

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  
N4(514)



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

#### შთაშენი რედაქტორი

ა. ფრანგიშვილი

#### შთაშენი რედაქტორის მოხელეები:

დ. კლიმიაშვილი

ბ. გასიცაშვილი

#### სარედაქციო კოლეგია:

ა. აბრამაშვილი, ბ. აბრამიშვილი, ა. აბშიდავა, თ. ამბროლაძე, ე. ბარათაშვილი, თ. ბაციკაძე, ჯ. ბერიძე, ს. ბიელიძე (პოდოლნოვი), ჰ. ბიელიძე (სლოვაკეთი), თ. გაბადაძე, ჯ. გახვიაძე, თ. გელაშვილი, ა. გიგინეიშვილი, გ. გომი (გერმანია), ივ. გონგიძე, ად. გრიგორიშვილი, ედ. ედიშანაშვილი, ს. ესაძე, ვდ. ვარდოსანიძე, უ. ზვიადაძე, თ. ზუმბურიძე, ჰ. ბუნკელი (ავსტრია), დ. თავხელიძე, ჰ. თოდუა (რუსეთი), ი. კვეციანი, ფ. კვიციანი, ა. კვეციანი (ესტონეთი), ბ. კვიციანი, თ. ლომინაძე, ი. ლომიძე, ა. მამალისი (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), ჰ. 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](mailto: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

## ბიოქიმია, გენეტიკა და მოლეკულური ბიოლოგია

ლელა გურგენიძე, თამარ ყანჩაველი, გიორგი ქვარცხავა. ღვინის წარმოების ნარჩენ პროდუქტში ორგანული მჟავების, ფენოლური ნაერთებისა და მინერალური ნივთიერებების შესწავლა .....	11
თამარ ყანჩაველი, ლელა გურგენიძე, გიორგი ქვარცხავა. ზოგიერთი ქართული ენდემური ყურძნის ჯიშისაგან მიღებულ ღვინის ლექში აზოტმემცველი ფრაქციების გამოკვლევა.....	19
ნუგზარ ბაღათურია, ლუიზა ქაჯაია, ნელი გილაური. ეთერზეთოვანი ვარდის გადამუშავების ნარჩენების გამოკვლევა.....	27
ნუგზარ ბაღათურია, ლუიზა ქაჯაია, ნელი ილურიძე. ვარდის ეთეროვანი ზეთის წარმოების ნარჩენების გადამუშავების ტექნოლოგია .....	34

## კომპიუტერული მეცნიერება

ნინო მჭედლიშვილი, მარიამ ჩხაიძე, სოფიო ბარნოვი. ანტიმიკრობული პეპტიდების ამოცნობა პირდაპირი გავრცელების ნეირონული ქსელით .....	43
რუსუდან ქუთათელაძე, ანა კობიაშვილი, თამაზ ვეკუა. პროგრამული უზრუნველყოფის ტესტირების ძირითადი მეთოდები.....	56

## დედამიწის შემსწავლელი მეცნიერებები და პლანეტოლოგია

მაია კუპრავეიშვილი. წყალსადინარის გასწვრივ კალაპოტური წარმონაქმნების განაწილების ხასიათი.....	66
მაია კუპრავეიშვილი. ერთი და იმავე დიამეტრის ნაწილაკთა შინაგანი ხახუნის კუთხეთა ფარდობა .....	75
ქილია კვანტალიანი, მევლუდ შარიქაძე. დესმოცერატოიდების და სხვა ადრეცარცული ამონიტების ძირითადი სკელეტური წარმონაქმნების შედარებითი მორფო-ფუნქციური ანალიზი .....	82

## ენერგია

ოთარ ჯაფარიძე, ლევან ახვლედიანი, ომარ კილურაძე. მცენარეული ნარჩენი ბიომასის თბური გამოკვლევა.....	95
---	----

შოთა ნემსაძე. ელექტრული მოწყობილობების ტექნიკური დიაგნოსტიკის შესახებ.....	101
შოთა ნემსაძე, მერაბ ცეცხლაძე. სამფაზა სინუსოიდური ცვლადი დენის ქსელის დიაგნოსტიკის შესახებ.....	108

**საინჟინრო საქმე**

თამაზ მეგრელიძე, თამაზ ისაკაძე, გივი გუგულაშვილი. ტენით გაჯერებული სამაცივრო კონტურის გამოშრობის ინოვაციური მეთოდი .....	118
თამაზ მეგრელიძე, თამაზ ისაკაძე, გივი გუგულაშვილი. ახალი მოწყობილობა ჰაერიდან ტენის სრული მოცილებისათვის.....	124
† ირაკლი ყრუაშვილი, ირმა ინაშვილი, მაია ლომიშვილი. ნაკადის დასაშვებ სიჩქარეთა კორექტირებული დამოკიდებულების გაანგარიშება.....	132

**მათემატიკა**

ზურაბ აღდგომელაშვილი. ერთი ფუნდამენტური ამოცანის შესახებ დიოფანტურ გეომეტრიულ ფიგურებზე.....	141
--	-----

ავტორთა საძიებელი .....	174
რეცენზენტთა საძიებელი .....	175
ავტორთა საყურადღებოდ .....	176

# CONTENTS

## Biochemistry, Genetics and Molecular Biology

- Lela Gurgenzidze, Tamar Kanchaveli, Giorgi Kvartskhava.** Study of organic acids, phenolic compounds and minerals in grape waste from wine production..... 11
- Tamar Kanchaveli, Lela Gurgenzidze, Giorgi Kvartskhava.** Study of nitrogen compounds in wine precipitates of some Georgian endemic varieties ..... 19
- Nugzar Baghaturia, Luiza Kajaia, Neli Gilauri.** Study of Rose Oil processing waste ..... 27
- Nugzar Baghaturia, Luiza Kajaia, Neli Iluridze.** Processing Technology of Rose Oil production waste ..... 34

## Computer Science

- Nino Mchedlishvili, Mariam Chkhaidze, Sofio Barnov.** Recognition of antimicrobial antimicrobial peptides using feedforward neural network ..... 43
- Rusudan Kutateladze.** Ana Kobiashvili, Tamaz Vekua. Basic methods of software testing ..... 56

## Earth and Planetary Sciences

- Maia Kupravisvili.** The distribution of channel formations (proluvium) along the watercourse..... 66
- Maia Kupravisvili.** Correlation of internal friction angles of the particles with the same diameters..... 75
- †Ilia Kvantaliani, Mevlud Sharikadze.** Comparative morpho-functional analysis of major skeletal formations of desmoceratoidea and other early cretaceous Ammonites..... 82

## Energy

- Otar Japaridze, Levan Akvlediani, Omar Kiguradze.** Thermal study of plant residues biomass..... 95
- Shota Nemsadze.** About technical diagnostics of electrical equipment ..... 101
- Shota Nemsadze, Merab Tsetskhladze.** About diagnostics of triphase sinusoidal AC network ..... 108

## Engineering

- Tamaz Megrelidze, Tamaz Isakadze, Givi Gugulashvili.** Innovative drying method for moisture-saturated refrigeration circuit ..... 118
- Tamaz Megrelidze, Tamaz Isakadze, Givi Gugulashvili.** Device for the complete moisture removal from the air ..... 124

† **Irakli Kruashvili, Irma Inashvili, Maia Lomishvili.** Calculation of corrected dependency of the  
flow permissible velocity ..... 132

**Mathematics**

**Zurab Agdgomelashvili.** About one fundamental task on diophantine geometric figures..... 141

**Author's index** ..... 174

**Reviewer's index** ..... 175

**Guidelines for Authors** ..... 182



# СОДЕРЖАНИЕ

## Биохимия, Генетика и Молекулярная биология

Лела Гургенидзе, Тамар Канчавели, Георгий Кварцхава. Изучение органических кислот, фенольных соединений и минеральных веществ из виноградных выжимок .....	11
Тамар Канчавели, Лела Гургенидзе, Георгий Кварцхава. Исследование азотных соединений винных осадков, полученных из некоторых грузинских сортов винограда .....	19
Нугзар Багатурия, Луиза Каджая, Нели Гилаури. Исследование отходов переработки эфиромасличной розы .....	27
Нугзар Багатурия, Луиза Каджая, Нели Гилаури. Технология переработки отходов производства эфирного масла розы .....	34

## Компьютерные науки

Нино Мchedlishvili, Мариам Чхаидзе, Софио Барнови. Распознавание антимикробных пептидов с использованием нейронной сети прямого распространения .....	43
Русудан Кутателадзе, Ана Кобиашвили, Тамаз Векуа. Основные методы тестирования программного обеспечения .....	56

## Науки изучающие Землю и Планетология

Мая Куправишвили. Характер распределения русловых образований (пролювиона) вдоль водотока .....	66
Мая Куправишвили. Соотношение углов внутреннего трения частиц с одинаковыми диаметрами .....	75
†Илия Кванталиани, Мевлуд Шарикадзе. Сравнительный морфо-функциональный анализ основных скелетных образований десмоцератоидей и некоторых других раннемеловых аммонитов .....	82

## Энергия

Отар Джапаридзе, Леван Ахвледiani, Омар Кигурадзе. Термическое исследование растительных отходов .....	95
Шота Немсадзе. О технической диагностике электрооборудования .....	101
Шота Немсадзе, Мераб Цецхладзе. Про трехфазной диагностике синусоидальной сети переменного тока .....	108

## **Инженерное дело**

<b>Тамаз Мегрелидзе, Тамаз Исакадзе, Гиви Гугулашвили.</b> Инновационный метод осушения влагой насыщенного холодильного контура .....	118
<b>Тамаз Мегрелидзе, Тамаз Исакадзе, Гиви Гугулашвили.</b> Новое устройство для полного удаления влаги из воздуха.....	124
<b>† Ираклий Круашвили, Ирма Инашвили, Майя Ломишвили.</b> Расчет скорректированной зависимости допускаемой скорости потока .....	132

## **Математика**

<b>Зураб Агдгомелашвили.</b> Об одной фундаментальной задаче по диофантовым геометрическим фигурам .....	141
--	-----

<b>Указатель авторов</b> .....	174
<b>Указатель рецензентов</b> .....	175
<b>К сведению авторов</b> .....	185

UDC 546.661.56

SCOPUS CODE 1303

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2019-4-11-18>

## ღვინის წარმოების ნარჩენ პროდუქტში ორგანული მჟავების, ფენოლური ნაერთებისა და მინერალური ნივთიერებების შესწავლა

ლელა გურგენიძე	სასურსათო ტექნოლოგიის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0192, თბილისი, დ. გურამიშვილის გამზირი 17 E-mail: gurgenidzelela71@gmail.com
თამარ ყანჩაველი	სასურსათო ტექნოლოგიის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0192, თბილისი, დ. გურამიშვილის გამზირი 17 E-mail: tkanchaveli25@gmail.com
გიორგი ქვარცხავა	სასურსათო ტექნოლოგიის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0192, თბილისი, დ. გურამიშვილის გამზირი 17 E-mail: g.kvartskhava@gtu.ge

### რეცენზენტები:

**გ. ტყემალაძე**, სტუ-ის აგრარული მეცნიერებისა და ბიოსისტემების ინჟინერინგის ფაკულტეტის პროფესორი

E-mail: guram.tkemaladze@yahoo.com

**ვ. უგრეხელიძე**, სტუ-ის აგრარული მეცნიერებისა და ბიოსისტემების ინჟინერინგის ფაკულტეტის პროფესორი

E-mail: v.ugrekhelidze@gmail.com

**ანოტაცია.** ორგანული მჟავების, ფენოლური ნაერთებისა და მინერალური ნივთიერებების შესწავლის მიზნით შევარჩიეთ ნაკლებად შესწავლილი ყურძნის ჯიშების (სიმონასეული, გაბაშა, მესხური შავი და სრელური) გადამუშავების ნარჩენი პროდუქტი, ჭაჭა და შევადარეთ კარგად შესწავლილი ჯიშის საფერავის მონაცემებს. ორგანული მჟავების რაოდენობის დასადგენად გამოვიყენეთ 70 %-იანი ეთანოლი. განვსაზღვრეთ ფენოლური

ნაერთების ჯამური რაოდენობა, მინერალური ნაწილი და მძიმე მეტალების შემცველობა.

ორგანული მჟავებისა და ფენოლური ნაერთების განსაზღვრის შედეგად დადგინდა, რომ სიმონასეული, გაბაშა და მესხური შავი არ ჩამოუვარდება საფერავს. კალიუმის, კალციუმისა და მაგნიუმის ჭარბი რაოდენობა აღმოჩნდა საფერავში, კალციუმით მდიდარია სიმონასეული და გაბაშა, ხოლო სხვა ჯიშებთან შედარებით, რკინის უმნიშვნელოდ მეტ რაოდენობას შეიცავს

სრელური და გაბაშა. აღნიშნულ ჯიშებში მძიმე მეტალების (სპილენძი, ტყვია, კალა) შემცველობა დასაშვებ ნორმაშია.

**საკვანძო სიტყვები:** მინერალური ნივთიერებები; მძიმე მეტალები; ორგანული მჟავები; ფენოლური ნაერთები; ქრომატოგრაფია.

## შესავალი

ყურძნის სამრეწველო გადამუშავება დაკავშირებულია მეღვინეობის ნარჩენების, მისი გადამუშავების მეორეული პროდუქტების დიდი რაოდენობით არსებობასთან. ღვინომასალების წარმოებისას ერთი ტონა ყურძნისაგან საშუალოდ მიიღება 120-130 კგ მშრალი ჭაჭა, რომელიც მდიდარია ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებებით და წარმოადგენს მთელი რიგი პროდუქტის მეტად ღირებული ნედლეულის წყაროს. ჭაჭა თავის მხრივ შედგება ყურძნის მარცვლის კანისაგან (43-45 %), წიპწის (24-26 %) და კლერტისაგან (22-32 %). მისი გადამუშავებით მიიღება ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებებით მდიდარი სუფთა პროდუქტი, რაც უკანასკნელი ათწლეულების განმავლობაში განაპირობებს ყურძნის ჭაჭის მიმართ გაზრდილ ინტერესს [1].

## ძირითადი ნაწილი

ჩვენი სამუშაოს მიზანია საქართველოში გავრცელებული, ზოგიერთი მივიწყებული და ნაკლებად ცნობილი ქართული ენდემური ვაზის ჯიშებიდან (სიმონასეული, გაბაშა, მესხური შავი და სრელური) მიღებული წითელი ღვინის გადამუშავების შემდგომი პროდუქტის, ჭაჭის ზოგიერთი

ქიმიური პარამეტრის განსაზღვრა და შედარება ტრადიციული ჯიშიდან (საფერავი) მიღებულ ჭაჭის მაჩვენებლებთან.

ორგანული მჟავები ხასიათდება ანტიოქსიდანტური თვისებებით. ისინი აქტიურად მონაწილეობს ორგანიზმში მიმდინარე ნივთიერებათა ცვლაში. პროდუქტებს აძლევს სპეციფიკურ მომჟავო გემოს, რითაც აუმჯობესებს მათს ორგანოლექტიკურ თვისებებს და ხელს უწყობს უკეთ შეთვისებას. ორგანული მჟავების შემცველობით, განსაკუთრებით მდიდარია მცენარეული წარმოშობის საკვები, რომელსაც ადამიანი ყოველდღიურად მოიხმარს [2;3].

ორგანული მჟავები მნიშვნელოვნად განაპირობებს ყურძნის საგემოვნო და ტექნოლოგიურ თვისებებს. დიდ გავლენას ახდენს ღვინის ხარისხსა და შენახვის ხანგრძლივობაზე. აქტიურად მონაწილეობს ვაზის ნივთიერებათა ცვლასა და ღვინოში მიმდინარე ქიმიურ და ბიოქიმიურ პროცესებში. ორგანული მჟავები გვხვდება როგორც თავისუფალი, ისე მარილების სახით [4].

ფენოლური ნაერთები ფართოდაა გავრცელებული მცენარეთა სამყაროში, აქვს ძლიერი ანტიოქსიდანტური, ანტივირუსული და ანტიბიოტიკური მოქმედება. ადამიანის ორგანიზმს არ ძალუძს ფენოლური ნაერთების წარმოქმნა, ამიტომ აუცილებელია საკვებად ისეთი პროდუქტების გამოყენება, რომლებიც შეიცავს ამ ნაერთებს. ფენოლებს შეიცავს ვაზის ყველა ნაწილი (ფესვი, ღერო, ფოთოლი, მტევანი) და მონაწილეობს მცენარის ზრდის პროცესში [5].

წითელი ჯიშის ყურძნის კანი მნიშვნელოვანი რაოდენობით შეიცავს ფენოლურ ნაერთებს; მათ შორის: ანთოციანებს, ფენოლმჟავებს, ფლავონოიდებსა და

სხვ. ტექნოლოგიური პროცესის დროს წვეწმში გადადის ფენოლური ნაერთების დაახლოებით 30 %, დაწარჩენი რჩება ჭაჭაში. სწორედ ამიტომ ჭაჭა არის ფენოლური ნაერთების უმდიდრესი წყარო [6].

მინერალური ნივთიერებები მნიშვნელოვან როლს ასრულებს ადამიანის ორგანიზმის ნივთიერებათა ცვლაში. ისინი უშუალოდ მოქმედებს გულის მუშაობაზე, ნერვულ სისტემაზე და შედის ჩონჩხის ძვლის შედგენილობაში. მინერალური ნივთიერებები აუცილებელია ადამიანის სრულფასოვანი კვებისათვის, ამიტომ ვფიქრობთ, რომ ჩვენი კვლევა საჭირო და აქტუალურია [7].

ზოგიერთი მძიმე მეტალი გარკვეული რაოდენობით აუცილებელია ადამიანის ორგანიზმისათვის და მონაწილეობს ნივთიერებათა ცვლაში. მაგალითად, რკინა, სპილენძი, თუთია, მოლიბდენი, მაგრამ დასაშვებ ნორმაზე მეტ რაოდენობას შეუძლია ზიანი მიაყენოს ადამიანის ჯანმრთელობას და გამოიწვიოს გარკვეული დაავადების განვითარების რისკი. ზოგიერთი კი გამოირჩევა განსაკუთრებული ტოქსიკურობით. მაგალითად ტყვია, კალა და სხვ. სწორედ ამიტომ მოვახდინეთ მეტალების რაოდენობის განსაზღვრა ყურძნის ჭაჭაში [8].

საკვლევ ნიმუშებად აღებული გვექონდა ფართოდ გავრცელებული ენდემური ყურძნის ჯიში – საფერავი (საკონტროლო) და ამჟამად მივიწყებული, (ადრე ფართოდ გავრცელებული) ნაკლებად შესწავლილი ჯიშები: სიმონასეული, გაბაშა, მესხური შავი და სრელური.

ნიმუშები აღებულ იქნა სოფლის მეურნეობის სამეცნიერო-კვლევითი ცენტრის ბაზაზე არსებუ-

ლი ჯიდაურას საკოლექციო-სანერგე მეურნეობიდან. აქ შექმნილია ვაზის უნიკალური გენოფონდი, თავმოყრილია მრავალი ქართული აბორიგენული ვაზის ჯიში, რომელიც მოძიებული და შეგროვებულია საქართველოს სხვადასხვა რეგიონებიდან.

ექსპერიმენტი ჩატარდა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის აგრარული მეცნიერებების და ბიოსისტემების ინჟინერინგის ფაკულტეტის ლაბორატორიაში.

### მასალები და კვლევის მეთოდები

საკვლევი ნიმუშების ექსტრაქტებში ორგანული მჟავების განსაზღვრა მოხდა DLC -20P-ს ფირმის მადალეფექტური სითხური ქრომატოგრაფის საშუალებით 220 ნმ ტალღის სიგრძეზე, მოძრავი ფაზა არის აცეტონიტრილი, მეთანოლი და ძმარმჟავა თანაფარდობით 9:1:4. ფენოლური ნაერთების მასური კონცენტრაციის განსაზღვრა Cl 9500-ის ფირმის სპექტროფოტომეტრზე ფოლინ-ჩოკალტეუს რეაქტივის გამოყენებით 660 ნმ-ზე, ხოლო მინერალური ნივთიერებების კონცენტრაცია NovAA 350-ს ფირმის ატომურ-აბსორბციულ სპექტროფოტომეტრზე [9].

### შედეგები და განსჯა

ექსპერიმენტისათვის ვიღებდით 50 გ გამომშრალ ჭაჭას. ექსტრაქციას ვახდენდით 70 °C-ზე გამოხდილი წყლით, შემდეგ 70 %-იანი ეთილის სპირტით.

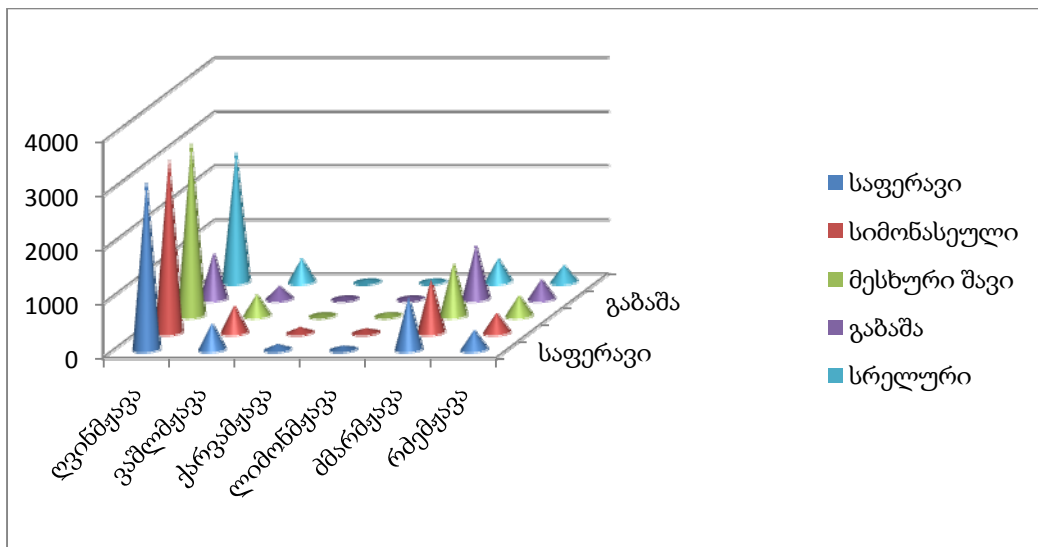
ექსპერიმენტით მიღებული შედეგები მოცემულია 1-ელ ცხრილში.

ორგანული მჟავების მასური კონცენტრაცია მგ/დმ<sup>3</sup>;

№	მჟავას დასახელება	ექსტრაგენტი									
		გამოხდელი წყალი, 70 °C					ეთილის სპირტი, 70 %				
		საფერავი	სიმონასეული	მესხური შავი	გაბაშა	სრელური	საფერავი	სიმონასეული	მესხური შავი	გაბაშა	სრელური
1	ღვინმჟავა	2103	2114	2215	568	1044	3119	3224	3218	861	2415
2	ვამლმჟავა	385	408	321	131	325	489	498	395	239	437
3	ქარვამჟავა	-	-	-	-	-	98	99	35	42	37
4	ლიმონმჟავა	47	65	36	26	41	67	77	56	39	57
5	ძმარმჟავა	880	813	887	913	287	976	985	981	997	435
6	რემეჟავა	241	238	291	234	301	357	367	381	361	311

როგორც 1-ელი ცხრ-დან ჩანს, 70 °C-ზე გამოხდილი წყლით ექსტრაქციის დროს არ მოხდა ქარვამჟა-

ვას განსაზღვრა. 70 %-იანი ეთანოლის სპირტით აღნიშნული მჟავების ექსტრაქცია მოხდა სრულად.



დიაგრამა 1. ორგანული მჟავების მასური კონცენტრაცია მგ/დმ<sup>3</sup>;

უნდა აღნიშნოს, რომ ნიმუშებში ორგანული მჟავების შემცველობა განსხვავებულია და დამოკიდებულია როგორც ჯიშზე, დამუშავების ტექნოლოგიაზე [9,10].

საკვლევ ნიმუშებში განსაზღვრული და შესწავლილ იქნა ფენოლური ნაერთების ჯამური რაოდენობა (მე-2 ცხრილი).

**ფენოლური ნაერთების შემცველობა ჭაჭის ექსტრაქტში**

ფენოლური ნაერთების მასური კონცენტრაცია, მგ/100 გ				
საფერავი	სიმონასეული	მესხური შავი	გაბაშა	სრელური
39,4	38,9	33,8	36,2	26,8

როგორც მე-2 ცხრილიდან ჩანს, ფენოლური ნა-  
ერთების შემცველობით საფერავს არ ჩამოუვარდე-  
ბა სიმონასეული, გაბაშა და მესხური შავი.

საკვლევი ჭაჭის მინერალური ნივთიერებების  
განსაზღვრის შედეგები მოცემულია მე-3 ცხრილში.

**ჭაჭის მინერალური ნივთიერებების განსაზღვრა, მგ/100 გ**

ყურძნის ჯიში	მინერალური ნივთიერებები				
	კალიუმი	ნატრიუმი	კალციუმი	მაგნიუმი	რკინა
საფერავი	381,3	110,7	178,1	151,3	11,3
სიმონასეული	375,9	112,9	157,2	136,4	11,2
ადრეული შავი	365,5	128,2	138,9	125,8	11,2
გაბაშა	300,3	192,4	153,5	103,5	12,6
სრელური	260,8	101,5	152,4	150,6	12,9

როგორც მე-3 ცხრილ-დან ჩანს, კალიუმის, კალ-  
ციუმისა და მაგნიუმის ჭარბი რაოდენობით გამო-  
ირჩევა საფერავი, კალციუმით მდიდარია სიმონა-  
სეული და გაბაშა, ხოლო რკინის უმნიშვნელოდ მე-

ტი რაოდენობა დაფიქსირდა სრელურში და გაბაშა.  
საკვლევ ობიექტებში განვსაზღვრეთ აგრეთვე  
მძიმე მეტალების შემცველობა, შედეგებიც მოცე-  
მულია მე-4 ცხრილში.

**მძიმე მეტალების შემცველობა ჭაჭაში**

ყურძნის ჯიში	მძიმე მეტალები		
	სპილენძი	ტყვია	კალა
საფერავი	კვალის სახით	--	--
სიმონასეული	კვალის სახით	--	--
ადრეული შავი	--	--	--
გაბაშა	კვალის სახით	--	--
სრელური	--	--	--

აღნიშნული მონაცემების მიხედვით, მძიმე მეტალები ან საერთოდ არ არის ჩვენ მიერ შერჩეული ყურძნის ჯიშების ჭაჭაში ან გვხვდება მხოლოდ კვალის სახით, რაც იმის მაჩვენებელია, რომ მძიმე მეტალები დასაშვებ ნორმაშია.

### დასკვნა

ჩატარებული კვლევის შედეგად დადგინდა, რომ ჩვენ მიერ შერჩეული ვაზის ჯიშებიდან მიღებული მეორეული პროდუქტი ჭაჭა მნიშვნელოვანი რაოდენობით შეიცავს ორგანულ მჟავებს, მდიდარია ფენოლური და მინერალური ნივთიერებებით. მძიმე მეტალები (სპილენძი, ტყვია, კალა) დასაშვებ ზღვრებშია.

- ყურძნის ჯიშების (სიმონასეული, გაბაშა, მესხური შავი, სრელური და საფერავი (კონტროლი)) ღვინის წარმოების ნარჩენ პროდუქტ, ჭაჭაში, ორგანული მჟავების მაქსიმალური რაოდენობა, 70 %-იანი ეთილის სპირტით ექსტრაქციის დროს დაფიქსირდა.
- აღნიშნული ჯიშების ჭაჭა მდიდარია ფენოლური ნაერთებით და არ ჩამოუვარდება კარგად შესწავლილ საფერავს.
- მინერალური ნივთიერებების და მძიმე მეტალების რაოდენობა აღნიშნულ ნიმუშებში დასაშვებ ნორმაშია.

### ლიტერატურა

1. Roussis I.G. , Lambropoulos I., Soulti K. Scavenging capacities of some wines and wine phenolic extracts. Food technology and biotechnology. 43 (4). 2005, 351-358 pp.
2. Ough C.S. Winemaking basics. Haworth Press. Binghampton. New York. 1992.
3. Shrikhande A.J. Wine by-products with health benefits. Food Res. Int. 2000, 469-474 pp.
4. Cosme F., Gonçalves B., Inês A., Jordão A. M., Vilela A. Grape and wine metabolites: Biotechnological approaches to improve wine quality. Grape and wine biotechnology. London. 2016, 187-214 pp.
5. Ju Z. Y., Howard L. R. Effects of solvent a temperature on pressurized liquid extraction of anthocyanins and total phenolics from dried red grape skin. Journal "Agric. food Chem.". 2003, 5207-5213 pp.
6. Aleynikova G. J. Phenolic complex and antioxidant activity of red dry wines. Wine-making and viticulture. № 4. 2007, 10 – 11 pp. (in Russian).
7. Panceri C.P., Gomes T.M., GOES J.S.D.E., Borges D.L.G., Bordignon-Luiz M.T. Effect of dehydration process on mineral content, phenolic compounds and antioxidant activity of Cabernet Sauvignon and Merlot grapes. Food Res. Int. 54. 2013, 1343-1350 pp.
8. Valko M., Rhodes CJ., Moncol J., Izakovic M., Mazur M. Free radicals, metals and antioxidants in oxidative stress-induced cancer. Chem Biol Interact. 2006.
9. Ribéreau-Gayon P., Glories Y., Maujean A., Dubourdieu D. Alcohols, and other volatile compounds. The chemistry of wine stabilization and treatments. Handbook of enology. Vol. 2. 2006, 51-64 pp.
10. Gómez-Alonso S., García-Romero E., Hermosín-Gutiérrez I. HPLC analysis of diverse grape and wine phenolics using direct injection and multidetection by DAD and fluorescence. Journal "Food Compos. Anal.". 2007, 618-626 pp.
11. Naczki M., Shahidi F. Extraction and analysis of phenolics in food. 2004.



UDC 546.661.56

SCOPUS CODE 1303

## Study of organic acids, phenolic compounds and minerals in grape waste from wine production

- Lela Gurgenidze** Department of Food Technology, Georgian Technical University, 17 D. Guramishvili Str, 0192, Tbilisi, Georgia  
E-mail: gurgenidzelela71@gmail.com
- Tamar Kanchaveli** Department of Food Technology, Georgian Technical University, 17 D. Guramishvili Str, 0192, Tbilisi, Georgia  
E-mail: tkanchaveli25@gmail.com
- Giorgi Kvartskhava** Department of Food Technology, Georgian Technical University, 17 D. Guramishvili Str, 0192, Tbilisi, Georgia  
E-mail: g.kvartskhava@gtu.ge

### Reviewers:

**G. Tkemaladze**, Doctor of Biological Sciences, Professor, Faculty of Agricultural Science and Biosystems Engineering, GTU

E-mail: guram.tkemaladze@yahoo.com

**V. Ugrekhelidze**, Doctor of Biological Sciences, Professor, Faculty of Agricultural Science and Biosystems Engineering, GTU

E-mail: v.ugrekhelidze@gmail.com

**Abstract.** In order to study organic acids, phenolic compounds and minerals, we've chosen the secondary products of the grape varieties that were less studied (Simonaseuli, Gabasha, Meskhuri Shavi and Sreluri). We compared their characteristics to the well known grape variety – Saperavi. In order to determine the organic acids concentration we conducted an experiment with 70% ethanol solution. We defined the total amount of phenolic compounds, heavy metals and minerals.

As a result of determining the concentration of phenolic compounds and organic acids, we came to the conclusion that Simonaseuli and Gabasha are pretty similar to Saperavi with their characteristics. We've found a big amount of potassium, calcium and magnesium in Saperavi. Gabasha is rich in calcium, and Sreluri contains a little more amount of Iron than other varieties. Heavy metal content in the mentioned varieties is in normal range. To summarize the results of our study, the secondary product of chosen grape varieties contains high level of organic acids and it is rich in phenolic and mineral compounds. Heavy metal content is in its normal range.

**Key words:** Chromatography; heavy metals; minerals; organic acids; phenolic compounds.

UDC 546.661.56

SCOPUS CODE 1303

## Исследование органических кислот, фенольных соединений и минеральных веществ из виноградных выжимок

- Лела Гургенидзе**      Департамент пищевой технологии, Грузинский технический университет, Грузия, 0192, Пр. Д. Гурамишвили 17  
E-mail: gurgeniidzelela71@gmail.com
- Тамар Канчавели**      Департамент пищевой технологии, Грузинский технический университет, Грузия, 0192, Пр. Д. Гурамишвили N17  
E-mail: tkanchaveli25@gmail.com
- Георгий Кварцхავა**      Департамент пищевой технологии, Грузинский технический университет, Грузия, 0192, Пр. Д. Гурамишвили N17  
E-mail: g.kvartskhava@gtu.ge

### Рецензенты:

**Г. Ткемаладзе**, профессор факультета аграрных наук и инженеринга биосистем ГТУ

E-mail: guram.tkemaladze@yahoo.com

**В. Угрехелидзе**, профессор факультета аграрных наук и инженеринга биосистем ГТУ

E-mail: v.ugrekhelidze@gmail.com

**Аннотация.** С целью изучения органических кислот, фенольных соединений и минеральных веществ, мы отобрали остаточные продукты виноделия менее изученных сортов винограда (Симонасеули, Месхури шави, Габаша и Срелури) и сравнили с хорошо изученным сортом Саперави. Для количественного определения органических кислот были проведены эксперименты с 70 % этанолом и 70 % дистиллированной водой. Были определены общее количество фенольных соединений, минеральных веществ и содержание тяжелых металлов.

В результате определения было обнаружено, что количеством органических кислот и фенольных соединений Симонасеули и Габаша не отстают от Саперави. Избыток калия, кальция и магния наблюдается в Саперави, большое количество кальция в сорте Габаша. По сравнению с другими сортами количество железа в Срелури было несколько выше. Содержание тяжелых металлов в указанных сортах находится в норме. В результате проведенных исследований было доказано, что вторичный продукт, полученный из исследуемых сортов винограда, содержит значительное количество органических кислот, богат фенольными и минеральными веществами. Количество тяжелых металлов находится в пределах нормы.

**Ключевые слова:** минеральные вещества; органические кислоты; тяжелые металлы; фенольные соединения; хроматография.

*განხილვის თარიღი 11.06.2019*

*შემოსვლის თარიღი 12.06.2019*

*ხელმოწერილია დასაბეჭდად 17.12.2019*

UDC 546.661.56

SCOPUS CODE 1303

**ზოგიერთი ქართული ენდემური ყურძნის ჯიშისაგან მიღებულ ღვინის ლექში  
აზოტშემცველი ფრაქციების გამოკვლევა**  
<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2019-4-19-26>

- თამარ ყანჩაველი** სასურსათო ტექნოლოგიების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0192, თბილისი, დ. გურამიშვილის გამზირი 17  
E-mail: tkanchaveli25@gmail.com
- ლელა გურგენიძე** სასურსათო ტექნოლოგიების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0192, თბილისი, დ. გურამიშვილის გამზირი 17  
E-mail: gurgenidzelela71@gmail.com
- გიორგი ქვარცხავა** სასურსათო ტექნოლოგიების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0192, თბილისი, დ. გურამიშვილის გამზირი 17  
E-mail: g.kvartskhava@gtu.ge

#### რეცენზენტები:

**გ. ტყემალაძე**, სტუ-ის აგრარული მეცნიერებისა და ბიოსისტემების ინჟინერინგის ფაკულტეტის პროფესორი

E-mail: guram.tkemaladze@yahoo.com

**ვ. უგრეხელიძე**, სტუ-ის აგრარული მეცნიერებისა და ბიოსისტემების ინჟინერინგის ფაკულტეტის პროფესორი

E-mail: v.ugrekhelidze@gmail.com

**ანოტაცია.** სხვადასხვა ჯიშის ყურძნის გადამუშავების პროდუქტის (ნარჩენის) – ლექის აზოტშემცველი ნაერთების პერსპექტიული ფრაქციების გამოვლენა შემდგომში მათი საწარმოო გამოყენების მიზნით უმნიშვნელოვანესი ამოცანაა. ამ მიზნით სხვადასხვა ჯიშის ყურძნის გადამუშავების ნარჩენში – ღვინის ლექში აზოტშემცველი ფრაქციების შესწავლის შედეგად. გამოიკვია, რომ 5 სთ მყავური ჰიდროლიზის შედეგად მიღებული ჰიდროლიზატი

შეიცავს ყველა შეუცვლელ ამინომჟავას. ამიტომ ღვინის ლექის აზოტშემცველი ჰიდროლიზატი შეიძლება გამოვიყენოთ საკვები პროდუქტების მრეწველობაში სურსათის, მათ შორის სასმელების და სამზადებლად, ძირითადად, ცილოვან – ამინომჟავური პრეპარატების სახით. ღვინის ლექის სხვადასხვა კონცენტრაციის მარილმჟავათი ჰიდროლიზის შედეგად მივიღეთ აღმდგენელი შაქრებით, დაბალ-მოლეკულური პეპტიდებითა და ამინომჟავებით მდიდარი ჰიდროლიზატი.

**საკვანძო სიტყვები:** აზოტოვანი ნაერთები; ამინური აზოტი; პეპტიდები; საერთო აზოტი; ცილები.

## შესავალი

აზოტშემცველი ნივთიერებები დიდ როლს თამაშობს მცენარეთა და ცხოველთა სამყაროში, მიუხედავად იმისა, რომ რაოდენობრივი თვალსაზრისით, ბევრად უფრო მცირეა სხვა ნივთიერებებთან შედარებით [1, 2].

აზოტშემცველი ნივთიერებების შემცველობა დიდად არის დამოკიდებული ყურძნის ჯიშზე, კლიმატურ პირობებსა და მათი გადამუშავების ტექნოლოგიაზე. სხვადასხვა ჯიშის ყურძნის აზოტშემცველი ნივთიერებები, განსაკუთრებით ცილები დიდი რაოდენობით გროვდება ყურძენში, როდესაც ნალექები ნორმაზე უფრო დაბალია და ტემპერატურა – ნორმაზე მაღალი [3].

ლიტერატურის მონაცემების მიხედვით, ყურძენში აზოტოვან ნივთიერებათა თვისებრივი და რაოდენობრივი შემცველობა იცვლება ჯიშისა და ვაზის ზრდის ეკოლოგიური პირობების მიხედვით [4].

## ძირითადი ნაწილი

მრავალი მეცნიერული გამოკვლევის მიხედვით, ადამიანის კვებაში, ხილისა და მათი გადამუშავების პროდუქტების ორგანოლუპტიკური თვისებების ჩამოყალიბებაში, ვიტამინებთან ერთად მნიშვნელოვანი ადგილი უკავია მცენარეულ ცილებსა და ამინომჟავებს [5].

ყურძნისა და ასევე სხვა ხილის გადამუშავების პროდუქტების ხარისხს მნიშვნელოვნად განაპირობებს ცილოვანი ნივთიერებები და მათი გარდაქმნის პროდუქტები [6].

სამუშაოს მიზანს შეადგენდა სხვადასხვა ჯიშის ყურძნის ღვინის ნარჩენი პროდუქტის – ლექის, აზოტშემცველი ნაერთების პერსპექტიული ფრაქციების გამოვლენა, მათი შემდგომში საწარმოო გამოყენების მიზნით.

ცილის ჰიდროლიზი დამოკიდებულია რამდენიმე ფაქტორზე: მაჰიდროლიზებელი რეაგენტის ბუნებაზე, კონცენტრაციაზე, ტემპერატურასა და დროზე. ცილის ჰიდროლიზი ხდება ქიმიური გზით (მჟავათი და ტუტით) და პროტეოლიზური ფერმენტების მოქმედებით [7].

