] dx = 0, \quad (18)$$

$$\int_{\Omega^{\pm}} [\gamma |grad\omega(x)|^2 - \delta |\omega(x)|^2 - \kappa\bar{\omega}(x) rotu(x) - \mu_1 w(x) \cdot rot\bar{\omega}(x) - b_0 gradv(x) \cdot rot\bar{\omega}(x)] dx = 0, \quad (19)$$

$$\int_{\Omega^{\pm}} [a_0 | \text{grad} v(x) |^2 - \eta_0 | v(x) |^2 + \mu_0 \bar{v}(x) \text{div} u(x) - \beta_1 \bar{v}(x) \theta(x) - \mu_2 w(x) \cdot \text{grad} \bar{v}(x) - b_0 \text{grad} \bar{v}(x) \cdot \text{rot} \omega(x)] dx = 0 \quad (20)$$

$$\int_{\Omega^{\pm}} [\kappa_7 | \text{grad} \theta(x) |^2 + \kappa_1 \bar{w}(x) \cdot \text{grad} \theta(x) + i \bar{\sigma} c | \theta(x) |^2 + i \bar{\sigma} \beta_0 T_0 \theta(x) \text{div} \bar{u}(x) + i \bar{\sigma} \beta_1 T_0 \theta(x) \bar{v}(x)] dx = 0 \quad (21)$$

(17), (19), (20) განტოლებების ორივე მხარე გავამრავლოთ $i \bar{\sigma}$ -ზე, (21) განტოლების ორივე მხარე კი $\frac{1}{T_0}$ -ზე და შევკრიბოთ (18) ტოლობასთან ერთად, მივიღებთ:

$$\int_{\Omega^{\pm}} [i \bar{\sigma} E^{(1)}(\bar{u}, u) + E^{(2)}(\bar{w}, w) - i \bar{\sigma} \sigma^2 \rho | u |^2 - \kappa_0 | w |^2 - i \bar{\sigma} \delta | \omega |^2 + i \bar{\sigma} a_0 | \text{grad} v |^2 + \frac{\kappa_7}{T_0} | \text{grad} \theta |^2 + i \bar{\sigma} \mu_0 (v \text{div} \bar{u} + \bar{v} \text{div} u) - i \bar{\sigma} \kappa (\omega \text{rot} \bar{u} + \bar{\omega} \text{rot} u) + \kappa_3 w \cdot \text{grad} \bar{\theta} + \frac{\kappa_1}{T_0} \bar{w} \cdot \text{grad} \theta - i \bar{\sigma} b_0 (\text{grad} \bar{v}(x) \text{rot} \omega(x) + \text{grad} v(x) \text{rot} \bar{\omega}(x)) - i \bar{\sigma} \eta_0 | v |^2 + \frac{i \bar{\sigma}}{T_0} | \theta |^2 - i \bar{\sigma} \gamma | \text{grad}(\omega) |^2(x)] dx = 0 \quad (22)$$

შევნიშნოთ, რომ

$$i \bar{\sigma} \sigma^2 = (-\sigma_2 + i \sigma_1) | \sigma |^2, \quad \bar{\kappa}_0 = -(\kappa_2 + \sigma_2 b) - i \sigma_1 b, \quad (23)$$

(22) ტოლობიდან (23)-ის გათვალისწინებით გამოვყოთ ნამდვილი ნაწილი, მივიღებთ:

$$\int_{\Omega^{\pm}} [\sigma_2 E^{(1)}(\bar{u}, u) + E^{(2)}(\bar{w}, w) - \rho \sigma_2 | \sigma |^2 | u |^2 + (\sigma_2 b + \kappa_2) | w |^2 + \sigma_2 (I_1 | \sigma |^2 + 2\kappa) | \omega |^2 + \sigma_2 a_0 | \text{grad} v |^2 + \frac{\kappa_7}{T_0} | \text{grad} \theta |^2 + \sigma_2 (I | \sigma |^2 + \eta) | v |^2 + \frac{\sigma_2 c}{T_0} | \theta |^2 + \sigma_2 \mu_0 (v \text{div} \bar{u} + \bar{v} \text{div} u) + \sigma_2 \kappa (\omega \text{rot} \bar{u} + \bar{\omega} \text{rot} u) + \frac{\kappa_1 + T_0 \kappa_3}{2T_0} (w \cdot \text{grad} \bar{\theta} + \bar{w} \cdot \text{grad} \theta) + \sigma_2 \gamma | \text{grad}(\omega) |^2 - b_0 b_0 (\text{grad} \bar{v} \cdot \text{rot} \omega + \text{grad} v \cdot \text{rot} \bar{\omega})] dx = 0 \quad (24)$$

მართებულია შემდეგი ტოლობები:

1)

$$\begin{aligned} & 2\kappa |\omega|^2 - \kappa(\omega \operatorname{rot} \bar{u} + \bar{\omega} \operatorname{rot} u) + \frac{\kappa}{2} |\operatorname{rot} u|^2 = \\ & = 2\kappa \left| \omega - \frac{1}{2} \operatorname{rot} u \right|^2 \geq 0, \end{aligned}$$

2)

$$\begin{aligned} & \kappa_2 |w|^2 + \frac{\kappa_1 + T_0 \kappa_3}{2T_0} (w \cdot \operatorname{grad} \bar{\theta} + \bar{w} \cdot \operatorname{grad} \theta) + \frac{\kappa_7}{T_0} |\operatorname{grad} \theta|^2 = \\ & = \frac{4\kappa_2 \kappa_7 T_0 - (\kappa_1 + T_0 \kappa_3)^2}{4T_0 \kappa_7} |w|^2 + \frac{1}{4T_0 \kappa_7} |2\kappa_7 \operatorname{grad} \theta + (\kappa_1 + T_0 \kappa_3) w|^2 \geq 0, \end{aligned}$$

3)

(25)

$$\begin{aligned} & \frac{2\lambda + 2\mu + \kappa}{2} |\operatorname{div} u|^2 + \mu_0 (v \operatorname{div} \bar{u} + \bar{v} \operatorname{div} u) + \eta |v|^2 = \\ & = \frac{(2\lambda + 2\mu + \kappa)\eta - 2\mu_0^2}{2} |\operatorname{div} u|^2 + \frac{1}{\eta} |\eta v + \mu_0 \operatorname{div} u|^2 \geq 0, \end{aligned}$$

4)

$$\begin{aligned} & a_0 |\operatorname{grad} v|^2 - b_0 (\operatorname{grad} v \cdot \operatorname{rot} \bar{\omega} + \operatorname{grad} \bar{v} \cdot \operatorname{rot} \omega) + \\ & + \gamma \operatorname{grad} \omega|^2 = \frac{a_0 \gamma - b_0^2}{a_0} |\operatorname{rot} \omega|^2 + \frac{1}{a_0} |a_0 \operatorname{grad} v + b_0 \operatorname{rot} \omega|^2 \geq 0, \end{aligned}$$

აქ ვისარგებლეთ შემდეგი ტოლობებით:

$$\begin{aligned} & |\operatorname{grad} \omega|^2 = |\operatorname{rot} \omega|^2, \\ & E^{(1)}(\bar{u}, u) = \frac{2\lambda + 2\mu + \kappa}{2} |\operatorname{div} u|^2 + \frac{\kappa}{2} |\operatorname{rot} u|^2 + \tilde{E}^{(1)}(\bar{u}, u), \end{aligned} \tag{26}$$

სადაც

$$\tilde{E}^{(1)}(\bar{u}, u) = \frac{2\mu + \kappa}{2} \left[\left| \frac{\partial u_2}{\partial x_1} + \frac{\partial u_1}{\partial x_2} \right|^2 + \left| \frac{\partial u_1}{\partial x_1} - \frac{\partial u_2}{\partial x_2} \right|^2 \right]$$

(25) და (26) ტოლობების გათვალისწინებით (24) ტოლობა შეგვიძლია ასე გადავწეროთ:

$$\begin{aligned}
 & \int_{\Omega^{\pm}} [\sigma_2 \tilde{E}^{(1)}(\bar{u}, u) + E^{(2)}(\bar{w}, w) + \rho \sigma_2 |\sigma|^2 |u|^2 + \sigma_2 b |w|^2 + \\
 & + \sigma_2 |\sigma|^2 I_1 |\omega|^2 + \sigma_2 |\sigma|^2 I |v|^2 + \frac{\sigma_2 c}{T_0} |\theta|^2 + \\
 & + 2\kappa \sigma_2 |\omega - \frac{1}{2} \operatorname{rot} u|^2 + \frac{4\kappa_2 \kappa_7 T_0 - (\kappa_1 + T_0 \kappa_3)^2}{4T_0 \kappa_7} |w|^2 + \\
 & + \frac{1}{4T_0 \kappa_7} |2\kappa_7 \operatorname{grad} \theta + (\kappa_1 + T_0 \kappa_3) w|^2 + \frac{\sigma_2}{\eta} |\eta v + \mu_0 \operatorname{div} u|^2 \\
 & + \sigma_2 \frac{(2\lambda + 2\mu + \kappa)\eta - 2\mu_0^2}{2\eta} |\operatorname{div} u|^2 + \sigma_2 \frac{a_0 \gamma - b_0^2}{a_0} |\operatorname{rot} \omega|^2 + \\
 & + \frac{\sigma_2}{a_0} |a_0 \operatorname{grad} v + b_0 \operatorname{rot} \omega|^2 dx = 0
 \end{aligned} \tag{27}$$

6) უტოლობების თანახმად (27) ინტეგრალის ინტეგრალქვეშა ფუნქცია არაუარყოფითი სიდიდეა, ამიტომ (27) ტოლობიდან გამომდინარეობს, რომ ინტეგრალქვეშა გამოსახულება ტოლია ნულის, საიდანაც დავასკვნით, რომ:

$u(x)=0, w(x)=0, \omega(x)=0, v(x)=0, \theta(x)=0, x \in (\Omega)^+ (\Omega)^-$, რაც იმას ნიშნავს, რომ ერთგვაროვან $(\overset{\sigma}{I})^{\pm}, (\overset{\sigma}{II})^{\pm}$ ამოცანებს აქვს მხოლოდ ტრივიალური ამონახსნი, ე.ი. $(\overset{\sigma}{I})^{\pm}, (\overset{\sigma}{II})^{\pm}$ ამოცანებს ერთადერთი ამონახსნი აქვს.