ცილის ქიმიური ჰიდროლიზი უფრო მკაცრ პირობებში ტარდება, რომელიც მოითხოვს მაღალ ტემპერატურასა და ხანგრძლივ დროს. ჰიდროლიზი ტარდება მჟავათი და ტუტით. ტუტით ჰიდროლიზი ნაკლებად გამოიყენება, რადგან ამ დროს დიამინომჟავების დიდი ნაწილი იშლება, ინტენსიურ დაშლას განიცდის სხვა ამინომჟავებიც: ოქსიამინომჟავები, ცისტინი [8]. მჟავური ჰიდროლიზის დროსაც ხდება ზოგიერთი ამინომჟავის ნაწილობრივი დაშლა, მაგრამ უმნიშვნელოდ. ძირითადად იშლება ტრიპტოფანი. ეს იმ შემთხვევაში ხდება, როდესაც ცილის ჰიდროლიზატი ნარევის სახით შეიცავს ნახშირწყლებსა და მეტალებს. ამ დროს ტრიპტოფანი გარდაიქმნება დიკარბოამინომჟავად, ხოლო ტრიპტოფანის დაშლის პროდუქტი – ინდოლის ბირთვი კონდენსირდება ალდეჰიდებთან და წარმოქმნის ჰუმისურ ნივთიერებებს [9, 10].

**მასალები და კვლევის მეთოდები**

კვლევის ობიექტად აღებული გვექონდა ყურძნის სხვადასხვა ჯიშებიდან მიღებული ღვინის (*საფერავი, გაბაშა, მესხური შავი, სრელური და სიმონასელი*) ლექები.

საკვლევი ობიექტის შედგენილობის შესწავლისა და მიღებული შედეგების შეფასებისათვის გამოვიყენეთ კვლევის შემდეგი მეთოდები: ამინური აზოტი განვსაზღვრეთ ფორმოლური ტიტრაციული მეთოდით [11], საერთო აზოტი და ცილა განვსაზღვრეთ კელდალის მეთოდით, KjelFlex K – 360 და SpeedDigeaster K – 439 ფირმის აპარატების გამოყენებით [12].

**შედეგები და მათი განსჯა**

მოვახდინეთ ზემოთ აღნიშნული ობიექტების შეგროვება, გაშრობა, დაქუცმაცება და საანალიზოდ მომზადება.

საერთო აზოტი და ცილა განისაზღვრა კელდალის მეთოდით (იხ. ცხრ.1).

ცხრილი 1

**საერთო აზოტისა და ცილების რაოდენობრივი**

**შემცველობა ობიექტში**

N <sup>o</sup>	ნიმუშის დასახელება	საერთო აზოტი %	ცილები %
1.	საფერავი	3,424	21,4
2.	გაბაშა	3,152	19,7
3.	მესხური შავი	3,12	19,5
4.	სიმონასელი	3,344	20,9
5.	სრელური	3,008	18,8

როგორც ცხრილიდან ჩანს, ყველაზე მაღალი მონაცემებით საერთო აზოტისა და ცილების რაოდენობრივი შემცველობით *საფერავის* შემდეგ გა-

მოირჩევა *სიმონასელი*, შემდეგ *გაბაშა*, *მესხური შავი* და *სრელური*.

აღნიშნულ ნიმუშში მოვახდინეთ ექსტრაქცია წყლით 40 °C ტემპერატურაზე. მიღებულ ექსტრაქტებში განვსაზღვრეთ ამინური აზოტი ფორმოლური ტიტრაციული მეთოდით.

ჩატარებული ცდის შედეგად გამოირკვა, რომ ამინური აზოტის, *საფერავის* შემდეგ, შედარებით მაღალი შემცველობით ხასიათდება *სიმონასელი* და *გაბაშა*.

პეპტიდების რაოდენობა წარმოდგენილია მე-2 ცხრილში

ცხრილი 2

**ამინური აზოტისა და პეპტიდების რაოდენობრივი**

**შემცველობა საკვლევ ნიმუშებში**

N <sup>o</sup>	ღვინის ნიმუშები	ამინური აზოტი %	პეპტიდები %
1.	საფერავი	1.330	0.570
2.	სიმონასელი	1.106	0.494
3.	მესხური შავი	0.884	0.816
4.	სრელური	0,853	0.617
5.	გაბაშა	1.064	0.736

ჩატარებული ცდის შედეგად გამოირკვა, რომ საფერავთან შედარებით პეპტიდები შედარებით მაღალი შემცველობით არის *მესხურ შავსა* და *გაბაშაში*, ხოლო ამინური აზოტი კი *საფერავის* შემდეგ შედარებით მაღალი შემცველობით არის *სიმონასელსა* და *გაბაშაში*.

არსებულ ნიმუშში ჩავატარეთ მჟავა ჰიდროლიზი. წინასწარ შერჩეულ იქნა მჟავა ჰიდროლიზის ოპტიმალური პირობები. ჰიდროლიზს ვატარებდით მარილმჟავას 1%, 3%, 5%, 10%, 15%, 20% კონცენტრაციებით. შერჩეულ იქნა ჰიდროლიზისთვის

ტემპერატურა: 90 °C, 110 °C, 130 °C, 150 °C. სხვადასხვა დროის განმავლობაში 1, 2, 3, 5, 6 სთ - ის, შევარჩიეთ ასევე ჰიდრომოდული 1 : 20;

ჩატარებული ექსპერიმენტიდან გამოიკვავა, რომ მჟავა ჰიდროლიზისთვის საუკეთესო პირობებია 120 °C ტემპერატურა, 3 საათი დრო, ჰიდრომოდული 1 : 20; მიღებულ ჰიდროლიზატებში ვსაზღვრავდით ცილებს, აღმდგენელ შაქრებს, ამინურ აზოტსა და პეპტიდებს.

ჩატარებული ცდების საფუძველზე გამოიკვავა, რომ მჟავა ჰიდროლიზატებში ცილებისა და ამინური აზოტის დინამიკა ერთნაირი კანონზომიერებით მიმდინარეობს. 1% - დან 5% - მდე მარილმჟავათი ჰიდროლიზის დროს ცილების საერთო რაოდენობა მატულობს, ხოლო 10 % - დან 20 % - მდე ხდება ცილების შემცირება, რაც განპირობებულია იმით, რომ 1 % - დან 5 % - მდე ხდება არა ჰიდროლიზი, არამედ ცილების ექსტრაქცია საანა-

ლიზო ნიმუშებიდან, ხოლო 5 % - ის ზემოთ კი მიმდინარეობს მათი ჰიდროლიზი, რაც იწვევს ცილების რაოდენობის დაკლებას, ამინური აზოტის ყველა ნიმუშში კი მატებას.

აღმდგენი შაქრების შემთხვევაში, 1% - იანი მარილმჟავათი ჰიდროლიზის დროს ხდება მათი მაქსიმალური რაოდენობის გამოტანა, ხოლო დანარჩენ ნიმუშებში ჰიდროლიზის ჩატარებისას ხდება მათი 50 % - ით დაკლება, ეს აიხსნება იმით, რომ, პირველ შემთხვევაში შაქრების მომატება წარმოებს ობიექტებში არსებული ადვილად ჰიდროლიზებადი პოლისაქარიდების კონვერსიით, ხოლო მათი კლება გამოწვეულია მჟავის კონცენტრაციის მომატებისას აღმდგენი შაქრების დაშლით. ჰიდროლიზატებში მატულობს აგრეთვე დაბალმოლეკულური პეპტიდების შემცველობაც. შედეგები მოცემულია მე-3 ცხრილში.

ცხრილი 3

**ჰიდროლიზატებში საერთო აზოტის, პეპტიდების, აღმდგენელი შაქრებისა და ცილების შემცველობა**

ობიექტის დასახელება	საერთო აზოტი, %	პეპტიდები, %	აღმდგენელი შაქრები, %	ცილები, %
საფერავის ლექი + 1 % HCl	0,72	0,158	13	4,87
საფერავის ლექი + 3 % HCl	0,9	0,232	7,4	3,72
საფერავის ლექი + 5 % HCl	2,4	0,322	7,2	15
საფერავის ლექი + 10 % HCl	1,4	0,434	6,0	7,5
საფერავის ლექი + 15% HCl	1,1	0,476	5,6	6,8
საფერავის ლექი + 20 % HCl	1,0	0,574	4,9	6,2
სიმონასელის ლექი+1% HCl	0,7	0,135	12	4,38
სიმონასელის ლექი +3% HCl	0,82	0,215	7,1	5,15
სიმონასელის ლექი+ 5% HCl	1,93	0,305	6,9	12

სიმონასეულის ლექი+10% HCl	1,4	0,418	6	8,75
სიმონასეულის ლექი+15% HCl	1,11	0,453	5,1	6,9
სიმონასეულის ლექი+20% HCl	0,97	0,535	4,2	6,06
გაბაშას ლექი + 1 % HCl	0,7	0,145	12,7	4,38
გაბაშას ლექი + 3 % HCl	0,85	0,225	7,2	5,32
გაბაშას ლექი + 5 % HCl	2,1	0,312	6,7	13,5
გაბაშას ლექი + 10 % HCl	1,1	0,411	6,2	6,88
გაბაშას ლექი + 15% HCl	0,98	0,449	5,8	6,13
გაბაშას ლექი + 20 % HCl	0,9	0,541	4,7	5,63
მესხური შავის ლექი + 1 % HCl	0,71	0,135	12,2	4,44
მესხური შავის ლექი + 3 % HCl	0,8	0,535	7	5
მესხური შავის ლექი + 5% HCl	1,89	0,301	6,2	11,82
მესხური შავის ლექი+10% HCl	1	0,474	5	6,25
მესხური შავის ლექი+ 15% HCl	0,89	0,507	4,4	5,56
მესხური შავის ლექი+ 20% HCl	0,81	0,525	4,1	5,06
სრელურის ლექი + 1 % HCl	0,7	0,135	11,8	4,38
სრელურის ლექი + 3 % HCl	0,87	0,21	7	5,44
სრელურის ლექი + 5 % HCl	2	0,302	6,9	12,5
სრელურის ლექი + 10 % HCl	1,3	0,403	6	8,13
სრელურის ლექი + 15% HCl	1	0,413	5,1	6,25
სრელურის ლექი + 20 % HCl	0,93	0,525	4,1	6

მივიღეთ აგრეთვე საფურის ბიომასიდან (ლე-ქიდან) ცილოვანი ფრაქციები. მოვახდინეთ 0,5 კგ საფურის ბიომასის ცხელი მრავალჯერადი ექსტრაქცია წყლით. მიღებული ექსტრაქტი გავფილტრეთ, შევასქელეთ ვაკუუმ ამორთქლებელზე 40 °C ტემპერატურაზე. გამოსავალმა დაახლოებით 50 % შეადგინა. მიღებულ ფრაქციებში განვსაზღვრეთ ცილები, ამინური აზოტი, თავისუფალი ამინომჟავები და აღმდგენი შაქრები. ცილები მივიღეთ 25 %, ამინური აზოტი 1,7 %, თავისუფალი ამინომჟავები 2,4 %, აღმდგენელი შაქრები 5,9 %.

ჩავატარეთ მიღებული ცილოვანი ფრაქციის მჟავური ჰიდროლიზი (სხვადასხვა კონცენტრაციის მარილმჟავათი). წინასწარ შევარჩიეთ ჰიდროლიზის ოპტიმალური პირობები, რადგანაც ცნობილია, რომ მჟავური ჰიდროლიზის დროს ხდება ტრიპტოფანის, ასევე ლიზინის, ჰისტიდინის, მეთიონინისა და ცისტინის სრული ან არასრული დაშლა. ჰიდროლიზს ვატარებდით 5 % მარილმჟავათი 3 – 6 სთ - ის განმავლობაში 85 °C ტემპერატურაზე.

ჩატარებული ცდების საფუძველზე გამოირკვა, რომ საუკეთესო შედეგს იძლევა 5 სთ - იანი მჟა-

ვური ჰიდროლიზი, რომლის დროსაც მიღებული ფრაქცია შეიცავს ყველა შეუცვლელ ამინომჟავას.

საფუვრის ბიომასიდან მიღებული ცილოვანი ფრაქცია მოითხოვს შემდგომში გასუფთავებას, რათა გამოყენებულ იქნეს სასოფლო - სამეურნეო ცხოველთა კვებაში.

### დასკვნა

ჩატარებულმა გამოკვლევებმა ასევე აჩვენა, რომ ღვინის ლექიდან მიღებული ცილოვანი ჰიდროლიზატები შეიძლება გამოვიყენოთ მეცხოველეობაში და, ნაწილობრივ, საკვები პროდუქტების მრეწველობაში მისი გასუფთავების შემდეგ.

- შესწავლილია სხვადასხვა ჯიშის ყურძნის ღვინის ლექში აზოტმემცველი ფრაქციები, რომლე-

ბიც შეიძლება გამოვიყენოთ საკვები პროდუქტების მრეწველობაში დაბალანსებული პროდუქტებისა და სასმელების დასამზადებლად, ძირითადად ცილოვან - ამინომჟავური პრეპარატების სახით.

- ღვინის ლექის სხვადასხვა კონცენტრაციის მარილმჟავათი ჰიდროლიზის შედეგად მიღებულ იქნა აღმდგენი შაქრებით, დაბალმოლეკულური პეპტიდებითა და ამინომჟავებით მდიდარი ჰიდროლიზატი.

- შესწავლილია ღვინის ლექიდან მიღებული ცილოვანი ჰიდროლიზატები, რომლებიც შეიძლება გამოვიყენოთ სასოფლო - სამეურნეო ცხოველთა კვებაში და ნაწილობრივ საკვები პროდუქტების მრეწველობაში მისი გასუფთავების შემდეგ.

### ლიტერატურა

1. Gusakova N.V. Environmental chemistry. Series "Higher education". Rostov-on-Don: "Phoenix". 2004. (in Russian).
2. Isidorov V.A. Ecological chemistry. SPb.: "Himizdat". 2001. (in Russian).
3. Garde-Cerdán T., Lorenzo C., Lara J.F., Pardo F., Ancín-Azpilicueta C., Salinas M.R. Study of the evolution of nitrogen compounds during grape ripening. Application to differentiate grape varieties and cultivated systems. Journal of agricultural and food chemistry. Vol.57. 2009, 2410-2419 pp.
4. Neklyudov A.D., Veremyev I.V. The use of amino acids in medical practice. Amino acids for agriculture, food industry, health and scientific research. Frunze. 1981. 179- 181 pp. (in Russian).
5. Rapp A., Versini G. Influence of nitrogen compounds in grapes on aroma compounds in wine. Proceedings of the international symposium on nitrogen in grapes and wine. Washington. 1991, 156-164 pp.
6. Yarovenko V.L., Marichenko V.A., Smirnov V.A. Alcohol technology. M.: "Kolos". 2002. (in Russian).
7. URL: <https://helpiks.org/3-60917.html> ( in Russian).
8. URL: <https://msd.com.ua/pishhevye-koncentraty/belkovye-gidrolizaty/> ( in Russian ).
9. Berezov T.T. Biological chemistry. M.: "Medicine". 2008, 317 p. ( in Russian).



UDC 546.661.56

SCOPUS CODE 1303

## Study of nitrogen compounds in wine precipitates of some Georgian endemic varieties

**Tamar Kanchaveli** Department of Food Technology, Georgian Technical University, 17 D. Guramishvili Str, 0192, Tbilisi, Georgia  
E-mail: tkanchaveli25@gmail.com

**Lela Gurgenzidze** Department of Food Technology, Georgian Technical University, 17 D. Guramishvili Str, 0192, Tbilisi, Georgia  
E-mail: gurgenzidzelela71@gmail.com

**Giorgi Kvartskhava** Department of Food Technology, Georgian Technical University, 17 D. Guramishvili Str, 0192, Tbilisi, Georgia  
E-mail: g.kvartskhava@gtu.ge

### Reviewers:

**V. Ugrekhelidze**, Doctor of Biological Sciences, Professor, Faculty of Agricultural Science and Biosystems Engineering, GTU  
E-mail: guram.tkemaladze@yahoo.com

**G. Tkemaladze**, Doctor of Biological Sciences, Professor, Faculty of Agricultural Science and Biosystems Engineering, GTU  
E-mail: v.ugrekhelidze@gmail.com

**Abstract.** The aim of the work was to identify the fractions of nitrogen containing compounds in the grape processing product (wine precipitate) for their further production. Nitrogen fractions in wine precipitate have been determined and as a result of the research, we can say, that the fractions, received after acidic hydrolysis, conducted during 5 hours, contain all the essential amino acids, so the nitrogen fractions of wine precipitate can be used to prepare balanced products and beverages in the food industry, mainly as protein - amino acid preparations. As a result of hydrolysis of wine precipitate with various concentrations of hydrochloric acid, hydrolysates rich in amino acids, low molecular weight peptides and reducing sugars were obtained. Also, studies have shown that protein hydrolysates obtained from wine precipitate can be used in animal husbandry and partially in the food industry after their purification.

**Key words:** Amniotic nitrogen; nitrogen compounds; peptides; proteins; total nitrogen.

UDC 546.661.56

SCOPUS CODE 1303

## Исследование азотных соединений винных осадков, полученных из некоторых грузинских сортов винограда

- Тамар Канчавели**      Департамент пищевой технологии, Грузинский технический университет, Грузия, 0192, Пр. Д. Гурамишвили 17  
E-mail: tkanchaveli25@gmail.com
- Лела Гургенидзе**      Департамент пищевой технологии, Грузинский технический университет, Грузия, 0192, Пр. Д. Гурамишвили 17  
E-mail: gurgenidzelela71@gmail.com
- Георгий Кварцхავა**      Департамент пищевой технологии, Грузинский технический университет, Грузия, 0192, Пр. Д. Гурамишвили 17  
E-mail: g.kvartskhava@gtu.ge

### Рецензенты:

**Г. Ткемаладзе**, профессор факультета аграрных наук и инженеринга биосистем ГТУ

E-mail: guram.tkemaladze@yahoo.com

**В. Угрехелидзе**, профессор факультета аграрных наук и инженеринга биосистем ГТУ

E-mail: v.ugrekhelidze@gmail.com

**Аннотация.** Целью работы было выявление перспективных фракций азотсодержащих соединений продукта переработки винограда (винного осадка) для их дальнейшего применения в производстве. Были изучены азотсодержащие фракции винных осадков разных сортов винограда. На основании проведенных анализов было установлено, что фракция, полученная во время кислотного гидролиза, проводимого в течение 5 часов, содержит все незаменимые аминокислоты, поэтому азотные фракции винного осадка можно использовать для приготовления сбалансированных продуктов и напитков в пищевой промышленности в основном в виде белково-аминокислотных препаратов. В результате гидролиза винных осадков различными концентрациями соляной кислоты были получены гидролизаты богатые аминокислотами, низкомолекулярными пептидами и восстанавливающими сахарами. Также проведенные исследования показали, что белковые гидролизаты, полученные из винных осадков, могут быть использованы в скотоводстве и частично в пищевой промышленности после их очистки.

**Ключевые слова:** азотные фракции; аминокислоты; белковые гидролизаты; винные асадки; низкомолекулярные пептиды.

*განხილვის თარიღი 11.06.2019*

*შემოსვლის თარიღი 12.06.2019*

*ხელმოწერილია დასაბეჭდად 17.12.2019*

UDC 663.5

SCOPUS CODE 1305

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2019-4-27-33>

## ეთერზეთოვანი ვარდის გადამუშავების ნარჩენების გამოკვლევა

- ნუგზარ ბალათურია** კვების მრეწველობის ს/კ ინსტიტუტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0192, თბილისი, გურამიშვილის გამზირი, 17  
E-mail: nugzi@yahoo.com
- ლუიზა ქაჯაია** კვების მრეწველობის ს/კ ინსტიტუტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0192, თბილისი, გურამიშვილის გამზირი, 17  
E-mail: l.qajaia@gtu.ge
- ნელი გილაური** კვების მრეწველობის ს/კ ინსტიტუტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0192, თბილისი, გურამიშვილის გამზირი, 17  
E-mail: n.gilauri@gtu.ge

### რეცენზენტები:

- ნ.ებელაშვილი**, სტუ-ის კვების მრეწველობის სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტის დირექტორის მოადგილე, მთავარი მეცნიერი თანამშრომელი, ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი  
E-mail: nana-ebelashvili@hotmail.com
- გ.გრიგორაშვილი**, სტუ-ის კვების მრეწველობის სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტის მთავარი მეცნიერი თანამშრომელი, ბიოლოგიურ მეცნიერებათა დოქტორი  
E-mail: g.grigorashvili@gtu.ge

**ანოტაცია.** ანაერობულ პირობებში გამოკვლეულია ფერმენტირებული ვარდის ყვავილების ჰიდროდისტილაციით გადამუშავების ნარჩენები.

ვარდის ყვავილების გადამუშავების ნარჩენი შედგება ორთქლში გამოხარშული ვარდის ყვავილების ექსტრაქტისაგან, რომელიც შეიცავს ვარდის წყალში ხსნად ნივთიერებებს.

გამოკვლევულ იქნა ვარდის ყვავილების და მისი გადამუშავების ნარჩენების მყარი და თხევადი ფაზების ქიმიური შედგენილობა. დადგინდა რომ

ვარდის ყვავილების გადამუშავების ნარჩენები შეიცავს მთრიმლავ, მღებავ, ცილოვან, სურნელოვან ნივთიერებებს, ასევე ვიტამინებს, ამინომჟავებს და სხვ. განსაზღვრულია აღნიშნული ნარჩენების გამოყენების მიმართულეები.

დადგენილია, რომ ვარდის ყვავილების გადამუშავების ნარჩენების მყარი ფაზა შეიძლება გამოვიყენოთ დამატებითი პროდუქციის-სურნელოვანი კონკრეტის, ხოლო თხევადი ფაზა ვარდის სურნელოვანი წყლისა და ბიოლოგიურად აქტიური ექსტრაქტის მისაღებად.

შემუშავებულია ჰიდროდისტილაციით ვარდის ყვავილების გადამუშავების უნარჩენო ტექნოლოგიის პრინციპული სქემა.

**საკვანძო სიტყვები:** ბიოლოგიურად აქტიური ექსტრაქტი; ვარდის ნარჩენები; კონკრეტი.

### შესავალი

ეთეროვანი ზეთების წარმოება სახალხო მეურნეობის სხვა დარგებისაგან განსხვავებით გამოირჩევა წარმოების ნარჩენების დიდი რაოდენობით, რაც შეადგენს გადამუშავებული ნედლეულის 99 %-ს.

ეთერზეთოვანი ნედლეულის გადამუშავების ნარჩენები შეიცავს მთრიმლავ, მღებავ, ცილოვან, სურნელოვან ნივთიერებებს, ასევე ვიტამინებს, ამინომჟავებს და სხვ.

ეთეროვანი ზეთების წარმოების ნარჩენები, მიუხედავად ასეთი მდიდარი შედგენილობისა, გამოიყენებოდა მხოლოდ როგორც ორგანული სასუქი და დაბალკალორიული საწვავი. გარდა აღნიშნულისა, ყვავილოვანი და ყვავილოვან-ბალახისებრი ეთერზეთოვანი ნედლეულის ნარჩენები, კაროტინის და მიკროელემენტების მაღალი შემცველობის გამო, გამოიყენებოდა საქონლის საკვებად.

ეთერზეთოვანი ვარდის (ჯიში – ყირიმის წითელი) ყვავილებიდან ეთეროვანი ზეთი მივიღეთ 16 %-იან მარილწყალში ფერმენტირებული ვარდის ყვავილებიდან, რაც შეუძლებელს ხდიდა გამოხდის შემდეგ დარჩენილი მარილიანი ნარჩენების გამოყენებას.

საქართველოს კვების მრეწველობის სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტის მიერ შემუშავებული დახურულ სივრცეში ანაერობულ პირობებში ვარდის ყვავილების ფერმენტაციის ტექნოლოგიის შემუშავებამ შესაძლებელი გახადა ვარდის ეთეროვანი ზეთის წარმოების ნარჩენების გამოყენება, რამაც საფუძველი დაუდო ვარდის ყვავილების გადამუშავების უნარჩენო ტექნოლოგიის შექმნას.

ვარდის ყვავილების გადამუშავების უნარჩენო ტექნოლოგიის წარმოებაში დანერგვა, მნიშვნელოვნად გაზრდის გამომუშავებული პროდუქციის მოცულობას და გააფართოებს ასორტიმენტს, რაც გაზრდის ვარდის ეთეროვანი ზეთის წარმოების რენტაბელობას.

### ძირითადი ნაწილი

კვლევის ობიექტად გამოყენებული იყო ახლად დაკრეფილი ვარდის ყვავილები და ვარდის ეთეროვანი ზეთის წარმოების კუბური ნარჩენი – მყარი და თხევადი ფაზა.

ჩვენი კვლევის მიზანი იყო ანაერობულ პირობებში ფერმენტირებული ვარდის ყვავილების ჰიდროდისტილაციის მეთოდით გადამუშავების ნარჩენების ქიმიური შედგენილობის შესწავლა და მათი გამოყენების სფეროს დადგენა.

დადგინდა, რომ ანაერობულ პირობებში ფერმენტირებული ვარდის ყვავილების ჰიდროდისტილაციით გადამუშავების კუბური ნარჩენები, რომელიც შეადგენს გადამუშავებული ნედლეულის 300 %, შეიცავს 0.15 -0.35 % სურნელოვან კონკრეტს და 0.008% ეთეროვან ზეთს.

ვარდის ეთეროვანი ზეთის გამოხდის შემდეგ გამოსახდელ კუბში დარჩენილი მასა შედგება ორ-თქლში გამოხარშული ვარდის ყვავილებისა და წყალში ხსნადი ექსტრაქტული ნივთიერებებისაგან. კუბური ნარჩენის გაწურვის შემდეგ მივიღეთ განსხვავებული ფიზიკურ-ქიმიური და ტექნოლოგიური თვისებების მქონე მყარი და თხევადი ფაზები.

**მყარი ფაზა** – ორთქლში გამოხარშული ვარდის ყვავილები, რომელსაც ძირითადად მოცილებული აქვს ეთეროვანი ზეთი და წყალში ხსნადი ექსტრაქტული ნივთიერებები.

**თხევადი ფაზა** – კუბური ნარჩენის გაწურვით მიღებული თხევადი მასა, რომელიც ძირითადად შედგება უჯრედული წვენისაგან, რომლის მშრალი ნივთიერებების მასური წილი საშუალოდ შეადგენს 12.5 %.

თავდაპირველად შესწავლილ იქნა საწყისი ნედლეულის ვარდის ყვავილების და შემდეგ წარმოების ნარჩენების – მყარი და თხევადი ფაზის – ქიმიური შედგენილობა, კვლევის შედეგები წარმოდგენილია 1-ელ და მე-2 ცხრილებში.

კვლევების შედეგების ანალიზმა გვიჩვენა, რომ ვარდის ყვავილებში ცალკეული ნივთიერებების შემცველობა ყვავილობის სხვადასხვა სტადიაში – ყვავილობის დაწყების, მასიური ყვავილობის და დაყვავილების დროს ფართო ზღვრებში არ მერყეობს, ხოლო წარმოების ნარჩენები (მყარი და თხევადი ფაზა) ქიმიური შედგენილობით თვისობრივად არ განსხვავდება ვარდის ყვავილებისაგან, მაგრამ რაოდენობრივად მათში შესამჩნევად (24.5 %-ით) მცირდება შაქრებისა და დანარჩენი ნივთიერებების შემცველობა.

ცხრილი 1

**ვარდის ყვავილების ფიზიკურ-ქიმიური მაჩვენებლები  
ყვავილობის სხვადასხვა ფაზაში**

ანალიზის ჩატარების თარიღი	მშრალი ნივთიერების მასური წილი, %	საერთო აზოტის მასური წილი, %	პროტეინის მასური წილი, %	მარედუცირებელი შაქრების მასური წილი, %	საერთო შაქრების მასური წილი, %	საკაროზა, %	მთრიმლავი ნივთიერებების მასური წილი, %	უჯრედის მასური წილი, %
24/5	20.54	2.00	12.50	26.77	31.10	4.33	5.45	14.65
30/5	17.26	2.20	13.75	26.66	26.24	0.58	4.28	15.06
6/6	13.40	1.70	10.60	27.98	27.98	-	4.32	14.17
11/6	17.00	1.80	11.25	32.00	32.50	0.50	3.00	13.50

მყარი და თხევადი ნარჩენების ფიზიკურ-ქიმიური მაჩვენებლები

ნომრები №	ნიმუშის დასახელება	შშრალი ნივთიერების მასური წილი, %	pH	საერთო აზოტის მასური წილი, %	პროტეინის მასური წილი, %	მარედუცირებელი შაქრების მასური წილი, %	მთრიმლავი ნივთიერების მასური წილი, %	უჯრედის მასური წილი, %
1	მყარი ფაზა	20.80	-	1.68	10.50	3.46	2.40	18.26
2		18.80	-	1.60	10.00	1.60	1.60	19.15
3		27.22	-	1.46	9.2	4.70	2.20	12.00
4		23.50	-	1.06	6.62	6.00	1.57	10.63
1	თხევადი ფაზა	11.75	4.5	0.38	2.37	5.24	1.19	-
2		8.00	4.3	0.30	1.87	3.40	2.60	-
3		17.60	4.4	0.20	1.81	2.84	2.00	-
4		12.05	4.4	0.30	1.87	3.32	0.15	-

ჩატარებული კვლევის შედეგების ანალიზის საფუძველზე დადგინდა, რომ ვარდის ყვავილების ჰიდროლისტილაციით გადამუშავების მეორეული ნედლეული – მყარი და თხევადი ფაზა გარდა ეთეროვანი ზეთისა შეიცავს პარფიუმერულ-კოსმეტიკური და საყოფაცხოვრებო ქიმიის წარმოებისათვის მვირფას ექსტრაქტულ, ბიოლოგიურად აქტიურ მთრიმლავ, მღებავ ნივთიერებებს, ამინომჟავებს, უჯრედის, მიკროელემენტებს, კაროტინოიდებს და სხვა.

მყარი და თხევადი ფაზის ქიმიური შედგენილობის და ფიზიკურ-ქიმიური მაჩვენებლების გათვალისწინებით ჩვენ მიერ დადგინდა იქნა, რომ ისინი წარმატებით შეიძლება გამოვიყენოთ ბიოლოგიურად აქტიური ექსტრაქტის, სურნელოვანი კონკრეტის და სურნელოვანი წყლის მისაღებად.

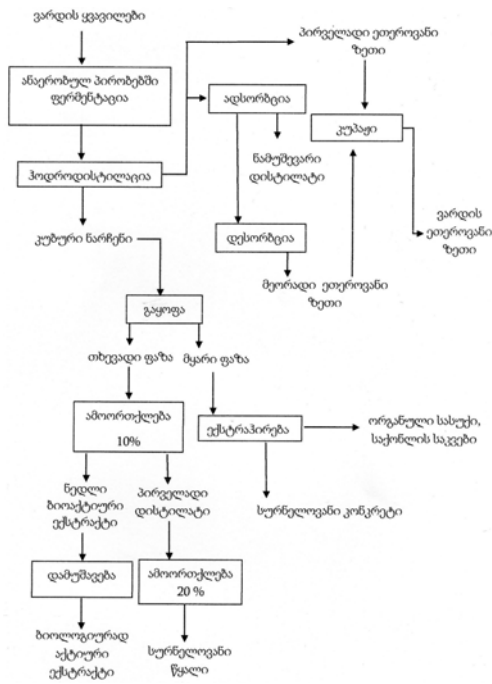
ლაბორატორიულ პირობებში მიღებულ იქნა სურნელოვანი კონკრეტი მყარი ფაზიდან, ბიოლოგიურად აქტიური ექსტრაქტი და სურნელოვანი წყალი – თხევადი ფაზიდან. აღნიშნული პროდუქ-

ცია, მათი გამოყენების სფეროს დადგენის მიზნით, გადაეცათ პარფიუმერულ-კოსმეტიკური წარმოების სპეციალისტებს.

დადგინდა, რომ სურნელოვანი კონკრეტი შეიძლება გამოვიყენოთ კოსმეტიკური ნაწარმის – ტუჩსაცხისა და წამწამების ტუშის დასამზადებლად, ხოლო სურნელოვანი წყალი და ბიოლოგიურად აქტიური ექსტრაქტი პარფიუმერიაში და საყოფაცხოვრებო ქიმიაში – ვარდის სურნელოვანი წყლის, ლოსიონების, შამპუნების და სხვათა დასამზადებლად.

ჩატარებული კვლევების შედეგების საფუძველზე დადგინდა, რომ ვარდის ყვავილების გადამუშავების 1 ტონა მეორეული ნედლეულიდან შეიძლება მივიღოთ 50 – 60 კილოგრამამდე ბიოლოგიურად აქტიური ექსტრაქტი, 70 კგ-მდე სურნელოვანი წყალი და 7 – 10 კგ-მდე სურნელოვანი კონკრეტი.

შემუშავდა ჰიდროლისტილაციით ვარდის ყვავილების გადამუშავების უნარჩენო ტექნოლოგიის პრინციპული სქემა, რომელიც ნაჩვენებია სურათზე.



ჰიდროდისტილაციით ვარდის ყვავილების გადამუშავების უნარჩენო ტექნოლოგიის პრინციპული სქემა

## დასკვნა

ჩატარებული კვლევების შედეგად შესწავლილია ვარდის ყვავილების და მისი გადამუშავების ნარჩენების მყარი და თხევადი ფაზის ქიმიური შედგენილობა.

დადგინდა, რომ ვარდის ყვავილების გადამუშავების ნარჩენები – მყარი და თხევადი ფაზა შეიძლება გამოვიყენოთ დამატებითი პროდუქციის-სურნელოვანი კონკრეტის, სურნელოვანი წყლის და ბიოლოგიურად აქტიური ექსტრაქტის მისაღებად, დადგენილია მათი გამოყენების სფეროები.

შემუშავებულია ჰიდროდისტილაციით ვარდის ყვავილების გადამუშავების უნარჩენო ტექნოლოგიის პრინციპული სქემა.

## ლიტერატურა

1. Baghaturia N. Essential oils of medicinal and spice-aromatic herbs. Tbilisi. 2007. (in Russian).
2. Baghaturia N. Natural wines, juices and drinks. Tbilisi. 2008. (in Russian).
3. Baghaturia N. Food products technology. Tbilisi. 2016. (in Georgian).
4. Secondary material resources of food industry. Handbook. M.: "Economics". 1984. (in Russian).
5. Zyukov D. G., Andreevich E. N., Chipiga A.P. Technology and equipment of essential oil production. M.: "Food industry". 1979. (in Russian).
6. Iakobashvili N. Production technology of essential oils. Tbilisi. 1959. (in Georgian).
7. Sidorov I.I., Turisheva N.A. and others. Production technology of natural essential oils and synthetic aromatic substances. M.: "Legkaya i pishchevaya prom". 1984. (in Russian).
8. Chipiga A. P., Zyukov D. G., Naidenova V. P. and others. Handbook of essential-oil production technology. M.: "Legkaya i pishchevaya prom.". 1981. (in Russian).

UDC 663.5

SCOPUS CODE 1305

## Study of Rose Oil processing waste

- Nugzar Baghaturia** Scientific-Research Institute of Food Industry, Georgian Technical University, 17 D. Guramishvili Ave, 0192, Tbilisi, Georgia  
E-mail: nugzi@yahoo.com
- Luiza Kajaia** Scientific-Research Institute of Food Industry, Georgian Technical University, 17 D. Guramishvili Ave, 0192, Tbilisi, Georgia  
E-mail: l.qajaia@gtu.ge
- Neli Gilauri** Address.Scientific-Research Institute of Food Industry, Georgian Technical University, 17 D. Guramishvili Ave, 0192, Tbilisi, Georgia  
E-mail: n.gilauri@gtu.ge

### Reviewers:

**N. Ebelashvili**, Doctor of Technical Sciences, Chief Research Scientist, Deputy Director of Scientific-Research Institute of Food Industry, GTU

E-mail: nana-ebelashvili@hotmail.com

**G. Grigorashvili**, Doctor of Biological Sciences, Chief Research Scientist, Scientific-Research Institute of Food Industry, GTU

E-mail: g.grigorashvili@gtu.ge

**Abstract.** In the article it is investigated the processing of the residues of the fermented under anaerobic conditions rose flowers by hydrodistillation.

The residues of the rose flowers consist of steamed rose flower extract, that contains water-soluble rose substances.

It's studied the chemical content of the solid and liquid phases of the processing of the rose flowers residues and the areas of their application are established as well.

It is established that the solid phase of the rose flower residues processing can be applied for the additional product - aromatic concrete production and liquid phase – for the production of aromatic water and biologically active extract.

In experimental scale firstly is received aromatic concrete from the solid phase and from the liquid phase – aromatic water and biologically active extract that found application in perfumery-cosmetics production and household chemicals.

It is elaborated the principal technological scheme of waste-free processing of rose flowers by hydrodistillation.

**Key words:** Bioactive extract; concrete; roses; waste.



UDC 663.5

SCOPUS CODE 1305

## Исследование отходов переработки эфиромасличной розы

- Нугзар Багатурия**      НИИ пищевой промышленности Грузинского технического университета, Грузия,  
0192, Тбилиси, Проспект Д. Гурамишвили 17  
E-mail: nugzi@yahoo.com
- Луиза Каджая**      НИИ пищевой промышленности Грузинского технического университета, Грузия,  
0192, Тбилиси, Проспект Д. Гурамишвили 17  
E-mail: l.qajaia@gtu.ge
- Нели Гилаури**      НИИ пищевой промышленности Грузинского технического университета, Грузия,  
0192, Тбилиси, Проспект Д. Гурамишвили 17  
E-mail: n.gilauri@gtu.ge

### Рецензенты:

**Н. Эбелашвили**, доктор наук, главный научный сотрудник, заместитель директора НИИ пищевой промышленности ГТУ

E-mail: nana-ebelashvili@hotmail.com

**Г. Григорашвили**, доктор биологических наук, главный научный сотрудник НИИ пищевой промышленности ГТУ

E-mail: g.grigorashvili@gtu.ge

**Аннотация.** Исследованы отходы переработки методом гидродистилляции ферментированных в анаэробных условиях цветков розы.

Отходы переработки цветков розы состоят из вываренного в пару сырья и экстракта, содержащего растворимые в воде вещества.

Исследован химический состав цветов розы и отходов их переработки - твердой и жидкой фаз. Установлено, что отходы переработки цветов розы содержат дубильные и красящие вещества, белки, ароматические вещества, а также витамины, аминокислоты и др.

Установлено, что твердые отходы переработки цветов розы можно использовать для получения дополнительной продукции в виде душистого конккрета, а жидкую фазу для получения душистой воды и биологически активного экстракта.

Разработана принципиальная технологическая схема безотходной переработки цветков розы.

**Ключевые слова:** биологически активный экстракт; конккрет; отходы розы.

*განხილვის თარიღი 15.05.2019*

*შემოსვლის თარიღი 17.06.2019*

*ხელმოწერილია დასაბეჭდად 17.12.2019*

UDC 663.5

SCOPUS CODE 1305

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2019-4-34-42>

## ვარდის ეთეროვანი ზეთის წარმოების ნარჩენების გადამუშავების ტექნოლოგია

<b>ნუგზარ ბალათურია</b>	კვების მრეწველობის ს/კ ინსტიტუტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0192, თბილისი, გურამიშვილის გამზირი, 17 E-mail: nugzi@yahoo.com
<b>ლუიზა ქაჯაია</b>	კვების მრეწველობის ს/კ ინსტიტუტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0192, თბილისი, გურამიშვილის გამზირი, 17 E-mail: l.qajaia@gtu.ge
<b>ნელი ილურიძე</b>	კვების მრეწველობის ს/კ ინსტიტუტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0192, თბილისი, გურამიშვილის გამზირი, 17 E-mail: niluridze@gtu.ge

### რეცენზენტები:

**ნ. ებელაშვილი**, სტუ-ის კვების მრეწველობის სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტის დირექტორის მოადგილე, მთავარი მეცნიერი თანამშრომელი, ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი

E-mail: nana-ebelashvili@hotmail.com

**გ. გრიგორაშვილი**, სტუ-ის კვების მრეწველობის სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტის მთავარი მეცნიერი თანამშრომელი, ბიოლოგიურ მეცნიერებათა დოქტორი

E-mail: g.grigorashvili@gtu.ge

**ანოტაცია.** კვების მრეწველობის სამეცნიერო-კვლევით ინსტიტუტში ჩატარებული კვლევების შედეგად დამუშავებულია ვარდის გადამუშავების მყარი ფაზიდან სურნელოვანი კონკრეტის მიღების ტექნოლოგიური პროცესის სქემა.