დასკვნა

ნაშრომში გრინის ფორმულების გამოყენებით დამტკიცებულია დირიხლესა და ნეიმანის სასაზღვრო ამოცანების ამონახსნის ერთადერთობის თეორემები.

ლიტერატურა

1. Iesan D. Thermoelasticity of bodies with microstructure and microtemperatures. International journal of solids and structures. 44(2007) 8648-8662. 2007.
2. Iesan D. On a theory of micromorphic elastic solids with microtemperatures. Journal of thermal stresses. 24(8). 2001.
3. Giorgashvili L., Zazashvili S., Mathematical problems of thermoelasticity of bodies with microstructure and microtemperature. Transactions of A. Razmadze Mathematical Institute. V.172. Issue 1. 2018, 30-57 pp. (in Georgian).
4. Bitsadze L., Jaiani G. Theorems for the third and fourth BVPs of 2D theory of thermoelasticity with microtemperatures. Nova Science Publishers, Inc. QA431.M.36. 2012, 99-118 pp.

UDC 621.397.2

SCOPUS CODE 2610

DOI: <https://doi.org/10.36073/1512-0996-2019-3-111-120>

The Uniqueness Theorem of the boundary value problems for the stationary oscillations of the Theory of Thermoelasticity

Tinatin Kapanadze Department of Mathematics, Georgian Technical University, 77 M. Kostava str, 0160 Tbilisi, Georgia
E-mail: tinatin.kapanaZe@gmail.com

Reviewers:

S. Kharibegashvili, Professor, Faculty of Informatics and Control Systems, GTU

E-mail: kharibegashvili@yahoo.com

L. Bitsadze, Research Scientist, Ilia Vekua Institute of Applied Mathematics of Ivane Javakhishvili Tbilisi State University

E-mail: lamarabits@yahoo.com

Abstract. We consider the stationary oscillations of the micro-stretch materials with microstructure and microtemperatures. The representation formula of a general solution of the homogeneous system of differential equations obtained in the paper is expressed by means of seven metaharmonic functions. These formulas are very convenient in many particular problems for domains with concrete geometry.

Key words: Microtemperature; oscillation frequency; pseudo oscillation; stationary oscillation.

UDC 621.397.2

SCOPUS CODE 2610

DOI: <https://doi.org/10.36073/1512-0996-2019-3-111-120>**Теорема единственности решений граничных задач стационарного колебания теории термоупругости**

Тინათინ Капанაძე Департамент математики, Грузинский технический университет, Грузия, 0160, Тбилиси, ул. М. Костава, 77
E-mail: tinatin.kapanaZe@gmail.com

Рецензенты:

С. Харибегашвили, профессор факультета информатики и систем управления ГТУ
E-mail: kharibegashvili@yahoo.com

Л. Бицадзе, научный сотрудник Института прикладной математики им. И. Векуа
E-mail: lamarabits@yahoo.com

Аннотация. В работе рассматриваются основные граничные задачи стационарных колебаний теории термоупругости (псевдо -колебаний, когда частота колебаний $\sigma = \sigma_1 + i\sigma_2$, $\sigma_2 > 0$, $\sigma_1 \in \mathbb{R}$), когда на границе задано предельное значение вектора $U = (u, w, \omega, v, \theta)^T$ (задача Дирихле), где $u(x)$ – вектор перемещения, $w = (w_1, w_2)^T$ – вектор микротемпературы, $\omega(x)$ – функция микровращений, $v(x)$ – функция микрорастяжений, $\theta(x)$ – функция температуры тела. В случае задачи Неймана на границе задано предельное значение обобщенного термонапряжения.

В работе получены формулы Грина для системы однородных дифференциальных уравнений. С помощью этих формул доказаны теоремы единственности граничных задач Дирихле и Неймана. В частности доказано, что, если задача Дирихле и Неймана имеют решение, то оно единственно.

Ключевые слова: микротемпература; псевдоколебание; стационарное колебание; частота колебаний.

განხილვის თარიღი 01.04.2019

შემოსვლის თარიღი 27.05.2019

ხელმოწერილია დასაბეჭდად 24.10.2019

UDC 536.7

SCOPUS CODE 2610

DOI: <https://doi.org/10.36073/1512-0996-2019-3-121-132>

თერმოდრეკადობის თეორიის სტატიკის ძირითადი სასაზღვრო ამოცანები სხვადასხვა ველის გათვალისწინებით

სალომე ბიწაძე

მათემატიკის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 77

E-mail: Sali.bitsadze28@gmail.com

რეცენზენტები:

ს. ხარიბეგაშვილი, სტუ-ის ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის პროფესორი

E-mail: kharibegashvili@yahoo.com

ი. ცაგარელი, ი. ვეკუას სახელობის გამოყენებითი მათემატიკის ინსტიტუტის მეცნიერი თანამშრომელი

E-mail: I.Tsagareli@yahoo.com

ანოტაცია. ტემპერატურული ველისა და დეფორმაციის ველის სხვადასხვა პირობის გათვალისწინებით ვღებულობთ დრეკადობის თეორიის სხვადასხვა მოდელს, კერძოდ თერმოდრეკადობის მოდელს. საინტერესოა თერმოდრეკადობის თეორიის სტატიკის ძირითადი სასაზღვრო ამოცანები, კერძოდ დირიხლესა და ნეიმანის სასაზღვრო ამოცანები. დირიხლეს ამოცანის შემთხვევაში საზღვარზე მოცემულია გადაადგილების ვექტორის, მიკროტემპერატურის ვექტორის, მიკროობრუნვის, მიკროდაჭიმულობისა და ტემპერატურული ცვლილების ფუნქციების ზღვრული მნიშვნელობები, ხოლო ნეიმანის ამოცანის შემთხვევაში საზღვარზე მოცემულია განზოგადებული თერმოდრეკადობის ზღვრული მნიშვნელობები. მიღებულია ძირითადი დიფერენციალური განტოლებების ერთგვაროვანი სისტემის შესაბამისი გრინის ფორმულები. გრინის ფორმუ-

ლების გამოყენებით დამტკიცებულია დირიხლესა და ნეიმანის სასაზღვრო ამოცანების ამონახსნის ერთადერთობის თეორემები. კერძოდ დამტკიცებულია, რომ თუ დირიხლეს როგორც შიგა და გარე ამოცანებს, ისე ნეიმანის გარე ამოცანას აქვს ამონახსნი, მაშინ იგი ერთადერთია. რაც შეეხება ნეიმანის შიგა ამოცანას, მისი ამონახსნი განისაზღვრება გარკვეული ვექტორის შესაკრების სიზუსტით.

საკვანძო სიტყვები: მიკროობრუნვა; მიკროდაჭიმულობა; მიკროტემპერატურა; ტემპერატურული ცვლილება.

შესავალი

ნაშრომში განხილულია თერმოდრეკადობის თეორიის ის მოდელი, რომლის დეფორმაცია დაკავშირებულია მიკროტემპერატურული, მიკრო-

ბრუნვის, მიკროდაჭიმულობის ველების ზემოქმედებაზე. ამ მოდელის შესაბამისი დიფერენციალური განტოლებების სისტემისათვის შესწავლილია დირიხლესა და ნეიმანის სასაზღვრო ამოცანების ამონახსნის ერთადერთობის საკითხები, რაც ფრიად დიდი თეორიული ინტერესის საგანია ამ ამოცანების კორექტულობის შესწავლის თვალსაზრისით. მიღებულია სხვადასხვა ველის გათვალისწინებით თერმოდრეკადობის თეორიის სტატიკის დიფერენციალურ განტოლებათა ერთგვაროვანი სისტემისათვის გრინის ფორმულები. ამ ფორმულების გამოყენებით დამტკიცებულია დირიხლესა და ნეიმანის როგორც შიგა, ისე გარე ამოცანების ამონახსნის ერთადერთობის თეორემები. კერძოდ

ნაჩვენებია, რომ, თუ დირიხლეს როგორც შიგა, ისე გარე ამოცანებს, ასევე ნეიმანის გარე ამოცანას აქვს ამონახსნი, მაშინ იგი ერთადერთია. თუ ნეიმანის შიგა ამოცანას აქვს ამონახსნი, მაშინ იგი განისაზღვრება გარკვეული ვექტორის შესაკრების სიზუსტით.

ძირითადი ნაწილი

თერმოდრეკადობის თეორიის სტატიკის დიფერენციალურ განტოლებათა ერთგვაროვანი სისტემას მიკროდაჭიმულობის, მიკროტემპერატურისა და მიკრობრუნვის გათვალისწინებით აქვს შემდეგი სახე [1]

$$\begin{aligned} (\mu + \kappa)\Delta u + (\lambda + \mu)\text{grad div}u - \kappa\text{rot}\omega + \mu_0\text{grad}v - \beta_0\text{grad}\theta &= 0, \\ \kappa_6\Delta w - \kappa_2w + (\kappa_4 + \kappa_5)\text{grad div}w - \kappa_3\text{grad}\theta &= 0, \quad \gamma\Delta\omega - 2\kappa\omega + \kappa\text{rot}u - \mu_1\text{rot}w = 0, \\ a_0\Delta v - \eta v - \mu_0\text{div}u - \mu_2\text{div}w + \beta_1\theta &= 0, \quad \kappa_7\Delta\theta + \kappa_1\text{div}w = 0, \end{aligned} \tag{1}$$

სადაც Δ არის ლაპლასის ორგანზომილებიანი დიფერენციალური ოპერატორი, $u = (u_1, u_2)^T$ – გადაადგილების ვექტორი, $w = (w_1, w_2)^T$ – მიკროტემპერატურის ვექტორი, Γ ტრანსპორტირების სიმბოლოა, ω – მიკრობრუნვის ფუნქცია, v – მიკროდაჭიმულობის ფუნქცია, θ – ტემპერატურის ცვლილება $T_0 (T_0 > 0)$ ფიქსირებული ტემპერატურიდან.

$\gamma, \lambda, \mu, \kappa, \eta, \beta_0, \beta_1, \mu_0, \mu_1, \mu_2, a_0, \kappa_j, j = 1, 2, \dots, 7$ ნამდვილი მუდმივებია, რომლებიც განსაზღვრავს სხეულის მექანიკურ და ტემპერატურულ თვისებებს. ეს მუდმივები აკმაყოფილებს შემდეგ უტოლობებს: [1], [2]

$$\begin{aligned} a_0 > 0, \mu > 0, \eta > 0, \gamma > 0, \kappa > 0, 2\lambda + 2\mu + \kappa - 2\mu_0^2 > 0, a_0\gamma - b_0^2 > 0, \kappa_7 > 0, (\kappa_1 + \kappa_3T_0)^2 \leq \\ 4T_0\kappa_2\kappa_7, \kappa_6 \pm \kappa_5 \geq 0, 2\kappa_4 + \kappa_5 + \kappa_6 > 0. \end{aligned} \tag{2}$$

(1) სისტემაში შემოღებულია შემდეგი აღნიშვნები:

$$\begin{aligned} \text{rot} &:= \left(-\frac{\partial}{\partial x_2}, \frac{\partial}{\partial x_1}\right)^T, \text{rot}\omega := \left(-\frac{\partial\omega}{\partial x_2}, \frac{\partial\omega}{\partial x_1}\right)^T, \\ \text{rot}u &:= \frac{\partial u_2}{\partial x_1} - \frac{\partial u_1}{\partial x_2}, \text{rot}w = \frac{\partial w_2}{\partial x_1} - \frac{\partial w_1}{\partial x_2}. \end{aligned}$$

ვთქვათ Ω^+ არის ორგანზომილებიანი სასრული არე, რომელიც შემოსაზღვრულია $\partial\Omega$ შეკრული წი-
რით, $\Omega^- = R^2 \setminus \bar{\Omega}^+$.

ამოცანა. ვიპოვოთ $\Omega^+(\Omega^-)$ არეში (1) სისტემის ისეთი რეგულარული $U = (u, w, \omega, v, \theta)^T$ ამონახსნი,
რომელიც $\partial\Omega$ საზღვარზე აკმაყოფილებს შემდეგი სასაზღვრო პირობებიდან ერთ-ერთს

(I) $^\pm$ (დირეიხლეს ამოცანა):

$$\{U(z)\}^+ = f(z), \{U(z)\}^- = f(z), \quad (3)$$

(II) $^\pm$ (ნეიმანის ამოცანა)

$$\{P(\partial, n)U(z)\}^+ = f(z), \{P(\partial, n)U(z)\}^- = f(z), \quad (4)$$

სადაც

$$f = (f^{(1)}, f^{(2)}, f_3, f_4, f_5)^T, f^{(j)} = (f_1^{(j)}, f_2^{(j)})^T, j = 1, 2,$$

$f_k^{(j)}, k, j = 1, 2, f_l, l = 3, 4, 5$ $\partial\Omega$ საზღვარზე მოცემული ფუნქციებია, $n(z)$ არის $z \in \partial\Omega$ წერტილში
გავლებული Ω^+ არის მიმართ გარე ნორმალის ორტი. $P(\partial, n)U$ თერმოდამბვის ვექტორია, რომელსაც აქვს
შემდეგი სახე [1], [3]

$$P(\partial, n)U = (T^{(1)}(\partial, n)U, T^{(2)}(\partial, n)U, T^{(3)}(\partial, n)U, T^{(4)}(\partial, n)U, T^{(5)}(\partial, n)U)^T, \quad (5)$$

სადაც

$$\begin{aligned} T^{(1)}(\partial, n)U &:= (2\mu + \kappa) \frac{\partial u}{\partial n} + \lambda n \operatorname{div} u - (\mu \operatorname{rot} u + \kappa \omega) s + (\mu_0 v - \beta_0 \theta) n, \\ T^{(2)}(\partial, n)U &:= (\kappa_5 + \kappa_6) \frac{\partial w}{\partial n} + \kappa_4 n \operatorname{div} w - \kappa_5 s \operatorname{rot} w, \\ T^{(3)}(\partial, n)U &:= \gamma \frac{\partial \omega}{\partial n} - \mu_1 (s \cdot w) - b_0 (s \cdot \operatorname{grad} v), \\ T^{(4)}(\partial, n)U &:= a_0 \frac{\partial v}{\partial n} - \mu_2 (n \cdot w) + b_0 (s \cdot \operatorname{grad} \omega), \\ T^{(5)}(\partial, n)U &:= \mu_7 \frac{\partial \theta}{\partial n} + \kappa_1 (n \cdot w). \end{aligned} \quad (6)$$

აქ $n = (n_1, n_2)^T, s = (-n_2, n_1)^T, b_0$ გარკვეული მუდმივია,

$$\frac{\partial}{\partial n} = n_1 \frac{\partial}{\partial x_1} + n_2 \frac{\partial}{\partial x_2}, \text{ არის } n = (n_1, n_2)^T \text{ ნორმალის მიმართულებით წარმოებული.}$$

გარე ამოცანების შემთხვევაში, უსასრულოდ დაშორებული წერტილის მახლობლობაში $U(x)$ ვექტორი
უნდა აკმაყოფილებდეს ქრობის შემდეგ პირობებს:

$$U(x) = O(|x|^{-1}), \partial_k U(x) = o(|x|^{-1}), k = 1, 2. \quad (7)$$

თეორემა 1. თუ (I) $^\pm$ და (II) $^-$ ამოცანებს აქვს ამონახსნი, მაშინ იგი ერთადერთია.

დამტკიცება. თეორემა დამტკიცებული იქნება თუ ვაჩვენეთ, რომ შესაბამის ერთგვაროვან (I) $^\pm, (II)^\pm$
($f(z) = 0, z \in \partial\Omega$) ამოცანებს აქვს მხოლოდ ტრივიალური ამონახსნი.

(1) სისტემის პირველი და მეორე განტოლებების ორივე მხარე გავამრავლოთ შესაბამისად u და w ვექტორებზე სკალარულად, ხოლო მესამე, მეოთხე და მეხუთე განტოლებების ორივე მხარე ალგებრულად გავამრავლოთ შესაბამისად ω, ν, θ ფუნქციებზე და ვაინტეგრიროთ Ω^+ (Ω^-) არეზე. თუ ვისარგებლებთ სტოქსის ფორმულით, საბოლოოდ მივიღებთ გრინის შემდეგ ფორმულებს:

$$\pm \int_{\partial\Omega} \{u(z) \cdot T^{(1)}(\partial, n)U(z)\}^\pm ds - \int_{\Omega^\pm} [E^{(1)}(u, u) + \mu_0 \nu \operatorname{div} u - \beta_0 \theta \operatorname{div} u - \kappa \omega \operatorname{rot} u] dx = 0, \quad (8)$$

$$\pm \int_{\partial\Omega} \{w(z) \cdot T^{(2)}(\partial, n)U(z)\}^\pm ds - \int_{\Omega^\pm} [E^{(2)}(w, w) + \kappa_2 w^2 + \kappa_3 w \cdot \operatorname{grad} \theta] dx = 0, \quad (9)$$

$$\pm \int_{\partial\Omega} \{\omega(z) \cdot T^{(3)}(\partial, n)U(z)\}^\pm ds - \int_{\Omega^\pm} [\gamma (\operatorname{grad} \omega)^2 + 2\kappa \omega^2 - \kappa \omega \operatorname{rot} u - \mu_1 w \cdot \operatorname{rot} \omega - b_0 \operatorname{grad} \nu \cdot \operatorname{rot} \omega] dx = 0, \quad (10)$$

$$\pm \int_{\partial\Omega} \{\nu(z) \cdot T^{(4)}(\partial, n)U(z)\}^\pm ds - \int_{\Omega^\pm} [a_0 (\operatorname{grad} \nu)^2 + \eta \nu^2 + \mu_0 \nu \operatorname{div} u - \beta_1 \nu \theta - \mu_2 w \cdot \operatorname{grad} \nu - b_0 \operatorname{grad} \nu \cdot \operatorname{rot} \omega] dx = 0, \quad (11)$$

$$\pm \int_{\partial\Omega} \{\theta(z) \cdot T^{(5)}(\partial, n)U(z)\}^\pm ds - \int_{\Omega^\pm} [\kappa_7 (\operatorname{grad} \theta)^2 + \kappa_1 w \cdot \operatorname{grad} \theta] dx = 0, \quad (12)$$

სადაც $T^{(j)}(\partial, n)U, j=1,2,\dots,5$ ძაბვები მოცემულია (6) ფორმულებით, ხოლო $E^{(1)}(u, u)$ და $E^{(2)}(w, w)$ კვადრატულ ფორმებს აქვს შემდეგი სახე: [4]

$$E^{(1)}(u, u) = \left(\lambda + \mu + \frac{\kappa}{2} \right) (\operatorname{div} u)^2 + \frac{2\mu + \kappa}{2} \left[\left(\frac{\partial u_2}{\partial x_1} + \frac{\partial u_1}{\partial x_2} \right)^2 + \left(\frac{\partial u_1}{\partial x_1} - \frac{\partial u_2}{\partial x_2} \right)^2 \right] + \frac{\kappa}{2} (\operatorname{rot} u)^2, \quad (13)$$

$$E^{(2)}(w, w) = \frac{2\kappa_4 + \kappa_5 + \kappa_6}{2} (\operatorname{div} w)^2 + \frac{\kappa_5 + \kappa_6}{2} \left[\left(\frac{\partial w_1}{\partial x_2} + \frac{\partial w_2}{\partial x_1} \right)^2 + \left(\frac{\partial w_1}{\partial x_1} - \frac{\partial w_2}{\partial x_2} \right)^2 \right] + \frac{\kappa_6 - \kappa_5}{2} (\operatorname{rot} w)^2.$$