აღნიშნული ტექნოლოგიით საწარმოო პირობებში მიღებულია სურნელოვანი კონკრეტი, რომლის გამოსავალი შეადგენს 0.12%-ს. მასში სპირტში ხსნადი ნაწილის შემცველობა არ აღემატება 35%-ს. შესწავლილია კონკრეტის ფიზიკურ-ქიმიური მაჩვენებლები.

ასევე დამუშავებულია თხევადი ფაზიდან ვარდის სურნელოვანი წყლისა და ბიოლოგიურად აქტიური ექსტრაქტის მიღების ტექნოლოგია. შესწავლილია მათი ქიმიური შედგენილობა და დადგენილია, რომ სურნელოვანი წყალი შეიცავს 0.015-0.030% ეთეროვან ზეთს, რომლის ძირითადი კომპონენტებია ლინალოლი (1.36%), ციტრონელოლი (0.70%), გერანიოლი (0.52%), ფენილეთილის სპირტი (74.76%). ბიოლოგიურად აქტიური ექსტრაქტი მდიდარია ამინომჟავებითა და მიკროელემენტებით.

დადგენილია ვარდის ეთეროვანი ზეთის წარმოების ნარჩენებიდან მიღებული სურნელოვანი კონკრეტის, სურნელოვანი წყლისა და ბიოლოგიურად აქტიური ექსტრაქტის გამოყენების სფეროები – პარფიუმერულ-კოსმეტიკური წარმოება და საყოფაცხოვრებო ქიმია.

დამუშავებულია სურნელოვანი კონკრეტის, სურნელოვანი წყლისა და ბიოლოგიურად აქტიური ექსტრაქტის წარმოების ტექნოლოგიური ინსტრუქცია და მეწარმე სუბიექტის სტანდარტები.

**საკვანძო სიტყვები:** ბიოლოგიურად აქტიური; ინსტრუქცია; კონკრეტი; მყარი ნარჩენი; სტანდარტი; სქემა; ფაზა; შედგენილობა.

### შესავალი

ვარდის ეთეროვანი ზეთის წარმოების ნარჩენების გამოყენების ერთ-ერთი პერსპექტიული მიმართულებაა პარფიუმერულ-კოსმეტიკური და საყოფაცხოვრებო ქიმიის წარმოებისათვის ბიოლოგიურად აქტიური ნატურალური დანამატების წარმოება. ვარდის ყვავილების გადამუშავების ნარჩენები (მყარი და თხევადი) შეიძლება გამო-

ვიყენოთ სურნელოვანი წყლის, ბიოლოგიურად აქტიური ექსტრაქტის და სურნელოვანი კონკრეტის წარმოებისათვის, რომელზეც დიდი მოთხოვნილებაა პარფიუმერულ-კოსმეტიკურ, საპნის წარმოებაში და საყოფაცხოვრებო ქიმიაში.

ვარდის ყვავილების უნარჩენო ტექნოლოგიის წარმოებაში დანერგვა ხელს შეუწყობს ნედლეულიდან მიღებული პროდუქციის ასორტიმენტის გადიდებას, რაც მნიშვნელოვნად გაზრდის წარმოების ეფექტურობას.

### ძირითადი ნაწილი

კვლევის ობიექტად გამოყენებული იყო ანაერობულ პირობებში ფერმენტირებული ვარდის ყვავილების ჰიდროდისტილაციით გადამუშავების პროცესის დროს წარმოქმნილი ნარჩენები – მყარი და თხევადი ფაზა.

შესწავლილია მყარი და თხევადი ფაზის ორგანოლეპტიკური მაჩვენებლები და მათი და ქიმიური შედგენილობა. დადგენილია რომ მყარი ფაზა შეიცავს სურნელოვან კონკრეტს არანაკლებ 0,12%-სა, რომელსაც გააჩნია ვარდის ყვავილებისთვის დამახასიათებელი, სუსტი არომატი (ცხრილი 1).

ცხრილი 1

### ვარდის ეთეროვანი ზეთის წარმოების ნარჩენების ორგანოლეპტიკური და ფიზიკურ-ქიმიური მაჩვენებლები

მაჩვენებლის დასახელება	დახასიათება და ნორმა
მყარი ფაზა	
გარეგანი სახე	ვარდის ყვავილების გამოხარშული ერთიანი მასა
ფერი	ყავისფერი-ვარდისფერი ელფერით
სუნი	ვარდის ყვავილებისთვის დამახასიათებელი, სუსტი არომატით

კონკრეტის მასური წილი, %, არანაკლებ	0,12
ტენის მასური წილი, %, არა უმეტეს	80,0
გამავებული დაობებული მყარი ფაზა	არ დაიშვება
<b>თხევადი ფაზა</b>	
გარეგანი სახე	თხევადი მასა
ფერი	ღია ყავისფერიდან-ყავისფერამდე
სუნი	ვარდის სასიამოვნო სურნელი
მშრალი ნივთიერებების მასური წილი, %, არანაკლებ	12
ეთეროვანი ზეთის მასური წილი, %, არანაკლებ	0,05

მყარი ფაზიდან ექსტრაქტული ნივთიერებების (კონკრეტის) გამოსავლის დასადგენად გამოკვლეულ იქნა ძირითადი ტექნოლოგიური ფაქტორების – ტემპერატურის, ექსტრაქციის ხანგრძლივობის, ექსტრაქციის პროცესის ხანგრძლივობის გავლენა ექსტრაქციის პროცესზე. ექსტრაგენტად გამოყენებულ იქნა პეტროლეინის ეთერი. კვლევის შედეგები წარმოდგენილია მე-2 ცხრილში.

ბისა და პროცესის ხანგრძლივობის გავლენა ექსტრაქციის პროცესზე. ექსტრაგენტად გამოყენებულ იქნა პეტროლეინის ეთერი. კვლევის შედეგები წარმოდგენილია მე-2 ცხრილში.

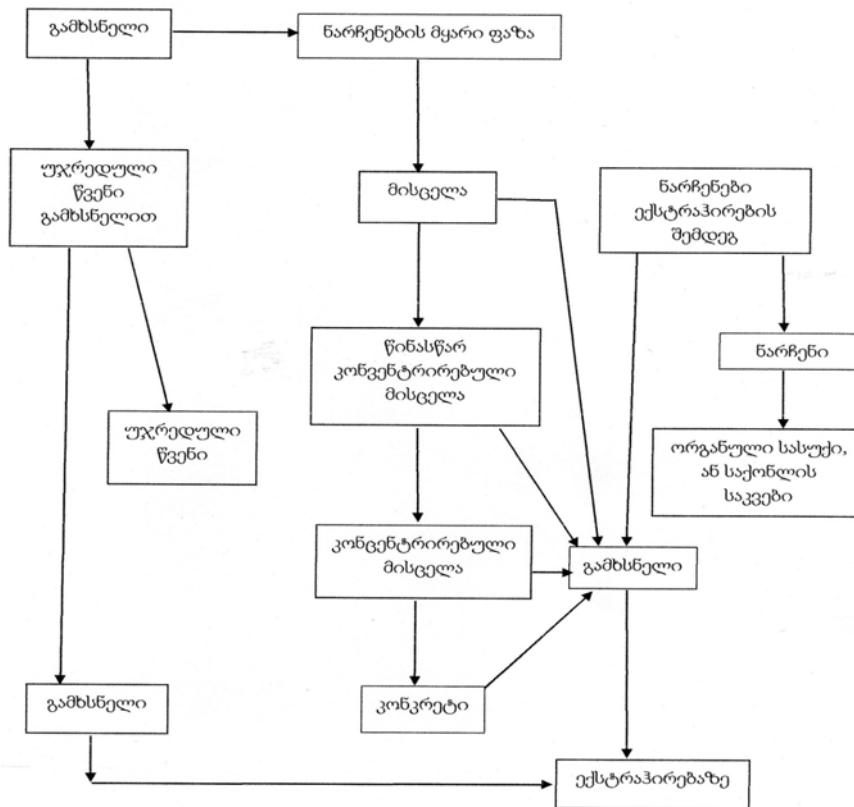
ცხრილი 2

კონკრეტის გამოსავლიანობის დამოკიდებულება ექსტრაქციის პროცესის პირობებზე

№	ნიმუშის რაოდენობა, ბ	ექსტრაქცია გარემოს ტემპერატურაზე		თბური ექსტრაქცია 40°C -ზე	
		ექსტრაქციის ხანგრძლივობა, სთ	კონკრეტის მასური წილი, %	ექსტრაქციის ხანგრძლივობა, სთ	კონკრეტის მასური წილი, %
1	მყარი ფაზა 100.0	2	0,0424	2	0,0400
		2	0,0126	2	0,0238
		2	0,137	2	0,0165
		2	0,0310	2	0,0342
		<b>სულ 8</b>	<b>0,0998</b>	<b>სულ 8</b>	<b>0,1145</b>
2	100.0	24	0,0686	24	0,1386
		24	0,0336	24	კვალი
		24	0,0233	-	-
		<b>სულ 72</b>	<b>0,1242</b>	<b>48</b>	<b>0,1386</b>
3	100.0	24	0,1218	24	0,1383
		24	0,0245	24	კვალი
		24	0,0218	--	-
		<b>სულ 72</b>	<b>0,1545</b>	<b>48</b>	<b>0,1383</b>
4	100.0	24	0,1218	7	0,1084
		24	0,0245	7	0,0384
		24	0,0218	7	0,0296
		<b>სულ 72</b>	<b>0,1681</b>	<b>21</b>	<b>0,1764</b>
5	100.0	24	0,0922	7	0,1070
		24	0,0595	7	0,0479
		24	0,0230	7	კვალი
		<b>სულ 72</b>	<b>0,1447</b>	<b>21</b>	<b>0,1549</b>

კვლევის შედეგების ანალიზის საფუძველზე დადგენილია, რომ მყარი ფაზის ექსტრაქცია უნდა ჩატარდეს ორჯერადად თითოეულის 24 საათის დაყოფებით გარემოს ტემპერატურის პირობებში.

ქვემოთ წარმოდგენილია მყარი ფაზიდან სურნელოვანი კონკრეტის მიღების თანამიმდევრული ტექნოლოგიური პროცესის სქემა.



მყარი ფაზიდან სურნელოვანი კონკრეტის მიღების თანამიმდევრული ტექნოლოგიური პროცესის სქემა

ვარდის სურნელოვანი კონკრეტის მიღება შედგება შემდეგი ტექნოლოგიური საფეხურებისაგან:

- ნარჩენების – მყარი ფაზის ექსტრაქცია;
- ექსტრაქციის ნედლეულიდან გამხსნელის გადადენა;
- მისცელის კონცენტრირება;
- ვაკუუმში გამხსნელის საბოლოო გადადენა. აღნიშნული ტექნოლოგიით მარნეულის ეთერ-ზეთების ქარხანაში გადამამუშავებულ იქნა 1500კგ

ვარდის ყვავილების ნარჩენი – მყარი ფაზა. კონკრეტის გამოსავალმა საშუალოდ შეადგინა 0,12%.

შესწავლილია წარმოების პირობებში მიღებული სურნელოვანი კონკრეტის ორგანოლექტიკური და ფიზიკურ-ქიმიური მაჩვენებლები. დადგენილია მათი ზღვრული სიდიდეები. სურნელოვანი კონკრეტის ხარისხობრივი მაჩვენებლები უნდა აკმაყოფილებდეს მე-3 ცხრილში მოცემულ მოთხოვნებს.

ვარდის ყვავილების გადამუშავების ნარჩენების თხევადი ფაზიდან, რომელიც შეიცავს 0,05 – 0,08% ეთეროვან ზეთს, მიღებულია ვარდის სურნელოვანი წყალი და ბიოლოგიურად აქტიური ექსტრაქტი. წარმოების ტექნოლოგია მდგომარეობს შემდეგში: ვარდის სურნელოვანი წყლისა და ბიოლოგიურად აქტიური ექსტრაქტის მიღების მიზნით თხევადი ფაზა იფილტრება, იტვირთება ამორთქლებელში და ხდება დისტილატის მიღება ორსაფეხურად. პირველ საფეხურზე ხდება ამორთქ-

ლებელში ჩატვირთული მასის 10 % დისტილატის გადადენა. შემდეგ, მეორე საფეხურზე, მიღებული დისტილატიდან იდენება მეორე დისტილატი 20%-ის ოდენობით. ამ გზით მიღებული პროდუქტი არის სურნელოვანი წყალი, ხოლო ორივე საფეხურზე სურნელოვანი წყლის მიღების შემდეგ ამორთქლებელში დარჩენილი მასა, რომელიც შეიცავს 2-3 % მშრალ ნივთიერებას, მისი გოგირდის ანჰიდრიდით დამუშავების შემდეგ არის ვარდის ბიოლოგიურად აქტიური ექსტრაქტი.

ცხრილი 3

**სურნელოვანი კონკრეტის ორგანოლეპტიკური და ფიზიკურ-ქიმიური მაჩვენებლები**

მაჩვენებლის დასახელება	დახასიათება და ნორმა
გარეგანი სახე და ფერი	ღია ყავისფერიდან მუქ ყავისფრამდე მალამოსებრი სქელი მასა
სუნი	სურნელოვანი ვარდის ყვავილებისათვის დამახასიათებელი
სპირტში ხსნადი ნივთიერებების მასური წილი, %, არანაკლებ	35,0
მჟავური რიცხვი, მგ/KOH <sub>8</sub>	20-40
გამხსნელის მასური წილი, %, არა უმეტეს	2,0

სურნელოვანი წყალი არის ვარდის ყვავილების ნაზი სურნელის მქონე გამჭვირვალე სითხე, რომელიც ხასიათდება შემდეგი ხარისხობრივი მაჩვენებლებით:

- ეთეროვანი ზეთის მასური წილი – 0,015-0,030 %;
- სიმკვრივე  $d_{20}^{20}$  - 0,998-1,000 გ/სმ<sup>3</sup>;
- გარდატეხის კუთხის მაჩვენებელი – 1,3330-1,3335;
- აქტიური მჟავიანობა (pH) - 5,25 -6,75.

ვარდის სურნელოვანი წყლიდან გამოყოფილი ეთეროვანი ზეთი შესწავლილ იქნა, აირთხევადი ქრომატოგრაფის მეთოდის გამოყენებით. დადგინდა, რომ სურნელოვანი წყალი შეიცავს ლინალოლს (1.36%), ციტრონელოლს (0.70%), გერანიოლს (0.52%), ფენილეთილის სპირტს (74.76%), ეს უკანასკნელი ძირითადად განაპირობებს ვარდის სპეციფიკურ არომატს.

პარფიუმერულ-კოსმეტიკური წარმოების სპეციალისტების მიერ დამზადებულია ვარდის სურნელოვანი წყალი – „ყვავილების დედოფალი“.

თხევადი ფაზიდან სურნელოვანი წყლის გა- ური ექსტრაქტის ფიზიკურ ქიმიური შედგენი-  
მოხდის შემდეგ მიღებული ბიოლოგიურად აქტი- ლობა მოყვანილია მე-4 და მე-5 ცხრილებში.

ცხრილი 4

**ვარდის ბიოლოგიურად აქტიური ექსტრაქტის ფიზიკურ-ქიმიური მაჩვენებლები**

მაჩვენებლები	რაოდენობა, %
მშრალი ნივთიერებების მასური წილი	0,15
მჟავიანობა	0,22
ალკალოიდები	0,15
საერთო შაქრები	0,7
სპირტის შემცველობა	22,0
საერთო აზოტი	36,0 მგ%
ამინური აზოტი	12,5 მგ%
მთრიმლავი ნივთიერებები	0,4 გ%
<b>ვიტამინები:</b>	
B <sub>1</sub>	0,712
B <sub>2</sub>	0,720
C	48,0
ნაცარი	0,20

ვარდის ბიოლოგიურად აქტიური ექსტრაქტის შედგენილობაში შედის აგრეთვე ამინომჟავები, როგორცაა – ცისტინი, ლიზინი, არგინინი, ასპარაგინის მჟავა, სერინგლიცინი, გლუტამინის მჟავა, ალანინი, ვალინი და სხვა.

მე-5 ცხრილში წარმოდგენილია ბიოლოგიურად აქტიურ ექსტრაქტში მიკროელემენტების შემცველობა.

ცხრილი 5

**მიკროელემენტების შემცველობა ვარდის ბიოლოგიურად აქტიურ ექსტრაქტში**

მიკროელემენტების დასახელება	რაოდენობა, %
ნაცარი	0,12
რკინა	0,056
მაგნიუმი	0,047
ალუმინი	0,192
სტრონციუმი	0,396
სპილენძი	0,055
ტყვია	0,002
მოლიბდენი	0,0003
ტიტანი	0,0016
ვანადიუმი	0,09
რადონი	0,30
ნიკელი	0,0667

## დასკვნა

გამოკვლევების შედეგად შესწავლილი და დადგენილია ვარდის ეთეროვანი ზეთის წარმოების ნარჩენების – მყარი და თხევადი ფაზების ხარისხობრივი მაჩვენებლები. გამოკვლეულია მყარი ფაზიდან კონკრეტის მიღების პროცესის ძირითადი ტექნოლოგიური პარამეტრები და შემუშავებულია მყარი ფაზიდან სურნელოვანი კონკრეტის მიღების თანამიმდევრული ტექნოლოგიური პროცესის სქემა. შესწავლილია სურნელოვანი კონკრეტის ფიზიკურ-ქიმიური მაჩვენებლები და დადგენილია მათი ზღვრული სიდიდეები.

დამუშავებულია თხევადი ფაზიდან სურნელოვანი წყლისა და ბიოლოგიურად აქტიური ექსტრაქტის მიღების ტექნოლოგია. შესწავლილია ახალი პროდუქტების ფიზიკურ-ქიმიური მაჩვენებლები, დადგენილია სურნელოვანი კონკრეტის, სურნელოვანი წყლისა და ბიოლოგიურად აქტიური ექსტრაქტის გამოყენების სფეროები პარფიუმერულ-კოსმეტიკურ წარმოებასა და საყოფაცხოვრებო ქიმიაში. შემუშავებულია ვარდის სურნელოვანი კონკრეტის, სურნელოვანი წყლის, ბიოლოგიურად აქტიური ექსტრაქტის წარმოების ტექნოლოგიური ინსტრუქცია და მიღებული პროდუქტების მეწარმე სუბიექტის სტანდარტი.

## ლიტერატურა

1. Baghaturia N. Essential oils of medicinal and spice-aromatic herbs. Tbilisi. 2007. (in Russian).
2. Baghaturia N. Natural wines, juices and drinks. Tbilisi. 2008. (in Russian).
3. Baghaturia N. Food products technology. Tbilisi. 2016. (in Georgian).
4. Secondary material resources of food industry. Handbook. M.: “Economics”. 1984. (in Russian).
5. Zyukov D. G., Andreevich E. N., Chipiga A.P. Technology and equipment of essential oil production. M.: “Food industry”. 1979. (in Russian).
6. Iakobashvili N. Production technology of essential oils. Tbilisi. 1959. (in Georgian).
7. Sidorov I.I., Turisheva N.A. and others. Production technology of natural essential oils and synthetic aromatic substances. M.: “Legkaya i pishchevaya prom”. 1984. (in Russian).
8. Chipiga A. P., Zyukov D. G., Naidenova V. P. and others. Handbook of essential-oil production technology. M.: “Legkaya i pishchevaya prom”. 1981. (in Russian).



UDC 663.5

SCOPUS CODE 1305

## Processing Technology of Rose Oil production waste

- Nugzar Baghaturia** Scientific-Research Institute of Food Industry, Georgian Technical University, 17 D. Guramishvili Ave, 0192, Tbilisi, Georgia  
E-mail: nugzi@yahoo.com
- Luiza Kajaia** Scientific-Research Institute of Food Industry, Georgian Technical University, 17 D. Guramishvili Ave, 0192, Tbilisi, Georgia  
E-mail: l.qajaia@gtu.ge
- Neli Iluridze** Scientific-Research Institute of Food Industry, Georgian Technical University, 17 D. Guramishvili Ave, 0192, Tbilisi, Georgia  
E-mail: niluridze@gtu.ge

### Reviewers:

**N. Ebelashvili**, Doctor of Technical Sciences, Chief Research Scientist, Deputy Director of Scientific-Research Institute of Food Industry, GTU

E-mail: nana-ebelashvili@hotmail.com

**G. Grigorashvili**, Doctor of Biological Sciences, Chief Research Scientist, Scientific-Research Institute of Food Industry, GTU

E-mail: g.grigorashvili@gtu.ge

**Abstract.** As a result of studies conducted in scientific-research institute of food industry, it is established the chemical composition of solid and liquid phases of the rose essential oil production residues. It is established the technological process scheme of the aromatic concrete production from the solid phase.

Aromatic concrete is received by mentioned technology, in terms of production and the physico-chemical characteristics of the concrete are studied as well. Productivity of the concrete is 0.12%, its soluble in alcohol part does not exceed 35 %.

Herewith the production technology of rose aromatic water and biologically active extract from the liquid phase has been developed. Based on study of their chemical composition it was established that aromatic water contains 0.015-0.030% essential oil, the main components of which are: linalool (1.36%), citronellol (0.70%), geraniol (0.52%), phenylethylalcohol (74.76%) and biologically active extract is reach in amino acids and microelements.

It's established the spheres of application of aromatic water and biologically active extract received from the residues of the essential oil of rose. These spheres are: perfumery-cosmetics production and household chemicals.

There is elaborated the technological instruction of the production of aromatic concrete, aromatic water and biologically active extract and standards of producer-subject.

**Key words:** Composition; concrete; biologically active; instruction; phase; residue; scheme; solid; standard.

UDC 663.5

SCOPUS CODE 1305

## Технология переработки отходов производства эфирного масла розы

- Нугзар Багатурия** НИИ пищевой промышленности Грузинского технического университета, Грузия, 0192, Тбилиси, Проспект Д. Гурамишвили 17  
E-mail: nugzi@yahoo.com
- Луиза Каджая** НИИ пищевой промышленности Грузинского технического университета, Грузия, 0192, Тбилиси, Проспект Д. Гурамишвили 17  
E-mail: l.qajaia@gtu.ge
- Нели Гилаური** НИИ пищевой промышленности Грузинского технического университета, Грузия, 0192, Тбилиси, Проспект Д. Гурамишвили 17  
E-mail: niluridze@gtu.ge

### Рецензенты:

**Н. Эбелашвили**, доктор наук, главный научный сотрудник, заместитель директора НИИ пищевой промышленности ГТУ

E-mail: nana-ebelashvili@hotmail.com

**Г. Григорашвили**, доктор биологических наук, главный научный сотрудник НИИ пищевой промышленности ГТУ

E-mail: g.grigorashvili@gtu.ge

**Аннотация.** В Научно-исследовательском институте пищевой промышленности Грузинского технического университета установлен химический состав отходов переработки цветов розы - твердой и жидкой фаз. Разработана технологическая схема процесса получения душистого конкрета из твердой фазы отходов.

В условиях производства по разработанной технологии получен душистый конкрет. Изучены физико-химические показатели продукта. Выход конкрета составил 0,012%, спирто-растворимая часть в которой не превышает 35%.

Разработана также технология получения душистой воды розы и биологически активного экстракта из жидкой фазы. Изучен их химический состав. Установлено, что душистая вода содержит 0,015-0,030% розового эфирного масла, основными компонентами которой являются (%): линалоол (1,36), цитронеллол (0,70), гераниол (0,52), фенилэтиловый спирт (77,46). Биологически активный экстракт богат аминокислотами и микроэлементами.

Установлена сфера использования душистой воды, биологически активного экстракта и душистого конкрета, полученных из отходов переработки цветов розы в парфюмерно-косметической промышленности и бытовой химии.

Разработана техдокументация на производство душистого конкрета, душистой воды и биологически активного экстракта из отходов производства розового масла.

**Ключевые слова:** биологически активный; инструкция; конкрет; стандарт; состав; схема; твердый отход; фаза.

*განხილვის თარიღი 15.05.2019*

*შემოსვლის თარიღი 17.06.2019*

*ხელმოწერილია დასაბეჭდად 17.12.2019*

UDC 547.964:591.481.8:615.33

SCOPUS CODE 1701

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2019-4-43-55>

## ანტიმიკრობული პეპტიდების ამოცნობა პირდაპირი გავრცელების ნეირონული ქსელით

- ნინო მჭედლიშვილი** მართვის სისტემების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 75  
E-mail: ninomchedlishvili@gtu.ge
- მარიამ ჩხაიძე** ხელოვნური ინტელექტის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 75  
E-mail: m.chkhaidze@gtu.ge
- სოფიო ბარნოვი** მართვის სისტემების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 75  
E-mail: s.barnovi@gtu.ge

### რეცენზენტები:

- ქ. კოტრიკაძე**, სტუ-ის ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის ასოც. პროფესორი  
E-mail: ketino27@gmail.com
- მ. ახობაძე**, სტუ-ის ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის ასოც. პროფესორი  
E-mail: meakhobadze@yahoo.com

**ანოტაცია.** პეპტიდების არსებული ბაზის საფუძველზე ანტიმიკრობული პეპტიდების ამოცნობა, რომელიც მეტად აქტუალური ამოცანაა, ხელს უწყობს ახალი ანტიბიოტიკების ფორმირების პრობლემას. ამჟამად გავრცელების არეალი მოიცავს ორგანიზმების ფართო ევოლუციურ სპექტრს. ანტიმიკრობული პეპტიდების უნარი ებრძოლოს და გაანადგუროს სხვადასხვა ტიპის ბაქტერიები, სოკოები თუ მიკროორგანიზმები საშუალებას აძლევს მეცნიერებს გამოიყენონ ამჟამად ახალი ანტიბიოტიკების შექმნის პროცესში.

გადმოცემული და აღწერილია ამჟამად ამოცნობის პროცესი ხელოვნური ნეირონული ქსელებით. ამოცნობის პროცედურები – ნეირონული ქსელის სწავლება და ამოცნობა ხორციელდება პროგრამა Matlab-ის გამოყენებით.

ასევე აღწერილია ამჟამად და არაამჟამად ამინომჟავური თანამიმდევრობების სიმრავლეების (შერჩევები) შექმნის პროცესი;

ნეირონული ქსელების სწავლებისათვის შერჩეული და გამოყენებულია პირდაპირი გავრცელების ნეირონული ქსელი, რომელიც სრულდება რამდენიმე ალგორითმით. კვლევისას მიღებული შესა-

ბამისი შედეგების ყველა ალგორითმის შემთხვევაში მოცემულია ალგორითმების შედარებაც.

გაანალიზებული და შეფასებულია ამჟამად არა ამჟამად ამინომჟავური თანამიმდევრობების (რეალიზაციების) სიმრავლეებში (სახეებში) აღმწერი ნიშნები.

**საკვანძო სიტყვები:** ამოცნობა; ანტიმიკრობული პეპტიდები; ნეირონული ქსელები.

### შესავალი

ანტიმიკრობული პეპტიდები (ამპ) ცოცხალი ორგანიზმის დაცვითი ფუნქციის განმახორციელებელი მოლეკულებია. მათი ძირითადი ფუნქცია ორგანიზმში შეჭრილი პათოგენური მიკროორგანიზმების (ბაქტერიების, სოკოების, პარაზიტებისა და ვირუსების) განადგურებაა. ანტიმიკრობული პეპტიდები მოქმედებს როგორც გრამუარყოფით, ისე გრამდადებით ბაქტერიებზე, ასევე სოკოზე, ვირუსებსა და უმარტივესებზე. ამის გარდა, ანტიმიკრობული პეპტიდები ანტიმიკრობულ აქტიურობას ანტიბიოტიკებისადმი მდგრადი ბაქტერიების შტამების მიმართაც ავლენს [4]. მიუხედავად იმისა, რომ ამჟამად ფართო სპექტრია იდენტიფიცირებული და შესწავლილი, სტრუქტურა-აქტიურობას შორის დამოკიდებულების ნათელი სურათი ჯერ კიდევ არაა შექმნილი. ასეთი მდგომარეობა უკავშირდება იმას, რომ ამჟამად დამახასიათებელია ამინომჟავური თანამიმდევრობათა და სივრცულ სტრუქტურათა დიდი მრავალფეროვნება და ასეთ არაერთგვაროვან სიმრავლეში რაიმე ზოგადი კანონზომიერების დადგენა გაძნელებულია [6][7]. სტრუქტურა-აქტიუ-

რობას შორის დამოკიდებულებების ცოდნა აუცილებელია ამჟამად საფუძველზე ახალი ანტიბიოტიკების მიზანმიმართული პროექტირების განხორციელებისათვის. დღევანდელი მდგომარეობით, მონაცემთა ბაზები ამჟამად შესახებ მხოლოდ თანამიმდევრობაზე დაფუძნებულ ანტიმიკრობული აქტიურობის წინასწარმეტყველებას გვთავაზობს. ასეთი წინასწარმეტყველება პირველი ეტაპია ახალი წამლის პროექტირების პროცესში [7].

ექსპერიმენტული მედიცინის ინსტიტუტის ბიოინფორმატიკის ლაბორატორიაში შეიქმნა და განვითარების პროცესშია მონაცემთა ბაზა პეპტიდების ანტიმიკრობული აქტიურობისა და სტრუქტურის შესახებ (DBAASP), რომელშიც თავმოყრილია ინფორმაცია 4500-ზე მეტი პეპტიდზე. ბაზა იძლევა ექსპერიმენტით დადასტურებული ამპ (დადებითი) და არა-ამპ (უარყოფითი) სიმრავლეების ანუ სახეების ფორმირების შესაძლებლობას. ეს ხელს უწყობს წამლის პროექტირების მეთოდის ნაკლები დანახარჯებით შემუშავებას.

ამოცნობის მეთოდის შემუშავება ისეთი ნიშნებისთვის, რომლითაც მიღებული გვაქვს ძნელად განმხილვადი სახეთა სიმრავლეები, ძალიან აქტუალური და საჭირო კვლევაა [5].

დღეისათვის მსოფლიოში საკვლევი თემის აქტუალობიდან გამომდინარე ანტიმიკრობულ პეპტიდთა ამოცნობაზე მუშაობა ცხადია, მიმდინარეობს. ამ მხრივ განსაკუთრებით აღსანიშნავია თბილისში ექსპერიმენტული მედიცინის ინსტიტუტის ბიოინფორმატიკის განყოფილება. რაც შეეხება მსოფლიო მონაცემებს, ტარდება კვლევები ამჟამად ამოცნობის ღრმა სწავლების, გენეტიკური ალგორითმების, ნეირონული ქსელების და სხვა მე-

თოდების გამოყენებით, თუმცა, ამოცნობის საჭირო სიზუსტე ვერ იქნა მიღწეული. შესაბამისად, კვლევები მიმართულია უმეტესად ამოცნობის მეთოდების ისე დახვეწისკენ, რომ მივიღოთ ამოცნობის მაქსიმალურად მაღალი საიმედოობა.

**ძირითადი ნაწილი**

**ანტიმიკრობულ პეპტიდთა**

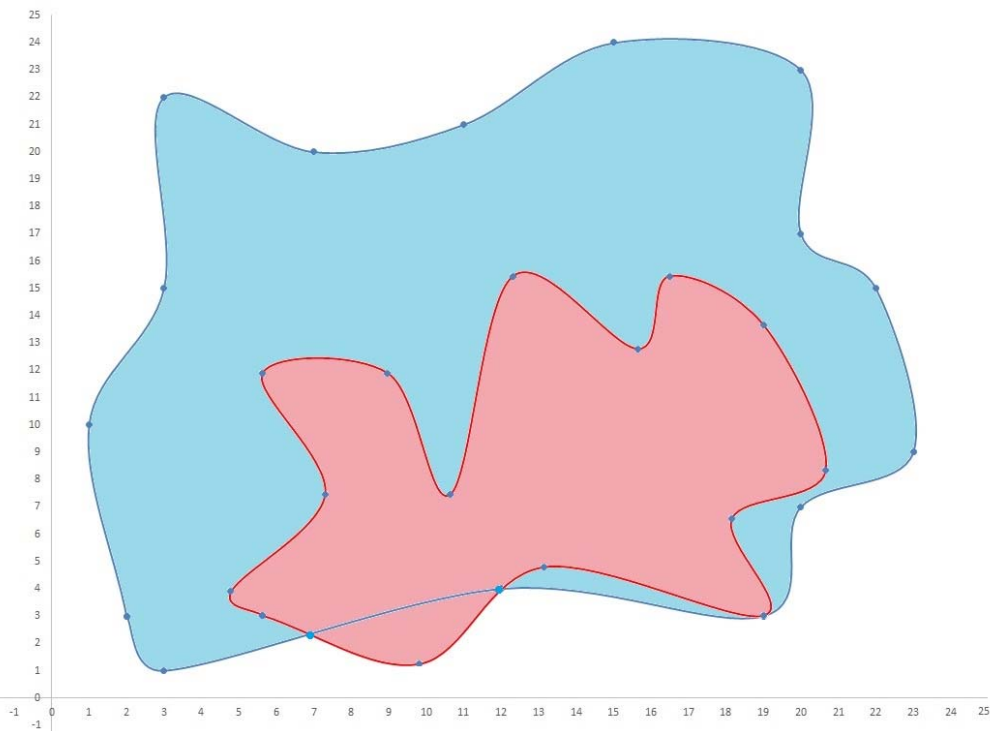
**ამოცნობის პროცესი**

ანტიმიკრობულ პეპტიდებს გააჩნიათ თავისი მახასიათებელი ნიშნები, რომლებიც გვეხმარება ნიშანთა სივრცის შედგენაში: Hydrophobic moment – ჰიდროფობიური მომენტი, Hydrophobicity – ჰიდროფობიურობა, Charge – მუხტი, Isoelectric point – იზოელექტრული წერტილი, Depth – მემბრანაში ჩაძირვის სიღრმე, Tilt angle – გადახრის კუთხე, Disordering – ორიენტაციით მემრანის ზე-

დაპირის მიმართ, Linear moment – წრფივი მომენტი, Aggregation – აგრეგაცია.

შესაბამისად, განსახორციელებელი ამოცანებია: მონაცემთა ბაზის შედგენა; დაყოფა სასწავლო და საკონტროლო სიმრავლეებად, ვალიდაციური სიმრავლის ფორმირება. მონაცემთა წინასწარი დამუშავება; ამოცანის შესაბამისი ნიშანთა სივრცის შერჩევა; მონაცემთა წარმოდგენა რიცხვითი ფორმით და მათი ნორმირება;

ნიშანთა ანალიზისა და შეფასებისთვის თავდაპირველად შევადგინეთ ანტიმიკრობულ და არა-ანტიმიკრობულ პეპტიდთა სახეებისთვის მინი- და მაქსი- პორტრეტები. მიღებული შედეგები ყოველი ნიშნისათვის ასახავს ნიშანთა ცვლილების დიაპაზონს, ასევე შესაძლებელია მათი გამოყენება ამოცნობის და კლასტერირების (ან წინასწარი გადარჩევის) ეტაპებზე.



სურ. 1. აზპ და არააზპ-თა მინი და მაქსი პორტრეტები

1-ელ ცხრილში ასახული შედეგების გრაფიკული ფორმა მოცემულია 1-ელ სურათზე. ძნელი შესამჩნევი არ არის, რომ მიუხედავად იმისა, რომ ამოსაცნობად გვეძლევა მხოლოდ ორი სახე, სახეთა

სიმრავლეებში შემავალი რეალიზაციებით (სახეთა აღწერებით) ვიღებთ ძნელად განმხილვად სახეთა სიმრავლებს. შესაბამისად, ეს ფაქტი ართულებს დასმულ ამოცანას.

ცხრილი 1

ამზ	Max	Min	არამზ	max	min
Hydrophobic Moment	2,15489	0,02615	Hydrophobic Moment	2,0951	0,06645
Hydrophobicity	2,24636	-2,24529	Hydrophobicity	1,69769	-3,09
Charge	11	1	Charge	12	-4
Isoelectric Point	14	9,58006	Isoelectric Point	14	2,79
Depth	30	6	Depth	30	2
Tilt angle	145	5	Tilt angle	172	5
Disordering	0,76334	-1,57445	Disordering	0,98179	-1,32678
Linear Moment	0,56142	0,1575	Linear Moment	0,56992	0
Aggregation	659,32397	0	Aggregation	1004,04999	0

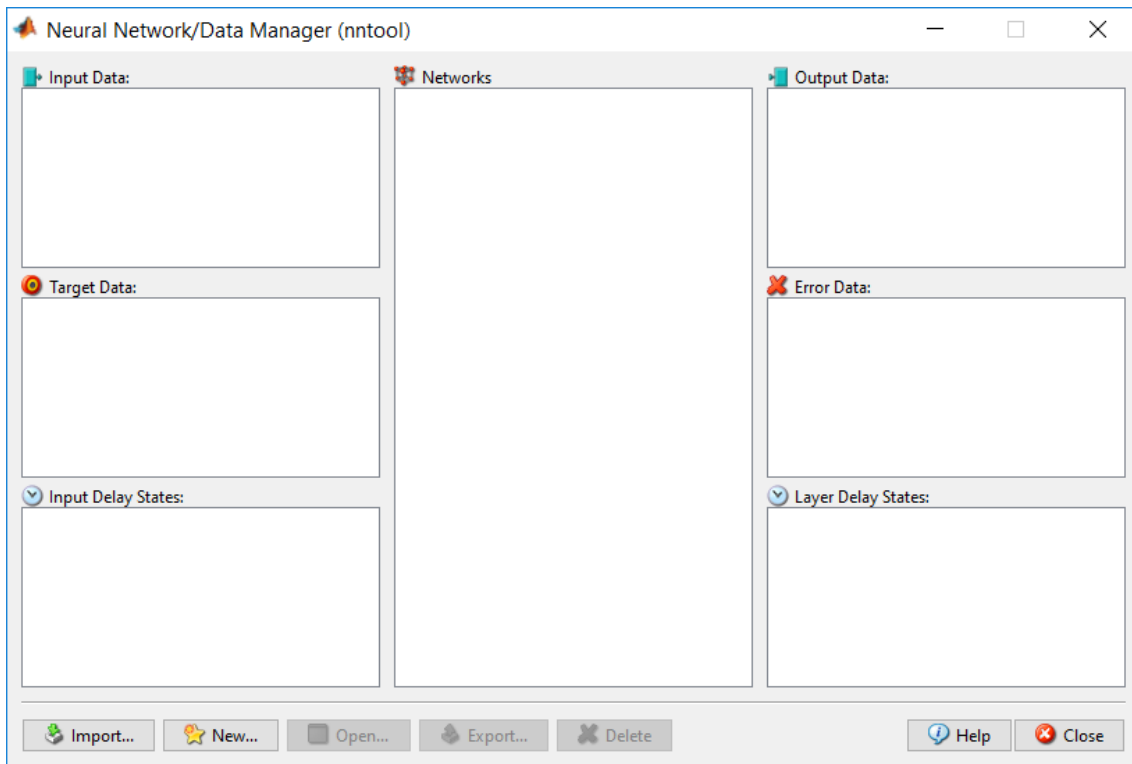
მიღებული საბოლოო შედეგები გამოიყენება შემდგომ კვლევებში იმ მოთხოვნით, რომ ამოცნობის საიმედოობა უნდა იყოს რაც შეიძლება მაღალი, და აღწევდეს 100%-ს. შესაბამისად, ეს ორი ფაქტორი, ამოცნობის მისაღები მაღალი სიზუსტე, და ამოსაცნობ სახეთა განმხილვების სირთულე დასმულ ამოცანას მეტად ართულებს და მეტად მნიშვნელოვანს ხდის.