თუ (8)–(12) ტოლობებში გავითვალისწინებთ $(I)_h^\pm$ და $(II)_h^\pm$ ამოცანების ერთგვაროვან სასაზღვრო პირობებს, მივიღებთ, რომ ამ ფორმულაში შემავალი წირითი ინტეგრალები ნულის ტოლია. ამრიგად გვექნება:

$$\int_{\Omega^\pm} [E^{(1)}(u, u) + \mu_0 \nu \operatorname{div} u - \beta_0 \theta \operatorname{div} u - \kappa \omega \operatorname{rot} u] dx = 0, \quad (14)$$

$$\int_{\Omega^{\pm}} [E^{(2)}(w, w) + \kappa_2 w^2 + \kappa_3 w \cdot \text{grad} \theta] dx = 0, \quad (15)$$

$$\int_{\Omega^{\pm}} [\gamma(\text{grad} \omega)^2 + 2\kappa \omega^2 - \kappa \omega \text{rot} \omega - \mu_1 w \cdot \text{rot} \omega - b_0 \text{grad} v \cdot \text{rot} \omega] dx = 0, \quad (16)$$

$$\int_{\Omega^{\pm}} [a_0(\text{grad} v)^2 + \eta v^2 + \mu_0 v \text{div} u - \beta_1 v \theta - \mu_2 w \cdot \text{grad} v - b_0 \text{grad} v \cdot \text{rot} \omega] dx = 0, \quad (17)$$

$$\int_{\Omega^{\pm}} [\kappa_7(\text{grad} \theta)^2 + \kappa_1 w \cdot \text{grad} \theta] dx = 0. \quad (18)$$

(15) ტოლობის ორივე მხარე გავამრავლოთ T_0 -ზე და შევკრიბოთ (18) ტოლობასთან, მივიღებთ:

$$\int_{\Omega^{\pm}} [T_0 E^{(2)}(w, w) + \kappa_2 T_0 w^2 + (\kappa_1 + T_0 \kappa_3)(w \cdot \text{grad} \theta) + \kappa_7(\text{grad} \theta)^2] dx = 0. \quad (19)$$

(2) უტოლობების გათვალისწინებით ვღებულობთ:

$$\begin{aligned} & \kappa_2 T_0 w^2 + (\kappa_1 + T_0 \kappa_3)(w \cdot \text{grad} \theta) + \kappa_7(\text{grad} \theta)^2 = \\ & = \frac{4T_0 \kappa_2 \kappa_7 - (\kappa_1 + T_0 \kappa_3)^2}{4\kappa_7} w^2 + \frac{1}{4\kappa_7} [(\kappa_1 + T_0 \kappa_3)w + 2\kappa_7 \text{grad} \theta]^2 \geq 0. \end{aligned}$$

თუ ამ ტოლობას გავითვალისწინებთ (19)-ში, მივიღებთ:

$$\int_{\Omega^{\pm}} [T_0 E^{(2)}(w, w) + \frac{4T_0 \kappa_2 \kappa_7 - (\kappa_1 + T_0 \kappa_3)^2}{4\kappa_7} w^2 + \frac{1}{4\kappa_7} ((\kappa_1 + T_0 \kappa_3)w + 2\kappa_7 \text{grad} \theta)^2] dx = 0.$$

ვინაიდან ინტეგრალქვეშა ფუნქცია არაუარყოფითი გამოსახულებაა, ამიტომ უკანასკნელი ტოლობიდან ვღებულობთ:

$$E^{(2)}(w, w) = 0, w(x) = 0, \text{grad} \theta(x) = 0, x \in \Omega^{\pm}.$$

აქედან ვღებულობთ, რომ

$$w(x) = 0, \theta(x) = c = \text{const}, x \in \Omega^{\pm}. \quad (20)$$

ვინაიდან $(I)_h^{\pm}$ ამოცანის შემთხვევაში $\{\theta(z)\}^{\pm} = 0$, ხოლო $(\Pi)_0^-$ ამოცანის შემთხვევაში $\lim_{|x| \rightarrow \infty} \theta(x) = 0$,

ამიტომ (20)-დან ვღებულობთ, რომ $c = 0$, ე.ი.

$$w(x) = 0, \theta(x) = 0, x \in \Omega^{\pm}. \quad (21)$$

თუ ამ ტოლობებს გავითვალისწინებთ (14), (16) და (17) ტოლობებში და შევკრიბებთ, მივიღებთ:

$$\int_{\Omega^{\pm}} [E^{(1)}(u, u) + \gamma(\text{grad} \omega)^2 + a_0(\text{grad} v)^2 + 2\kappa \omega^2 + \eta v^2 + 2\mu_0 v \text{div} u - 2\kappa \omega \text{rot} \omega - 2b_0 \text{grad} v \cdot \text{rot} \omega] dx = 0. \quad (22)$$

$E^{(1)}(u, u)$ კვადრატული ფორმა წარმოვადგინოთ ასე:

$$E^{(1)}(u, u) = \tilde{E}^{(1)}(u, u) + \frac{\kappa}{2}(\operatorname{rot} u)^2 + \left(\lambda + \mu + \frac{\kappa}{2}\right)(\operatorname{div} u)^2, \quad (23)$$

სადაც

$$\tilde{E}^{(1)}(u, u) = \frac{2\mu + \kappa}{2} + \left[\left(\frac{\partial u_2}{\partial x_1} + \frac{\partial u_1}{\partial x_2} \right)^2 + \left(\frac{\partial u_1}{\partial x_1} - \frac{\partial u_2}{\partial x_2} \right)^2 \right] \geq 0.$$

თუ $E^{(1)}(u, u)$ -ის მნიშვნელობას (23)-დან შევიტანთ (22)-ში, მაშინ იგი შეგვიძლია ასე გადავწეროთ:

$$\int_{\Omega^\pm} \left\{ \tilde{E}^{(1)}(u, u) + 2\kappa \left(\omega - \frac{1}{2} \operatorname{rot} u \right)^2 + \left[\left(\lambda + \mu + \frac{\kappa}{2} \right) (\operatorname{div} u)^2 + 2\mu_0 v \operatorname{div} u + \eta v^2 \right] + \left[a_0 (\operatorname{grad} v)^2 - 2b_0 (\operatorname{grad} v \cdot \operatorname{rot} \omega) + \gamma (\operatorname{rot} \omega)^2 \right] \right\} dx = 0. \quad (24)$$

აქ ვისარგებლეთ $(\operatorname{grad} v)^2 = (\operatorname{rot} \omega)^2$ იგივეობით.

შევნიშნოთ, რომ

$$\left(\lambda + \mu + \frac{\kappa}{2} \right) (\operatorname{div} u)^2 + 2\mu_0 v \operatorname{div} u + \eta v^2 = \frac{(2\lambda + 2\mu + \kappa) \cdot \eta - 2\mu_0^2}{2\eta} (\operatorname{div} u)^2 + \frac{1}{\eta} (\mu_0 \operatorname{div} u + \eta v)^2 \geq 0,$$

$$\begin{aligned} a_0 (\operatorname{grad} v)^2 - 2b_0 (\operatorname{grad} v \cdot \operatorname{rot} \omega) + \gamma (\operatorname{rot} \omega)^2 &= \\ &= \frac{a_0 \gamma - b_0^2}{a_0} (\operatorname{rot} \omega)^2 + \frac{1}{a_0} (b_0 \operatorname{rot} \omega - a_0 \operatorname{grad} v)^2 \geq 0. \end{aligned}$$

თუ ამ ტოლობებს გავითვალისწინებთ (24)-ში, მივიღებთ, რომ (24)-ში ინტეგრალქვეშა ფუნქცია არაუარყოფითია, რის გამოს (24) ტოლობიდან ვღებულობთ, რომ ინტეგრალქვეშა ფუნქცია ნულის ტოლია, ე.ი.

$$\tilde{E}^{(1)}(u, u) = 0, \omega - \frac{1}{2} \operatorname{rot} u = 0, \operatorname{div} u = 0, \operatorname{rot} \omega = 0, v = 0,$$

ამ ტოლობებიდან ვღებულობთ, რომ

$$u(x) = b\tilde{x} + d, \omega(x) = b, v(x) = 0, x \in \Omega^\pm, \quad (25)$$

სადაც $d = (d_1, d_2)^T, d_1, d_2, b$ ნებისმიერი მუდმივებია. ვინაიდან $(I)_0^\pm$ ამოცანის შემთხვევაში $\{u(z)\}^\pm = 0, \{\omega(z)\}^\pm = 0$, ხოლო $(II)_0^-$ ამოცანის შემთხვევაში $u(x) = o(|x|^{-1}), \omega(x) = o(|x|^{-1})$, ამიტომ (25)-დან ვღებულობთ $b = 0, d = 0$, ე.ი. $u(x) = 0, \omega(x) = 0, v(x) = 0, x \in \Omega^\pm$, რაც იმას ნიშნავს, რომ $(I)^\pm$ და $(II)^-$ ამოცანებს ერთადერთი ამონახსნი აქვს.

თეორემა 2. თუ $(II)^+$ ამოცანას აქვს ამონახსნი, მაშინ იგი განისაზღვრება შემდეგი ვექტორის სიზუსტით:

$$U^{(0)}(x) = (b\tilde{x} + p'cx + d, 0, b, q'c, c)^T, \quad (26)$$

სადაც b და c ნებისმიერი ნამდვილი მუდმივებია. $d = (d_1, d_2)$ ორგანზომილებიანი ნამდვილი მუდმივი ვექტორია, ხოლო

$$p' = \frac{\eta\beta_0 - \mu_0\beta_1}{(2\lambda + 2\mu + \kappa)\eta - 2\mu_0^2}, \quad q' = \frac{\beta_1(2\lambda + 2\mu + \kappa) - 2\mu_0\beta_0}{(2\lambda + 2\mu + \kappa)\eta - 2\mu_0^2}. \quad (27)$$

დამტკიცება. თეორემა დამტკიცებული იქნება თუ ვაჩვენებთ, რომ შესაბამის $(II)_0^+$ ერთგვაროვან ამოცანას აქვს ერთადერთი ამონახსნი, რომელიც გამოისახება (26) ფორმულით.

ვთქვათ $U = (u, w, \omega, v, \theta)^T$ ვექტორი არის ნეიმანის ერთგვაროვანი $(II)_0^+$ ამოცანის რეგულარული ამონახსნი. თუ გავიმეორებთ თეორემაში ჩატარებულ მსჯელობას, მივიღებთ:

$$w(x) = 0, \quad \theta(x) = c = const, \quad x \in \Omega^+, \quad (28)$$

სადაც c ნებისმიერი ნამდვილი მუდმივაა.

$(II)_0^+$ ამოცანის შემთხვევაში $c \neq 0$.

თუ (28) ტოლობებს გავითვალისწინებთ (1) სისტემის პირველ, მესამე და მეოთხე განტოლებებში, მივიღებთ:

$$(\mu + \kappa)\Delta u + (\lambda + \mu)graddivu + \kappa rot\omega + \mu_0 gradv = 0, \quad (29)$$

$$\lambda\Delta\omega - 2\kappa\omega + \kappa rotu = 0, \quad (30)$$

$$a_0\Delta v - \eta v - \mu_0 divu + \beta_1 c = 0. \quad (31)$$

(28) ტოლობების გათვალისწინებით $T^{(1)}(\partial, n)U$ ძაბვის ვექტორი გადავწეროთ ასე:

$$T^{(1)}(\partial, n)U = (2\mu + \kappa)\frac{\partial u}{\partial n} + \lambda ndivu - \mu srotu - \kappa s\omega + (\mu_0 v - \beta_0 c)n. \quad (32)$$

შემოვიღოთ ახალი \tilde{u} ვექტორი და \tilde{v} ფუნქცია შემდეგნაირად

$$\tilde{u} = u - p'cx, \quad \tilde{v} = v - q'c, \quad (33)$$

სადაც p' და q' სიდიდეებს აქვს (27) სახე.

(33) აღნიშვნების საფუძველზე (29)–(31) განტოლებები გადაიწერება ასე:

$$(\mu + \kappa)\Delta\tilde{u} + (\lambda + \mu)graddiv\tilde{u} - \kappa rot\omega + \mu_0 grad\tilde{v} = 0, \quad (34)$$

$$\lambda\Delta\omega - 2\kappa\omega + \kappa rot\tilde{u} = 0, \quad (35)$$

$$a_0\Delta\tilde{v} - \eta\tilde{v} - \mu_0\tilde{u} = 0. \quad (36)$$

თუ (6)-ის მესამე, მეოთხე და (32) ტოლობებში გავითვალისწინებთ (33) აღნიშვნებს, მივიღებთ:

$$\{T^{(1)}(\partial, n)\tilde{U}(z)\}^+ = \{(2\mu + \kappa)\frac{\partial\tilde{u}}{\partial n} + \lambda\text{div}\tilde{v} - \mu\text{rot}\tilde{u} - \kappa s\omega + \mu_0\tilde{v}n\}^+ = 0, \quad z \in \partial\Omega, \quad (37)$$

$$\{T^{(3)}(\partial, n)\tilde{U}(z)\}^+ = \{\gamma\frac{\partial\omega}{\partial n} - b_0(s \cdot \text{grad}\tilde{v})\}^+ = 0, \quad z \in \partial\Omega, \quad (38)$$

$$\{T^{(4)}(\partial, n)\tilde{U}(z)\}^+ = \{a_0\frac{\partial v}{\partial n} + b_0(s \cdot \text{grad}\omega)\}^+ = 0, \quad z \in \partial\Omega, \quad (39)$$

სადაც

$$\tilde{U} = (\tilde{u}, \omega, \tilde{v})^T.$$

(29) ტოლობის ორივე მხარე სკალარულად გავამრავლოთ \tilde{u} -ზე, ხოლო (30) და (31) ტოლობების ორივე მხარე ალგებრულად გავამრავლოთ შესაბამისად ω და \tilde{v} ფუნქციებზე, შევკრიბოთ ეს ტოლობები და ვაინტეგრირებთ Ω^+ არეზე, მივიღებთ:

$$\int_{\partial\Omega} \{\tilde{u}(z)T^{(1)}(\partial, n)\tilde{U}(z) + \omega(z)T^{(3)}(\partial, n)\tilde{U}(z) + \tilde{v}(z)T^{(4)}(\partial, n)\tilde{U}(z)\}^+ ds - \int_{\Omega^+} \left[\tilde{E}^{(1)}(\tilde{u}, \tilde{u}) + 2\kappa\left(\omega - \frac{1}{2}\text{rot}\tilde{u}\right)^2 + \frac{(2\lambda + 2\mu + \kappa)\eta - 2\mu_0^2}{2\eta}(\text{div}\tilde{u})^2 + \frac{1}{\eta}(\mu_0\text{div}\tilde{u} + \eta\tilde{v})^2 + \frac{a_0\gamma - b_0^2}{a_0}(\text{rot}\omega)^2 + \frac{1}{a_0}(b_0\text{rot}\omega - a_0\text{grad}\tilde{v})^2 \right] dx = 0,$$

სადაც

$$\tilde{E}^{(1)}(\tilde{u}, \tilde{u}) = \frac{2\mu + \kappa}{2} \left[\left(\frac{\partial\tilde{u}_2}{\partial x_1} + \frac{\partial\tilde{u}_1}{\partial x_2} \right)^2 + \left(\frac{\partial\tilde{u}_1}{\partial x_1} - \frac{\partial\tilde{u}_2}{\partial x_2} \right)^2 \right]. \quad (40)$$

თუ (40) ტოლობაში გავითვალისწინებთ, რომ $\{T^{(j)}(\partial, n)\tilde{U}(z)\}^+ = 0, \quad j = 1, 3, 4, \quad z \in \partial\Omega$, მაშინ მივიღებთ:

$$\int_{\Omega^+} \left[\tilde{E}^{(1)}(\tilde{u}, \tilde{u}) + 2\kappa\left(\omega - \frac{1}{2}\text{rot}\tilde{u}\right)^2 + \frac{(2\lambda + 2\mu + \kappa)\eta - 2\mu_0^2}{2\eta}(\text{div}\tilde{u})^2 + \frac{1}{\eta}(\mu_0\text{div}\tilde{u} + \eta\tilde{v})^2 + \frac{a_0\gamma - b_0^2}{a_0}(\text{rot}\omega)^2 + \frac{1}{a_0}(b_0\text{rot}\omega - a_0\text{grad}\tilde{v})^2 \right] dx = 0. \quad (41)$$

ვინაიდან (41) ტოლობაში ინტეგრალქვეშა ფუნქცია არაუარყოფითი სიდიდეა, ამიტომ

$$\tilde{E}^{(1)}(\tilde{u}, \tilde{u}) = 0, \quad \omega - \frac{1}{2}\text{rot}\tilde{u} = 0, \quad \text{div}\tilde{u} = 0, \quad \tilde{v} = 0, \\ \text{rot}\omega = 0, \quad \text{grad}\tilde{v} = 0.$$

აქედან ვღებულობთ, რომ

$$u(x) = b\tilde{x} + d, \quad \omega(x) = b, \quad \tilde{v}(x) = 0, \quad x \in \Omega^+.$$

თუ ამ ტოლობებს გავითვალისწინებთ (33)-ში, მივიღებთ:

$$u(x) = b\tilde{x} + d + p'cx, \quad \omega(x) = b, \quad v(x) = q'c, \quad (42)$$

სადაც $d = (d_1, d_2)^T$, d_1, d_2, b და c ნებისმიერი ნამდვილი მუდმივებია.

ამრიგად, (28) და (42) ტოლობების თანახმად $(H)_0^+$ ერთგვაროვანი ამოცანის ამონახსნია

$$U^{(0)}(x) = (b\bar{x} + p'cx + d, 0, b, q'c, c)^T,$$

სადაც p' და q' სიდიდეებს აქვთ (27) სახე. ამით თეორემა დამტკიცებულია.

დასკვნა

სტატიკის ძირითადი (დირიხლესა და ნეიმანის)

ნაშრომში გრინის ფორმულების გამოყენებით

სასაზღვრო ამოცანების ამონახსნის ერთადერთობის

დამტკიცებულია თერმოდრეკადობის თეორიის

თეორემები.

ლიტერატურა

1. Iesan D. Thermoelasticity of bodies with microstructure and microtemperatures. International journal of solids and structures. 44(2007) 8648-8662. 2007.
2. Iesan D. On a theory of micromorphic elastic solids with microtemperatures. Journal of thermal stresses. 24(8). 2001.
3. Giorgashvili L., Zazashvili S., Mathematical problems of thermoelasticity of bodies with microstructure and microtemperature. Transactions of A. Razmadze Mathematical Institute. V.172. Issue 1. 2018, 30-57 pp. (in Georgian).
4. Bitsadze L., Jaiani G. Theorems for the third and fourth BVPs of 2D theory of thermoelasticity with microtemperatures. Nova Science Publishers, Inc. QA431.M.36. 2012, 99-118 pp.