ამოცნობის პროცესი სრულდება ხელოვნური ნეირონული ქსელებით. ნეირონული ქსელის არქიტექტურის ფორმირების დასრულების შემდეგ უნდა მოხდეს წონისა და წანაცვლების საწყისი მნიშვნელობების მოცემა ანუ, სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, უნდა მოხდეს ქსელის ინიციალიზაცია. ასეთი პროცედურა ხორციელდება **init** მეთოდის

საშუალებით **network** კლასის ობიექტებისათვის. ამ მეთოდის გამოძახების ოპერატორს შემდეგი სახე აქვს: **net = init (net)** [1][2].

ხელოვნური ნეირონული ქსელების სინთეზი შესაძლებელია განხორციელდეს როგორც რომელიმე დაპროგრამების ენაზე, ასევე სხვადასხვა სტანდარტული ბიბლიოთეკების და აპლიკაციების გამოყენებით. ჩვენ კვლევისათვის სამუშაო გარემოდ შევარჩიეთ პროგრამა Matlab [3].

სისტემა Matlab-ის გაფართოების NNT პაკეტის გრაფიკული ინტერფეისის გაშვება ხდება საბრძანებო ფანჯრიდან **nntool** ბრძანების შესრულებით. გამოდის ფანჯარა, რომელსაც ეწოდება მონაცემების და ქსელების მართვის ფანჯარა **Neural Network/Data Manager**:



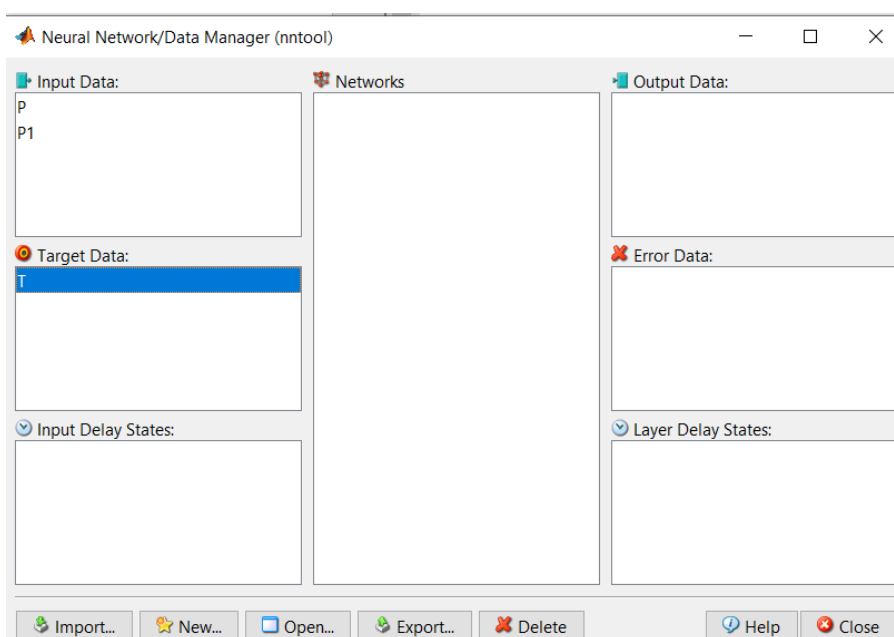
სურ. 2. მონაცემებისა და ქსელების მართვის ფანჯარა

ფანჯარას აქვს 7 ველი და რამდენიმე ფუნქციური ლილაკი: Help – დახმარება; Import – მონაცემების იმპორტირებისათვის Matlab სისტემის სამუშაო არიდან Nntool პაკეტის ცვლადების არეში; New... – ფანჯრის გამოძახება ახალი მონაცემების შესაქმნელად; Open – უკვე არსებულის გახსნისათვის; Export – მონაცემების იმპორტირებისათვის Nntool პაკეტის ცვლადების არიდან Matlab სისტემის სამუშაო არეში; Delete – არჩეული ობიექტის წაშლა; ველების სახელებია: Input Data – საწყისი მონაცემების შეტანა, Target Data – მიზნის მონაცემები, Input Delay States – შესასვლელი დაყოვნებები, Networks – ქსელები, Output Data – გამოძვალა მონაცემები, Error Data – ცდომილებების მონაცემები, Layer Delay States ფენის დაყოვნების დრო. Nntool გრაფიკული ინტერფეი-

სით შეიძლება სხვადასხვა ტიპის ქსელის შექმნა: Cascade-forward backprop – ქსელები პირდაპირი გავრცელებით; Competitive – კონკურენტუნარიანი; Elman backprop – ელმანის ქსელი; Feed-forward backprop – ქსელი უკუგავრცელებით; Generalized regression – განზოგადებული რეგრესიული; Hopfield – ჰოპფილდის ქსელი; Layer Recurrent რეკურენტული ფენა; Linear layer (design) – წრფივი ნეირონული ქსელი; LVQ – თვითორგანიზებადი LVQ-ქსელები; Perceptron – პერცეპტონი; Radial basis – რადიალური საბაზისო ქსელები; და სხვ.

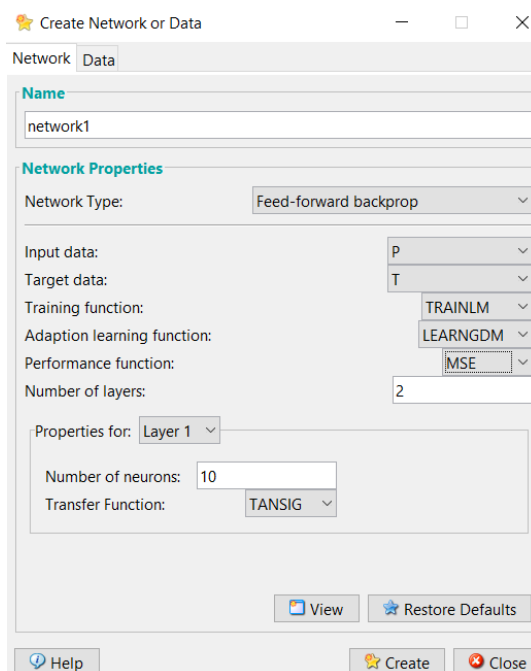
ჩვენს შემთხვევაში შევექმნათ პირდაპირი გავრცელების ქსელი (feed-forward backpropagation). შევიტანოთ საბრძანებო ფანჯრიდან:

```
>> nntool
```



სურ. 3. სასწავლო და საკონტროლო რეალიზაციების შეტანა

ავირჩიოთ ლილაკი “New...”, გამოვა ფანჯარა, რომელსაც ვავსებთ ამოცანის შესაბამისად. name ველში შევიტანთ ქსელის სასურველ სახელს, და- ვუმვათ net1, ვირჩევთ ქსელის ტიპს. შემდეგ მოვნიშნავთ შესასვლელ და მიზნობრივ ფუნქციებს, ნეირონის რაოდენობას ქსელეებში, დასწავლის ფუნქციას, ფენების რაოდენობას, ნეირონების რაოდენობას და სხვ.



სურ. 4. ქსელის ტიპის არჩევა



Network Type ველში ჩამონათვალში ვირჩევთ ქსელის ტიპს. ჩვენს შემთხვევაში ავირჩიოთ feed-forward backpropagation;

Input data და Output data მოვნიშნავთ შესაბამისად შესავალ და გამოსავალ მასივებს;

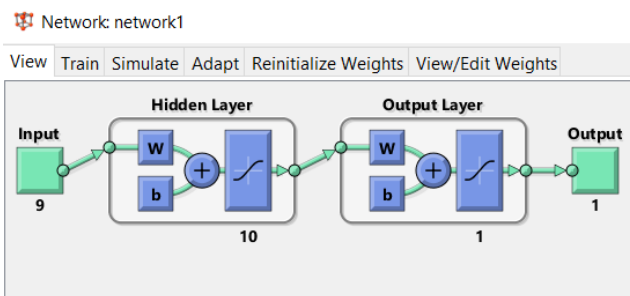
Training function ველში ვირჩევთ დასწავლის ფუნქციას Levenberg-Marquardt (trainLM) – ეს ალგორითმი რეკომენდებულია რთული ამოცანების გადასაწყვეტად;

Number of layers ვირჩევთ ფენების რაოდენობას (2 შრიანი);

Properties for layer ველში რიგრიგობით ვირჩევთ ფენების რიგს და შეგვკეცს Number of neurons ველში ნეირონების შესაბამისი რაოდენობა (10 ნეირონი);

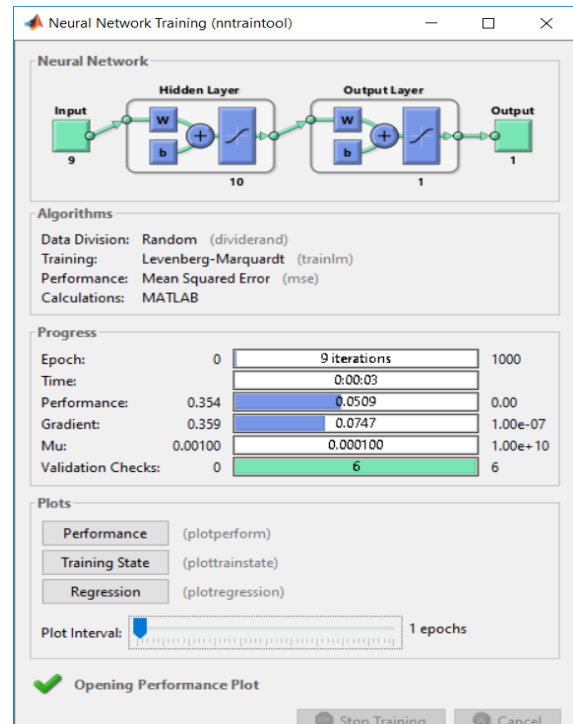
Transfer Function ველში ვირჩევთ აქტივაციის ფუნქციას (TANSIG ჰიპერბოლური ტანგენსი);

როგორც ვხედავთ ქსელს აქვს ცხრა შესასვლელი, ათი ნეირონი, აქტივაციის ფუნქცია არის ჰიპერბოლური ტანგენსი (tansig). გადავიდეთ ქსელის შექმნის პროცესზე, რის შემდეგ ძირითად ფანჯარაში გამოჩნდება ქსელის სახელი network1.



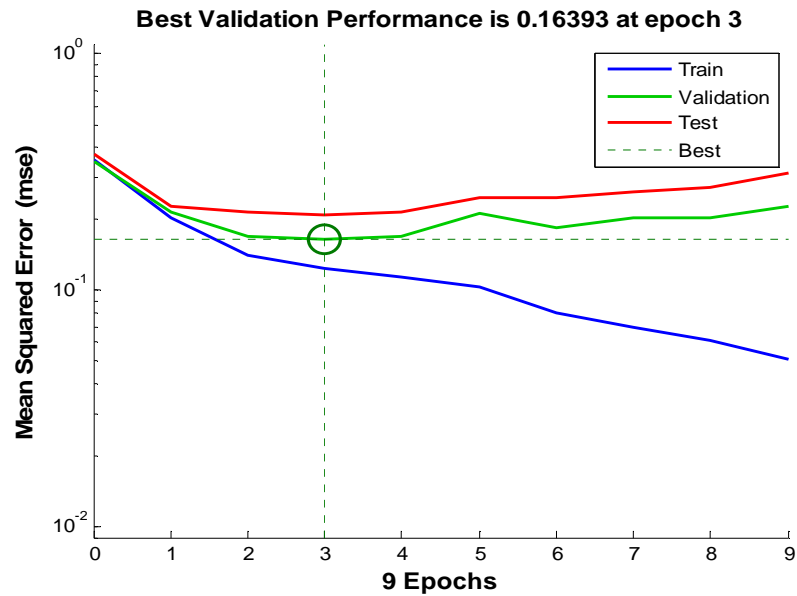
სურ. 5. ქსელის სტრუქტურული სქემა

განვახორციელოთ ქსელის დასწავლის პროცესი. ამისთვის გავააქტიუროთ შექმნილი ქსელი და გადავიდეთ Train ჩანართში. მოვნიშნოთ მონაცემები, დავტოვოთ ან შევცვალოთ გამოსასვლელის (network1\_outputs) და შეცდომის (network1\_errors) მონაცემების სახელები.



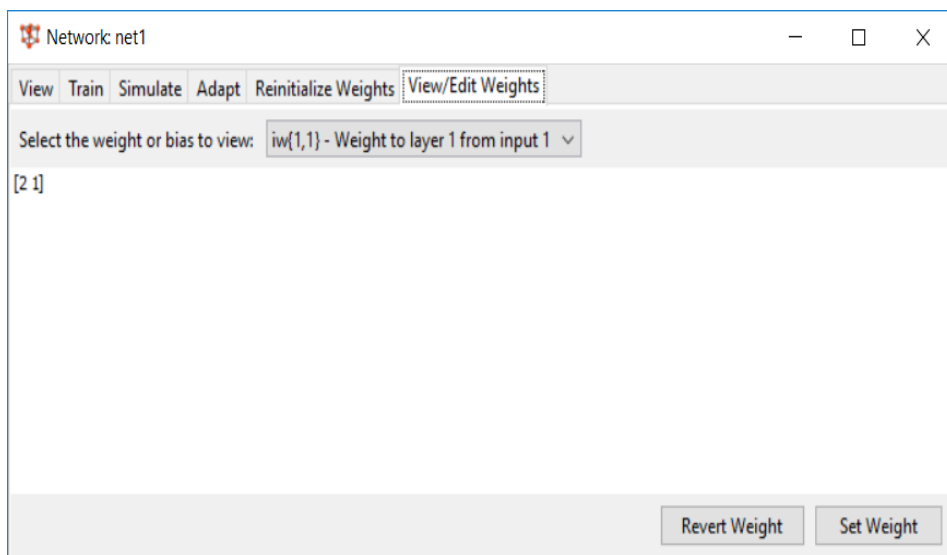
სურ. 6. ქსელის სწავლება

ამ ფანჯარაში ჩანს დასწავლის პროცესის მიმდინარეობა. როცა გამოსახულება ფანჯარაში გაჩერდება, დასწავლა დამთავრებულია. გამოსახულებიდან ჩანს, რამდენი იტერაცია და რა დრო დასჭირდა ქსელს. Performance ლილაკის დაჭერით გამოვა ფანჯარა, სადაც აისახება დასწავლის ცდომილების ცვლილება იტერაციების (ეპოქების) მიხედვით.



სურ. 7. ცდომილების ცვლილება

მოძებნილი წონის კოეფიციენტების ნახვა და ნართზე. Data ჩანართში არის ცდომილების ნახვის რედაქტირება შეიძლება View/Edit Weights ჩა- საშუალება.



სურ. 8. ცდომილების ფანჯარა

ქსელის გამოსასვლელზე მიღებული შედეგები

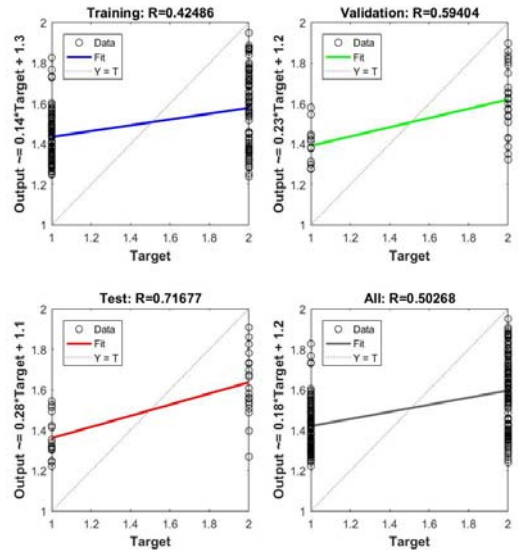
შედეგები მიღებულია არანორმირებული მნიშვნელობებისთვის:

I კლასი (10 შეცდომა)	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 2
	2 1 1 2 1 1 1 1 1 2 2 1 2 2
II კლასი (13 შეცდომა)	2 1 2 1 2 2 2 1 1 2 2 2 1 2 2 1 1 1
	1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2
	2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2

პირველადი შედეგებისთვის ამ მონაცემებით საფუძველზე შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ გვაქვს 80% საიმედოობა.

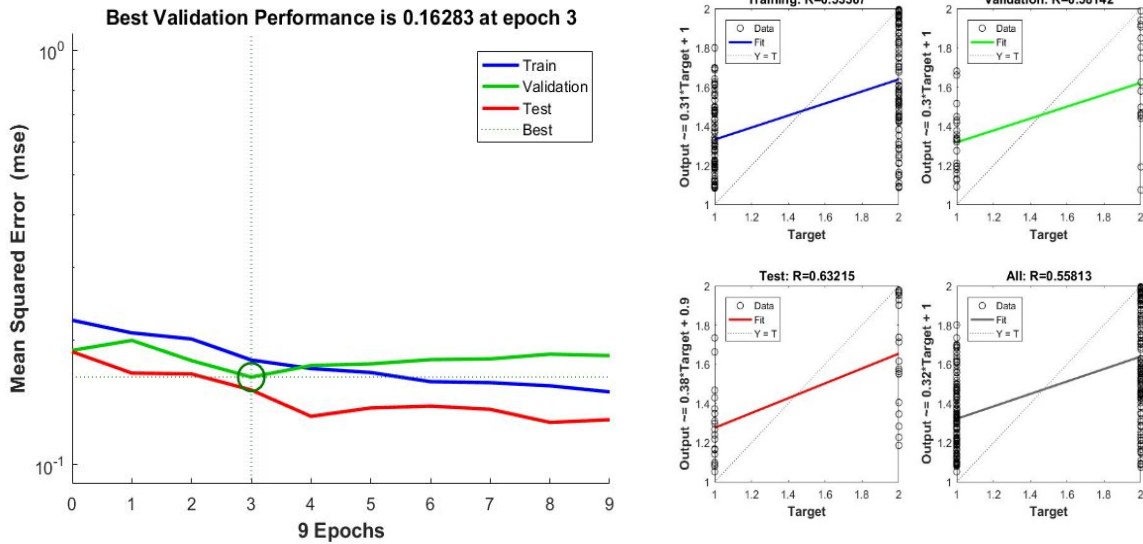
ფუნქცია შევცვალეთ გრადიენტული მეთოდით (trainGD), აქტივაციის ფუნქცია ჰიპერბოლური ტანგენსით.

იგივე კვლევა ჩავატარეთ ისევ პირდაპირი გავრცელების სამშრიანი ქსელით, მხოლოდ დასწავლის



სურ. 10. გრადიენტული მეთოდი

შემდეგი კვლევა განვახორციელებთ მესამე ნი ქსელით. დასწავლის ფუნქცია scaled conjugate backpropagation (traincg).



სურ. 11. scaled conjugate backpropagation-ის მეთოდის შედეგები

კვლევები ჩავატარეთ პირდაპირი გავრცელების ქსელით, მაგრამ განსხვავებული სასწავლო ალგორითმებითა და აქტივაციის ფუნქციით. ქვემოთ მოყვანილია თითოეული მათგანის შედეგები, რის შედეგადაც ვახდენთ დადგენას ქსელის მუშაობის ხარისხის შეფასებას შერჩეული კრიტერიუმების მიხედვით. ვითვალისწინებთ რამდენად სწრაფად და რა სიზუსტით მოახერხა ქსელმა ამოცნობა.

ცხრილი 3

**სხვადასხვა მეთოდის საიმედოობა**

Feed- forward backpropagation	
Levenberg-Marquardt	80%საიმედოობა
Gradient algorithm	83% საიმედოობა
scaled conjugate backpropagation	70% საიმედოობა
Bayesian Regularization	75% საიმედოობა

**დასკვნა**

როგორც ვნახეთ, ამოცნობის შედეგები ვარიირებს 70%-დან 80%-მდე. უნდა ითქვას, რომ არსებული შეზღუდვების პირობებში, ეს შედეგი არის ძალიან კარგი, რადგანაც კვლევებისთვის საინტერესო მოსაზრებებიდან და კვლევის შემდგომი დაგეგმვისათვის ამოცნობის პროცედურებში არ ჩავრთეთ რამდენიმე პროცედურა. დასკვნის მიხედვით დაიგეგმა კვლევის შემდგომი პროცესი:

1. მივიღეთ ამოცნობის 80% იანი საიმედოობა.
2. კვლევის გაგრძელება აუცილებლად უნდა მოხდეს პროგრამა Matlab-ის ნეირონული ქსელების პაკეტების გამოყენებით;
3. ნეიროქსელი უნდა აეწყოს, სამშრიანი ნეირონული ქსელი გრადიენტული დაშვების ალგორითმით, აქტივაციის ფუნქციით ReLu, რითაც

მოსალოდნელია ამოცნობის 95%-იანი საიმედო-ობის მიღწევა;

4. შესრულება კლასტერიზაცია ანუ წინასწარი გადარჩევის პროცედურა ნიშანთა მინი- და მაქსი- მნიშვნელობების მიხედვით. ეს საშუალებას მოგვცემს საწყისს ეტაპზევე მოვახდინოთ ზოგიერთი ამპ-ს ანუ უცნობი რეალიზაციის ამოცნობა.

5. რეალიზაციათა სასწავლო და საკონტროლო ნაკრებებში გვაქვს რეალიზაციათა მცირე რაოდენობები, შესაბამისად (256) და (100). მამასადამე, აუცილებლად ჩასატარებელია სამუშაოები საკვლევ მონაცემთა ბაზის გაზრდისათვის.

6. შეირჩევა მეთოდი და შესრულება ნიშანთა ნორმირება.

### ლიტერატურა

1. Archil Prangishvili, Oleg Namicheishvili, Archil Elizbarashvili. „Neural Networks”, Technical University, 2007, Tbilisi (In Georgian).
1. Revi Chogovadze, Ramaz Khurodze, „Artificial Neural Networks”, 2006, Tbilisi (In Georgian).
2. Dzin Suni, “The basics of bioinformatic”, Ilias Saxelmwifo Universiteti, 2012, Tbilisi (In Georgian).
3. Otar Verulava, Ramaz Khurodze, “The basics of Recognition Systems Theory” Technical University, 2001, Tbilisi (In Georgian).
4. Martin T. Hagon, Howard B. „Demuth Neural Network Toolbox“, 2016 by The MathWorks, Inc. (In English).
5. Guangshun Wang, Antimicrobial Peptides, Boston, USA, 2017. (In English).
6. S. Theodoridis, K. Koutroumbas. “Pattern Recognition”, 2009, (In English).
7. Marvin L. “Neural Network with MATLAB”, 2017, (In English).
8. Michael Paluszek, Stephanie Thomas, “MATLAB Machine Learning”, 2017, (In English).
9. Phil Kim, “MATLAB Deep Learning”, 2017, (In English).

UDC 547.964:591.481.8:615.33  
SCOPUS CODE 1701

## Recognition of antimicrobial antimicrobial peptides using feedforward neural network

**Nino Mchedlishvili** Department of Control Systems, Georgian Technical University, 77 M. Kostava str, 0160 Tbilisi, Georgia  
E-mail: ninomchedlishvili@gtu.ge

**Mariam Chkhaidze** Department of Artificial Intelligence, Georgian Technical University, 77 M. Kostava str, 0160 Tbilisi, Georgia  
E-mail: m.chkhaidze@gtu.ge

**Sofio Barnov** Department of Control Systems, Georgian Technical University, 77 M. Kostava str, 0160 Tbilisi, Georgia  
E-mail: s.barnovi@gtu.ge

### Reviewers:

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

**M. Akhobadze**, Professor, Faculty of Informatics and Control Systems, GTU  
E-mail: meakhobadze@yahoo.com

**Abstract.** The objective of this work is the recognition of antimicrobial peptides based on their existing base, which is the most important task contributing to the issues related to the formation of new antibiotics. The AMP spread area is characterized by a broad evolutionary spectrum of organisms.

The ability of antimicrobial peptides to destroy different types of bacteria, fungi or microorganisms allows scientists to use AMP to develop new antibiotics.

The work describes the process of recognition of artificial neural networks. Recognition procedures such as training and recognition of the neural network are performed using the program Matlab.

Also, the paper considers the process of formation of AMP and non-AMP amino-acid sequences (selections).

Feedforward neural network is selected and used for training of neuronal networks, which is evaluated by several algorithms.

There are reviewed the results obtained in the research in case of all algorithms. Comparison of algorithms is also given.

It is analyzed and evaluated the set of signs of the AMP and non-AMP sequences (realizations) as well.

**Key words:** Antimicrobial peptides; neural networks; recognition.

UDC 547.964:591.481.8:615.33

SCOPUS CODE 1701

## Распознавание антимикробных пептидов с использованием нейронной сети прямого распространения

**Нино Мchedlishvili**      Департамент систем управления, Грузинский технический университет, Грузия, 0160, Тбилиси, ул. М. Костава, 77  
E-mail: ninomchedlishvili@gtu.ge

**Мариам Чхаидзе**      Департамент искусственного интеллекта, Грузинский технический университет, Грузия, 0160, Тбилиси, ул. М. Костава, 77  
E-mail: m.chkhaidze@gtu.ge

**Софио Барнови**      Департамент систем управления, Грузинский технический университет, Грузия, 0160, Тбилиси, ул. М. Костава, 77  
E-mail: s.barnovi@gtu.ge

### Рецензенты:

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

E-mail:

**М. Ахобадзе**, профессор систем управления и информатики доктор технических наук ГТУ

E-mail:

**Аннотация.** В данной работе ставится задача - распознавание антимикробных пептидов на основе их существующей базы, что является наиболее важной задачей и способствует формированию проблем новых антибиотиков. Зона распространения АМП характеризуется широким эволюционным спектром организмов.

Способность антимикробных пептидов бороться и уничтожать различные виды бактерий, грибки или микроорганизмы позволяют ученым использовать АМП для разработки новых антибиотиков.

В работе описан процесс распознавания АМП с искусственных нейронных сетей. Процедуры распознавания - обучение и распознавание нейронной сети осуществляется с помощью программы Matlab.

Также в работе описан процесс формирования аминокислотных последовательностей АМП и не-АМП (выборки);

Нейронная сеть прямого распространения выбрана и используется при исследовании нейронных сетей, что осуществляется несколькими алгоритмами. Рассмотрены результаты, полученные при исследовании для всех алгоритмов. Также рассмотрено сравнение алгоритмов.

Проанализирован и оценен набор признаков последовательностей АМП и не-АМП (реализации).

**Ключевые слова:** антимикробные пептиды; нейронные сети; распознавание.

*განხილვის თარიღი 16.06.2019*

*შემოსვლის თარიღი 19.06.2019*

*ხელმოწერილია დასაბეჭდად 17.12.2019*

UDC 62.503.5

SCOPUS CODE 1712

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2019-4-56-65>

## პროგრამული უზრუნველყოფის ტესტირების ძირითადი მეთოდები

<b>რუსუდან ქუთათელაძე</b>	ბიზნესის ადმინისტრირების დეპარტამენტი, საქართველოს უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 77 E-mail: r.kutateladze@gtu.ge	ტექნიკური
<b>ანა კობიაშვილი</b>	ეკონომიკური ინფორმატიკის დეპარტამენტი, საქართველოს უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 77 E-mail: anakobia@hotmail.com	ტექნიკური
<b>თამაზ ვეკუა</b>	ეკონომიკური ინფორმატიკის დეპარტამენტი, საქართველოს უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 77 E-mail: tazo.vekua@gmail.com	ტექნიკური

### რეცენზენტები:

**რ. სამხარაძე**, სტუ-ის ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის პროფესორი

E-mail: rsamkharadze@mail.ru

**მ. კიკნაძე**, სტუ-ის ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის პროფესორი

E-mail: m.kiknadze@gtu.ge

**ანოტაცია.** პროგრამული უზრუნველყოფის გამართული მუშაობა ძალიან მნიშვნელოვანია. სხვადასხვა აპლიკაციის ფუნქციონირებისას გაჩენილმა შეცდომებმა და უწესივრობებმა შესაძლებელია გამოიწვიოს სერიოზული ფინანსური დანაკარგები. ამიტომ უადრესად აქტუალურია პროგრამული უზრუნველყოფის ხარისხიანი ტესტირება. აღწერილია პროგრამული უზრუნველყოფის ტესტირების დოკუმენტაცია, მისი ძირითადი კომპონენტები, მოყვანილია პროგრამული უზრუნველყოფის შექმნისა და მასზე მუშაობის ეტაპების აღწერა, განხილულია ტესტირების ორი ძირითადი ტიპი, კერძოდ, მანუალური და ავტომატიზებული ტესტირება. მოყვანი-

ლია მაგალითი, რომელიც შესრულებულია დაპროგრამების ენაზე JAVA, JUNIT ფრეიმვორკის გამოყენებით. განხილულია JUNIT ფრეიმვორკის საშუალებით ტესტირებისთვის ყველაზე საჭირო კლასის Assert-ის მეთოდები შესაბამის პრაქტიკულ მაგალითთან ერთად. ნაშრომში ასევე მოკლედ არის გადმოცემული პროგრამული უზრუნველყოფის ტესტირების სხვადასხვა მეთოდი და ზოგადად ტესტირების სასიცოცხლო ციკლი.

**საკვანძო სიტყვები:** ალგორითმი; პროგრამული უზრუნველყოფის ტესტირება; ტესტერი; ფრეიმვორკი.



## შესავალი

პროგრამული უზრუნველყოფის ტესტირება არის კვლევა, რომელიც ტარდება იმისათვის, რომ დაინტერესებულ მხარეს ჰქონდეს ინფორმაცია პროგრამული პროდუქტის ხარისხზე. დღესდღეობით ყველა საჯარო და კერძო კომპანიაში გამოიყენება სხვადასხვა პროგრამული აპლიკაცია; სწორედ მათი სწორად და გამართულად მუშაობისთვის არის საჭირო პროგრამული უზრუნველყოფის ტესტირება. აპლიკაციის ტესტირების მიზანია იპოვოს მასში რაც შეიძლება მეტი შეცდომა, რათა ამ შეცდომების აღმოფხვრის შემდეგ პროგრამამ გამართულად იმუშაოს.

ახალი პროგრამული უზრუნველყოფა როდესაც იქმნება, ტესტირება უნდა იყოს მისი სასიცოცხლო ციკლის განუყოფელი ნაწილი, რათა საბოლოო ჯამში მივიღოთ ზუსტად ისეთი პროდუქტი, რომელიც შეესაბამება დამკვეთის მოთხოვნებს და მაქსიმალურად უშეცდომო იქნება.

ტესტირების შედეგად აღმოჩენილი შეცდომები და სხვა დეფექტები ანგარიშის სახით დეველოპერების გუნდს ეცნობება და მათი აღმოფხვრა მოხდება. მას შემდეგ, რაც შეცდომა გასწორდება, განმეორებითი ტესტირება მოხდება. პროგრამაში შეცდომის გასწორების შემდეგ უფრო სერიოზული შეცდომა შეიძლება გაჩნდეს ან/და საერთოდ ახალი შეცდომა წარმოიშვას. ასევე პროგრამული უზრუნველყოფის ტესტირების შედეგად ხშირად შესაძლებელია მივიღოთ ობიექტური და დამოუკიდებელი ინფორმაცია პროგრამის ხარისხისა და რისკების შესახებ.

ზოგჯერ ტესტირების შემდეგ შესაძლოა ვერ მოხდეს იმის იდენტიფიცირება, რომ პროდუქტი სწორად მუშაობს ყველა პირობებში, მაგრამ შესაძ-

ლოა დადგინდეს, რომ ის გარკვეულ პირობებში არ მუშაობს.

პროგრამაში ტესტირების ადრე დაწყება ამცირებს ღირებულებას, პროგრამის გადაკეთებისათვის საჭირო დროსა და შეცდომების რაოდენობას. შესაბამისად, კლიენტი იღებს მაღალი ხარისხის პროგრამულ პროდუქტს.

## ძირითადი ნაწილი

ტესტირების სასიცოცხლო ციკლის ცნება საკმაოდ განსხვავებულია; სხვადასხვა კომპანიაში შეიძლება არსებობდეს განსხვავებული სასიცოცხლო ციკლი, თუმცა მისი გარკვეული სტანდარტული სქემა არსებობს. ეს სქემა შედგება შემდეგი ბიჯებისაგან:

**მოთხოვნების ანალიზი:** ტესტირების პროცესი მოთხოვნების გაანალიზებით უნდა დაიწყოს. ამ დროს ტესტირებმა უნდა გადაწყვიტონ, პროგრამის რომელი ასპექტები შემოწმდეს და რა პარამეტრებით იმუშაოს ამ ტესტებმა.

**ტესტირების დაგეგმვა:** საჭიროა შემუშავდეს ტესტირების სტრატეგია, შეიქმნას ტესტირების გეგმა. ეს პროცესი განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია მაშინ, როცა ბევრი მოქმედებაა შესასრულებელი.

**ტესტ-დეველოპმენტი:** იქმნება ტესტ-პროცედურების, ტესტ-სცენარების, ტესტ-ქეისებისა და ტესტ-სკრიპტების ნაკრები, რომლებიც გამოიყენება სატესტო პროგრამაში.

**ტესტების შესრულება:** ტესტირები შესრულებაზე გაუშვებენ ტესტებს და რაიმე შენიშვნის შემთხვევაში აცნობებენ დეველოპერებს.

**ტესტირების ანგარიში:** ტესტირების დასრულების შემდეგ, ტესტირები ადგენენ ანგარიშს იმის

შესახებ, მზად არის თუ არა პროგრამა სამუშაოდ.

**ტესტირების შედეგის ანალიზი:** დეველოპერები ბიზნესის წარმომადგენლებთან ერთად განიხილავენ, თუ რა უნდა გამოსწორდეს ან რომელ შეცდომას არ უნდა მიექცეს ყურადღება.

**რეგრესიული ტესტირება:** ჩვეულებრივ პატარა პროგრამა უნდა გვექონდეს, რომელიც უზრუნველყოფს იმას, რომ პროგრამაში ახალი მოდულის დამატებისას პროგრამის ყველა დანარჩენი ნაწილი უშეცდომოდ მუშაობდეს.

**ტესტის დახურვა:** მას შემდეგ, რაც მივიღებთ კრიტერიუმების შესაბამის მდგომარეობას, უნდა განისაზღვროს, თუ რა ღონისძიებებს უნდა მივმართოთ, რომ შევინარჩუნოთ ძირეული შედეგები. პროექტთან დაკავშირებული მიღებული გაკვეთილები, შედეგები, ჟურნალები, დოკუმენტები დაარქივდება და ინახება, ხოლო მომავალში გამოიყენება, როგორც საცნობარო მასალა სამომავლო პროექტებისათვის.

პროგრამულ ტესტირებაზე თავიანთი შესაძლებლობების შესაბამისად შემდეგი სპეციალისტები მუშაობენ: პროგრამების ტესტირები, პროგრამების დეველოპერები, პროექტის მენეჯერები და მომხმარებლები.

პროგრამული უზრუნველყოფის ტესტირებას აქვს სამი ძირითადი მიზანი: უწყველობების პოვნა, გადამოწმება, ვალიდაცია.

ტესტირების დოკუმენტაცია მოიცავს დოკუმენტაციის არტიფაქტებს, რომლებიც უნდა იყოს შედგენილი ტესტირების დაწყებამდე ან ტესტირების მიმდინარეობისას. ტესტირების დოკუმენტაციაში შედის:

- ტესტირების გეგმა (Test Plan);

- ტესტირების სცენარი (Test Scenario);
- ტესტების ნაკრები (Test Case);
- ტრასირების მატრიცა (Traceability Matrix).

**ტესტირების გეგმა** აღწერს სტრატეგიას, რესურსებს, ტესტირების გარემოს, რომელიც გამოყენებული იქნება პროგრამული უზრუნველყოფის ტესტირების დროს. ტესტირების გეგმის შედგენა ხდება ხარისხის უზრუნველყოფის სამსახურის მიერ. ტესტირების გეგმა მოიცავს: დოკუმენტის შესავალ ნაწილს, აპლიკაციის ტესტირების პროცესის მსვლელობის სავარაუდო ვერსიას, ტესტ-სცენარების სიას, გასატესტი ფუნქციების სიას, ტესტირებისათვის გამოყენებული მიდგომის მითითებას, გასატესტი ელემენტების სიას, პროგრამის ტესტირებისათვის საჭირო რესურსების ნუსხას, დავალებების ცხრილს და იმ რისკების ჩამონათვალს, რომლებმაც შეიძლება თავი იჩინოს ტესტირების დროს.

მოცემული ტესტირების კონკრეტულ მაგალითზე და კონკრეტული ტესტ-ქეისის შემთხვევაში, ტესტერს უნდა ჰქონდეს კრიტერიუმების კომპლექტი, რათა ტესტირების შესრულების შემდეგ გადაწყვიტოს, ტესტი წარმატებით იქნა შესრულებული თუ არა. ტესტირების გეგმის ამ ნაწილში უნდა იყოს შეტანილი მსგავსი კრიტერიუმების აღწერა. თუ ტესტი არ იქნა წარმატებით შესრულებული, ტესტი მარცხს განიცდის. ეს ხდება მაშინ, როდესაც პროგრამის შედეგი არ ემთხვევა იმას, რაც განსაზღვრულ პირობებში ტესტირების შედეგად იყო მოსალოდნელი. რეალურ შედეგსა და მოსალოდნელ შედეგს შორის სხვაობა შეიძლება განსაზღვრული იყოს ერთი ან რამდენიმე დეფექტით. დეფექტის გავლენა შეიძლება მინიმალურად აისახოს პროგრამის მომხმარებელზე ან დეფექტმა შეიძლება

მოახდინოს სისტემის შექმნა. შესაფასებლად გამოიყენება სკალები, მაგალითად, სკალაზე შეფასებით 1-დან – 4-მდე, დეფექტმა 1-ქულიანი შეფასებით შეიძლება გამოიწვიოს სისტემის შექმნა, ხოლო 4 ქულით შეფასებულმა დეფექტმა შეიძლება მინიმალური გავლენა მოახდინოს პროგრამის მომხმარებელზე.

მაგალითისათვის წარმოვიდგინოთ, რომ პროგრამულად ხდება ანგარიშის გენერირება Word-ის დოკუმენტში და მისი ამობეჭდვა; პროგრამის ტესტირების დროს გამოჩნდა, რომ ანგარიში და მასში შემავალი ტექსტი კორექტულია, მაგრამ დოკუმენტში აზნაცები არ არის გამოყოფილი. ასეთი შეცდომა შეიძლება შეფასდეს ზემოთ მოყვანილი სკალების მაგალითის მიხედვით 3-4 ქულით. 1-ქულიანი შეფასება ამ შემთხვევაში შეიძლება მიიღოს ისეთი სახის დეფექტმა, როგორცაა, მაგალითად, მომხმარებლის მიერ აღნიშნული ანგარიშის დასაგენერირებელ დოკუმენტზე ხელის დაჭერის შეცდომა, როცა ვეღარ ხერხდება ოპერაციის გაგრძელება. ასეთ დროს სისტემა გამოუსადეგარი ხდება. აღნიშნული შეფასების სისტემა ძალიან ეხმარება დეველოპერს დეფექტებისთვის პრიორიტეტების მინიჭებაში და მათი თანამიმდევრულად შესრულების დაგეგმვაში.

ტესტირების დამგეგმავს შეუძლია სკალირების ხერხი გამოიყენოს, რათა დაადგინოს პროგრამის შეცდომის მისაღები დონე. ტესტირების დროს დეფექტების რაოდენობა და მათი სირთულები თუ გადააჭარბებს მისაღებ დონეს, შეიძლება ითქვას, რომ პროგრამული უზრუნველყოფის ტესტირებამ წარმატებით ვერ ჩაიარა.