UDC 536.7

SCOPUS CODE 2610

DOI: <https://doi.org/10.36073/1512-0996-2019-3-121-132>

Basic boundary value problems of statics of Thermoelasticity theory considering different field

Salome Bitsadze

Department of Mathematics, Georgian Technical University, 77 M. Kostava str, 0160
Tbilisi, Georgia
E-mail: Sali.bitsadze28@gmail.com

Reviewers:

S. Kharibegashvili, Professor, Faculty of Informatics and Control Systems, GTU

E-mail: kharibegashvili@yahoo.com

I. Tsagareli, Research Scientist, Ilia Vekua Institute of Applied Mathematics of Ivane Javakhishvili Tbilisi State University

E-mail: I.Tsagareli@yahoo.com

Abstract. The representation formula of a general solution of the homogeneous system of differential equations obtained in the paper is expressed by means of three harmonic and four metaharmonic functions. These formulas are very convenient and useful in many particular problems for domains with concrete geometry.

Key words: Fugacity of temperature; metaharmonic; microrotation; microstretch; microtemperature.

UDC 536.7

SCOPUS CODE 2610

DOI: <https://doi.org/10.36073/1512-0996-2019-3-121-132>

Основные граничные задачи статики теории термоупругости с учётом разных полей

Саломе Бицадзе Департамент математики, Грузинский технический университет, Грузия, 0160,
Тбилиси, ул. М. Костава, 77
E-mail: Sali.bitsadze28@gmail.com

Рецензенты:

С. Харибегашвили, профессор факультета информатики и систем управления ГТУ
E-mail: kharibegashvili@yahoo.com

И. Цагарели, научный работник Института математики им. И. Векуа
E-mail: I.Tsagareli@yahoo.com

Аннотация. В работе рассматриваются основные граничные задачи статики теории термоупругости, в частности граничные задачи Дирихле и Неймана. В случае задачи Дирихле на границе заданы предельные значения векторов перемещения и микротемпературы, а также функций микровращения, микрорастяжения и температуры. В случае задачи Неймана на границе задано предельное значение обобщенного термоупругого напряжения. Получены формулы Грина для системы однородных дифференциальных уравнений. С помощью формулы Грина доказаны теоремы единственности граничных задач Дирихле и Неймана. В частности, если задача Дирихле, как внутренняя, так и внешняя, а также внешняя задача Неймана имеет решение, то оно единственно, что же касается решения внутренней задачи Неймана, то она определена с точностью до слагаемого определенного вектора.

Ключевые слова: микротемпература; микрорастяжения; микровращения; функция температуры.

განხილვის თარიღი 25.03.2019

შემოსვლის თარიღი 27.05.2019

ხელმოწერილია დასაბეჭდად 24.10.2019

ავტორთა საძიებელი

Author's index

Указатель авторов

აბზიანიძე დ. 29	კაპანაძე თ. 111
აბზიანიძე ვ. 29	კუხიანიძე ნ. 47
ანანიაშვილი ხ. 98	ლოლაძე გ. 19
აფაქიძე ალ. 86	ლოლაძე თ. 98
ბაბუნაშვილი ა. 40	მოსაშვილი ი. 40, 47, 68
ბიწაძე ს. 121	მჭედლიშვილი მ. 86
გოლეტიანი გ. 54, 61	ონიანი ს. 68
გუგულაშვილი გ. 54, 61	ოქროსაშვილი მ. 98
ისაკაძე თ. 54, 61	ჭეიშვილი თ. 19
კაკულია ზ. 29	Махарадзе Л. 78
კანდელაკი ნ.11	

რეცენზენტთა საძიებელი

Reviewer's index

Указатель рецензентов

ბაზლაძე ი. 86	ტაბატაძე გ. 19
ბიწაძე ლ. 111	ფესტვენიძე თ. 47
გორდელაძე ვ. 19	შენგელია ჯ. 86
დავითაშვილი ი. 40,98	ცაგარელი ი. 121
დოლონაძე შ. 11	ჭანტურია ნ. 47
იაშვილი გ. 11	ხარიბეგაშვილი ს. 111, 121
კოტრიკაძე ქ. 68	ჯაფარიძე ზ. 54, 61
მჭედლიშვილი ნ. 40	ჯაფარიძე ნ. 29
მხეიძე ბ. 29	ჯოხაძე პ. 68
ნოზაძე დ. 98	Бежанишвили А. 78
სულაძე ს. 54, 61	Кирмелашвили Г. 78

ავტორთა საყურადღებოდ

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამეცნიერო შრომების კრებული არის ყოველკვარტალური რეგულირებადი მულტიდისციპლინური პერიოდული გამოცემა, რომელიც რეგისტრირებულია საერთაშორისო ელექტრონულ მონაცემთა ბაზაში – Index Copernicus International.

- სტატია (მიიღება ქართულ, ინგლისურ, რუსულ ენებზე) ქვეყნდება ორიგინალის ენაზე.
- სტატიის ავტორთა რაოდენობა არ უნდა აღემატებოდეს სამს.
- ავტორს შეუძლია საგამომცემლო სახელში პუბლიკაციისათვის მოგვარდოს ან ელექტრონული ფოსტით sagamomcemlosakhli@yahoo.com მისამართზე გამოგვიგზავნოს ერთი ან რამდენიმე სტატია, აგრეთვე თანდართული დოკუმენტაციის დასკანერებული ფაილები, მაგრამ კრებულის ერთ ნომერში გამოქვეყნდება მხოლოდ ორი ნამუშევარი.

ელ. ფოსტით სტატიის გამოგზავნის შემთხვევაში გთხოვთ გაითვალისწინოთ შემდეგი მოთხოვნები:

- Subject ველში (თემა) მიუთითეთ კრებულის დასახელება და ავტორის (ავტორების) გვარი.
- გამოიყენეთ ფაილის მიმაგრება (Attach).
- დიდი მოცულობის ფაილის შემთხვევაში გამოიყენეთ არქივატორი (ZIP, RAR).

• სტატია შედგენილი უნდა იყოს მართლმეტყველებისა და ტერმინოლოგიის დაცვით. ავტორი (ავტორები) და რეცენზენტები პასუხს აგებენ სტატიის შინაარსსა და ხარისხზე.

• ვინაიდან საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის შრომების კრებული არის არაკომერციული გამოცემა, ჩვენი მეცნიერი თანამშრომლებისა და დოქტორანტებისთვის სტატიის გამოქვეყნება უფასოა.

• საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის აკადემიური საბჭოს № 200 დადგენილებით (22.01.2010წ.), ფიზიკურმა პირმა, რომელიც არ არის საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის თანამშრომელი, შრომების კრებულში სტატიის გამოქვეყნებისთვის წინასწარ უნდა შეიტანოს ან გადმორიცხოს საჭირო თანხა (1 გვერდი – 10 ლარი) და სტატიის დოკუმენტაციას (ორი რეცენზია და ორგანიზაციის სამეცნიერო საბჭოს მიმართვა სტატიის სტუ-ის შრომების კრებულში გამოქვეყნების შესახებ) დაურთოს გადახდის ქვითარი. გრაფაში „გადახდის დანიშნულება“ უნდა ჩაიწეროს „სტატიის გამოქვეყნების ღირებულება“.

სტუ-ის საბანკო რეკვიზიტებია: სსიპ საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი; საიდენტიფიკაციო კოდი 211349192; მიმღების ბანკი: სახელმწიფო ბანკი; მიმღების დასახელება: ბანკის ერთიანი ანგარიში; ბანკის კოდი: TRESGE22; მიმღების ანგარიში: საბანკო კოდი 708977259.

გთავაზობთ სამეცნიერო სტატიის გაფორმების წესს:

- სტატია წარმოდგენილი უნდა იყოს ნაბეჭდი სახით A4 ფორმატის ფურცელზე, არანაკლებ 5 გვერდისა (არეები – 2 სმ, ინტერვალი – 1,5).
- სტატია შესრულებული უნდა იყოს doc ან docx ფაილის სახით (MS Word) და ჩაწერილი – ნებისმიერ მაგნიტურ მატარებელზე;

- ქართული ტექსტისთვის გამოიყენეთ შრიფტი Sylfaen, ზომა 12;
- ინგლისური და რუსული ტექსტებისთვის – შრიფტი Times New Roman, ზომა 12;

სტატიას უნდა ერთვოდეს შემდეგი ინფორმაცია:

- უაკ (უნივერსალური ავტობიოთი კლასიფიკაცია) კოდი.
- ცნობები ავტორის (ავტორების) და რეცენზენტების შესახებ ქართულ, ინგლისურ და რუსულ ენებზე:
 - ყველა ავტორის სახელი და გვარი სრულად, E-mail-ი, სამეცნიერო წოდება და საკონტაქტო ტელეფონი;
 - დეპარტამენტის დასახელება. ორგანიზაციის სრული სახელწოდება – ყოველი ავტორის მუშაობის ადგილი, ქვეყანა, ქალაქი.
 - რეცენზენტთა გვარები და სახელები სრულად, ელექტრონული ფოსტის მისამართი, სამეცნიერო წოდება, დეპარტამენტის ან სამუშაო ადგილის დასახელება.

სტატია უნდა შეიცავდეს:

• ანოტაციას ქართულ, ინგლისურ და რუსულ ენებზე (100–150 სიტყვა). *უცხოელი მკითხველისათვის ანოტაცია არის სტატიის შინაარსისა და მასში გადმოცემული კვლევის შედეგების შესახებ ინფორმაციის ერთადერთი წყარო. სწორედ იგი განსაზღვრავს ინტერესს მეცნიერის ნაშრომის მიმართ და, მაშასადამე, სურვილს, დაიწყოს დისკუსია ავტორთან, გამოითხოვოს სტატიის სრული ტექსტი და ა.შ.*

ანოტაცია უნდა იყოს:

- ინფორმაციული (არ უნდა შეიცავდეს ზოგად სიტყვებსა და ფრაზებს);
- ტექსტი ინგლისურ და რუსულ ენებზე უნდა იყოს ორიგინალური;
- უნდა ასახავდეს სტატიის ძირითად შინაარსსა და კვლევის შედეგებს;
- სტრუქტურირებული (მიჰყვებოდეს სტატიაში შედეგების აღწერის ლოგიკას).

უნდა შეიცავდეს:

- სტატიის საგანს, თემას, მიზანს (რომლებსაც უთითებთ იმ შემთხვევაში, თუ ეს არ არის ცხადი სტატიის სათაურიდან);
 - კვლევის ჩატარების მეთოდს ან მეთოდოლოგიას (სამუშაოს ჩატარების მეთოდის ან მეთოდოლოგიის აღწერა მიზანშეწონილია იმ შემთხვევაში, თუ იგი გამოირჩევა სიახლით, საინტერესოა მოცემული ნაშრომის თვალსაზრისით);
 - კვლევის შედეგებს;
 - შედეგების გამოყენების არეალს;
 - დასკვნას;
- საკვანძო სიტყვებს, დალაგებულს ანბანის მიხედვით (ქართულ, ინგლისურ და რუსულ ენებზე);
 - სტატიაში ქვესათაურებით გამოკვეთილ შესავალს, ძირითად ნაწილს და დასკვნას;

- სურათების ან ფოტოების კომპიუტერულ ვარიანტს, შესრულებულს ნებისმიერი გრაფიკული ფორმატით, გარჩევადობა – არანაკლებ 150 dpi-სა.
- ლიტერატურა
 - საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალების მონაცემთა ბაზების რეკომენდაციით, გამოყენებული ლიტერატურის რაოდენობა სასურველია იყოს არანაკლებ ათისა.

წარმოდგენთ გამოსაქვეყნებელ სტატიაში გამოყენებული ლიტერატურის გაფორმების წესს:

ყველა ავტორის გვარი და ინიციალები მოცემული უნდა იყოს ლათინური ანბანის ასოებით, ე.ი. ტრანსლიტერაციით, სტატიის სახელწოდება – თარგმნილი ინგლისურად, წყაროს (ჟურნალის, შრომების კრებულის, კონფერენციის მასალების) სახელწოდება – ტრანსლიტერაციით; გამოსასვლელი მონაცემები – ინგლისურ ენაზე (სტატიის ენა მიეთითება ფრჩხილებში).

ლიტერატურა (ნიმუში)

1. Jacques Sapir. Energy security as a common advantages.
http://www.globalaffairs.ru/rumbler/n_7780 (In Russian).
2. “Official website of the International Energy Agency:
<http://www.iea.org/topics/energysecurity/>” (In English).
3. International Energy Agency “Key World Energy Statistics” 2014 (In English).
4. Energy strategy of France McDoleg_butenko20 May, 2009 (In Russian)
5. G.G. Svanidze, V.P. Gagua, E.V. Sukhishvili “Rene-wable energy resources of Georgia”, Leningrad, Hydrometizdat, 1987, pp. 75-76 (In Russian).
6. Revaz Arveladze, Tengiz Kereselidze “The Georgian Full Independence of Electry Power Is Supported By Hydropower”. Sakartvelos Teqnikuri Universitetis Archil Eliashvilis Saxelobis Martvis sistemebis Institutis Proceedings. N18 2014. Tbilisi (In Georgian).

გთავაზობთ სტატიის წარმოდგენისთვის საჭირო დოკუმენტაციის ჩამონათვალს საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის თანამშრომლებისა და დოქტორანტებისთვის:

- ორი რეცენზია (იხ. ნიმუში)
http://publishhouse.gtu.ge/site_files/recenziis_nimushi.docx
 - ფაკულტეტის საგამომცემლო საქმის დარგობრივი კომისიის ოქმის ამონაწერი (იხ. ნიმუში) http://publishhouse.gtu.ge/site_files/aqtis_forma.docx
დოკუმენტები დამოწმებული უნდა იყოს ფაკულტეტის ბეჭდით.
- ავტორს შეუძლია ნიმუშად გამოიყენოს კრებულის ერთ-ერთი ბოლო ნომერი.*

აქტის ნიმუში

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის _____ ფაკულტეტის
სასწავლო-სამეცნიერო ლიტერატურის _____ დარგობრივი კომისიის

აქტი № _____

„_____”

სხდომას ესწრებოდნენ:

დარგობრივი კომისიის წევრები:

(მიუთითეთ კომისიის შემადგენლობა) _____

განსახილველი სტატიის ავტორი/ავტორები: (მიუთითეთ სახელი და გვარი სრულად, სამუშაო ადგილი და სამეცნიერო წოდება, აკადემიური ხარისხი სრულად, ელ. ფოსტა, საკონტაქტო ტელეფონი)

1. _____

2. _____

3. _____

რეცენზენტები: (მიუთითეთ სახელი და გვარი სრულად, სამუშაო ადგილი და სამეცნიერო წოდება, აკადემიური ხარისხი სრულად, ელ. ფოსტა, საკონტაქტო ტელეფონი)

1. _____

2. _____

დარგის მოწვეული სპეციალისტები:

1. ნაშრომის განხილვა

2. (მიუთითეთ ფაკულტეტის დასახელება)

სასწავლო-სამეცნიერო ლიტერატურის დარგობრივი კომისიაში განსახილველად შემოვიდა ავტორის/ავტორების მიერ მომზადებული სამეცნიერო სტატია

(მიუთითეთ სტატიის სრული დასახელება)

სასწავლო-სამეცნიერო ლიტერატურის დარგობრივი კომისიის მიერ გამოყოფილია რეცენზენტები:

1. _____

2. _____

2. ნაშრომის საჯარო განხილვა

1. მოისმინეს: ავტორის/ავტორების *(მიუთითეთ)* ინფორმაცია განსახილველად წარმოდგენილი სტატიის შესახებ. _____

ნაშრომის ანოტაცია

3. მოისმინეს: რეცენზენტის/რეცენზენტების *(მიუთითეთ)* არგუმენტირებული შეფასება სტატიის აქტუალურობის, სიახლის და გამოცემის მიზანშეწონილობის შესახებ. _____

4. მოისმინეს: ფაკულტეტის ხარისხის უზრუნველყოფის სამსახურის დასკვნა-რეკომენდაცია *(მიუთითეთ მომხსენებლის ვინაობა)* _____ სტატიის გამოცემის შესახებ.

აზრი გამოთქვას:

დაადგინეს:

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ფაკულტეტის

(მიუთითეთ ფაკულტეტის დასახელება)

სასწავლო-სამეცნიერო ლიტერატურის დარგობრივ კომისიაში განსახილველად შემოვიდა ავტორის/ავტორების მიერ მომზადებული სამეცნიერო სტატია

(მიუთითეთ სტატიის სრული დასახელება)

რეკომენდაციას უწევს სტატიის გამოქვეყნებას სტუ-ის შრომათა კრებულში.

ფაკულტეტის დარგობრივი კომისიის თავმჯდომარე

კომისიის მდივანი

კომისიის წევრები:

ფაკულტეტის დარგობრივი კომისიის თავმჯდომარის
ხელმოწერის სინამდვილეს ვადასტურებ
ფაკულტეტის დეკანი *(ხელმოწერა)*

რეცენზიის ნიმუში

1. ნაშრომის დასახელება სრულად

2. ავტორის/ავტორების სამეცნიერო წოდება, სამუშაო ადგილი, საკონტაქტო ინფორმაცია, ელ. ფოსტა

3. ნაშრომში დასმული ამოცანის მოკლე მიმოხილვა

4. გამოსაქვეყნებლად მომზადებული ნაშრომის აქტუალურობა

5. ძირითადი ასპექტები, რომლებიც განხილულია ავტორის მიერ

6. რეკომენდაცია ნაშრომის გამოქვეყნებისათვის (იმ შემთხვევაში თუ სარეცენზიო ნაშრომი სამეცნიერო სტატიაა, აუცილებელია სამეცნიერო ჟურნალის დასახელების მითითება)

7. რეცენზენტის გვარი და სახელი სრულად, სამუშაო ადგილი, სამეცნიერო წოდება, საკონტაქტო ინფორმაცია, ელ. ფოსტა (სტატიის რეცენზირების შემთხვევაში რეცენზენტის მონაცემები გამოქვეყნებული იქნება სტატიასთან ერთად)

Guidelines for Authors

Collection of Academic Works of Georgian Technical University is a multidisciplinary quarterly refereed periodical included in Index Copernicus International.

- An article (accepted in Georgian, English or Russian) is published in the original language;
- The number of authors of an article should not exceed three;
- Authors should submit original copies of one or more articles for publication to the publishing house or send scan versions to sagamomcemlosakhli@yahoo.com along with supporting documentation, but only two articles from the same author(s) will be published in one edition;

To submit scan versions via email please follow the instructions:

- *In the Subject line indicate the collection of works and the name(s) of author(s).*
- *Attach the file(s) properly;*
- *Use ZIP or RAR file compressors in case of large files to attach.*

- The article should be literal, well-structured and apply proper terminology to convey the author's constructive arguments relevant to the subject. The authors and reviewers are responsible for the content and quality of an article;
- The collection of works of GTU is a non-commercial publication and running the articles of our researchers and for PhD students is free of charge;
- According to the Resolution No.200 of GTU Academic Council (22.01.2010), authors who are not the employees at the University, should make the preliminary payment by cash or transfer to have their paper published (10 GEL per page). Copy of the payment receipt should be enclosed with the supporting documentation (two reviews and a reference by the organization's academic board on publishing the article in GTU collection of scientific papers). "Cost of article publication" shall appear as subject in the "purpose of payment" field.

GTU bank details: LEPL Georgian Technical University; organization's identification number 211349192; beneficiary bank: State Treasury; beneficiary: joint treasury account; bank code: TRESGE22; Account number: treasury code 708977259.