**ტესტირების სცენარი** არის პირობა, რომელიც მიუთითებს, თუ რომელი ნაწილი უნდა იყოს გა-

ტესტილი აპლიკაციაში. მისი საბოლოო მიზანია პროცესის სრული ტესტირების უზრუნველყოფა. ტესტირების სცენარი და ტესტების ნაკრები გამოიყენება როგორც სინონიმები, მაგრამ სხვაობა მათ შორის არის ის, რომ ტესტირების სცენარი მოიცავს რამდენიმე ბიჯს, ხოლო ტესტირების ნაკრები – კონკრეტულად ერთს. ერთი სცენარიდან შეიძლება გამოდიოდეს ტესტების რამდენიმე ნაკრები.

**ტესტების ნაკრები** შედგება რამდენიმე ბიჯისაგან – პირობებისაგან, რომლებიც გამოყენებულია ტესტირების დავალების შესრულებისას. მისი მთავარი მიზანია დადგინდეს, პროგრამული პროდუქტი ფუნქციონირებს სწორად თუ არასწორად. არსებობს ნაკრების რამდენიმე ტიპი: ფუნქციური, ნეგატიური, ლოგიკური და ა. შ. მთავარი კომპონენტები, რომლებსაც შეიცავს ყველა ნაკრები, არის: ნაკრების იდენტიფიკატორი, პროდუქტის მოდული, პროდუქტის ვერსია, ცვლილების ისტორია, მიზანი, ვარაუდები, წინაპირობები, ბიჯები, სავარაუდო შედეგი, არსებული შედეგი, შემდგომი პირობები.

**ტრასირების მატრიცა** არის ცხრილი, რომელიც გამოიყენება პროგრამული უზრუნველყოფის სასიცოცხლო ციკლის თვალყურის სადევნებლად.

პროგრამული უზრუნველყოფის ტესტირებაში არსებობს ტრასირების მატრიცების ტიპები: პირდაპირი ტრასირება, უკუმიმართულების ტრასირება, ორმაგი მიმართულების მქონე ტრასირება (პირდაპირი და უკუმიმართულებით).

არსებობს ტესტირების ორი ძირითადი ტიპი: მანუალური და ავტომატური.

**მანუალური ტესტირება** არის ტესტირების ტიპი, რომლის დროსაც ხდება პროგრამის ხელით ტესტირება და არ გამოიყენება ავტომატიზებული საშუა-

ლებები ან სკრიპტები. მანუალური ტესტირება გამოიყენება იმ შემთხვევაში, თუ პროგრამის ინტერფეისი საკმაოდ ხშირად იცვლება ან თუ პროგრამა პატარა მოცულობისაა, რადგან ასეთ შემთხვევაში ავტომატური ტესტის შექმნას უფრო დიდი დრო დასჭირდება, ვიდრე მანუალურ ტესტირებას.

**ავტომატური ტესტირება** არის ტიპი, რომელშიც ტესტერი წერს სკრიპტს ან იყენებს სხვა გარე პროგრამას მოცემული პროგრამის ტესტირებისათვის. ავტომატიზებული ტესტირება გამოიყენება იმისათვის, რომ ის ტესტ-სცენარები ბევრად უფრო სწრაფად გაეშვას, რომლებიც შესრულებული იყო მანუალური ტესტირების დროს. ავტომატიზებული ტესტირება ზოგავს დროს მანუალურ ტესტირებასთან შედარებით ანუ ასეთი ტესტირების დადებითი მხარეა სისწრაფე.

არსებობს ტესტირების რამდენიმე მეთოდი: თეთრი ყუთის, შავი ყუთის, რუხი ყუთისა და ვიზუალური.

**შავი ყუთის ტესტირების** დროს ტესტირება ხდება მომხმარებლის ინტერფეისის დონეზე. ტესტერს არ აქვს წვდომა შიგა ლოგიკაზე და კოდის არქიტექტურაზე. მან არ იცის, ესა თუ ის შედეგი რა ოპერაციით შესრულების შედეგად მიიღება კოდის დონეზე.

**თეთრი ყუთის ტესტირება** არის შიგა ლოგიკისა და კოდის სტრუქტურის დეტალური გამოკვლევა. იმისათვის, რომ ტესტერმა შეასრულოს აღნიშნული ტიპის ტესტირება, მან უნდა იცოდეს კოდის მუშაობის რეჟიმი, მან აუცილებლად უნდა ჩაიხედოს პროგრამის კოდში და ნახოს, ესა თუ ის შეცდომა კონკრეტულად კოდის რომელ ნაწილში ხდება. ტესტერი ირჩევს მეთოდში შემავალ მნიშვ-

ნელობებს და ამით განსაზღვრავს, თუ რა შედეგს დააბრუნებს კონკრეტული ბლოკი. ტესტირების ამ ტიპისათვის საჭიროა გამოცდილი ტესტერი, რომელსაც აქვს ასევე კოდის სტრუქტურის აღქმისა თუ კოდის წერის უნარი.

**რუხი ყუთის ტესტირება** არის ტექნიკა, რომელშიც ხდება აპლიკაციის გატესტვა იმ შეზღუდული ცოდნის ხარჯზე, რომელიც არსებობს შიგნით – პროგრამის ლოგიკასა და სტრუქტურაში. ტესტერს ამ შემთხვევაში აქვს წვდომა პროგრამის დიზაინსა და მონაცემთა ბაზებზე. ამ ცოდნის მქონე ტესტერს უმარტივდება ტესტების მონაცემებისა და სცენარების მომზადება, ტესტ-სცენარების შედგენისას. იცის რა პროგრამული უზრუნველყოფის მუშაობის ძირითადი ლოგიკა, ტესტერი უკეთესად და მარტივად აკეთებს არჩევანს.

**ვიზუალური ტესტირების** მიზანია დაანახოს დეველოპერს, რა დროს ხდება პროგრამის შესრულებისას შეცდომის წარმოშობა. ვიზუალური ტესტირება მოითხოვს ჩაიწეროს ტესტირების პროცესის ყველა ეტაპი, რათა თვალნათლივ ჩანდეს, თუ რა დროს ხდება შეცდომა. ვიზუალური ტესტირების დადებითი მხარე ის არის, რომ ტესტერს შეუძლია მაგალითის ხარჯზე დეველოპერს აჩვენოს პროგრამაში მომხდარი შეცდომა, რაც მას უმარტივებს შეცდომის აღმოფხვრას. ასევე ტესტირების აღნიშნული ტიპი ამარტივებს კომუნიკაციას ტესტერსა და დეველოპერს შორის.

პროგრამულ უზრუნველყოფაში არსებობს მრავალფეროვანი აპლიკაციები, რომლებიც იყოფა გარკვეულ კლასებად, მაგალითად, Desktop აპლიკაციები, რომლებიც ძირითადად გამოიყენება გამოთვლითი სამუშაოების შესასრულებლად. ტესტები

ხშირად ჯგუფდება იმის მიხედვით, პროგრამაში თუ სად არის დამატებული ან ტესტირების დონეების მიხედვით. პროგრამული უზრუნველყოფის დეველოპმენტის დროს გამოიყენება სამი ძირითადი დონე: კომპონენტების ტესტირება, ინტეგრაციული ტესტირება და სისტემური ტესტირება, ხოლო დანარჩენი დონეები გამოიყენება ტესტირების მიზნის მიხედვით. ტესტირების ყოველ დონეს ან ყოველ ტესტს უნდა ჰქონდეს შესასვლელი სპეციალური კრიტერიუმით და ასევე გამოსასვლელი კონკრეტული კრიტერიუმებით.

კომპონენტების ტესტირების მიზანია მოხდეს პროგრამის კოდის კონკრეტული ნაწილის ფუნქციონირების შემოწმება იმ მოთხოვნებთან შესაბამისობის დასადგენად, რისთვისაც შეიქმნა კომპონენტი. ობიექტზე ორიენტირებულ დაპროგრამებაში ასეთი სახის ტესტირება დაყვანილია კლასის დონეზე, ხოლო მინიმალური დონეა კონსტრუქტორების ტესტირება. კომპონენტების ტესტირებებს, როგორც წესი, წერენ დეველოპერები, რათა დარწმუნდნენ, რომ აღნიშნული მეთოდი ისე მუშაობს, როგორც მათ ჩაიფიქრეს და განახორციელეს. კონკრეტულ მეთოდს შეიძლება ჰქონდეს რამდენიმე ტესტი ყველა იმ შესაძლო პარამეტრით ტესტირებისათვის, რომლებიც შეიძლება გადაეცეს პროგრამაში მეთოდს.

ინტეგრაციული ტესტირება ითვალისწინებს პროგრამული უზრუნველყოფის ყველა იმ კომპონენტისა და მოდულის ტესტირებას, რომლებიც არის ახალი, შეცვლილი ან რომელზეც იმოქმედა სხვა ცვლილებამ. იმ დროს, როდესაც სისტემის ტესტირება ცდილობს მინიმალურ დონეზე დაიყვანოს პროგრამის ტესტირებისას გარეშე ფაქტორები, ინტეგრაციული ტესტირება მოითხოვს სხვა სი-

სტემებისა და ინტერფეისების ჩართულობას. ინტეგრაციულ ტესტირებას აქვს კიდევ ტესტირების შიგა ტიპები, რომლებიც პროგრამის ტიპზე დამოკიდებულების მიხედვით შეიძლება იქნეს ან არ იქნეს გამოყენებული; ესენია: ტესტირება შეთავსებადობაზე, ტესტირება მწარმოებლურობაზე, ტესტირება სტრესზე და ტესტირება დატვირთვაზე.

- ტესტირება შეთავსებადობაზე არის ტესტირების ტიპი, რომელიც მოიცავს პროგრამის მუშაობას სხვადასხვა სისტემაზე. მაგალითად, ვებპროგრამის ტესტირება ხდება სხვადასხვა ინტერნეტბრაუზერზე.
- ტესტირება მწარმოებლურობაზე გამოიყენება პროგრამის მასშტაბურობის ტესტირებისათვის, მაგალითად, როდესაც აპლიკაციაში დამატებულია ბევრი მომხმარებელი ან მონაცემთა რაოდენობა იზრდება. ძირითადი მიდგომა ისაა, რომ შეაგროვოს დროითი პარამეტრების მნიშვნელობები კრიტიკული ბიზნესპროცესის დროს, როცა მაქსიმალურად დაბალ დონეზე არის დატვირთული, ხოლო შემდეგ შეაგროვოს იგივე მნიშვნელობები უკვე მაქსიმალურად მაღალი დატვირთვისას.
- ტესტირება სტრესზე გამოიყენება პროგრამის მაღალ დონეზე დატვირთვის ტესტირებისათვის. ხდება პროგრამის გაშვება მისი დატვირთულობის მაქსიმალურ ლიმიტზე, რათა მოხდეს იმ წერტილის დადგენა, სადაც ხდება შეცდომა.
- ტესტირება დატვირთვაზე არის სტრესის ტესტირების საწინააღმდეგო; ამ დროს ხდება პროგრამის შესაძლებლობების შემოწმება

ნორმალური დატვირთვით. იზომება მისი რეაგირების დრო კრიტიკული ოპერაციების შესრულებისას, რათა დადგინდეს, ის არის თუ არა ბიზნესის მოთხოვნების ფარგლებში და აკმაყოფილებს თუ არა მომსახურების დონეს.

**სისტემური ტესტირება** არის ტესტირება, რომელიც ამოწმებს მთლიან ინტეგრირებულ სისტემას იმაში დასარწმუნებლად, რომ სისტემა მუშაობს მისადმი წაყენებული მოთხოვნების შესაბამისად. მაგალითად, სისტემის ტესტირებისას ხდება Login ინტერფეისის ტესტირება, შემდეგ ახალი ჩანაწერების განხორციელება, მათი რედაქტირება. ასევე პრინტერზე ბეჭდვა, შემდეგ ჩანაწერების წაშლა და ბოლოს სრულდება Log off ფუნქცია. ეს იგივეა, რომ მოხდეს პროგრამის უხეშად ტესტირება და მისი მხოლოდ ძირითადი ფუნქციები შემოწმდეს. შეცდომის დაფიქსირების და მისი აღმოფხვრის შემდეგ ყველა ტესტი თავიდან უნდა იქნეს გაშვებული იმაში დასარწმუნებლად, რომ შეცდომის აღმოფხვრამ პროგრამის რაიმე სხვა ნაწილი არ დააზიანა.

**ტესტირება უსაფრთხოებაზე** არის ტესტირება, რომლის დროსაც ხდება პროგრამის შემოწმება უსაფრთხოებაზე ანუ პროგრამის შემოწმება ჰაკერული შემოტევებისაგან თავდასაცავად და მოწმდება, თუ რამდენად უსაფრთხოა იგი და რამდენად შესაძლებელია მისგან ინფორმაციის მოპარვან მსგავსი უკანონო ქმედება.

**ტესტირება მისაღებობაზე** არის ტესტირება, რომელსაც ასრულებს დამკვეთი იმის განსაზღვრისათვის, თუ რამდენად შეესაბამება პროგრამა მის მოთხოვნებს. ამ ეტაპის გავლის შემდეგ გადაწყდება, პროგრამა უნდა იქნეს თუ არა მიღებული.

**რეგრესიული ტესტირების** მიზანია, გადაამოწმოს, რომ პროგრამაში ახალმა დამატებულმა მოდულმა თუ კომპონენტმა ხომ არ გამოიწვია სისტემის ძველი ნაწილის გაფუჭება. ამისათვის ხდება ყველა არსებული ტესტის თავიდან გაშვება ახალ ტესტთან ერთად, რისთვისაც ხშირად იყენებენ ავტომატურ ტესტირებას, რათა მოხდეს ძველი ტესტების სწრაფად და მრავალჯერადად გაშვება.

განვიხილოთ ერთი კონკრეტული მეთოდის ტესტირების მაგალითი. მაგალითში გამოყენებულია დაპროგრამების ენა Java და ტესტირების ფრეიმვორკი JUNIT.

ვთქვათ, გვაქვს შემდეგი მეთოდი:

```
public class StringMethods {
    public String Concatenate(String a, String b) {
        return a + b;
    }
}
```

Unit Tests იმპლემენტირებულია კლასების სახით, რომელსაც აქვს ტესტ-მეთოდები. ხშირ შემთხვევაში ყოველი ტესტ-მეთოდი ახდენს ერთი კლასის ერთი მეთოდის ტესტირებას. ზოგ შემთხვევაში ერთი ტესტ-მეთოდი შეიძლება ახდენდეს რამდენიმე მეთოდის ტესტირებას კლასში, ხოლო ზოგჯერ თუ გასატესტი მეთოდი მოცულობით დიდია, შეიძლება დაიყოს და რამდენიმე ტესტ-მეთოდით გაიტესტოს.

ქვემოთ მოცემულია ტესტ-მეთოდი:

```
Org.Junit.Test;
Import statc org.junit.Assert.*;
public class StringMethodsTest{
```

```
@Test
public void ConcatenateTest(){
    StringMethods stringMethods = new StringMethods();
    String result = stringMethods.Concatenate("Saxeli",
"Gvari")
    assertEquals("SaxeliGvari", result)
}
}
```

StringMethodsTest კლასი არის ტესტ-კლასი ერთი მეთოდით ConcatenateTest(), ტესტ-მეთოდი იწყება ანოტაციით @Test, რომელიც ტესტის გამშვებ პროგრამას ატყობინებს, რომ კლასში გამოყენებულია ტესტ-მეთოდი.

ConcatenateTest მეთოდის შიგნით შექმნილია StringMethods კლასის ობიექტი, რომლის საშუალებითაც შემდეგ ვიძახებთ მეთოდს Concatenate().

ასევე ტესტ-მეთოდის ტანში არის მეთოდი assertEquals(); ტესტირებას სწორედ ეს მეთოდი აკეთებს. ჩვენს მაგალითში ვადარებთ Concatenate მეთოდის გამოსავალს მოსალოდნელ შედეგს ანუ "SaxeliGvari" სტრიქონს ვადარებთ მოსალოდნელ შედეგს, მეთოდი Concatenate-დან დაბრუნებულ პასუხს, რომელიც ინახება ცვლადში Result.

თუ მოცემული ორი ცვლადი ერთმანეთის ტო-

ლი აღმოჩნდება, მეთოდი assertEquals დააბრუნებს True-ს და ტესტირება წარმატებით შესრულდება, ხოლო თუ ორი ცვლადი არ უდრის ერთმანეთს, ადგილი ექნება გამონაკლის შემთხვევას და ტესტირება მარცხით დამთავრდება; შესაბამისად გაჩერდება გაშვებული ტესტირების პროცესი.

შესაძლებელია ტესტ-კლასში გვექონდეს იმდენი ტესტ-მეთოდი, რამდენიც მოგვსურვება. ტესტის შემსრულებელი პროგრამა იპოვნის მათ ანოტაციის მიხედვით და გაუშვებს სათითაოდ.

## დასკვნა

პროგრამული უზრუნველყოფის ტესტირება უაღრესად მნიშვნელოვანია პროდუქტის მაღალი ხარისხის გარანტიისათვის. ტესტირება პროგრამული პროდუქტის სასიცოცხლო ციკლის განუყოფელი ნაწილია; ის უზრუნველყოფს დამკვეთის მოთხოვნების შესაბამისი პროდუქტის მიღებას, რომელიც იქნება მაქსიმალურად უშეცდომო. ტესტირება ასევე საშუალებას აძლევს ბიზნესის წარმომადგენლებს შეაფასონ ბიზნეს-რისკები, რომლებიც განხორციელდა პროგრამულ უზრუნველყოფაში, და დაადგინონ, რამდენად გამოსადეგია ეს პროგრამული საშუალებები მოხმარებლისათვის.

## ლიტერატურა

1. Surguladze G., Gulitashvili M., Kiviladze N. Webapplications testing, validation and verification. Technical University. Tbilisi. 2015, 199p. (in Georgian).
2. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Software\\_testing](https://en.wikipedia.org/wiki/Software_testing)
3. URL: [https://www.tutorialspoint.com/software\\_testing/index.htm](https://www.tutorialspoint.com/software_testing/index.htm)
4. URL: <http://testingbasicinterviewquestions.blogspot.com/2015/03/system-testing-example-complete-guide.html>
5. URL: <https://www.guru99.com/test-scenario.html>

6. URL: <https://blog.testlodge.com/how-to-write-test-cases-for-software-with-sample/>
7. URL: <https://www.guru99.com/traceability-matrix.html>
8. URL: [http://www.cs.ubbcluj.ro/~cretu/VVSS2014\\_2015/Bibliography/Springer.Verlag.Practical.Software.Testing.eBook-KB.pdf](http://www.cs.ubbcluj.ro/~cretu/VVSS2014_2015/Bibliography/Springer.Verlag.Practical.Software.Testing.eBook-KB.pdf)

---

UDC 62.503.5

SCOPUS CODE 1712

### Basic methods of software testing

- Rusudan Kutateladze** Department of Business Administration, Georgian Technical University, 77 M. Kostava str, 0160 Tbilisi, Georgia  
E-mail: r.kutateladze@gtu.ge
- Ana Kobiashvili** Department of Economic Informatics, Georgian Technical University, 77 M. Kostava str, 0160 Tbilisi, Georgia  
E-mail: anakobia@hotmail.com
- Tamaz Vekua** Department of Economic Informatics, Georgian Technical University, 77 M. Kostava str, 0160 Tbilisi, Georgia  
E-mail: tazo.vekua@gmail.com

### Reviewers:

- R. Samkharadze**, Professor, Faculty of Informatics and Control Systems, GTU  
E-mail: rsamkharadze@mail.ru
- M. Kiknadze**, Professor, Faculty of Informatics and Control Systems. GTU  
E-mail: m.kiknadze@gtu.ge

**Abstract.** Software performance is very important. Errors and malfunctions during functioning of various applications may result in serious financial losses. That is why the qualitative testing of software is actual. The article describes software testing documentation, its core components, the software development and stages of its work. Two basic types of testing, particularly, manual and automated testing, are reviewed. An example is drawn up which is performed on the programming language JAVA, using JUNIT framework. The most essential Assert class methods for the testing with framework JUNIT, along with relevant practical example, are discussed. The paper also briefly examines various methods of software testing and the cycle of testing in general.

**Key words:** Algorithm; framework; software testing; tester.



UDC 62.503.5  
SCOPUS CODE 1712

## Основные методы тестирования программного обеспечения

- რუსუდან კუტატელაძე**      Департамент бизнес-администрирования, Грузинский технический университет, Грузия, 0160, Тбилиси, ул. М. Костава, 77  
E-mail: r.kutateladze@gtu.ge
- ანა კობიაშვილი**      Департамент экономической информатики, Грузинский технический университет, Грузия, 0160, Тбилиси, ул. М. Костава, 77  
E-mail: anakobia@hotmail.com
- თამაზ Векуა**      Департамент экономической информатики, Грузинский технический университет, Грузия, 0160, Тбилиси, ул. М. Костава, 77  
E-mail: anakobia@hotmail.com

### Рецензенты:

- Р.Самхарაძე**, профессор факультета информатики и систем управления ГТУ  
E-mail: rsamkharadze@mail.ru
- М.Кикнадзе**, профессор факультета информатики и систем управления ГТУ  
E-mail: m.kiknadze@gtu.ge

**Аннотация.** Очень важна исправная работа программного обеспечения. Ошибки и неисправности в работе различных приложений могут привести к серьезным финансовым потерям. Именно поэтому чрезвычайно актуально качественное тестирование программного обеспечения. В статье описывается документация по тестированию программного обеспечения, ее основные компоненты, разработка программного обеспечения и этапы работы, рассматриваются два основных типа тестирования: мануальное и автоматическое тестирование. Приведен пример на языке программирования JAVA с использованием фреймворка JUNIT. Рассматриваются наиболее важные методы оценки Assert, применяемые при тестировании с использованием фреймворка JUNIT, а также соответствующий практический пример. В статье также кратко рассматриваются различные методы тестирования программного обеспечения и цикл тестирования в целом.

**Ключевые слова:** алгоритм; тестер; тестирование программного обеспечения; фреймворк.

*განხილვის თარიღი 28.05.2019*

*შემოსვლის თარიღი 14.05.2019*

*ხელმოწერილია დასაბეჭდად 17.12.2019*

UDC 627.11:627.81

SCOPUS CODE 1900

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2019-4-66-74>

## წყალსადინარის გასწვრივ კალაპოტური წარმონაქმნების განაწილების ხასიათი

**მაია კუპრავიშვილი** აგროინჟინერიის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0192, თბილისი. დ. გურამიშვილის გამზ. 17  
E-mail: m.kupravishvili@gtu.ge

### რეცენზენტები:

**თ. ოდილავაძე**, სტუ-ის აგრარული მეცნიერებების და ბიოსისტემების ინჟინერინგის ფაკულტეტის ასოცირებული პროფესორი

E-mail: adilavadze2004@yahoo.com

**რ. დიაკონიძე**, სტუ-ის ცოტნე მირცხულავას სახელობის წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის პროფესორი

E-mail: robertdia@mail.ru

**ანოტაცია.** წყალსადინარის გასწვრივ ღვარცოფების მოძრაობისას კალაპოტური წარმონაქმნების განაწილება მეტად რთული და მრავალი ფაქტორით განპირობებული პროცესია, რომელიც უპირატესად დამოკიდებულია თვით ამ ნარევის სახეობაზე. ამ მხრივ, განხორციელდა საველე ექსპერიმენტი მლეთის ხევზე, რომელიც შედარებით რეპრეზენტატიულ სურათს იძლეოდა ღვარცოფული დანალექის გრანულომეტრიული შემადგენლობის განსაზღვრის მხრივ. აღსანიშნავია, რომ საველე ექსპერიმენტი ჩატარდა მლეთის ხევზე 20 წლის წინ (1999 წ. წლის აგვისტოში) და განსაზღვრა წყალსადინარის კალაპოტში არაერთხელ მოსული ღვარცოფის დანალექი, რომლის შესწავ-

ლის დროსაც დადგინდა ასევე მოსული ღვარცოფების სახეობა.

ჩატარებულმა კვლევამ აჩვენა, წყალსადინარის გასწვრივ კალაპოტწარმომქმნელი ნაწილაკების განაწილება მოხდა არა მარტო ფრაქციათა მედიანური დიამეტრის, არამედ ამ ნაწილაკების ფორმების გათვალისწინებით.

**საკვანძო სიტყვები:** გრანულომეტრიული შედგენილობის დიფერენცირებული მრუდები; გრანულომეტრიული შედგენილობის ინტეგრალური მრუდები; ნაწილაკთა მედიანური დიამეტრი; ნაწილაკთა ფორმა; პროლუვიონი; სატრანზიტო ზონა.

## შესავალი

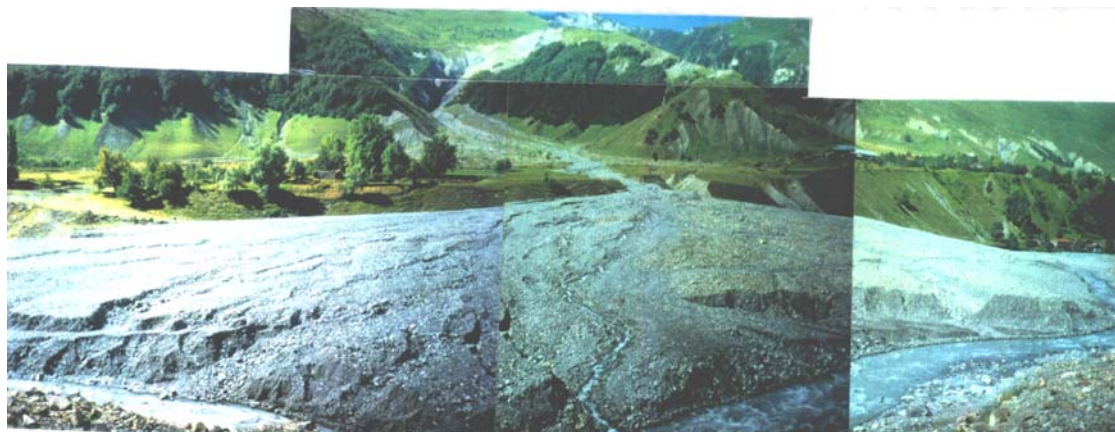
ღვარცოფული მოვლენები საქართველოს თითქმის ყველა რაიონისთვისაა დამახასიათებელი, მაგრამ მასშტაბურობით და სხვადასხვა დანიშნულების ობიექტებზე მკვეთრად გამოხატული ნეგატიური ზემოქმედების თვალსაზრისით, გამოირჩევა შიგა კახეთი, სვანეთი, აჭარის მთიანეთი, სამაჩაბლო, მდინარეების – თერგისა და არაგვის ხეობები და სხვა.

ამჟამად, მთის მდინარეების – არაგვის, ლიახვის, ალაზნის აუზების მცენარეულ საფარს მოკლებული ზოგიერთი უბნები ღვარცოფსაშიში კერებია, რომლებმაც განსაკუთრებულ პირობებში შეიძლება კატასტროფული ხასიათის ღვარცოფებიც კი წარმოქმნას. საგანგაშოა ის ფაქტი, რომ ღვარცოფწარმომქმნელი კერების ფართობი დროთა განმავლობაში იზრდება, რაც უფრო მძლავრი

ღვარცოფული მოვლენების წარმოშობის საწინდარი ხდება. ღვარცოფული მოვლენების შესწავლის თვალსაზრისით, მნიშვნელოვანია მათი მოძრაობის და დალექვის პროცესი; ჩვენ ინტერესს წარმოადგენდა ღვარცოფულ წყალსადინარში დალექილი მასის გრანულომეტრიული შემადგენლობის განსაზღვრა.

## ძირითადი ნაწილი

ღვარცოფული წყალსადინარებისათვის კალაპოტწარმომქმნელი ნაწილაკების (პროლუვიონის) ფრაქციული შედგენილობის განსაზღვრის მიზნით, სავლეთ ექსპერიმენტი ჩატარდა მლეთის ხევის კალაპოტში, სადაც ლაკონურად არის წარმოდგენილი ღვარცოფული წყალსადინარის სათავე, სატრანზიტო და აკუმულაციის უბნები. (იხ. სურ. 1).



სურ. 1. ღვარცოფული ხასიათის წყალსადინარი (მლეთის ხევი)

მლეთის ხევის წყალსადინარის სათავე უბანი წარმოდგენილია კანიონის სახით, რომლის ფერდების დაფერდება  $50^{\circ} \div 60^{\circ}$ -ია და იგი  $45^{\circ} \div 20^{\circ}$  – მდე მცირდება, კალაპოტის ფსკერის სიგანე სატ-

რანზიტო ზონის დასასრულამდე  $4 \div 5$  მ-დან იზრდება  $10 \div 15$  მ-მდე. ნარიყის კონუსი წარმოდგენილია  $60^{\circ} \div 80^{\circ}$ -მდე გაშლილი კონუსის სახით, მისი ზედაპირი შედარებით ამობურცულია და

წარმოდგენილია ქვიშა-ხრეშოვანი და მასზე ნაკლები ზომის ფრაქციებით. კალაპოტწარმომქმნელი ნაწილაკების გრანულომეტრიული შედგენილობის განსაზღვრის საფუძველზე დადგინდა, რომ აღნიშნული წყალსადინარი ხასიათდება არაბმული (ტურბულენტური) ღვარცოფების გავლით.

ექსპერიმენტის მიზანი იყო წყალსადინარში პროლუვიონის გრანულომეტრიული შედგენი-

ლობის განაწილების დადგენა, კალაპოტწარმომქმნელი ნაწილაკების ფორმისა და ზომის გათვალისწინებით.

ამოცანის გადაწყვეტის მიზნით, პროლუვიონის გრანულომეტრიული შემადგენლობის განსაზღვრა განხორციელდა ფოტოანალიტიკური მეთოდით სატრანზიტო ზონის 5-5 მეტრით დაშორებულ 11 კვებში. (იხ. სურ. 2).



ა)



ბ)

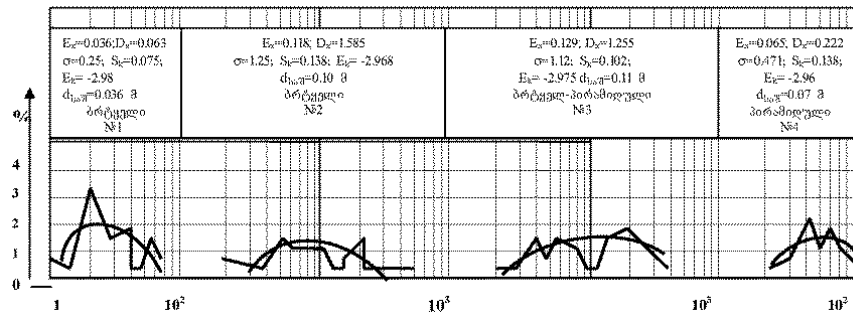


გ)

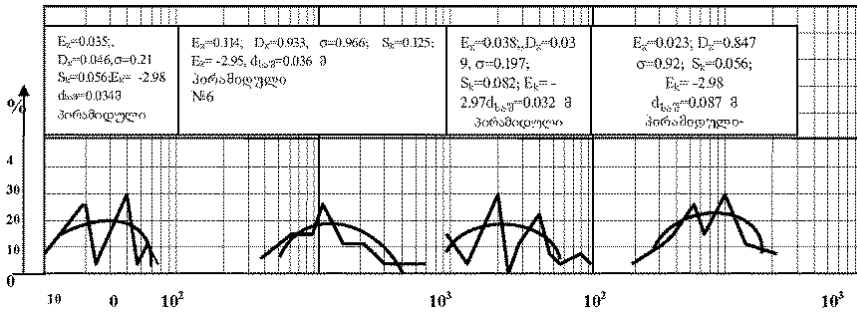
სურ. 2. ა) სატრანზიტო ზონის შუაწელამდე, ბ) შუაწელზე და გ) შუაწელის დასასრულ დალეკილი კალაპოტწარმომქმნელი ნაწილაკები

ფოტოსურათების ანალიზის საფუძველზე, სატრანზიტო ზონის გასწვრივ ღვარცოფული დანალექის გრანულომეტრიული შედგენილობა გამოისახა

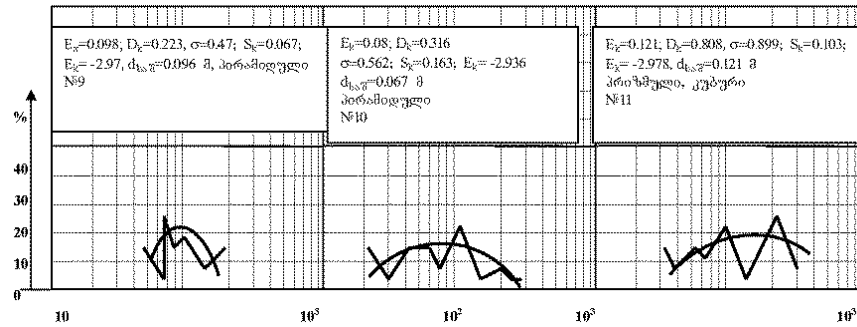
დიფერცირებული სახით, რამაც საშუალება მოგვცა, უფრო ნათლად განგვესაზღვრა დანალექის ერთგვაროვნება (იხ. სურ. 3).



ა



ბ



გ

სურ. 3. ა) სატრანზიტო ზონის შუაწელამდე, ბ) სატრანზიტო ზონის შუაწელზე და  
 გ) სატრანზიტო ზონის დასასრულ დაფიქსირებული კალაპოტწარმოქმნილი ნაწილაკების  
 გრანულომეტრიული შედგენილობის დიფერცირებული მრუდები

მიღებული მონაცემები მათემატიკური სტატისტიკის მეთოდებით დამუშავების შემდეგ დადგინდა ნაწილაკთა საშუალო დიამეტრი, ასიმეტრია,

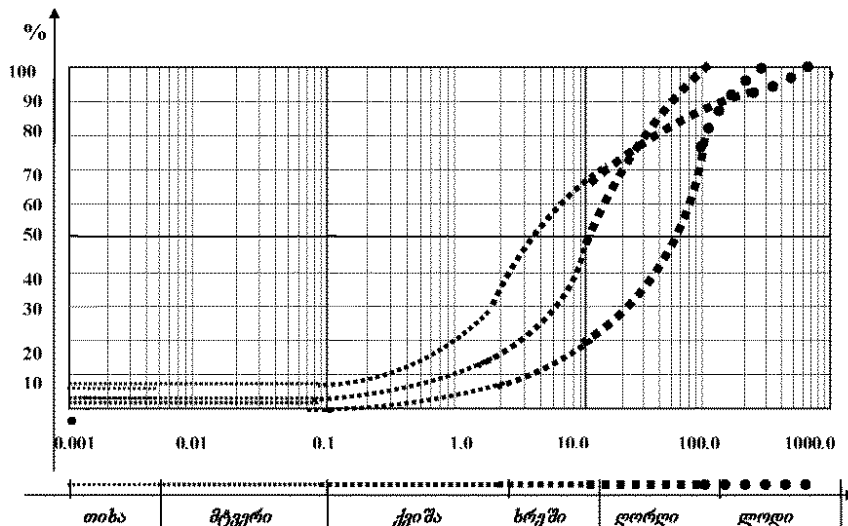
ექსცესი. გრანულომეტრიული შედგენილობის მრუდები გამა-განაწილების კანონით აღიწერა.

როგორც მე-3 სურათიდან ჩანს, სატრანზიტო ზონის შუაწელამდე და დასასრულ პროლუვიონის გრანულომეტრიული შედგენილობის დიფერენცირებული მრუდები შედარებით გლუვია, ვიდრე სატრანზიტო ზონის შუაწელზე, რაც ნაწილაკების ერთგვაროვნებაზე მიუთითებს. კალაპოტის შუაწელამდე ძირითადად დაილექა ბრტყელი, პირამიდული ფორმის დიდი ზომის ქვები, საშუალო დიამეტრით  $d=0.07\pm 0.11$  მ; ხოლო სატრანზიტო ზონის დასასრულ კი იგივე დიამეტრის, მაგრამ შედარებით დამრგვალებული ფორმის ქვები, ხოლო შუაწელის კვთებში გაჩერდა პირამიდული ფორმის შედარებით მცირე ზომის ნაწილაკები ( $d=0.032\pm 0.087$  მ).

თუ ყურადღებას მივაქცევთ პროლუვიონის ნაწილაკთა ფორმებს, მივხვდებით, რომ სატრანზიტო

ზონის შუაწელამდე დალექილი ნაწილაკები საგრძნობლად შვერილებიანი და ბრტყელი ფორმებით ხასიათდება. სატრანზიტო ზონის შუაწელზე კალაპოტწარმომქმნელი ნაწილაკების ფორმა წარმოდგენილი პირამიდული მოხაზულობით, ხოლო შუაწელის შემდგომ დამრგვალებული (კუბური და პრიზმული) ფორმით. სწორედ ფორმის გავლენამ განაპირობა პროლივიონის ასე ვთქვათ, “ანომალური განაწილება“ სატრანზიტო ზონის კასწვრივ.

კალაპოტური წარმონაქმნების გრანულომეტრიული შედგენილობის ცვალებადობის დასადგენად მე-2 სურათზე მოყვანილ იქნა წყალსადინარის გასწვრივ დალექილი ღვარცოფული მასის გრანულომეტრიული შედგენილობის ინტეგრალური მრუდები.



d, მმ

სურ. 4. სატრანზიტო ზონაში დალექილი ღვარცოფული გამონატანის გრანულომეტრიული შედგენილობის ინტეგრალური მრუდები

მრუდების ანალიზი მოყვანილ იქნა ცხრილის სახით:

**პროლუვიონის გრანულომეტრიული შედგენილობა  
 მლეთის ხევის სატრანზიტო ზონაში**

სატრანზიტო ზონის კვეთები	ფრაქციათა პროცენტული შედგენილობა, %				
	მტვერი და თიხა- კოლოიდი <0.01 მმ	ქვიშა 0.01-2.0 მმ	ხრეში 2-10 მმ	ღორღი 10-200 მმ	ლოდები 200< მმ
შუაწელამდე	5	25	35	25	10
შუაწელზე	5	10	30	55	–
დასასრულ	3	5	15	70	7

საყურადღებოა, რომ წყალსადინარის სიგრძის გასწვრივ დაღეპილ პროლუვიონში შეიმჩნევა 2÷10 მმ ზომის ფრაქციების თანდათანობითი შემცირების და 10÷200 მმ დიამეტრის მქონე ქვების მატების ტენდენცია. ქვიშა-ხრეშის ფრაქცია, მიუხედავად მათი მცირე ზომისა, დიდი რაოდენობით დარჩა სატრანზიტო ზონის ზემო ნაწილში, როცა მათზე დიდი ზომის ქვები ინტენსიურად გადაადგილდა ქვედა ნაწილში. ასევე საინტერესოა 200 მმ-ზე მეტი ფრაქციის გადაგორება სატრანზიტო ზონის დასასრულ, რაც მიუთითებს მათი ზედაპირის ფორმაზე.

**დასკვნა**

ექსპერიმენტის შედეგად, რომელიც განხორციელდა მლეთის ხევის წყალსადინარზე, დადგინდა პროლუვიონის განაწილება ნაწილაკთა საშუალო დიამეტრის მიხედვით შემდეგნაირად: სატრანზიტო ზონის შუაწელამდე გაჩერდა საკმაოდ

დიდი დიამეტრის მქონე ქვები და ლოდები საგრძნობლად შვერილებიანი და ბრტყელი ფორმის ზედაპირებით. სატრანზიტო ზონის შუაწელზე გაჩერდა პირამიდული ფორმის, შედარებით მცირე ზომის ქვები; ხოლო სატრანზიტო ზონის დასასრულ ადგილი ჰქონდა საკმაოდ დიდი ზომის მქონე ქვების გაჩერებას, უფრო დამრგვალებული (კუბური და პრიზმული) ფორმის მქონე ზედაპირებით, რამაც განაპირობა მათი გადაგორება აღნიშნულ ადგილამდე. აქედან გამომდინარე, კალაპოტწარმომქმნელი ნაწილაკების მოძრაობა და დაღეპვის პროცესი მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული არა მხოლოდ ნაწილაკთა ზომის, ასევე მათი ფორმის მახასიათებელ პარამეტრებზეც.