How to form an academic article:

- The text should be presented in print-out form (A4), no less than 5 pages (margins - 2 cm, line spacing - 1,5);
- Only MS Word versions of texts are accepted (doc or docx) presented electronically on any magnetic carrier;
- For Georgian texts: font - Sylfaen, font size - 12 pt;
- For English and Russian texts: font - Sylfaen, font size - 12 pt.

The accompanying information to the article should include:

- Universal Decimal Classification (UDC)
- Information about the author(s) and reviewers in Georgian, English and Russian:
 - Full name, academic title, email and phone number of each author;
 - Department, full name of organization – place of employment of each author, area/town, country;
 - Full name, email, academic title, department or place of employment of each reviewer.

The article should include:

- An abstract in Georgian, English and Russian (100-150 words long). *For foreign readers an abstract is the only source of information about the content of an article and results of the research conveyed by it. An abstract therefore defines the reader's interest towards the article and possibility of further outreach to the author for the full text, etc.*

An abstract should be:

- *Informative (free of generalized terms and statements);*
- *Original (with quality translations in English and Russian with the proper application of terminology);*
- *Specific (conveying the core content of an article);*
- *Properly structured (consistent with the research results given in the article).*

An abstract should contain:

- *The subject, topic and objective of an article (indicated in case if these are not clear from the title);*
- *Method or methodology of research performed (expected to be described when and if this method or methodology are new and interesting with reference to the article);*
- *Research results;*
- *Area of application of research results;*
- *Conclusion.*

- Key words sorted by alphabet (Georgian, English and Russian);
- Sections should be outlined Introduction, Main Part and Conclusion;
- Digital version of drawings or images in any graphic format, resolution 150 dpi;

- Reference
 - By the recommendations of Databases of International Scientific Journals the number of references should be no less than ten.

How to form the reference section in the article:

Name and surname of each author should be given in Latin letter initials, title of the articles – translated in English, name of the source (journal, collection of works, conference materials) – with transliteration (original language of the article should be indicated in brackets).

References (sample)

1. Jacques Sapir. Energy security as a common advantages.
http://www.globalaffairs.ru/rumbler/n_7780 (In Russian).
2. “Official website of the International Energy Agency:
<http://www.iea.org/topics/energysecurity/>” (In English).
3. International Energy Agency “Key World Energy Statistics” 2014 (In English).
4. Energy strategy of France McDoleg_butenko20 May, 2009 (In Russian).
5. Svanidze G.G., Gagua V.P., Sukhishvili E.V. “Rene-wable energy resources of Georgia”, Leningrad, Hydrometizdat, 1987, pp. 75-76 (In Russian).
6. Revaz Arveladze, Tengiz Kereselidze ”The Georgian Full Independence of Electry Power Is Supported By Hydropower”. Sakartvelos Teqnikuri Universitetis Archil Eliashvilis Saxelobis Martvis sistemebis Institutis Proceedings. N18 2014. Tbilisi (In Georgian).

Requirements for the submission of articles by the employees and for PhD students of Georgian Technical University:

- Two reviews (see the sample at)
http://publishhouse.gtu.ge/site_files/recenziis_nimushi.docx
- Minutes of the sectoral committee of the faculty publishing (see the sample at)
http://publishhouse.gtu.ge/site_files/aqtis_forma.docx
Documents should be verified with the faculty stamp.

Notice to Authors

Authors may consider one of the previous editions of GTU Collection of Academic Works as an example

К сведению авторов

Сборник научных трудов Грузинского технического университета является ежеквартальным мультидисциплинарным реферируемым периодическим изданием, которое зарегистрировано в международной базе электронных данных _ Index Copernicus International.

- Статьи (принимаются на грузинском, английском, русском языках) публикуются на языке оригинала.
- Количество авторов статьи не должно превышать 3.
- Автор может предоставлять для публикации в Издательском доме или по электронной почте (на следующий адрес: sagamomcemlosakhli@yahoo.com) одну или несколько статей, а также в сканированных файлах сопутствующую документацию, но в одном номере могут быть опубликованы только две работы.

- ***В случае статей, присылаемых по эл. почте, просьба предусмотреть следующие требования:***

- указать в эл. Subject-е название сборника (тема) и фамилию автора (авторов);
- использовать Attach (приложить файл);
- в случае большого объема файла применить архиватор (ZIP, RAR).

- Статья должна быть составлена грамотно, с соблюдением терминологии. Автор (авторы) и рецензенты несут ответственность за содержание и качество статьи.

- Поскольку сборник трудов Грузинского технического университета является некоммерческим изданием, для сотрудников статьи публикуются бесплатно.

- Согласно постановлению академического совета №200 (22.01.2010 г.), физическое лицо, не являющееся сотрудником университета, для публикации статьи в сборнике трудов должно заранее внести или перечислить необходимую сумму (1 страница стоит 10 лари) за статью и соответствующую документацию (две рецензии и направление научного совета организации о публикации статьи в сборнике трудов ГТУ), приложив справку об оплате. В графе «Назначение оплаты» следует записать «стоимость публикации статьи».

Банковские реквизиты ГТУ: Юридическое лицо публичного права (ЮЛПП); Грузинский технический университет; идентификационный код 211349192; банк приема; государственная казна; название получателя: единый счет казны; код банка: TRESGE22; счет получателя: код казны 708977259.

Предлагаем порядок оформления научной статьи:

- статья должна быть представлена в напечатанном виде на странице формата А4, содержать не меньше 5 страниц (поля – 2 см, интервал – 1,5);

- статья должна быть выполнена в виде файла doc или docx (MS Word) и записана на любом магнитном носителе;
- для грузинского текста применять шрифт Sylfaen, размер 12;
- шрифт для английского и русского текстов Sylfaen, размер 12;

Статья должна сопровождаться следующей информацией:

- код УДК (Универсальная десятичная классификация).

Сведения об авторе (авторах) на грузинском, английском и русском языках:

- полностью имя и фамилия автора (авторов), E-mail, научная степень и контактный телефон;
- название департамента, полное название организации – место работы каждого автора – страна, город;
- полностью фамилии и имена рецензентов, адрес электронной почты, научное звание, название департамента или места работы.

К статье должны прилагаться:

- Аннотация на грузинском, английском и русском языках (100-150 слов). *Для иностранных читателей аннотация является единственным источником информации о результатах исследований, приведенных в содержании статьи. Именно это определяет интерес ученого к работе и, соответственно, желание начать дискуссию с автором, познакомиться с полным текстом статьи и т.д.*

Аннотация должна быть:

- *информационной (не должна содержать общих слов и фраз);*
- *оригинальной (перевод на английском и грузинском языках должен быть качественный, при переводе следует использовать специальную терминологию);*
- *содержательной (должна отражать основное содержание статьи и результаты исследования);*
- *структурированной (следовать в статье логике описания результатов).*

Должна содержать:

- *предмет статьи, тему, цель (которые указывают в том случае, если это не ясно из заглавия статьи);*
- *метод или методологию проведенного исследования (описание метода или методологии проведенной работы целесообразно в том случае, если они выделяются новизной, интересны с точки зрения данной работы);*
- *результаты исследования;*
- *ареал использования результатов;*
- *выводы;*

- ключевые слова, расположенные по алфавиту (на грузинском, английском и русском языках);
- в статье должны быть выделены подзаголовки: введение, основная часть и заключение (выводы);
- компьютерные варианты чертежей или фотографий должны быть выполнены в любом графическом формате, разрешением – не менее 150 dpi.

- Литература

По рекомендации базы данных международных научных журналов, число использованной литературы желательно должно быть не меньше 10.

Представляем порядок оформления в публикуемой статье использованной литературы:

Фамилия и инициалы всех авторов должны быть выполнены буквами латинского алфавита, т.е. транслитерацией; название статьи с переводом на английский язык; название источников (журнала, сборника трудов, материалов конференции) – транслитерацией (язык статьи указан в скобках).

Литература (Образец)

1. Jacques Sapir. Energy security as a common advantages.
http://www.globalaffairs.ru/rumbler/n_7780 (In Russian).
2. “Official website of the International Energy Agency:
<http://www.iea.org/topics/energysecurity/>” (In English).
3. International Energy Agency “Key World Energy Statistics” 2014 (In English).
4. Energy strategy of France McDoleg_butenko20 May, 2009 (In Russian)
5. G.G. Svanidze, V.P. Gagua, E.V. Sukhishvili “Rene-wable energy resources of Georgia”, Leningrad, Hydrometizdat, 1987, pp. 75-76 (In Russian).
6. Revaz Arveladze, Tengiz Kereselidze ”The Georgian Full Independence of Electry Power Is Supported By Hydropower”. Sakartvelos Teqniki Universitetis Archil Eliashvilis Saxelobis Martvis sistemebis Institutis Proceedings. N18 2014. Tbilisi (In Georgian).

Для представления статьи должен быть приложен перечень необходимых документов для сотрудников и докторантов Грузинского технического университета:

- две рецензии (см. образец)
http://publishhouse.gtu.ge/site_files/recenziis_nimushi.docx
- выписка из протокола отраслевой комиссии по издательскому делу факультета (см. образец)
http://publishhouse.gtu.ge/site_files/aqtis_forma.docx
документы должны быть удостоверены печатью факультета.

Автор может использовать в качестве образца один из последних номеров издания.

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2019-3>

რედაქტორები: მ. ბაზაძე, ნ. ჟიჟილაშვილი, მ. პრეობრაჟენსკაია
კომპიუტერული უზრუნველყოფა ე. ქარჩავასი

გადაეცა წარმოებას 11.08.2019. ხელმოწერილია დასაბეჭდად 24.10.2019. ქალაქის ზომა 60X84 1/8.
პირობითი ნაბეჭდი თაბახი 9.

საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, თბილისი, კოსტავას 77



Verba volant,
scripta manent