ზემოთ აღნიშნულის გათვალისწინება საშუალებას მოგვცემს ეკოლოგიურად და ეკონომიკურად ეფექტური ღვარცოფსაწინააღმდეგო ღონისძიებების ჩატარების შესაძლებლობას.

### ლიტერატურა

1. Kruashvili I., Kukhalashvili E., Inashvili I. Influence of morphometrical and hydraulic characteristics on the form of cross-section of a channel. *Annals of agrarian science*. Vol. 7. №2. 2009, 114-116 pp.
2. Kruashvili I, Loiscandl W., Inashvili I., Bziava K., Himmelbauer M. Debris flow channel processes and determination of the lateral compression ratio. 5th international conference “Debris flows: Disasters, risk, forecast, protection”. Tbilisi. 2018, 643-649 pp.
3. Kruashvili I., Kukhalashvili E., Inashvili I., Bziava K., Lortkipanidze D. Determining the properties of hyperconcentrated flow. *International journal of innovative research in science, engineering and technology (IJIRSET)*. Vol. 5. Issue 11. 2016, 6 p.
4. Kruashvili I.G., Kukhalashvili E.G., Inashvili I.D., Bziava K.G. Debris flow phenomena. Risk, Prediction, Protection. monografia. saqartvelos teqniki universiteti, tbilis, 2017, 249 gv.(in Georgian).
5. Natishvili O.G., Kruashvili I.G. Deceived infrastructure objects from mudflows. (Environmental issues). (L.A.P. lambert Academic Publishing, Germania, 2016, 104 st. (in Russian).
6. Natishvili O.G., Kruashvili I.G., Inashvili I.D. Applied problems of the dynamics of connected mudflows. Monografia, ООО “Nauchtextlituzdat” Moskva, 2018, 144 st. (in Russian).
7. Natishvili O.G., Kruashvili I.G. Protection of objects from the harmful effects of mudflows. *J. Ekologicheskie sistemi I pribori*, #7, 2015, st.20-30. (in Russian).
8. Sheko A.I. Methods of studying and predicting of exogenous geological processes. M. 1988, st. 215 ( in Russian)
9. Takahashi T. Debris flow. Taylor and Francis Group. London,UK, 2007, 465 p. (in English).
10. Ventcel E.S., Ovcharov L.A. Applied problems of probability theory. M. “Radio I sviaz”.1983, st.414 (in Russian).



UDC 627.11:627.81  
SCOPUS CODE 1900

## The distribution of channel formations (proluvium) along the watercourse

**Maia Kupravishvili** Department of Agro-Engineering, Georgian Technical University, 17 D. Guramishvili Str, 0192, Tbilisi, Georgia  
E-mail: m.kupravishvili@gtu.ge

### Reviewers:

**T. Odilavadze**, Associate Professor, Faculty of Agricultural Science and Biosystems Engineering, GTU  
E-mail: adilavadze2004@yahoo.com

**R. Diakonidze**, Professor, Tsotne Mirskhulava Water Management Institute of the Georgian Technical University  
E-mail: robertdia@mail.ru

**Abstract.** As a result of experiment conducted on the watercourse Mletis-Khevi, proluvium distribution was determined by the average particle diameter as follows: stones and boulders with large diameters, ledges and flat surface shapes had stopped at the middle of the transit zone meanwhile fractions of relatively smaller diameter with pyramid shapes had stopped in the middle of the transit zone and large stones with rounded surfaces were noted at the end of the transit zone.

Thus, the motion and sedimentation of the sedimentary particles depend not only on the size (diameter) but also on the shape of the particles.

Taking into account above mentioned will enable us to conduct ecologically and economically effective mudflow measures.

**Key words:** Differential curves of granulometric composition; integral curves of granulometric composition; median particle diameter; particle shape; proluvium; transit zone.

UDC 627.11:627.81  
SCOPUS CODE 1900

### Характер распределения русловых образований (пролювиона) вдоль водотока

**Мая Куправишвили**      Департамент Агроинженерии, Грузинский Технический Университет, Грузия,  
0192, Тбилиси. пр. Д. Гурамишвили 17  
E-mail: m.kupravishvili@gtu.ge

#### Рецензенты:

**Т. Одилавадзе**, ассоциированный профессор факультета аграрных наук и инженеринга биосистем ГТУ  
E-mail: adilavadze2004@yahoo.com  
**Р. Диаконидзе**, профессор водного хозяйства Института Цотне Мирцхулава ГТУ  
E-mail: robertaia@mail.ru

**Аннотация.** В результате эксперимента, проведенного на водотоке Млетис-Хеви, распределение пролювиона было определено по среднему диаметру частиц следующим образом: до середины транзитной зоны остановились камни и валуны с большими диаметрами, с выступами и плоскими формами поверхности, в середине транзитной зоны остановились фракции относительно меньше диаметром пирамидальных форм, а в конце транзитной зоны были отмечены большие камни с округлёнными поверхностями.

Таким образом, движение и седиментация осадочных частиц существенно зависит не только от размера (диаметра), но и от их форм частиц.

Предусмотрение вышеуказанного даст возможность проводить экономически и экологически эффективные противоселевые мероприятия в транзитной зоне селевого водотока.

**Ключевые слова:** водоток; дифференциальные кривые гранулометрического состава; интегральные кривые гранулометрического состава; пролювион; средний диаметр частиц; транзитная зона; форма частиц.

*განხილვის თარიღი 28.06.2019*

*შემოსვლის თარიღი 28.07.2019*

*ხელმოწერილია დასაბეჭდად 17.12.2019*

UDC 627.152.12

SCOPUS CODE 1900

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2019-4-75-81>

## ერთი და იმავე დიამეტრის ნაწილაკთა შინაგანი ხახუნის კუთხეთა ფარდობა

**მაია კუპრავიშვილი** აგროინჟინერიის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0192, თბილისი, დ. გურამიშვილის გამზ. 17.  
E-mail: m.kupravishvili@gtu.ge

### რეცენზენტები:

**მ. მელაძე**, სტუ-ის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის მთავარი თანამშრომელი

E-mail: m.meladze@gtu.ge

**რ. დიაკონიძე**, სტუ-ის ცოტნე მირცხულავას სახელობის წყალთა მეურნეობის ინსტიტუტის პროფესორი

E-mail: robertdia@mail.ru

**ანოტაცია.** საქართველოში, გლობალური დათბობის ფონზე, ბოლო წლების განმავლობაში მიმდინარე ჰიდროლოგიურ-კლიმატურმა პირობებმა ხელი შეუწყო ისეთი საშიში ეგზოგენურ-ენდოგენური კატასტროფული მოვლენის განვითარებას, როგორც ღვარცოფია. ღვარცოფების ჩამოყალიბება და მისი მოსვლის მასშტაბურობა დიდად დამოკიდებული მთის და მთისწინა რეგიონებში ეროზიულ-ღვარცოფული კერების და წყალსადინარების კალაპოტების გარეცხვა-დალექვის ურთიერთჩანაცვლებად პროცესებზე, რაც განპირობებულია, კალაპოტწარმომქმნელი ნაწილაკების ფორმისა და ზომის გათვალისწინებით, მათი გადაადგილების და დალექვის პირობებით.

**საკვანძო სიტყვები:** დამრგვალებული ნაწილაკი; ექსპონენციალური დამოკიდებულება; კალაპოტური დანალექი; ნაწილაკთა გადადგილება, ნაწილაკის მედიანური დიამეტრი; შინაგანი ხახუნის კუთხე; შინაგანი ხახუნის კუთხეთა ფარდობა.

### შესავალი

საქართველოს მთაგორიანი ტერიტორიის გეოლოგიური, კლიმატური, მეტეოროლოგიური და მრავალფეროვანი ლანდშაფტური მახასიათებლების ერთობლივი მოქმედება ხშირად ხელსაყრელ პირობებს ქმნის ტერიტორიის ცალკეულ რეგიონებში ღვარცოფული მოვლენების წარმოშობისათვის, რომლებიც, თავის მხრივ, გარემოს ეკო-

ლოგიური მდგრადობის რღვევას და ქვეყნის მიწის სავარგულების შემცირებას იწვევს.

ამჟამად, მთის მდინარეების: არაგვის, ლიახვის, ალაზნის აუზების მცენარეულ საფარს მოკლებული ზოგიერთი უბნები ღვარცოფსაშიში კერებია, რომლებმაც განსაკუთრებულ პირობებში შეიძლება კატასტროფული ხასიათის ღვარცოფებიც კი წარმოქმნას. საგანგაშოა ის ფაქტი, რომ ღვარცოფწარმომქმნელი კერების ფართობი დროთა განმავლობაში იზრდება, რაც უფრო მძლავრი ღვარცოფული მოვლენების წარმოშობის საწინდარია. აქედან გამომდინარე, საყურადღებოა არაბმული ღვარცოფული ნარევის დინამიური პროცესების შესწავლა.

### ძირითადი ნაწილი

მდ. დურუჯის აუზში ღვარცოფული კერა მისი აუზის მთლიანი ფართობის 15%-ს შეადგენს, ხოლო 1 კვ.კმ ღვარცოფული კერიდან გამოიტანება  $60 \pm 100$  ათასი მ<sup>3</sup> ღვარცოფული მასალა. ამიტომ, ღვარცოფსაწინააღმდეგო ღონისძიებების რიგში მნიშვნელოვანი ადგილი უკავია ღვარცოფწარმომშობი კერების ფართობების შემცირებას. სწორედ ამ უბანში მიმდინარეობს, ფიზიკური და ქიმიური გამოფიტვის შედეგად, მიღებული მთის ქანების ნგრევის პროდუქტების ეროზიულ ღრანტეებში დაგროვება, რომლებიც დროთა განმავლობაში განიცდის სხვადასხვა სახის (მექანიკური, ქიმიური, კლიმატური) გამოფიტვას და ბოლოს კი წყლის კომპონენტის 12÷13% (ღვარცოფული მასის მთლიანი წონიდან) დამატებით, ე.წ. “პოტენციურ ღვარცოფულ მასალად” გადაქცევა. ასეთი “შზა” მასალის

წონასწორობის დარღვევა და უკვე ღვარცოფად ჩამოყალიბება შეიძლება გამოწვეული იყოს ფერდობის შემთხვევით ჩამონგრევით, დამეწყვრით, მიწისძვრით, თავსხმა წვიმებით და სხვა. ამ მომენტიდან იწყება კალაპოტის სატრანზიტო უბნის სიღრმითი გარეცხვა, რომელსაც თან სდევს კალაპოტის ნაპირების ჩამორეცხვა და დანგრევა.

აღნიშნული პროცესის ინტენსიურობა ა.ვ. ეგიზაროვის მიერ დადგენილ იქნა შემდეგი დამოკიდებულებით.

$$f_0 = 0.06 \cdot \phi \cdot C_x \cdot \left( \lg_{19} \frac{d_i}{d_r} \right) \quad (1)$$

სადაც  $\phi$  არის კალაპოტის ფორმის კოეფიციენტი;

$C_x$  – შუბლანა წინააღმდეგობის კოეფიციენტი;

$d_i$  – მოძრაობაში მყოფი ნაწილაკების დიამეტრი;

$d_r$  – ხორკლიანობის განმაპირობებელი ნაწილაკების გამონაზარდების დიამეტრი.

ერთგვაროვანი ნარევებისათვის (სფეროსებური ფორმის ნაწილაკების შემთხვევაში)  $\phi = 2.8$  როცა  $C_x = 0.4$ , მაშინ  $d_i = d_r$  და  $f_0 = 0.06$ , რაც ახასიათებს კალაპოტში ზოგიერთი ნაწილაკის გაჩერებას. როცა  $d_i < d_r$ , მაშინ  $N f_0 > 0.06$ , კალაპოტური დანალექების მოძრაობა იზრდება იმდენად, რამდენადაც მოძრაობაში ითრევს დიდი დიამეტრის მქონე მონატეხებსაც და შემდგომ დგება მომენტი, როცა  $d_i > d_r = d_0$  და ყველა ნატანი მოცემულ უბანზე მოძრაობაში მოდის.

ზედაპირულ ჩამონადენს მდინარის კალაპოტში მიაქვს სხვადასხვა სისხოს, ფორმის და შემადგენლობის ნაწილაკები, ქვები, მარცვლები, რომლებიც ერთმანეთს ეჯახება ფსკერის ახლოს და იღებს შეპ-

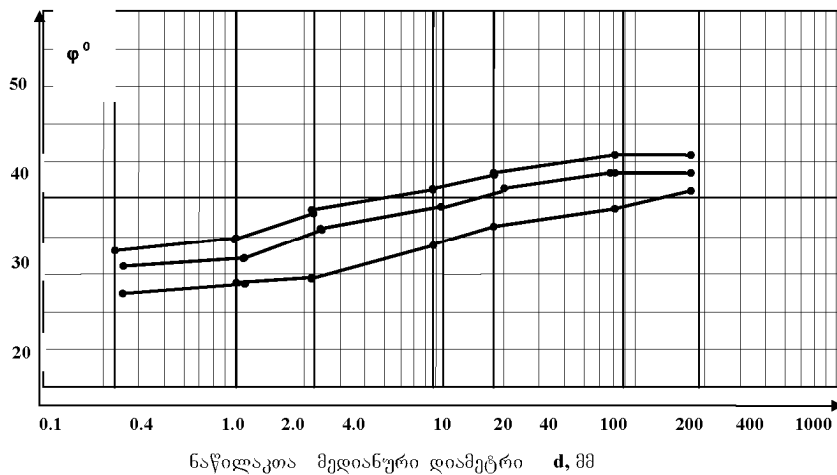
ლებისდაგვარად დამრგვალებულ ფორმას; ბრტყე-  
 ლი ნაწილაკები გადაიქცევა თხელ ფორმებად; კუბე-  
 ბი და ტეტრაედრები – ბურთულებად; პარალე-  
 ლეპიპედები – ელიფსოიდებად და კვადრატული  
 ფირფიტები – ლინზებად. ამ პროცესის დროს ნატა-  
 ნების ზომა მცირდება დინების გასწვრივ შესარ-  
 თავამდე.

ბმული (სტრუქტურული) ღვარცოფის მოძრაო-  
 ბის შემთხვევაში ნარევი კონგლომერატის სახით  
 გადაადგილდება წყალსადინარის მთლიან სიგრძე-  
 ზე და იგი სტრუქტურადაურღვევლად ილექება  
 სატრანზიტო და აკუმულაციის ზონაში შლეიფის  
 სახით. იგი არ განიბნევა შემადგენელ კომპონენტე-

ბად, რაც არ შეიძლება ითქვას არაბმული (ტურბუ-  
 ლენტური) ღვარცოფების მოძრაობაზე. მათი მოძ-  
 რაობის და გაჩერების კანონზომიერებები, ნარევის  
 შემადგენელი ყველა კომპონენტის თვისებების  
 გათვალისწინებით, კალაპოტი – ნარევის ურთი-  
 ერთმოქმედ ფაქტორებზეა დამოკიდებული.

აღნიშნული პროცესის ახსნა შესაძლებელია  
 დ. საიმონის მიერ შემოთავაზებულ ნაწილაკთა შინა-  
 განი ხახუნის კუთხეების მნიშვნელობების გამოყე-  
 ნებით.

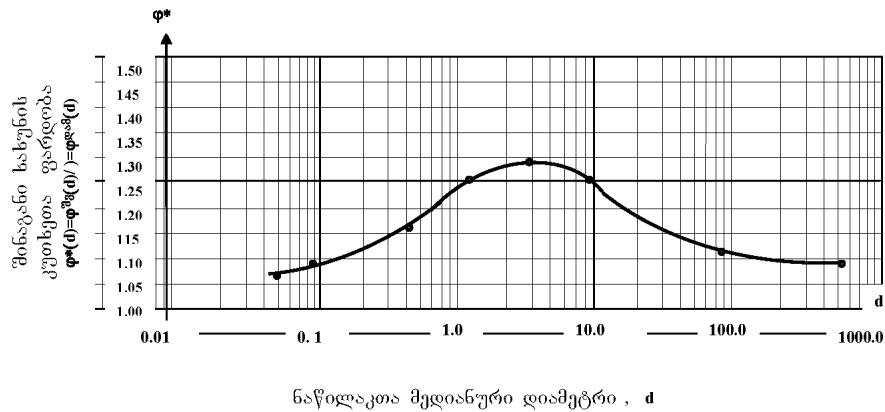
სხვადასხვა ფორმის ნაწილაკებისათვის შინაგა-  
 ნი ხახუნის კუთხეების მნიშვნელობები ნომოგ-  
 რამების სახით წარმოდგენილია 1-ელ სურათზე.



სურ. 1. განსხვავებული ფორმის მქონე ნაწილაკთა შინაგანი ხახუნის კუთხეებსა  
 და მედიანურ დიამეტრს შორის დამოკიდებულების ნომოგრამები

როგორც სურათიდან ირკვევა,  $D_{მ3}:D_{კუთ}:D_{დაბ} = 1:2,5:25$  დიამეტრების მქონე შვერილებიანი, კუთ-  
 ხოვანა და დამრგვალებული ფორმის ნაწილაკებს  
 ერთი და იგივე შინაგანი ხახუნის კუთხე აქვთ; ხო-  
 ლო ერთი და იმავე დიამეტრის, მაგრამ განსხ-

ვავებული ფორმის (შვერილებიანი, დამრგვა-  
 ლებული) მქონე ნაწილაკების შინაგანი ხახუნის  
 კუთხეებს შორის ფარდობა, სხვადასხვა დიამეტრ-  
 თან კავშირში, ექსპონენციალური დამოკიდებუ-  
 ლებით იცვლება (იხ. სურ. 2)



სურ. 2.  $\varphi^*(d) = f(d)$  დამოკიდებულების მრუდი

განსხვავებული დიამეტრისა და ფორმის კალაპოტური წარმონაქმნების მდგრადობის შეფასების მიზნით, გამოყენებულ იქნა მათი შინაგანი ხახუნის კუთხეთა ფარდობა, რაც გამოიხატა შემდეგი დამოკიდებულებით

$$\varphi^*(d) = 1,23 \cdot e^{-(d-6)^2} \quad (1)$$

სადაც  $\varphi^*$  არის ერთი და იმავე დიამეტრის, მაგრამ გამონაზარდებიანი და დამრგვალებული ფორმის ზედაპირის მქონე ნაწილაკების შინაგანი ხახუნის კუთხეებს შორის ფარდობა  $\varphi^* = \frac{\varphi^{\Delta}}{\varphi^0}$  ანუ ე.წ. შინაგანი ხახუნის კუთხის ფარდობითი სისდიდე;

d – ნაწილაკთა საშუალო მედიანური დიამეტრი (მმ).

აღნიშნული ფუნქცია მაქსიმალურია ( $\varphi^* = 1,23$ ) კვიშა-ხრემის ფრაქციის ( $2 \div 10$  მმ) შემთხვევაში, რამაც განაპირობა აღნიშნული ფრაქციის ანომალური მოქმედება, გამოხატული ძვრისადმი წინააღმდეგობით; ხოლო რაც შეეხება მსხვილმონატეხ ნაწილაკებს ( $10 \div 200$  მმ) და წვრილმარცვლოვან ფრაქციებს, ( $0,01 \div 2$  მმ) მათი შინაგანი ხახუნის

კუთხეების ფარდობითი სიდიდეები ერთი და იგივეა, ამიტომ მათი მოძრაობა და გაჩერება წყალსადინარის გასწვრივ განპირობებულია უკვე არა ფორმის, არამედ წონის და ზომის ფაქტორით.

### დასკვნა

კალაპოტური წარმონაქმნების მდგრადობის შეფასების მიზნით, განხილულ იქნა განსხვავებული ფორმის მქონე ნაწილაკთა შინაგანი ხახუნის კუთხეებსა და მედიანურ დიამეტრს შორის დამოკიდებულების ნომოგრამები და გამოყვანილ იქნა ემპირიული დამოკიდებულება, რომელიც ასახავს განსხვავებული ფორმის, მაგრამ ერთი და იგივე დიამეტრის ნაწილაკთა შინაგანი ხახუნის კუთხეებს შორის ფარდობას. რაც უფრო მეტია ეს მახასიათებელი, მით ძნელია ნაწილაკთა გადაადგილება ღვარცოფულ წყალსადინარში. აღნიშნული სიდიდე მაქსიმალურ მნიშვნელობას იძენს კვიშა-ხრემის ფრაქციის შემთხვევაში, რამაც განაპირობა ამ ფრაქციის ანომალური მოქმედება, გამოხატული ძვრისადმი წინააღმდეგობით; შესაბა-

მისად, ღვარცოფული ხასიათის წყალსადინარის ღვარცოფული გამონატანის მოცულობის საანგა-  
დალექვა-გარეცხვის პროცესი მნიშვნელოვანწი- რიშოდ, როგორც სატრანზიტო ასევე აკუმულაცი-  
ლად დამოკიდებულია ღვარცოფული მასის შე- ის ზონებში, რომლის შემდეგაც შესაძლებელი  
მადგენელი ნაწილაკების ფორმაზე. გახდება ღვარცოფების ეკოლოგიური ზეგავლენის  
აღნიშნულის გათვალისწინება აუცილებელია პროგნოზირება მიმდებარე ტერიტორიებზე.

### ლიტერატურა

1. Egizarov I.K. To solving the problem of transporting unconnected sediments (any fraction) with influence of their concentration in the layer of the turbidity gradient Iz-vo./ AN. SSSR. 15. 1959. St. 115-126. (in Russian).
2. Egizarov I.K. Traffic heterogeneous sediment. Iz-vo AN. SSSR, seruia. texn. 1963. t-16, 12-3; st.41-50 (in Russian).
3. Kruashvili I.G. Mudflows and methods of struggle with them. monografia, Tbilisi, 2014, 337 gv. (in Georegain).
4. Kruashvili I.G., Kukhalashvili E.G., Inashvili I.D., Bziava K.G. Debris flow phenomena. Risk, Prediction, Protection. monografia. saqartvelos teqniki universiteti, tbilis, 2017, 249 gv.(in Georgian).
5. Natishvili O.G., Kruashvili I.G. Protection of objects from the harmful effects of mudflows. J. Ekologicheskie sistemi I pribori, #7, 2015, st.20-30. (in Russian).
6. Siamashvili A.R. Impact accounting forms of cross section of the channels in establishing permissible (non-washable) speeds of flows. Soob. ANSSSR. 1986. 1123 (2). st. 353-356. (in Russian).
7. Simons D.B. Sediment transport technology. Water Resorces Public. Fort. Collins. 1977. (in English).

UDC 627.152.12

SCOPUS CODE 1900

## Correlation of internal friction angles of the particles with the same diameters

**Maia Kupravishvili**

Department of Agro-Engineering, Georgian Technical University, 17  
D. Guramishvili Str, 0192, Tbilisi, Georgia  
E-mail: m.kupravishvili@gtu.ge

### Reviewers:

**M. Meladze**, Chief Specialist, Georgian Technical University Institute of Hydrometeorology

E-mail: m.meladze@gtu.ge

**R. Diakonidze**, Professor, Tsotne Mirtskhulava Water Management Institute of the Georgian Technical University

E-mail: robertdia@mail.ru

**Abstract.** Nomograms of the relationship between the internal friction angles and the median diameters of the particles of different shapes have been considered in order to evaluate the stability of the channel forming particles.

Based on experimental and theoretical studies, we have obtained correlations between internal friction angles of the particles of different particle shapes with the same diameters - the larger this indicator, the less probability the bottom sediments are to move and vice versa. This correlation acquires the maximum value in the case of sand-gravel fraction, which led to its anomalous action. It has been ascertained, that the washing and sedimentation process of the water channel of the debris flow largely depends on the shape of its constituting particles.

It is desirable to take the above mentioned into account when calculating the volumes of mudflow in the transit and accumulation zones, after which it will be possible to predict the ecological impact of the mudflows on the adjacent area.

**Key words:** Channel-forming particles; correlation of internal friction angles of the particles; exponential dependence; internal friction angle; particle median diameters; particle motion; rounded particle.



UDC 627.152.12  
SCOPUS CODE 1900

### Соотношение углов внутреннего трения частиц с одинаковыми диаметрами

**Мая Куправишвили**      Департамент Агроинженерии, Грузинский Технический Университет, Грузия,  
0192, Тбилиси. пр. Д. Гурамишвили 17  
E-mail: m.kupravishvili@gtu.ge

#### Рецензенты:

**М. Меладзе**, главный сотрудник Института гидрометеорологии ГТУ

E-mail: m.meladze@gtu.ge

**Р. Диаконидзе**, профессор водного хозяйства Института Цотне Мирцхулава ГТУ

E-mail: robertaia@mail.ru

**Аннотация.** Чтобы оценить устойчивость руслообразующих частиц были рассмотрены номограммы зависимости между углами внутреннего трения и средними диаметрами разных форм частиц. При экспериментальных и теоретических исследованиях были получены соотношения между углами внутреннего трения различных форм частиц, при одинаковых диаметрах - чем больше этот показатель, тем меньше вероятность передвижения донных наносов, и наоборот. Это соотношение приобретает максимальное значение в случае песчано-гравийной фракции, что привело его к аномальному действию, выраженному сопротивлением устойчивости этих частиц. Следовательно, процесс динамического заиления-размыва русла преимущественно зависит от показателей формы составляющих его частиц.

Желательно вышеуказанное учитывать при расчёте объемов селевого потока как в транзитной, так и в аккумуляционной зонах, после чего можно будет прогнозировать экологическое влияние селевых потоков на прилегающую территорию.

**Ключевые слова:** движение частиц; округленная частица; руслообразующие частицы; соотношение углов внутреннего трения частиц; средний диаметр; угол внутреннего трения; экспоненциальное отношение.

*განხილვის თარიღი 28.06.2019*

*შემოსვლის თარიღი 28.07.2019*

*ხელმოწერილია დასაბეჭდად 17.12.2019*

UDC 594.53

SCOPUS CODE 1911

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2019-4-82-94>

## Сравнительный морфо-функциональный анализ основных скелетных образований десмоцератоидей и некоторых других раннемеловых аммонитов

**†Илия Кванталиани** Отдел стратиграфии и палеонтологии, Геологический институт им. А. Джанелидзе Тбилисского гос. университета И. Джавахишвили, Грузия, 0186, Тбилиси, ул. Политковской, 31

**Мевлуд Шарикадзе** Департамент прикладной геологии, Грузинский технический университет, Грузия, 0160, Тбилиси, ул. М. Костава 77  
E-mail: mevshar@mail.ru

### Рецензенты:

**Т. Ломинадзе**, профессор эмеритус горно-геологического факультета Грузинского технического университета

E-mail: lominadzetamaz@yahoo.com

**Ш. Келептришвили**, профессор горно-геологического факультета Грузинского технического университета

E-mail: sh.keleptrishvili@gtu.ge

**Аннотация.** С помощью бинокулярного и сканирующего электронного микроскопов изучены основные скелетные образования раковины (скульптура, форма поперечного сечения, лопастная линия, сифональная и септальная системы) представителей трех семейств раннемеловых десмоцератоидей – Holcodiscidae Spath (род *Holcodiscus* Uhlig), Silesitidae Hyatt (роды *Neoastieria* Egoian, *Pseudosilesites* Egoian) и *Leymeriellidae* Breistroffer (роды *Mathoceras* Casey, *Leymeriella* Jacob). На основании полученных результатов и литературных данных проведен сравнительный морфо-функциональный анализ упомянутых структурных элементов раковин десмоцератоидей и других групп раннемеловых аммонитов (*Phylloceratoidea*, *Lytoceratina*, мономорфные

представители *Ancyloceratina*). Как выяснилось, среди отмеченных таксонов наличием наиболее сложной и глубокорассеченной лопастной линией, сравнительно тонкого, плотно прижатого к вентральной стенке раковины и раскрытого в медиальной плоскости сифона, короткого соединительного кольца, длинных септальных трубок, толстых аннулярных отложений, высокого значения коэффициента сжатия сифона и присутствием «септальных крыльев» характеризуются литоцератины. Это обстоятельство по видимому определено присутствием в их камерах высокого гидростатического и осмотического давлений. Что же касается собственно десмоцератоидей, судя по отмеченным параметрам, они занимают среднее положение между литоцератинами и мономорфными анцилоцератинами.

**Ключевые слова:** аммонит; аннулярные отложения; внутрикамерное гидростатическое давление; лопастная линия; манжета; осмотическое давление; раковина; септа; септальная трубка; сифон; соединительное кольцо.

## Введение

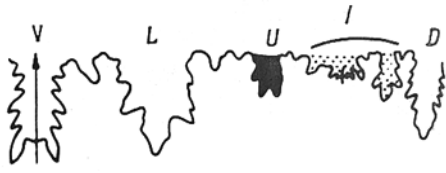
Десмоцератоидей объединяют аммониты с морморфной, плоскостриальной, дисковидной или вздутой, гладкой или ребристой раковинной, иногда снабженной пережимами, валиками и довольно сложно рассеченной септальной (лопастной) линией. Надсемейство является одной из наиболее крупной и интересной группой юрско-меловых аммонитид. Его основным стволом является сравнительно малоскульптурированное семейство *Desmoceratidae* Zittel. Просуществовавший почти 75 млн лет (от валанжина до маастрихта включительно), от него периодически ответвлялись наиболее специализированные, сравнительно грубоскульптурированные группы, дивергировавшие большими темпами. Среди раннемеловых десмоцератоидей таковыми являются готерив-альбские семейства: *Holcodiscidae* Spath, *Pulchelliidae* H. Douville, *Silesitidae* Hyatt и *Leymeriellidae* Breistroffer. Общей морфогенетической закономерностью для терминальных членов этих семейств является прерывание (или ослабление) ребер на вентральной стороне и образование вентрально-краевых бугорков. Именно такие роды и виды имеют архистратиграфическое значение и часто фигурируют в различных схемах биостратиграфического расчленения нижнемеловых отложений Средиземноморской области. Следовательно, комплексное изучение представителей надсемейства *Desmoceratoidea* имеет как практическое, так и научное значение.

В настоящее время объем раннемеловых десмоцератоидей можно определить пятью семействами: *Desmoceratidae* Zittel, *Holcodiscidae* Spath, *Silesitidae* Hyatt, *Pulchelliidae* H. Douville и *Leymeriellidae* Breistroffer. Располагая ограниченный каменный материал, среди перечисленных нами были изучены представители трех семейств: *Holcodiscidae* (род *Holcodiscus* Spath), *Silesitidae* (*Neoastieria* Egoian, *Pseudosilesites* Egoian) и *Leymeriellidae* (*Mathoceras* Casey, *Leymeriella* Jacob).

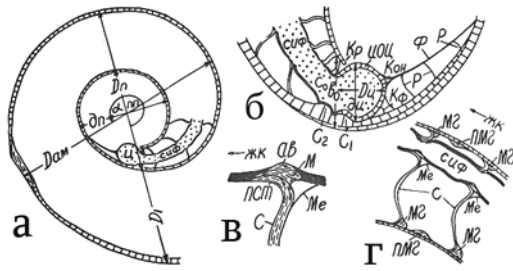
Подавляющее большинство терминов, используемых в настоящей статье, заимствовано из книги В.В. Друщица и Л.А. Догужаевой [1] и из наших работ [2-5]. Часть этих терминов пояснена на рис. 1 и 2. Все измерения скелетных образований раковины даны в миллиметрах.

## Основная часть

Коллекция изученных аммонитов насчитывает несколько десятков экземпляров, собранных нами из нижнемеловых отложений Крыма, Северного Кавказа, Дагестана и Грузии. Ниже приводятся основные результаты исследований внешних и внутренних признаков строения раковины раннемеловых десмоцератоидей под электронным и световым микроскопами – скульптуры лопастной линии, сифональной и септальной систем, проведен сравнительный морфологический анализ между характерными структурами раковины десмоцератоидей и другими представителями раннемеловых аммонитов для выяснения их функционального значения. С этой целью были использованы также данные В.В. Друщица и Л. А. Догужаевой [1], И. А. Михайловой [6], О. Шиндевольфа [7] и других исследователей.



რის. 1. ელემენტები ლოპათოვანი ხაზის: V- ვენტრალური ლოპატი; L – ლატერალური ლოპატი; U – უმბილიკალური ლოპატი, I – ინტერლიატერალური ლოპატი; D – დორსალური ლოპატი



რის. 2. სქემა შინაგანი სტრუქტურის რაკოვინის ამონიტის მედიალურ კვეთში და ძირითადი სტრუქტურების: ა - პროტოკონხი და პროტოკონხის დასაწყისი; ბ - ცეკუმი და ფიქსატორი; ვ, გ - სეპტალური მიწები. აღნიშვნები: ავ - ანულარული ვალიკი; დამ - დიამეტრი ამონიტის; დ<sub>1</sub> - დიამეტრი პირველი ბრუნვის; დ<sub>2</sub> - დიამეტრი პროტოკონხის; დ - დიამეტრი ცეკუმის; დ<sub>ც</sub> - დიამეტრი ცეკუმის ვიწროვანი სპირალის, დ<sub>პ</sub> - დიამეტრი ცეკუმის პერპენდიკულარული სპირალის; ჯკ - ჯილა კამერა; იო - ივსტოვანი გარსი ცეკუმის; კრ - კრომკა; კონ - კონუსი; კფ - კოტორკი ფიქსატორის; მ - მანჯეტა; მე - მემბრანა; მგ - მურალური გრებენი; მგმ - მურალური გრებენი; ს, ს<sub>1</sub>, ს<sub>2</sub>... - სეპტა, პროტიმსეპტა და ს.ს.; სიფ - სიფონი; ფ - ფიქსატორი; ც - ცეკუმი; აპ - აპიკული კუთხე პირველი ბრუნვის კუთხე.

ივსტოვანი რაკოვინის ამონიტის დესმოცერატოიდები ხარაქტერიზირებულია შემდეგი სტრუქტურული მახასიათებლებით:

**პროტოკონხი** მცირე, ვალიკოვანი, ვიწრო, კრთული ან მცირე ოვალური ფორმის:  $D_p = 0,30 - 0,66$ ;  $d_p = 0,29 - 0,55$ ;  $H = 0,52 - 0,60$ . ზოგად, ზომები პროტოკონხის ფილოგენეზის (იდან ადრეული ბარრემა დანამდვილი მელის) დესმოცერატოიდების ზრდაში:  $D_p$  - იდან  $0,30 - 0,43$  დან  $0,60 - 0,66$ ;  $d_p$  -

იდან  $0,29 - 0,32$  დან  $0,45 - 0,55$ , ა.ე. ზრდადება  $1,6 - 1,8$  ზრდა.

**ფიქსატორი** იდან ადრეული კონუსის, ან დანამდვილი ლენტის ან თხელი ნიჭის ფორმის; მისი ზომები დესმოცერატოიდების ზრდაში იდან  $0,12$  დან  $0,27$ .

**ცეკუმი** ოვალური, კაპლევანი ან კრთული ფორმის, მცირე და მისი ზომები:  $D_c$  იდან  $0,07$  დან  $0,15$ , ან  $d_c$  - იდან  $0,07$  დან  $0,12$ .

**სიფონი** იდან ადრეული ბრუნვის იდან ცენტრალური ან სუბცენტრალური მდებარეობის, სიფონის და დანამდვილი ბრუნვის - ვენტრალური-კრთული, ან  $O_3$  მკვრივად ადრეული ვენტრალური კედელს. აბსოლუტი დიამეტრი სიფონის დესმოცერატოიდების შემთხვევაში: იდან  $O_1 = 0,07 - 0,12$ ;  $O_2 = 0,10 - 0,25$ ;  $O_3 = 0,13 - 0,42$ ;  $O_4 = 0,15 - 0,75$ , ზრდადება ზრდაში რაკოვინის  $2-6$  ზრდა, მკვრივად ზრდადება დესმოცერატოიდების *Leumeriellidae*. რელატიული დიამეტრი სიფონის მცირდება იდან  $0,25 - 0,40$  იდან პირველი ბრუნვის, დან  $0,07 - 0,13$  იდან ბრუნვის, ა.ე.  $3,1 - 3,6$  ზრდა.

აბსოლუტი დიამეტრი სიფონის ლიბრაციული კამერაში მკვრივად დანამდვილი, ან სეპტალური მიწის. დანამდვილი მახასიათებლები მათი მათი დიამეტრების დანამდვილი შემთხვევაში დანამდვილი დანამდვილი - „კოეფიციენტი სიფონის სიჭიმვის“ ( $K_{სიფ.}$ ) - მათი დიამეტრი ორგანიკული გარსის დანამდვილი სეპტალური მიწის:  $K_{სიფ.} = \frac{D_{სიფ.}}{D_{სტ.}}$ . დანამდვილი რაკოვინის ამონიტის *Melchiorites*, *Zuercherella*, *Neoastieria*, *Desmoceras* და *Beudanticeras* მათი მათი ზრდაში რაკოვინის ზრდადება მცირე: იდან  $O_2 - 1,56$ ,  $O_3 - 1,50$ ,  $O_4 - 1,22 - 1,76$ ,  $O_5 = 1,38 - 1,78$ .

მათი მათი სეპტალური მიწის ორგანიკული გარსის დანამდვილი მათი  $O_2 - O_3 - 10:90$ , ან  $O_3 - O_6 - 20:80 - 25:75$  [1].

მათი მათი პირველი ბრუნვის კუთხე იდან  $270$  დან  $330^\circ$ .

**Септы и септальные трубки.** Примасепта имеет призматическое строение, а остальные септы – пластинчатую. Септальные трубки, начиная с первого оборота, прохонитовые; на  $O_1 - O_2$  короткие, а затем (на  $O_3 - O_4$ ) резко удлиняются. Абсолютная длина септальных трубок увеличивается с ростом раковины.

**Стенка раковины.** Стенка протоконха и первого оборота (до первичного валика) однослойная, имеет призматическую микроструктуру. В начале второго оборота стенка раковины состоит из двух слоев – наружного призматического и пластинчатого. На третьем и последующих оборотах эволютивная часть раковины состоит из пяти слоев – наружного органического, наружного призматического, пластинчатого, внутреннего призматического и внутреннего органического.

**Септальная (лопастная) линия.** Просутира трехлопастная – LUI, а примасутира пятилопастная – VLUID (рис. 3-6). В раннем онтогенезе у большинства изученных представителей Desmosceratoidea (кроме Holcodiscidae и Pulchelliidae) происходит симметричное (или слегка ассиметричное) деление лопасти I. В последующем внутренняя ветвь занимает место настоящей интернилатеральной лопасти, а внешняя смещается к шовной линии. Дополнительные лопасти появляются в области шва, в результате расчленения внутреннего склона седла U/I. В большинстве случаев на внутреннем перегибе образуется сутуральная лопасть S. Исключение составляют Holcodiscidae (рис. 3), у которых новый элемент септальной линии ( $U^1$ ) зарождается на седле U/I [5]. Возможно, таким же путем появляется новый элемент септальной линии у Pulchelliidae [7]. В дальнейшем развитие септальной линии у обоих семейств протекает аналогично другим представителям Desmosceratoidea.

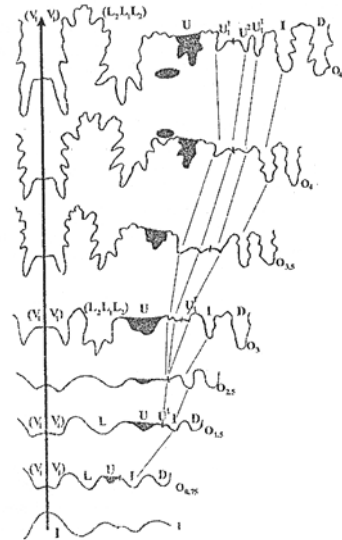


Рис. 3. Изменение лопастной линии в онтогенезе *Holcodiscus gastaldinus* Uhl., экз. №108 (3009/2-61). Крым, с. Партизанское, нижний баррем.

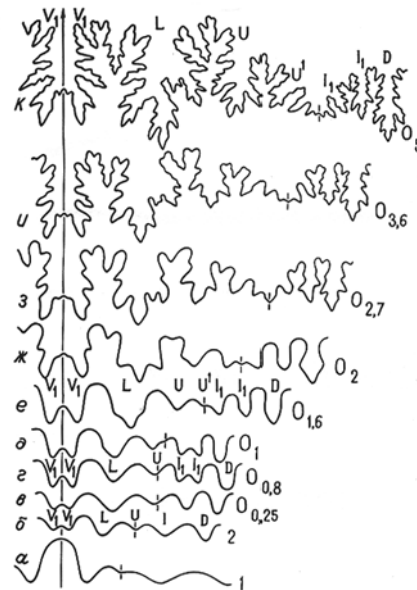


Рис. 4. Изменение лопастной линии в онтогенезе *Pseudohaploceras douvillei* Fall., экз. №8 (107/32). Дагестан, с. Цудахар, нижний апт.

Вместе с тем, в филогенезе лопастной линии раннемеловых десмоцератоидей наблюдаются следующие

щие особенности. У *Holcodiscidae* (раннебарремский род *Holcodiscus*) новый элемент – лопасть  $U^1$  появляется на  $O_{1,35} - O_{1,5}$  (рис. 3); у *Desmoseratidae*, в частности, раннеаптского *Pseudohaploceras* лопасть I разделяется в начале  $O_2$  (рис. 4), а у позднеальбского *Puzosia* – на 5-ой линии; у *Silesitidae* – позднеаптские роды *Neoastieria* и *Pseudosilesites* – на  $O_{0,6}$  (рис. 5), а у среднеальбского *Parasilesites* – на 3-ей линии; у *Leymeriellidae* – раннеальбские *Leymeriella* (рис. 6) и *Mathoceras* – в середине  $O_1$  [2,3,6]. Таким образом, от раннего баррема до позднего альба в филогенезе септальной линии у изученных представителей надсемейства *Desmoseratoidea* четко вырисовывается ускорение в развитии – время появления новых элементов постепенно отодвигается на раннюю стадию отгогенеза, начиная от  $O_{1,5} - O_{1,35}$  (ранний баррем) до 3 – 5-ой линии (средний - поздний альб).

Заслуживает также внимания степень рассеченности и соотношения размеров отдельных элементов септальной линии. На пятом-шестом оборотах у сравнительно слабоскульптурованных родов – *Pseudohaploceras*, *Neoastieria*, *Pseudosilesites*, *Puzosia* септальная линия довольно сложно рассеченная, характеризуется развитием элементов 3-го порядка и наличием провисающей сутуральной лопасти. У более скульптурованных родов – *Pulchellia*, *Holcodiscus*, *Leymeriella*, *Mathoceras* лопастная линия менее рассеченная, характеризуется малочисленными и низкими элементами второго порядка, а взамен сутуральной лопасти в области внутреннего перегиба появляются линейно расположенные вновь образованные мелкие элементы септальной линии. Обращает также внимание наличие расширенных и слабодифференцированных седел  $V/L$  и  $L/U$  у представителей упомянутых грубоскульптурованных родов.

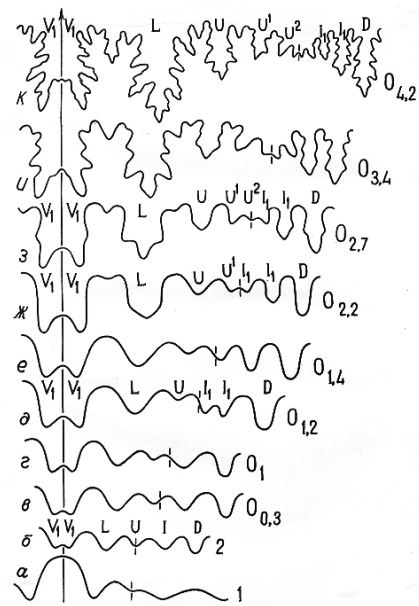


Рис. 5. Изменение лопастной линии в онтогенезе *Pseudosilesites seranoniformis* Eg., экз. №8 (404/9). Западный Кавказ, р. Вулан, верхний апт.

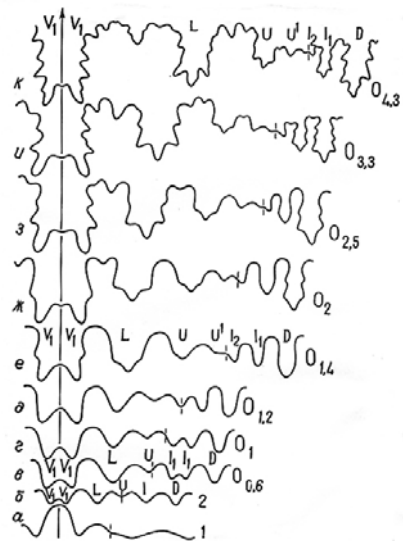


Рис. 6. Изменение лопастной линии в онтогенезе *Leymeriella tera* Sav., экз. №1309/1. Западный Копетдаг, ущелье Чалсу, нижний альб.

На таблице I показаны результаты измерения основных элементов эмбриональной раковины представителей 7 надсемейств и одного подотряда меловых аммоноидей. Для сравнительного анализа были использованы как собственные, так и данные В.В.

Друщица и Л.А.Догужаевой [1]. Судя по размерам протоконха, аммонителлы, цекума, а также величины угла первичного пережима, десмоцератоидеи ничем существенно не отличаются от других сравниваемых аммонитов. Это обстоятельство, во первых, еще раз показывает общность эмбрионального развития аммоноидей, а во вторых, отмеченные величины эмбриональных образований коррелятивно связаны друг с другом. Например, наибольшими значениями угла первичного пережима характеризуются литоцератины (300-360°) и генетически отдаленные от них парагоплитоидеи (300-330°). Соответственно, для обеих групп аммонитов характер-

ны наибольшие диаметры протоконха, аммонителлы и цекума. В этом отношении десмоцератоидеи, совместно с Phylloceratoidea, среди сравниваемых аммоноидей имеют усредненные значения этих величин. Вместе с тем, такой закономерности не видно для длины фиксатора, которая, скорее всего, коррелятивно не связана с размерами протоконха и аммонителлы. Так, например, наиболее длинными фиксаторами характеризуются Parahoplitoidea, а также – Desmoceratoidea. Интересно заметить, что самые короткие фиксаторы имеют аммониты с наиболее сложно рассеченными лопастными линиями – филлоцерасы и литоцерасы.

Таблица I

**Диаметры протоконха, аммонителлы, цекума, размеры фиксатора и угла первичного пережима**

Таксоны	Д <sub>п</sub>	Д <sub>п</sub>	Д <sub>ам</sub>	Д <sub>п</sub>	д <sub>к</sub>	Φ	∠ <sub>пп</sub> , град
Phylloceratoidea	0,38-0,66	0,28-0,49	0,63-1,05	0,07-0,14	0,06-0,11	0,03-0,10	260-300
Lytoceratina	0,49-0,75	0,40-0,70	0,88-1,44	0,06-0,17	0,10-0,15	0,03-0,14	300-360
Deshayesitoidea	0,34-0,56	0,32-0,56	0,85-1,12	0,08-0,18	0,08-0,12	0,10-0,21	300-320
Douvilleiceratoidea	0,43-0,69	0,36-0,58	0,78-1,20	0,10-0,14	0,08-0,14	0,10-0,21	270-290
Parahoplitoidea	0,55-0,70	0,49-0,65	1,13-1,29	0,10-0,17	0,08-0,15	0,18-0,49	300-330
Acanthohoplitoidea	0,33-0,60	0,28-0,46	0,60-1,02	0,07-0,13	0,06-0,12	0,07-0,25	250-300
Haploceratoidea	0,34-0,45	0,27-0,38	0,64-0,90	0,07-0,11	0,07-0,11	0,08-0,17	275-300
Desmoceratoidea	0,30-0,66	0,29-0,55	0,64-1,02	0,07-0,15	0,07-0,12	0,12-0,27	270-330

Как известно, в строении гидростатического аппарата и, в конечном итоге, для локомоции аммонитов, большую роль играла сифонная система - сифон (трубчатый вырост задней части тела, заключенный в органической оболочке между септами), септальные трубки (отвороты септ, через которых проходит сифон), манжеты (известковое образование, окружающее сифон в пределах септальной трубки) и аннулярные отложения (известковое образование в месте прикрепления органической оболочки сифона к манжете или к септальной трубке), особенно первые

два. На табл. II и III даны основные измерения органической оболочки и величины соотношения отдельных частей сифона. Следует заметить, что величина относительного диаметра сифона – отношение диаметра сифона к внутренней высоте оборота не совсем удачно отобранный показатель, так как не учитывает степень инволютности оборотов раковины и, в конечном итоге, не дает реальное представление об объеме гидростатических камер. С<sub>отн.</sub> у ранне-меловых десмоцератоидеи (как и у всех аммонитов) уменьшается с ростом раковины в 5-7 раз, а абсолют-

ный диаметр ( $C_{абс.}$ ) возрастает в онтогенезе от 0,04-0,10 (на первом обороте) до 0,50-0,73 (на шестом обороте), т.е. тоже увеличивается на 5-7 раз. В этом отношении десмоцератоидеи среди сравниваемых аммонитов наиболее близко стоят к филлоцератоидеям. Интересно отметить, что наибольшую величину абсолютного диаметра сифона на пятом-шестом оборотах имеют дувиейцератоидеи и парагоплитоидеи, а наименьшую — десмоцератоидеи, филлоцератоидеи и литоцератины – аммониты с наиболее сложнорассеченными септальными линиями среди сравниваемых таксонов.

Среди сравниваемых групп аммонитов (на  $O_4$ - $O_6$ ) наибольшими показателями соотношения внутренних диаметров органической оболочки сифона и

септальной трубки ( $K_{сж.сиф.}$ ) характеризуются литоцератины, затем филлоцератоидеи и десмоцератоидеи. Наиболее низкие показатели упомянутого коэффициента имеют парагоплитоидеи, дувиейцератоидеи и акантогоплитоидеи, т.е. у литоцератин и филлоцератоидеи диаметр сифона в септальных трубках на третьем-пятом оборотах почти в 1,5 – 3,0 раза меньше, чем в гидростатических камерах. Правда, на шестом-седьмом оборотах величина упомянутого коэффициента уменьшается до 1,69 – 2,27. Этот показатель у десмоцератоидей на  $O_4$  –  $O_5$  колеблется от 1,22 до 1,76, а у дувиейцератоидей и парагоплитоидей составляет, соответственно, 1,09 – 1,29 и 1,21 – 1,39.

Таблица II

Абсолютный и относительный диаметр сифона

Таксоны	$O_1$		$O_2$		$O_3$		$O_4$		$O_5$		$O_6$	
	$C_{абс.}$	$C_{отн.}$	$C_{абс.}$	$C_{отн.}$	$C_{абс.}$	$C_{отн.}$	$C_{абс.}$	$C_{отн.}$	$C_{абс.}$	$C_{отн.}$	$C_{абс.}$	$C_{отн.}$
Phylloceratoidea	0,04-0,07	0,11-0,30	0,06-0,13	0,10-0,33	0,10-0,17	0,08-0,14	0,18-0,31	0,06-0,12	0,25-0,46	0,05-0,11	0,38-0,80	0,06-0,08
Lytoceratina	0,04-0,07	0,10-0,22	0,07-0,13	0,08-0,17	0,10-0,21	0,06-0,12	0,13-0,48	0,06-0,15	0,35-0,63	0,06-0,12	0,56-0,90	0,06-0,13
Deshayesitoidea	0,08-0,13	0,20-0,28	0,14-0,22	0,15-0,20	0,20-0,34	0,11-0,14	0,26-0,57	0,09	0,852	0,08	–	–
Douvilleiceratoidea	0,08-0,09	0,23	0,15-0,18	0,26	0,29-0,36	0,23	0,45-0,71	0,20	1,35-1,40	0,18	–	–
Parahoplitoidea	0,10-0,13	0,25-0,30	0,17-0,24	0,22-0,25	0,30-0,45	0,16-0,19	0,50-0,90	0,14-0,17	1,20-1,30	0,14-0,15	2,5	0,10
Acanthohoplitoidea	0,06-0,14	0,26-0,50	0,08-0,21	0,18-0,30	0,18-0,38	0,13-0,20	0,27-0,74	0,10-0,18	0,63-0,91	0,06-0,12	–	–
Haploceratoidea	0,07-0,10	0,22-0,25	0,10-0,14	0,16	0,18-0,34	0,10-0,13	0,32-0,56	0,07-0,10	–	0,07-0,08	–	–
Desmoceratoidea	0,04-0,10	0,28-0,50	0,10-0,15	0,17-0,25	0,13-0,22	0,11-0,17	0,15-0,89	0,04-0,14	0,29-0,46	0,04-0,09	0,50-0,73	0,09

Следует обратить внимание также на положение сифона в фрагмоне. В отличие от других изученных представителей меловых аммонитов, у Lytose-

ratina, а также у филлоцератоидей сифон узкий, уже на первом обороте занимает вентрально-краевое положение и в дальнейшем настолько плотно при-



легают к вентральной стенке, что происходит разрыв вторичного седла лопасти V (у мономорфных литоцератин - на  $O_2 - O_3$ , а у филлоцератоидеи - на  $O_3 - O_4$ ). У Desmoceratoidea, Naploceratoidea и Deshayesitoidea сифон на втором-четвертом оборотах также прилегает к вентральной стенке, однако

никогда не наблюдается разрыв вторичного седла вентральной лопасти. У представителей остальных сравниваемых надсемейств сифон, в большинстве случаев, хотя и занимает вентрально-краевое положение, но не прилегает плотно к вентральной стенке раковины.

Таблица III

Соотношение диаметров органической оболочки сифона и септальной трубки ( $K_{\text{сж.сиф.}}$ )

Таксоны	$O_2$	$O_3$	$O_4$	$O_5$	$O_6$	$O_7$
Phylloceratoidea	-	-	0,43-1,74	1,45-3,00	1,82	1,69
Lytoceratina	1,7	1,5-2,9	1,57-2,70	2,15-2,50	1,70-2,27	1,81
Deshayesitoidea	1,62	1,17	1,61	-	-	-
Douvilleiceratoidea	-	1,09-1,26	1,16	-	1,5-1,8	-
Parahoplitoidea	-	1,21	1,39	-	1,69	-
Acanthohoplitoidea	1,29	1,22-1,50	1,26-1,51	-	-	-
Naploceratoidea	-	1,40	1,48	-	-	-
Desmoceratoidea	1,56	1,50	1,22-1,76	1,38-1,78	-	-

Отношение длины неорганической части септальной трубки к органической оболочке сифона в онтофилогенезе у десмоцератоидеи составляет: на втором-третьем оборотах – 0,11, на четвертом-шестом – 0,25, т.е. возрастает более чем в два раза. Эта величина у филлоцератоидеи больше на  $O_2 - O_4 = 0,67$ , а на  $O_6 - O_7$  сокращается до 0,11; у литоцератин на  $O_2 - O_3 = 1,00$  или 1,5, а на  $O_6$  уменьшается до 0,18 или до 0,11 [1]. По нашим наблюдениям, величина этого соотношения у Deshayesitoidea варьирует с ростом раковины: на  $O_2 - O_3 = 0,04 - 0,17$ , на  $O_4 - 0,13-0,34$ ; у Parahoplitoidea, на  $O_2 - O_3 = 0,08 - 0,11$ , на  $O_4 - 0,09$ ; у Acanthohoplitoidea, на  $O_2 - O_3 = 0,06 - 0,30$ , на  $O_4 - O_5 = 0,08 - 0,13$ ; у Douvilleiceratoidea, на  $O_3 - O_4 = 0,10 - 0,12$ , а на  $O_5 - 0,15$ . У всех сравниваемых групп аммонитов на ранней стадии развития (на первом-четвертом оборотах) величина этого соотношения увеличивается (т.е. увеличивается длина септальных трубок в онтогенезе), а

затем уменьшается. У десмоцератоидеи максимальная величина этого соотношения наблюдается на четвертом-пятом оборотах – 0,16-0,33. Примечательно, что у аммонитов, которые характеризуются наиболее сильно рассеченными септальными линиями (филлоцерасы и особенно литоцерасы), на  $O_1-O_3$  длина обыветвленной части сифона равна или в 1,5 раза превышает длину органического соединительного кольца. В этом отношении десмоцерасы идут вслед за филлоцерасами. Можно предположить, что эти закономерности связаны с функционированием гидростатического аппарата и в конечном итоге - с образом жизни этих животных.

Толщина стенки раковины по нашим наблюдениям и данными В. В. Друщица и Л.А.Догужаевой [1], у десмоцератоидеи небольшая. на  $O_1$  составляет 0,01, на  $O_2 - 0,03-0,04$ ,  $O_3 - 0,04-0,07$ ,  $O_4 - 0,08-0,14$ ,  $O_5 - 0,14-0,22$ ,  $O_6 - 0,24$ . Почти аналогичными величинами характеризуются Phylloceratoidea, Acantho-

hoplitoidea и Lytoceratinae. Более толстую стенку раковины имеют относительно грубоскульптурованные Douvilleiceratoidea, а также Parahoplitoidea.

### Заклучение

Имеющийся в настоящее время богатый фактический материал дает возможность судить об общих закономерностях морфологии скелетных элементов раковины и их функциональном значении у изученных групп раннемеловых аммонитов. Это касается в основном гидростатического аппарата и, в первую очередь, сифональной системы (септальные трубки, соединительное кольцо, манжеты, аннулярные отложения), а также септам и септальной (лопастной) линии. По нашему мнению, в строении и функционировании этой конструкции основную роль играли внутрикамерное гидростатическое и сифональное осмотическое давление. Соответственно, вышеотмеченные различия в строении, местоположении и размерах между отдельными элементами скелетных образований, скорее всего, определены, в основном, различными величинами давления.

Создаваемое камеральной жидкостью гидростатическое давление определяло перемещение мягкого тела организма в жилой камере, фабрикации новой септы и степень расчлененности лопастной линии. Чем выше была величина давления, тем эффективнее осуществлялся процесс перемещения и усложнялась лопастная линия. Именно это обстоятельство определяло конструкцию сифональной системы. В частности, в условиях повышенного внутрикамерного давления, соединительное кольцо сифона, с целью сохранения прочности, должно было иметь наименьшую длину и малый диаметр; соответственно, увеличивалась длина септальных трубок и манжет. Среди зрелых экземпляров ( $O_5$  –  $O_6$ ) изученных аммонитов наименьшими показателями этих величин соединительного кольца характеризуются лито-

цератины и филлоцератоидеи, вслед за ними – гап-лоцератоидеи и десмоцератоидеи. Наибольший абсолютный диаметр органического соединительного кольца имеют мономорфные потомки анцилоцератин (Deshayesitoidea, Douvilleiceratoidea, Parahoplitoidea, Acanthohoplitoidea). В процессе перемещения мягкого тела в жилой камере, в обстановке повышенного гидростатического давления, вновь образованный отрезок соединительного кольца может плотно прилегать к вентральной стенке раковины (литоцерасы и филлоцерасы), поддерживать наиболее краевое положение (десмоцерасы), или в условиях сравнительно низкого внутрикамерного гидростатического давления удалиться на определенном расстоянии от нее (мономорфные представители анцилоцерасов). В связи с этим следует оговориться, что у филлоцерасов и литоцерасов сифональная трубка так плотно прижата к вентральной стенке, что в медиальной плоскости септальная трубка и оболочка соединительного кольца раскрываются и их края плотно прикрепляются к внутреннему призматическому слою раковины. Это явление отражено в морфологии соответствующей части лопастной линии (разрыв вторичного седла вентральной лопасти). Такая картина у литоцерасов наблюдается уже в конце первого или первой половине второго оборота, а у филлоцерасов – значительно позже – с  $O_3$  и  $O_4$ .

Можно предположить, чем выше величина внутрикамерного гидростатического давления, тем дальше должен продвигаться и удлиняться в адоральном направлении циркумсифональный септальный эпителий, что со своей стороны, определяло формирование длинных прохонитовых септальных трубок. В этом отношении выделяются литоцератины, длина септальных трубок которых на  $O_4$  –  $O_6$  оборотах иногда в 2-2,5 раза превышает длину этой структуры у мономорфных анцилоцератин. В этом отношении

десмоцератоидей и филлоцератоидей занимают промежуточное положение. В связи с этим можно предположить, что в замещении ретрохоанитовых септальных трубок прохоанитовыми в историческом развитии аммонитов, очевидно, важную роль сыграло прогрессивное увеличение внутрикамерного гидростатического давления.

Как известно, аннулярные отложения большую роль играют в прочном прикреплении органической оболочки сифона к манжете и в обеспечении герметичности гидростатических камер. В условиях высокого осмотического и гидростатического давления существует опасность отрыва соединительного кольца от септальной трубки (манжеты), что могло вызвать нарушение нормального функционирования гидростатического аппарата и потерю способности нейтральной плавучести. Пресечение этого явления можно с помощью фабрикации мощных слоев аннулярных отложений (валика). Наиболее сильной такой структурой характеризуются литоцерасы, у которых она появляется уже с середины второго или начала третьего оборота. У изученных раннемеловых десмоцератоидей аннулярные отложения или вовсе отсутствуют, или появляются позже, с  $O_4 - O_5$  оборотов.

Как было отмечено выше, величина  $K_{сж.сиф.}$  у литоцерасов иногда достигает 2,5-3,0, т.е. настолько уменьшается диаметр сифона в септальных трубках. Это обстоятельство, очевидно, вызвано, с одной стороны, сильным натяжением и сжатием циркум-сифонального септального эпителия в процессе перемещения организма в жилой камере, хотя, с другой стороны, в этом случае влияние осмотического давления было бы более существенным.

Основное функциональное значение сифона у аммонаидей состоит в откачке жидкости из гидростатических камер. Как было сказано выше, литоцерасы и

частично филлоцерасы отличаются сильно прижатым к вентральной стенке раковины сифоном, имеющим сравнительно тонкие и короткие соединительные кольца. В таком случае становится необходимостью увеличение интенсивности откачки жидкости из гидростатических камер, осуществление которого возможно в том случае, если разница между концентрациями сифональной и камеральной жидкостями и соответственно величинами осмотического давления была бы высокой. В этом случае, в процессе опорожнения камер, абсолютный диаметр упругого футляра соединительного кольца должен увеличиться значительно, что, со своей стороны, определяло высокое значение коэффициента  $K_{сж.сиф.}$

О существовании гидростатического давления уже в протоконхе, что способствовало передвижению эмбриона вперед, по нашему мнению, указывают наличие в нем фиксатора, следы натяжения на его поверхности и присутствие распорок. Эти структуры обеспечивали прикрепление цекума и всего эмбриона к стенке протоконха в условиях гидростатического давления, создаваемого существующей здесь жидкостью (иначе эмбрион не смог покинуть протоконх). О наличии разных (дифференцированных) величин внутрикамерного гидростатического давления в протоконхах у различных таксонов можно судить по степени гофрировки просепты, форме и размерам ее вентрального седла. Наиболее дифференцированной просептой, имеющей высокое и узкое вентральное седло, выделяются филлоцератида, литоцератида, а также десмоцератоидеи, средним значением величин этих элементов характеризуются голплитоидеи, гапллоцератоидеи, кардиоцератоидеи, перисфинктоидеи, олкостефаноидеи и стефаноцератоидеи, с низким и широким седлом – гетероморфы и их мономорфные потомки [3]. Предположительно, с такой же последовательностью должна уменьша-



UDC 594.53

SCOPUS CODE 1911

## დესმოცერატიდეების და სხვა ადრეცარცული ამონიტების ძირითადი სკელეტური წარმონაქმნების შედარებითი მორფო-ფუნქციური ანალიზი

**ილია კვანტალიანი** † სტრატეგრაფიისა და პალეონტოლოგიის განყოფილება, ივ. ჯავახიშვილის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ა. ჯანელიძის სახელობის გეოლოგიის ინსტიტუტი, საქართველო, 0186, თბილისი, პოლიტკოვსკაიას ქ., 31

**მევლუდ შარიქაძე** გამოყენებითი გეოლოგიის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 75  
E-mail: mevshar@mail.ru

### რეცენზენტები:

**თ. ლომინაძე**, სტუ-ის სამთო-გეოლოგიური ფაკულტეტის პროფესორი ემერიტუსი  
E-mail: lominadzetamaz@yahoo.com

**შ. კელეპტრიშვილი**, სტუ-ის სამთო-გეოლოგიური ფაკულტეტის პროფესორი  
E-mail: sh.keleptrishvili@gtu.ge

**ანოტაცია.** ბინოკულარული და მასკანირებელი ელექტრონული მიკროსკოპების მეშვეობით შესწავლილ იქნა ადრეცარცული დესმოცერატიდეების სამი ოჯახის წარმომადგენლების – *Holcodiscidae* Spath (გვარი *Holcodiscus* Uhlig), *Silesitidae* Hyatt (*Neoastieria* Egoian, *Pseudosilesites* Egoian) და *Leymeriellidae* Breistroffer (*Mathoceras* Casey, *Leymeriella* Jacob) ნიჟარების გარეგანი და შინაგანი აგებულების ძირითადი ელემენტები (სკულპტურა, განივკვეთი, ტიხრის ხაზი, სიფონური და სეპტური სისტემები). საკუთარი კვლევების და ლიტერატურული მონაცემების საფუძველზე ჩატარებულია დესმოცერატიდეების და ადრეცარცული ამონიტების სხვა ჯგუფების (*Phylloceratoidea*, *Lytoceratina*, მონომორფული *Ancyloceratina*) ნიჟარების აღნიშნული სტრუქტურული ელემენტების შედარებითი მორფო-ფუნქციური ანალიზი. როგორც გამოირკვა, ხსენებულ ტიქსონებს შორის ყველაზე რთული და ღრმად დანაწევრებული ტიხრის ხაზით, შედარებით წვრილი, ნიჟარის ვენტრულ კედელზე მჭიდროდ მიკრული, მედიანურ სიბრტყეში გახსნილი სიფონით და მოკლე შემაერთებელი რგოლით, გრძელი სეპტური მილაკებით, სქელი ანულარული ნალექებით, სიფონის შეკუმშვის კოეფიციენტის დიდი მნიშვნელობით და ე.წ. „სეპტური ფრთების“ არსებობით ხასიათდება ლიტოცერატინები, რაც ძირითადად განპირობებული უნდა იყოს მათ ნიჟარებში შიგაკამერული და ოსმოსური წნევების მაღალი მნიშვნელობებით. რაც შეეხება საკუთრივ დესმოცერატიდეებს, აღნიშნული პარამეტრების მიხედვით მათ შუალედური ადგილი უჭირავთ ლიტოცერატინებსა და მონომორფულ ანცილოცერატინებს შორის.

**საკვანძო სიტყვები:** ამონიტი; ანულარული ნალექები; მანჟეტა; ნიჟარა; ოსმოსური წნევა; სეპტა; სეპტური მილაკი; სიფონი; შემაერთებელი რგოლი; ტიხრის ხაზი; შიგაკამერული ჰიდროსტატიკური წნევა.

UDC 594.53

SCOPUS CODE 1911

## Comparative morpho-functional analysis of major skeletal formations of desmoceratoidea and other early cretaceous Ammonites

**Ilia Kvantaliani** † Department of Stratigraphy and Palaeontology, Aleksandre Janelidze Institute of Geology of Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, 31 Politkovskaja str, 0186 Tbilisi, Georgia

**Mevlud Sharikadze** Department of Applied Geology, Georgian Technical University, 75 M. Kostava str, 0160 Tbilisi, Georgia  
E-mail: mevshar@mail.ru

### Reviewers:

**T. Lominadze**, Professor Emeritus, Faculty of Mining and Geology, GTU  
E-mail: lominadzetamaz@yahoo.com

**Sh. Keleptrishvili**, Professor, Faculty of Mining and Geology, GTU  
E-mail: sh.keleptrishvili@gtu.ge

**Abstract.** Basic elements (sculpture, cross-section, septal line, siphon and septum systems) of external and internal structures of the representatives of three families - Holcodiscidae Spath (species Holcodiscus Uhlig), Silesitidae Hyatt (species Neostastria Egoian, Pseudosilesites Egoian) and Leymeriellidae Breistroffer (species Mathoceras Casey, Leymeriella Jacob) of Early Cretaceous Desmoceratoidea shell were studied with Binocular and SEM microscope. Comparative morpho-functional analysis of above mentioned structural elements of Desmoceratoidea and other groups (Phylloceratoidea, Lytoceratina, Monomorphic Ancyloceratina) of Early Cretaceous ammonite shells have been conducted based on obtained results and literature data. As concluded, Lytoceratinas are characterized by the most complex and deeply fragmented septal line, comparatively narrow siphon, tightly stuck to the ventral walls of the shell and short connecting ring, long septal neck, thick annular deposits, large coefficient of siphon compression and so called “septal wings”, which is mostly due to a high chamber hydrostatic and osmotic pressure in the shells. As for the Desmoceratoids, according to above mentioned features, they take intermediate position between Lytoceratina and monomorphic Ancyloceratina.

**Key words:** Ammonite; annular deposits; bucket; connecting ring; intrachamber hydrostatic pressure; osmotic pressure; septa; septal line; septal neck; shell; siphon.

*Дата рассмотрения 14.06.2019*

*Дата поступления 25.06.2019*

*Подписано к печати 17.12.2019*

UDC 582.4

SCOPUS CODE 2101

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2019-4-95-100>

## მცენარეული ნარჩენი ბიომასის თბური გამოკვლევა

ოთარ ჯაფარიძე	ენერგეტიკის და ენერგოეფექტურობის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 75 E-mail: japaridzeotari@gmail.com
ლევან ახვლედიანი	ენერგეტიკის და ენერგოეფექტურობის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 75 E-mail: samixada1995@gmail.com
ომარ კიღურაძე	ენერგეტიკის და ენერგოეფექტურობის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 75 E-mail: kiguradzeomar@gmail.com

### რეცენზენტები:

ა. გრიგალაშვილი, სტუ-ის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის ასოცირებული პროფესორი

E-mail: a.grigalashvili@gtu.ge

ბ. ჩხაიძე, სტუ-ის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის ასოცირებული პროფესორი

E-mail: bckaidze@yahoo.com

**ანოტაცია.** მნიშვნელოვანია სხვადასხვა მცენარეული ნარჩენი ბიომასის ალტერნატიულ სათბობად გამოყენების პერსპექტივა.

ბიომასის ტენიანობის და თბოუნარიანობის გაზომვა ჩატარებულია პრეციზიული იზოთერმული კალორიმეტრით XRY-1C. კალორიმეტრის ტესტირებისათვის გამოყენებულია სანიმუშო ნივთიერება-ბენზონის მჟავა (სისუფთავით 99.99%).

მიღებულია ნიმუშების უმაღლესი თბოუნარიანობის ექსპერიმენტული მონაცემები, რის საფუძველზეც გამოთვლილია უდაბლესი თბოუნარიანობის მაჩვენებლები.

საქართველოს რეგიონებში, სადაც დიდი რაოდე-

ნობით გროვდება სხვადასხვა მცენარეული კულტურების ნარჩენები, სითბური ენერჯიის მისაღებად წარმატებით შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ნარჩენები, როგორც ძირითად სათბობად, ასევე ალტერნატიულ სათბობადაც.

**საკვანძო სიტყვები:** ალტერნატიული სათბობი; ბენზონის მჟავა; მცენარეული ნარჩენი; იზოთერმული კალორიმეტრი.

### შესავალი

ორგანული სათბობის მარაგების განუწყვეტელი შემცირება და ამასთან ერთად ღირებულების

ზრდა მწვავედ აყენებს საკითხს ალტერნატიული სათბობის ძიების კუთხით. სათბობის ერთ-ერთ ალტერნატიულ სახეობად შეძლება განვიხილოთ მცენარეული ნარჩენი ბიომასა, რომელიც დიდი რაოდენობით გროვდება სოფლად და განახლება-დი სათბობის ფუნქცია შეიძლება შეიძინოს. მცენარეული ნარჩენი ბიომასის დაწვის ტექნოლოგია და სითბოს გენერაცია შესაძლებელია განხორციელდეს, როგორც დამოუკიდებლად, ასევე ძირითად სათბობთან ერთად. სოფლად ეს ხელს შუწყობს საშემე მერქნის გამოყენების შემცირებას და ეკოლოგიური მდგომარეობის გაუმჯობესებას.

მცენარეული ნარჩენები მოიცავს მარცვლოვანი და პარკოსანი კულტურების და ბალახოვან ნარჩენებს: თხილის, კაკლის, ნუშის და სხვა ნაჭუჭი, ტყემლის კურკა, ხილისა და ციტრუსების კანი, ყურძნის ჭაჭა, ვენახის ლერწმების ნასხლავი, სიმინდის ტაროს ნაჭურჩი, მზესუმზირას ჩენჩო, ნამჯა და სხვა ნარჩენები, რომლებიც დიდი რაოდენობით გროვდება საოჯახო და ფერმერულ მეურნეობებში.

### ძირითადი ნაწილი

ნარჩენების ენერგოპოტენციალის შესაფასებლად გამოყენებულია ერთ-ერთი ძირითადი მახასიათებელი პარამეტრი-საწვავი მასის თბოუნარიანობა (კჯ/კგ). თბოუნარიანობის დასადგენად გამოყენებულია ორი ძირითადი მეთოდი: თეორიული და ექსპერიმენტული. თბოუნარიანობის განსაზღვრის თეორიული მეთოდი მიახლოებითი მეთოდია და თხოულობს სინჯის ქიმიური შედგენილობის ცოდნას, რაც გარკვეულ სიმწიფეებთანაა დაკავშირებული. ამიტომ თბოუნარიანობის განსაზღვრის ძირითად მეთოდად რჩება ექსპერიმენტული მეთოდი – “კალორიმეტრიული ყუმბარის” მეთოდი [1,2,3].

თხევადი და მყარი ნივთიერებების თბოუნარიანობის გასაზომად გამოყენებულია კალორიმეტრიული ხელსაწყო XRAY-1C. ქარხნული მონაცემებით მისი სიზუსტეა 0,4%. [4]. გაზომვის მეთოდიკა შემდეგში მდგომარეობს [3]: კალორიმეტრში სტაციონარული ტემპერატურული რეჟიმის დამყარების შემდეგ, რომლის დროსაც ტემპერატურის ცვლილება ერთ წუთში არ აღემატება 0,001 გრადუსს. მართვის პროგრამა ხელსაწყოს გადაიყვანს გაზომვის რეჟიმში. მოხდება ნიმუშის დაწვა. წვისას გამოყოფილი სითბოს გავლენით კალორიმეტრულ ჭურჭელში მოთავსებული გამოხდილი წყლის ტემპერატურა იწყებს ზრდას. ტემპერატურის მაქსიმალური მნიშვნელობის მიღწევის შემდეგ ფიქსირდება გამოხდილი წყლის ტემპერატურის მაქსიმალურ და საწყის მნიშვნელობებს შორის სხვაობა.

კონკრეტული კალორიმეტრიული სისტემისთვის ჯამური სითბოტევადობის ანუ თბური ეკვივალენტი განისაზღვრა კალორიმეტრის კალიბრებით. კონკრეტულ შემთხვევაში გამოყენებული იყო კალიბრების ფარდობითი მეთოდი რომლის მიხედვითაც თბოუნარიანობის განსაზღვრის ექსპერიმენტი ჩატარდა ცნობილი თბოუნარიანობის მქონე სანიმუშო ნივთიერების-ბენზონის მჟავას გამოყენებით.

კალიბრებით განისაზღვრება კალორიმეტრული მუდმივა. მისი მნიშვნელობა დამოკიდებულია, როგორც ძირითადი დისტილირებული წყლის რაოდენობაზე, ასევე საზომი თერმომეტრის მდებარეობაზე და სითხის სარეველას მუშაობაზე. საკვლევი ნიმუშის თბოუნარიანობის გაზომვა შესაძლებელია კალიბრებამდეც. ასეთ შემთხვევაში დაიშვება კალორიმეტრიული მუდმივას მიახლოებითი მნიშვნელობა, და კალიბრების შემდეგ მოხდება მისი კორექტირება. ასე, მაგალითად, ლობიოს ქერქის, მზე-



სუმზირის, სიმინდის ტაროს, ფოთლისა და ულვაშის, ტყემლის კურკის, ვაშლის და ხახვის კანისა და ჭაჭის კორექტირებული კალორიმეტრიული მუდმივების მნიშვნელობებია შესაბამისად: 18647, 17495, 17213, 15778, 15778, 16352, 14344, 14344 და 14864 (ჯ/გრად) [4,5].

წინასწარ მოხდა საკვლევი ნიმუშების გამოშრობა. ეს პროცესი განხორციელდა RADWA-50R მარკის სამრობი ხელსაწყოთი. ცდა ჩატარდა 105 °C -110 °C ტემპერატურის პირობებში ნიმუშის მასის შემცირების შეწყვეტამდე (პრაქტიკულად მუდმივ მასამდე). ხელსაწყო სიზუსტე მასის განსაზღვრის მიმართ შეადგენს 10<sup>-3</sup> გ-ს. გამომშრალი ნიმუშები თბოუნარიანობის გაზომვამდე ინახებოდა ევსიკატორში.

ცხრილში მოცემულია სხვადასხვა ალტერნატიული სათბობის: ლობიოს ქერქის, მზესუმზირის ჩენჩოს, სიმინდის ტაროს, ფოთლის და ფუჩეჩის, ტყემლის კურკის, ვაშლის და ხახვის ქერქის, ყურძნის ჩენჩოს, ხორბლის და ქერის ნარჩენების და ნამჯის ნიმუშების თბოუნარიანობის ექსპერიმენტული მონაცემები 18% ფარდობითი ტენიანობის პირობებისათვის.

თბოუნარიანობის ექსპერიმენტული შედეგი, განსაზღვრულია “კალორიმეტრიული ყუმბარის” საშუალებით. სათბობის თბოუნარიანობის პირველადი მონაცემი, რომელიც განსაზღვრება კალორიმეტრიულ ცდაში არის სათბობის თბოუნარიანობა “კალორიმეტრიული ყუმბარის” მიხედვით Q ყუმბ. (სვეტი 2).

ცხრილი

სხვადასხვა ნიმუშის კალორიმეტრიული ექსპერიმენტების მონაცემები

№	ალტერნატიული სათბობი	თბოუნარიანობა კალორიმეტრიული ყუმბარის Q <sub>ყ</sub>	ბრუტო თბოუნარიანობა, Q <sub>ბ</sub>	ექსპერიმენტით თბოუნარიანობა სათბობში არსებული ტენის აორთქლებაზე დახარჯული სითბოს მიხედვით	ნეტო* თბოუნარიანობა, Q <sub>ნეტო</sub>
	1	2	3	4	5
1	ლობიოს ქერქი(ნარჩენი)	14783	14720	14268	12910
2	მზესუმზირის (ნარჩენი)	19354	19301	18848	17491
3	სიმინდის ტარო	18510	18447	17995	16637
4	სიმინდის ფოთოლი (ნარჩენი)	17428	17365	16912	15555
5	სიმინდის ფუჩეჩი (ნარჩენი)	17692	17629	17176	15819
6	ტყემლის კურკა (ნარჩენი)	21767	21705	21252	19895
7	ვაშლის ქერქი(ნარჩენი)	18287	18224	17772	16414
8	ხახვის ქერქი(ნარჩენი)	16392	16329	15876	14519
9	ყურძნის ჩენჩოს (ნარჩენი)	20640	20577	20125	18767
10	ხორბლის ნარჩენი	17585	17522	17070	15712
11	ქერის ნარჩენი	15793	15731	15279	13921
12	ნამჯა	16789	16726	16273,5	14916

სათბობის თბოუნარიანობა “კალორიმეტრიული ყუმბარის” მიხედვით არის ერთეული მასის სათბობის მიერ სრული წვის დროს გამოყოფილ სითბოს რაოდენობა კალორიმეტრიული ცდის პირობებისათვის: სათბობიდან გამოყოფილ სითბოს რაოდენობას ემატება საფალიე მავთულის დაწვით და ყუმბარაში აზოტმჟავას და გოგირდმჟავას წარმოქმნის ეგზოთერმული რეაქციებით გამოყოფილი სითბო. საფალიე მავთულის დაწვით მიღებული სითბო გათვალისწინებულია კალორიმეტრიულ მუდმივაში კალიბრების დროს.

კალორიმეტრიულ ყუმბარაში მჟავების წარმოქმნის ეგზოთერმული რეაქციების სითბოს  $Q_{გზ}$ . გათვალისწინებით მიიღება სათბობის თბოუნარიანობის ბრუტო მნიშვნელობა  $Q_{ბრ}$ . (სვეტი 3):  $Q_{ბრუტო} = Q_{ყუმბ.} - Q_{გზ}$ .

სათბობის დაწვის დროს სითბოს გარკვეული ნაწილი იხარჯება სათბობში არსებული წყალბადის დაჟანგვით მიღებული  $9H^{\circ}/100$  კგ წყლის და სათბობში არსებული  $W^{\circ}/100$ კგ ტენის აორთქლებაზე. პრაქტიკულად სითბოს მომხმარებელი დანადგარებისათვის ნამუშევარი ნამწვი გაზების ტემპერატურა ( $120-180^{\circ}C$ ) აღემატება გაზებში არსებული წლის ორთქლის „ნამის წერილის“ მნიშვნელობას, რის გამოც ტენის ორთქლადქცევაზე დახარჯული სითბო არის სითბოს დანაკარგები. კალორიმეტრიული ყუმბარით სათბობის თბოუნარიანობის გაზომვის მეთოდის მიხედვით სათბობის დაწვის შედეგად მიღებული წვის პროდუქტები კალორიმეტრიულ ყუმბარაში ცივდება დაახლოებით ოთახის ტემპერატურამდე და ადგილი აქვს ყუმბარაში წვის პროცესში მიღებული წყლის ორთქლის კონდენსაციას და შედეგად კალო-

რიმეტრიულ ყუმბარაში ორთქლადქცევის ტოლი კონდენსაციის სითბოს დაბრუნებას ანუ მიიღება ბრუტო თბოუნარიანობა –  $Q_{ბრუტო}$ .

მე-4 ცხრილის სვეტში მოცემულია სათბობში არსებული ტენის აორთქლებაზე დახარჯული სითბოს გათვალისწინებით თბოუნარიანობა  $Q_w$ .

ტექნიკური გაანგარიშებებისათვის გამოიყენება ნეტო თბოუნარიანობა  $Q_{ნეტო}$ . (სვეტი 5), რომელშიც გათვალისწინებულია თბოუნარიანობის შემცირება სათბობში არსებული წყალბადის დაწვით მიღებული ტენის და სათბობში არსებული წყლის აორთქლებაზე დახარჯული სითბოთა რაოდენობები:

$$Q_{ნეტო} = Q_{ბრუტო} - 25,14 \cdot 9H^{\circ}/100 - 25,14 \cdot W^{\circ}/100$$

1-ელ ცხრილში თბოუნარიანობების  $Q_{ყუმბ.}$ ,  $Q_{ბრუტო}$ ,  $Q_{ნეტო}$ . მნიშვნელობები მოცემულია სხვადასხვა სახის სათბობისათვის. ზოგიერთი სათბობის ნიმუში წინასწარ გამოშრა საშრობ კარადაში  $105^{\circ}C$  ტემპერატურაზე.

### დასკვნა

მცენარეული ნარჩენი შეგვიძლია გამოვიყენოთ ალტერნატიულ სათბობად, რათა ჩავანაცვლოთ ნავთობი და გაზი, რადგან მათი სიმცირის გამო თავიდან ავიცილოთ ეკონომიკური და ენერგეტიკული კრიზისი.

ნარჩენი ბიომასის ენერგეტიკული პოტენციალის შეფასებისათვის საჭიროა ქვეყნის მასშტაბით მცენარეული კულტურების ყოველწლიური საშუალო მოსავლიანობის შესახებ სტატისტიკური მონაცემების საფუძველზე [6] ნარჩენების განსაზღვრა და ცხრილის ნეტო თბოუნარიანობის სიდიდეებით სარგებლობა.

### ლიტერატურა

1. Kipshidze M., Jishkariani T., Arabidze G., Akhalaia G. Boiler installations. Tbilisi. 2000. (in Georgian).
  2. Oleinik B.N. Exact calorimetry. M.: Izd. Standartov. 1973. (in Russian).
  3. Lominadze S., Kipshidze M., Jishkariani T. Technical analysis of hydraulic and the exploitation test of steam generators. Helper. SPI. 1979. (in Georgian). არ მოიძებნა არანაირად!
  4. Kiguradze O., Japaridze O., Beridze G. Alternative fuels. "Energy". №1(85), 62-64 pp. (in Georgian).
  5. Kiguradze O., Japaridze O., Beridze G. Energy-efficient potential of plant residues biomass. "Energy". №1(85). 65-69 pp. (in Georgian).
  6. Arabidze G., Arabidze N., Zarandia S. and others. The potential energy of the residual biomass in Georgia. Tbilisi. 2015. (in Georgian).
- 

UDC 582.4

SCOPUS CODE 2101

### Thermal study of plant residues biomass

<b>Otar Japaridze</b>	Department of Thermal Energy and Energy Efficiency, Georgian Technical University, 75 M. Kostava str, 0160 Tbilisi, Georgia E-mail: japaridzeotari@gmail.com
<b>Levan Akvlediani</b>	Department of Thermal Energy and Energy Efficiency, Georgian Technical University, 75 M. Kostava str, 0160 Tbilisi, Georgia E-mail: samixada1995@gmail.com
<b>Omar Kiguradze</b>	Address. Department of Thermal Energy and Energy Efficiency, Georgian Technical University, 75 M. Kostava str, 0160 Tbilisi, Georgia E-mail: kiguradzeomar@gmail.com

### Reviewers:

- A. Grigalashvili**, Associate Professor, Faculty of Power Engineering and Telecommunication, GTU  
E-mail: a.grigalashvili@gtu.ge
- B. Chkhaidze**, Associate Professor, Faculty of Power Engineering and Telecommunication, GTU  
E-mail: bckaidze@yahoo.com

**Abstract.** The article reviews the possibilities for the usage of various plant residues as an alternative heating.

Experiments to measure biomass humidity and calorific value were carried out using a precision isothermal calorimeter MAY-1C. Benzoic acid (with 99.99% purity) as standard material has been used for the calorimeter testing.

Experimental data of the highest calorific value of the samples were obtained, on the basis of which the lowest calorific values were calculated.

It was demonstrated that both the primary fuel and alternative fuel can be used in Georgia's regions with various plant residues.

**Key words:** Alternative fuel; benzoic acid; isothermal calorimeter; plant residues.

UDC 582.4

SCOPUS CODE 2101

### Термическое исследование растительных отходов

<b>Отар Джапаридзе</b>	Департамент энергетики и энергоэффективности, Грузинский технический университет, Грузия, 0160, Тбилиси, ул. М. Костава, 75 E-mail: japaridzeotari@gmail.com	Грузинский технический университет, Грузия, 0160, Тбилиси, ул. М. Костава, 75
<b>Леван Ахвледиани</b>	Департамент энергетики и энергоэффективности, Грузинский технический университет, Грузия, 0160, Тбилиси, ул. М. Костава, 75 E-mail: samixada1995@gmail.com	Грузинский технический университет, Грузия, 0160, Тбилиси, ул. М. Костава, 75
<b>Омар Кигурадзе</b>	Департамент энергетики и энергоэффективности, Грузинский технический университет, Грузия, 0160, Тбилиси, ул. М. Костава, 75 E-mail: kiguradzeomar@gmail.com	Грузинский технический университет, Грузия, 0160, Тбилиси, ул. М. Костава, 75

### Рецензенты:

**А. Григалашвили**, ассоциированный профессор факультета энергетике и телекоммуникации ГТУ

E-mail: a.grigalashvili@gtu.ge

**Б. Чхаидзе**, ассоциированный профессор факультета энергетике и телекоммуникации ГТУ

E-mail: bckaidze@yahoo.com

**Аннотация.** Рассмотрена перспектива применения разных сельскохозяйственных остатков в виде альтернативного топлива.

Эксперименты по измерению влажности и теплоспособности биомассы проведены с применением прецизионного изотермического калориметра МАУ-1С. Для тестирования калориметра применено образцовое вещество – бензойная кислота (чистотой 99,99%).

Получены экспериментальные данные высшей теплоспособности образцов, на основании которых рассчитаны величины самой низкой теплоспособности.

Показано, что в регионах Грузии, где сосредоточены различные сельскохозяйственные остатки, можно с успехом применять как основное топливо, так и альтернативное.

**Ключевые слова:** альтернативное топливо; бензойная кислота; изотермический калориметр; сельскохозяйственные отходы.

*განხილვის თარიღი 24.06.2019*

*შემოსვლის თარიღი 28.06.2019*

*ხელმოწერილია დასაბეჭდად 17.12.2019*

UDC 621.311

SCOPUS CODE 2105

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2019-4-101-107>

## ელექტრული მოწყობილობების ტექნიკური დიაგნოსტიკის შესახებ

**შოთა ნემსაძე** ელექტროტექნიკისა და ელექტრონიკის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 75  
E-mail: sh-nemsadze@mail.ru

### რეცენზენტები:

**თ. კობრეიძე**, სტუ-ის ენერჯეტიკისა და ტელეკომუნიკაციების ფაკულტეტის პროფესორი  
E-mail: Kthamaz@gmail.com

**დ. ტურძელაძე**, სტუ-ის ენერჯეტიკისა და ტელეკომუნიკაციების ფაკულტეტის პროფესორი  
E-mail: Turdzeladze59@gmail.com

**ანოტაცია.** აღნიშნულია, რომ მომხმარებლები-სათვის ხარისხიანი ელექტრული ენერჯიის მიწოდება არის მნიშვნელოვანი ტექნიკური პრობლემა, რომლის დადებითად გადაწყვეტა უზრუნველყოფს მათ მაღალ დონეზე ტექნიკურ-ეკონომიკურ ფუნქციონირებას. ამ თვალსაზრისით ელმოწყობილობათა ტექნიკური დიაგნოსტიკა საშუალებას იძლევა მათი ტექნიკური მდგომარეობის შეცნობის და უწყვეტი მონიტორინგით პროგნოზირდეს გამართული ფუნქციონირების ინტერვალი, რათა თავიდან იქნეს აცილებული დეფექტების წარმოშობა, განვითარება და მოწყობილობის მწყობრიდან გამოსვლა. ხაზგასმულია, რომ ტექნიკური დიაგნოსტიკა მოიცავს ტექნიკური სისტემის შესახებ დიაგნოსტიკური ინფორმაციის მოპოვების და შეფასების მეთოდებს, დიაგნოსტიკურ მოდელებს და გადაწყვეტილებების მიღების ალგორითმებს, მისი მიზანია ტექნიკური სისტემის საიმედოობის და

რესურსის ამალგება, პრაქტიკულად არის საიმედოობის თეორიის შემადგენელი ნაწილი. მისი უმნიშვნელოვანესი მაჩვენებელია ტექნიკური სისტემის ფუნქციონირების მტყუანობის შეფასება. ტექნიკური დიაგნოსტიკა დეფექტების და გაუმართაობების ადრეული აღმოჩენით უზრუნველყოფს ტექნიკური სისტემის საიმედო და ეფექტურ ექსპლუატაციას.

**საკვანძო სიტყვები:** გამზომი გარდამსახი; დეფექტები; ელექტრული მოწყობილობა; მტყუანობის ადგილი; ობიექტი; საიმედო ფუნქციონირება; ტექნიკური დიაგნოსტიკა; ტექნიკური სისტემა.

### შესავალი

ელექტრული მოწყობილობა ფართო ცნებაა და მოიცავს სამრეწველო, სატრასპორტო, სამშენებლო, სასოფლო და საყოფაცხოვრებო დანიშ-

ნულობის მანქანა-დანადგარებს, მოწყობილობებს ელექტრული ენერჯიის გენერაციის, გადაცემის, განაწილებისა და მოხმარებისათვის, ე.ი. ნებისმიერ მანქანა-მოწყობილობას, რომელიც გამოიმუშავებს ან მოიხმარს ელექტრულ ენერჯიას. ელექტრომოწყობილობების ერთობლიობა არის ქვეყნის ეკონომიკის უმნიშვნელოვანესი ტექნიკური ბაზა და მისი გამართული გრძელვადიანი და საიმედო ფუნქციონირება დიდწილად განსაზღვრავს ქვეყნის ეკონომიკის ეფექტურობას, საზოგადოებრივი ცხოვრების მაღალ სტანდარტს.

ელექტრომოწყობილობის მუშაობის საიმედოობისადმი განსაკუთრებული მოთხოვნები განპირობებულია იმ გარემოებით, რომ მათი მწყობრიდან გამოსვლა არღვევს ურთიერთდაკავშირებულ საწარმოო ციკლებს, სრულად ან ნაწილობრივ აჩერებს ტექნოლოგიურ პროცესებსა და მექანიზმებს. შედეგად, დიდია ეკონომიკისადმი მიყენებული ზარალი, განპირობებული არამართო მწყობრიდან გამოსული მოწყობილობების რემონტით ან მათი შეცვლით, ასევე წუნით და საწარმოო, სატრანსპორტო თუ სხვა პროცესის შეჩერებით. ამავე დროს ელექტრული ენერჯიის მიწოდების თუნდაც ხანმოკლე შეწყვეტა თანამედროვე საზოგადოებაში სრულიად მიუღებელია და აღიქმება როგორც ფორს-მაჟორული სიტუაცია.

### ძირითადი ნაწილი

სადღეისოდ, ელექტრულ მოწყობილობათა მუშაობის ავარიული რეჟიმებისაგან დაცვის ძირითადი საშუალებებია ფართოდ გავრცელებული მეტწილად მოძველებული მოწყობილობები: დნობადი მცველები, სხვადასხვა ტიპის ავტომატური ამომ-

რთველები, თბური რელეები და სხვა. დაცვის აღნიშნული საშუალებებით შეუძლებელია დეფექტების (ხარვეზის) აღმოჩენა მათი წარმოშობის ადრეულ სტადიაზე, ვერ უზრუნველყოფენ ელექტრული ენერჯიის სათანადო ხარისხის დაცვას და ფაქტიურად რეაგირებენ მხოლოდ მოწყობილობის მწყობრიდან გამოსვლის ფაქტზე.

ელექტრულ მოწყობილობებს, მიუხედავად მათი მრავალსახეობისა, აქვთ საერთო თავის დანიშნულებით კონსტრუქციული სისტემები და კვანძები: კორპუსი, დენგამტარი ნაწილები, ელექტრული იზოლაცია, გრაგნილები, მაგნიტოგამტარი, ელექტრული შეერთებები, კაბელები, სალტეები, გამტარები, დამიწება, სარელეო დაცვა, მართვისა და სიგნალიზაციის საშუალებები, სტატორი, როტორი, საკისრები, შეხეთვის, ვენტილაციისა და გაგრილების სისტემები, საკომუტაციო სისტემა და სხვა. კვანძებისა და სისტემების დანიშნულების მსგავსება განსაზღვრავს საერთო დეფექტების არსებობას, გამოვლენილს მოწყობილობის შემოწმებისა და გამოცდების შედეგად.

ელექტრულ მოწყობილობათა მტყუნაობის ძირითადი ნაწილი დაკავშირებულია ელექტრული იზოლაციის დაზიანებასთან მისი ელექტრული სიმტკიცის შესუსტებით. იზოლაციის დაზიანების ძირითადი მიზეზებია დაბერება, ექსპლუატაციის პირობების დარღვევა, დეფექტები, წარმოქმნილი დამზადების, ტრანსპორტირების, მონტაჟის ან რემონტის დროს, აგრეთვე მექანიკური დაზიანება, ელექტრულ მანქანებსა და აპარატებში ხვიათა შორის მოკლედ ჩართვა და სხვა. ელექტრულ მოწყობილობათა გამართული მუშაობისათვის საჭირო ტექნიკური საშუალებებით და შესაბამისი საზომი

ხელსაწყოებით აღჭურვილია მხოლოდ ის საწარმოები, სადაც არსებობს შესაბამისი ელექტროტექნიკური სამსახურები, მაგრამ ამ შემთხვევაშიც შეუძლებელია იზოლაციის მდგომარეობის ზუსტი შეფასება, მოწყობილობის მტყუნობის მიზეზების დადგენა და არსებული დეფექტების მოძიება.

ელექტრულ მოწყობილობათა გამართული ფუნქციონირების ინტერვალების საიმედო პროგნოზირება შესაძლებელია ძირითადი პარამეტრების გაზომვების პროცესების სისტემატური უწყვეტი მონიტორინგით, მიღებული შედეგების ანალიზით და მათზე დაფუძნებული დასკვნების გაკეთებით, რაც ლიტერატურაში იწოდება, როგორც ტექნიკური დიაგნოსტიკა. ის არის მეცნიერების შედარებით ახალი დარგი, წარმოშობილი ტექნიკის მოთხოვნილებების შესაბამისად, არის მეცნიერება ტექნიკური სისტემების მდგომარეობის შეცნობის შესახებ და მოიცავს პრობლემათა ფართო წრეს, დაკავშირებულს დიაგნოსტიკური ინფორმაციის მოპოვებასა და შეფასებასთან. ამავე დროს ტექნიკური დიაგნოსტიკა არის ელექტრული მოწყობილობის ტექნიკური ექსპლუატაციის მნიშვნელოვანი თეორიული ბაზა, რომელიც ხელს უწყობს მოწყობილობის გამოყენების ეფექტურობის ამაღლებას.

დიაგნოსტიკა ბერძნული სიტყვაა და რაიმეს (ტექნიკური საშუალება, ცოცხალი ორგანიზმი და სხვა) შეცნობას, განსაზღვრას ნიშნავს. შესაბამისად, ტექნიკური დიაგნოსტიკა შეისწავლის ტექნიკური სისტემის შესახებ დიაგნოსტიკური ინფორმაციის მოპოვების და შეფასების მეთოდებს, დიაგნოსტიკურ მოდელებს და გადაწყვეტილებების მიღების ალგორითმებს, მისი მიზანია ტექნიკური სისტემის საიმედოობის და რესურსის ამაღლება, პრაქტიკულად არის საიმედოობის თეორიის შემადგენელი ნაწილი.

მისი უმნიშვნელოვანესი მაჩვენებელია ტექნიკური სისტემის ფუნქციონირების მტყუნობის შეფასება. ტექნიკური დიაგნოსტიკა დეფექტების და გაუმართაობების ადრეული აღმოჩენით უზრუნველყოფს ტექნიკური სისტემის საიმედო და ეფექტურ ექსპლუატაციას.

დიაგნოსტიკის პროცესში, ჩვეულებრივ, ნამზადს, მოწყობილობას, ტექნიკურ სისტემას ესმება დიაგნოზი, ე.ი. განისაზღვრება ტექნიკური მდგომარეობა ხარვეზების (თუ არსებობს) სახეობისა და ადგილმდებარეობის მითითებით. დიაგნოსტიკა არის სადიაგნოსტიკო ობიექტის კვლევის პროცესი, რომლის შედეგია დადგინდეს:

- ობიექტი გამართულია;
  - ობიექტის გამართული მუშაობის დროის ინტერვალის პროგნოზი;
  - ობიექტი არა მუშა მდგომარეობაშია ანუ არის რაიმე სახის გაუმართაობა.
- ამგვარად, დიაგნოსტიკა მოიცავს თეორიულ საკითხებს და მისი ორგანიზაციის პროცესის მეთოდებს, აგრეთვე დიაგნოზის საშუალებათა შექმნის პრინციპებს. ტექნიკურ დიაგნოსტიკა განიხილავს სამი სახის ამოცანას:
- დიაგნოზის ამოცანა – დროის მოცემულ მომენტში ობიექტის ტექნიკური მდგომარეობის განსაზღვრა
  - პროგნოზის ამოცანა – როგორი იქნება დროის მომავალ ინტერვალში ობიექტის ტექნიკური მდგომარეობა
  - გენეზისის ამოცანა – ობიექტის მდგომარეობა, რომელიც მას ჰქონდა დროის რაღაც მომენტი-სათვის წარსულში. ეს ამოცანა წარმოიქმნება, რო-

დესაც საჭიროა ობიექტის ავარიის მიზეზის დადგენა, როდესაც ობიექტის ახლანდელი მდგომარეობა განსხვავებულია ავარიის მომენტში მისი მდგომარეობისაგან.

ტექნიკური დიაგნოსტიკის ძირითადი დანიშნულებაა ნამზადის საიმედოობისა და რესურსის ამალეობა დეფექტების წარმოშობის ადრეულ სტადიაზე აღმოჩენით და ტექნიკური მომსახურების პროცესის ოპტიმიზაციის გზით. რთული მოწყობილობების ტექნიკური დიაგნოსტიკა არის სისტემა, რომელიც უნდა შეიცავდეს ინფორმაციულ, ტექნიკურ და მათემატიკურ უზრუნველყოფას:

- ინფორმაციული უზრუნველყოფა მოიცავს დიაგნოსტიკური ინფორმაციის მოძიების, შენახვისა და სისტემატიზაციის საშუალებებს. ინფორმაციული უზრუნველყოფა შეიცავს ტექნიკური ცნობების შევსებად მასივს;

- ტექნიკური უზრუნველყოფა არის ინფორმაციის მოპოვებისა და დამუშავების მოწყობილობათა ერთობლიობას (კომპიუტერები, სადიაგნოსტიკო ხელსაწყოები, გამზომი გარდამსახები, სიგნალიზატორები და სხვა);

- მათემატიკური უზრუნველყოფა შეიცავს შეცნობის პროგრამებს და ალგორითმებს.

დიაგნოსტიკური ინფორმაცია მრავალმხრივია და შეიძლება შეიცავდეს ელექტრული მოწყობილობების შემთხვევაში ელექტრული იზოლაციის პარამეტრებს, შესაბამისი ელექტრული წრედის პარამეტრებს, მოწყობილობის მუშაობის რეჟიმის დამახასიათებელ სიდიდეებს, ვიბრაციის და აკუსტიკური რხევების პარამეტრებს, სპექტრალურ მახასიათებლებს და სხვა.

ასევე, ძალზედ მრავალფეროვანია დიაგნოსტიკის ტექნიკური უზრუნველყოფა რომელიც მოიცავს მხოლოდ ელექტრული მოწყობილობების დიაგნოსტიკის დროს უამრავ საზომ ხელსაწყოებსა და კომპლექსებს, გამზომ გარდამსახებს და მათი გამოყენების მეთოდებს და საშუალებებს. მათ შორის უნდა აღინიშნოს თანამედროვე კონტროლის მეთოდები: გრიგალური დენებით, მაგნიტური, აკუსტიკური, ოპტიკური, რადიოტალღური, უკონტაქტო თერმომეტრის და სხვა.

დიაგნოსტიკის მათემატიკური უზრუნველყოფა გულისხმობს სადიაგნოსტიკო ობიექტის მოდელის შექმნას და მისი ალგორითმის ჩამოყალიბებას შეცნობის ნიშნების სტატისტიკური მეთოდების გამოყენებით; საკონტროლო პარამეტრების რაოდენობის მინიმიზაციას; მტყუნაობის ადგილის მოძიების მეთოდის გამოყენებას, ხისტად და მოქნილად მიმდევრობითი, სანახევროდ დაყოფების პროგრამების გამოყენებას.

ელექტრული მოწყობილობები შემადგენლობით, ფუნქციური დანიშნულებით თუ სხვა რაიმე მახასიათებლით ძალზედ მრავალფეროვანია. მათგან პრაქტიკული თვალსაზრისით უფრო მეტი ყურადღება ეთმობა მზრუნავი ცვლადი დენის ელექტრული მანქანების-გენერატორების და ძრავების, ძალური და საზომი ტრანსფორმატორების, საჰაერო და საკაბელო ხაზების, საკომუტაციო გამანაწილებელი მოწყობილობების ტექნიკური დიაგნოსტიკის საკითხებს.

დღეისათვის ცნობილია ელექტრულ მოწყობილობათა დიაგნოსტიკის მრავალი მეთოდი. მათ შორისაა:



- მეთოდი, დამყარებული მოწყობილობის ელექტრული პარამეტრებისა და მუშაობის რეჟიმებისათვის დამახასიათებელი ელექტრული სიდიდეების (მაზვა, დენი, სიმძლავრეები), გაზომვასა და მიღებული შედეგების ანალიზზე;

- მეთოდი, დამყარებული ელმოწყობილობის ელექტრული იზოლაციის პარამეტრების გაზომვაზე, იზოლაციაში მიმდინარე ნაწილობრივი განმუხტვის პროცესების ანალიზზე [1,2,3] აგრეთვე, ტრანსფორმატორის ზეთის ქიმიური ანალიზის შედეგებზე, ვინაიდან ზეთიან გარემოში მოწყობილობის რაიმე დაზიანება შეიძლება იყოს ზეთის ქიმიური შედგენილობის ცვლილების მიზეზი. გაზური ჩანართების წარმოქმნა, ზეთის ქიმიური შემადგენლობისა და გაზების კონცენტრაციის ცვლილება ცალსახად არის ზეთიანი მოწყობილობის დეფექტის ინდიკატორი;

- მეთოდები, დამყარებული მბრუნავ ელექტრულ მანქანებში ელექტრო-მაგნიტური ძალების მოქმედებით გამოწვეულ მოვლენებზე, რომლის შედეგია მანქანის ვიბრაცია. ამ, მოწყობილობებისა და მისი ცალკეული ელემენტების ვიბრაციის პარამეტრების გაზომვა და ანალიზი არის ტექნიკური დიაგნოსტიკის ერთ-ერთი დარგის – ვიბროდიაგნოსტიკის ძირითადი საგანი [4,5].

- მეთოდები, დამყარებული მომუშავე მოწყობილობის მიერ წარმოქმნილი აკუსტიკური რხევების ანალიზზე;

- მეთოდები, დაფუძნებული მოწყობილობის ელექტრომაგნიტური და ტემპერატორული ველების ანალიზზე, ტექლოვიზორული კონტროლის გამოყენებაზე, რომლის დროსაც მიუხედავად სადიაგნოსტიკო ობიექტთან უშუალო შეხების შეუძლებლობისა, განისაზღვრება სადიაგნოსტიკო ობიექტის ტექნიკური მდგომარეობა ცალკეული კვანძების ტემპერატორული რეჟიმის გათვალისწინებით;

- მეთოდები, დამყარებული ლაზერული ტექნიკის, ულტრაბგერითი და გრიგალური დენებით საკვლები აპარატურის გამოყენებაზე და სხვა.

### დასკვნა

დასკვნის სახით შეიძლება აღინიშნოს, რომ სადღეისოდ ელმოწყობილობათა ტექნიკური დიაგნოსტიკისათვის ყველაზე ფართო გავრცელება პოვა ელექტრულ იზოლაციაში ნაწილობრივი განმუხტვის აქტიურობის შეფასების და ვიბროდიაგნოსტიკის მეთოდებმა, როგორც მეთოდურად და აპარატურული საშუალებებით ყველაზე აღჭურვილმა მეთოდებმა რაშიც დიდი წვლილი მიუძღვის მსოფლიოში წამყვან ფირმებს ea (electrical assets) technology, SCHENCK, ПВФ «ВИБРО-ЦЕНТР». ამ კომპანიების მიერ წარმოებული გამოზომი გარდასახვები, ვიბროსაზომი მობილური და სტაციონარული საზომი კომპლექსები, სარეგისტრაციო აპარატურა და ანალიზატორები ფართოდ გამოიყენება პრაქტიკაში.

### ლიტერატურა

1. Kuczynski G.C. Partial discharge in high voltage structures. M.: L.: “Energia”. 1979. (in Russian).
2. Vdoviko V.P. Partial discharges in diagnosing high-voltage equipment. Novosibirsk: “Nauka”. 2007. (in Russian).

3. Rusov V. A. Measurement of partial discharges in the insulation of high-voltage electrical equipment. Ekaterinburg: USURT. 2011, 367 pp. (in Russian).
  4. Rusov V.A. Diagnosis of defects in rotating equipment by vibration signals. Perm: “Vibrocebtter”. 2012, 200 pp. (in Russian).
  5. Barkov A.B., Barkova Y.A., Borisov A.A. Vibration diagnostics of electric machines of steady state operation. Sankt-Petersburg. 2006, 36 p. (in Russian).
  6. Nemsadze Sh. About the partial discharge method diagnostics of electrical equipment. Transactions of GTU. №2(504). Tbilisi. 2017, 87-94 pp. (in Georgian).
- 

UDC 621.311

SCOPUS CODE 2105

### About technical diagnostics of electrical equipment

**Shota Nemsadze**

Department of Electrical Engineering and Electronics, Georgian Technical University,  
75 M. Kostava str., 0160 Tbilisi, Georgia  
E-mail: sh-nemsadze@mail.ru

#### Reviewers:

**T. Kokhreidze**, Professor, Faculty of Power Engineering and Telecommunication, GTU

E-mail: Kthamaz@gmail.com

**D. Turdzeladze**, Associate Professor, Faculty of Power Engineering and Telecommunication, GTU

E-mail: Turdzeladze59@gmail.com

**Abstract.** It is noted that the supply of high-quality electric energy to consumers is a significant technical problem, the positive solution of which will ensure its technical and economic functioning at a high level. In this connection, technical diagnostics of electrical equipment allows to analyze and monitor their technical condition in order to predict the time duration of proper functioning in order to avoid occurrence of defects, their development and failure of electrical equipment. It is highlighted that the technical diagnostics includes diagnostics information, diagnostic models and algorithms for decision making, which aim to increase the reliability and resources of the technical system, practically constitutive part of reliability theory. Its most important indicator is the assessment of the functioning of the technical system. Technical diagnostics provides early detection of defects and by early detection of malfunctions ensures reliable and efficient operation of the technical system.

**Key words:** Defects; electric device; impurity spot; measuring converter; object; technical diagnostics; technical system; reliable functionality.

UDC 621.311  
SCOPUS CODE 2105

### При технической диагностике электрооборудования

**Шота Немсадзе**      Департамент электротехники и электроники, Грузинский технический университет, Грузия, 0160, Тбилиси, ул. М. Костава, 75  
E-mail: sh-nemsadze@mail.ru

#### Рецензенты:

**Т.Кохреидзе**, профессор, доктор технических наук факультета энергетики и телекоммуникации ГТУ  
E-mail: Kthamaz@gmail.com

**Д.Турдзеладзе**, ассоц.профессор факультета энергетики и телекоммуникации ГТУ  
E-mail: Turdzeladze59@gmail.com

**Аннотация.** Отмечается, что поставка высококачественной электрической энергии потребителям является серьезной технической проблемой, положительное решение которой обеспечит их техническое и экономическое функционирование на высоком уровне. В связи с этим техническая диагностика электрооборудования позволяет анализировать и контролировать их техническое состояние для прогноза интервала времени надежного функционирования, чтобы избежать возникновения дефектов их развития и выхода из строя электрооборудования. Подчеркнуто, что техническая диагностика включает в себя диагностическую информацию, диагностические модели и алгоритмы принятия решений, целью которых является повышение надежности и ресурса технической системы, практически составной части теории надежности. Его наиболее важным показателем является оценка функционирования технической системы. Техническая диагностика обеспечивает раннее обнаружение дефектов, а раннее выявление неисправностей обеспечивает надежную и эффективную работу технической системы.

**Ключевые слова:** дефекты; измерительный преобразователь; место отказа; надежное функционирование; объект; техническая диагностика; техническая система; электрическое устройство.

*განხილვის თარიღი 25.04.2019*

*შემოსვლის თარიღი 28.05.2019*

*ხელმოწერილია დასაბეჭდად 17.12.2019*

UDC 621.317.4

SCOPUS CODE 2105

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2019-4-108-117>

## სამფაზა სინუსოიდური ცვლადი დენის ქსელის დიაგნოსტიკის შესახებ

**შოთა ნემსაძე** ელექტროტექნიკისა და ელექტრონიკის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 75  
E-mail: sh-nemsadze@mail.ru

**მერაბ ცეცხლაძე** ელექტროტექნიკისა და ელექტრონიკის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 75  
E-mail: merabi.tsetskhladze@mail.ru

### რეცენზენტები:

**თ. კობხრიძე**, სტუ-ის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციების ფაკულტეტის პროფესორი  
E-mail: Kthamaz@gmail.com

**დ. ტურძელაძე**, სტუ-ის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციების ფაკულტეტის პროფესორი  
E-mail: Turdzeladze59@gmail.com

**ანოტაცია.** დადგენილია, რომ ქსელთან მძლავრი არაწრფივი დატვირთვების, მაგალითად, ელექტრორკალური ღუმლების მიერთებისას, ადგილი აქვს მაღალი რიგის ჰარმონიკების წარმოშობას, ქსელის ძაბვის დამახინჯებას და მოწოდებული ელექტრული ენერჯიის ხარისხის გაუარესებას. სამრეწველო დაწესებულებებში არაწრფივი მახასიათებლების მქონე ელექტრომიმღებების ხვედრითი წილის არსებითად გაზრდამ არასინუსოიდური რეჟიმების გაზომვის, ანალიზისა და მოდელირების აუცილებლობა განაპირობა. ელექტრომიმღებების სისტემაში უმაღლესი ჰარმონიკების არსებობა განაპირობებს დენგამტარ ნაწილებში დამატებით კარგვებს, ელექტრომიმღებების სისტემის ელემენტების მომსახურების ვადის შემცირებას, დენგამტარი ნა-

წილების გადახურებას. აღნიშნული ნეგატიური შედეგები განაპირობებს ცალკეული ელექტრომიმღებების და მთლიანად ელექტრომიმღებების სისტემის ენერგეტიკული ეფექტურობის შემცირებას. ნაშრომში ნაჩვენებია სამფაზა ძაბვების სიმეტრიული სისტემის ორფაზა ძაბვების სისტემად გარდაქმნა. ნაჩვენებია ქსელის სამფაზა ძაბვის სიმეტრიულობის დადგენაში პარკის ძაბვის ვექტორის ჰოდოგრაფის ანალიზის მნიშვნელობა, მისი აგების მეთოდიკა და ამისათვის პროგრამა LabVIEW-ში ფუნქციის შესაბამისი გრაფიკის XY Graph ბლოკის საშუალებით აგების ეფექტურობა.

**საკვანძო სიტყვები:** ასიმეტრიული სისტემა; ვექტორის ჰოდოგრაფი; მკვებავი ქსელი; პროგრამა; სამფაზა სიმეტრიული ძაბვების სისტემა; LabVIEW.

## შესავალი

ელექტრულ მოწყობილობათა საიმედო და ეფექტური მუშაობა მნიშვნელოვნად არის განპირობებული მკვებავი სამფაზა ცვლადი დენის ქსელის ტექნიკურ მდგომარეობაზე, თუ რამდენად შეესაბამება სამფაზა ძაბვების სისტემა არსებული სტანდარტის მოთხოვნებს სიმეტრიულობის თვალსაზრისით. ეს მოთხოვნები ზოგჯერ არ არის სრულად შესრულებული სხვადასხვა მიზეზის გამო. კერძოდ, ელექტრული ენერჯიის გენერაციისა და გადაცემის ტექნიკური პირობების თვალსაზრისით, ქსელში ჩართულია მძლავრი მნიშვნელოვნად არაწრფივი დატვირთვები, მაგალითად, ელექტრორკალური ღუმელები, რის გამოც ადგილი აქვს ქსელის ძაბვების ამპლიტუდურ-ფაზურ დამახინჯებებს. ამ შემთხვევაში მკვებავი ქსელი ფაქტიურად არის ასიმეტრიული სამფაზა ძაბვის წყარო, რაც მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს მომხმარებელთა ტექნიკურ-ეკონომიკურ მაჩვენებლებზე რაც იწვევს ყველა ნეგატიურ შედეგს.

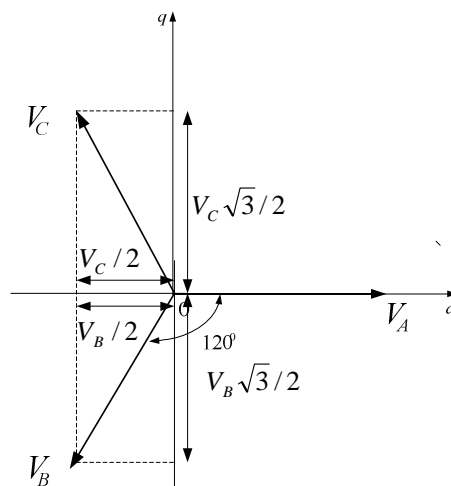
ელექტრული ენერჯიის მომხმარებელთა ხარისხიანი ელექტრული ენერჯიით უწყვეტ და საიმედო უზრუნველსაყოფად აუცილებელია მკვებავი ქსელის ტექნიკური დიაგნოსტიკა, რომელიც გულისხმობს პარამეტრების უწყვეტ გაზომვას და სეპროცესის პროგნოზირებას, ქსელის ტექნიკური მდგომარეობის შეფასებას.

ნებისმიერ ელექტრომოწყობილობაში არის ელექტროსაიზოლაციო გარემო, წარმოდგენილი ამა თუ იმ სახის დიელექტრიკით, რომლის ტექნიკური კონდიცია განსაზღვრავს მოწყობილობის საიმედო მუშაობას, მის დარჩენილ საექსპლუატაციო რესურსს. ექსპლუატაციის პროცესში იზოლაცია

ხანგრძლივად იმყოფება მუშა ძაბვის ქვეშ და განიცდის გადაძაბვების მრავალჯერად ზემოქმედებას, დატენიანებას, თერმულ და მექანიკურ ზემოქმედებას ვიბრაციის ან მექანიკური დარტყმების სახით. მნიშვნელოვნად გართულდა მათი ექსპლუატაცია და საჭირო შეიქმნა მოწყობილობათა ტესტირების, დიაგნოსტიკის ახალი მეთოდებისა და საშუალებების ანუ დიაგნოსტიკის თანამედროვე სისტემების შემუშავება.

## ძირითადი ნაწილი

დღეისათვის ცნობილია ელექტრული ქსელების დიაგნოსტიკის რამდენიმე მეთოდი. მათ შორისაა: მეთოდი, დამყარებული ქსელის ელექტრული პარამეტრებისა და მუშაობის რეჟიმებისათვის დამახასიათებელი ელექტრული სიდიდეების (ძაბვა, დენი, სიმძლავრეები), გაზომვასა და მიღებული შედეგების ანალიზზე; მეთოდი, დამყარებული ელექტრული იზოლაციის პარამეტრების გაზომვაზე და სხვა.



სურ. 1. სამფაზა ძაბვების ვექტორული დიაგრამა მართკუთხა q-0-d სისტემასთან ერთად

ყურადღებას იმსახურებს მეთოდი, რომელიც ემყარება პარკის ძაბვის ვექტორის ჰოდოგრაფის ანალიზის შედეგებზე. ამ მეთოდის გამოსაყენებლად საჭიროა სამფაზა ძაბვების სიმეტრიული სისტემა:

$$\begin{aligned} v_A &= V_m \sin \omega t, \\ v_B &= V_m \sin(\omega t - 120^\circ), \\ v_C &= V_m \sin(\omega t - 240^\circ) \end{aligned} \quad (1)$$

გარდავქმნათ ორფაზა ძაბვების  $v_d, v_q$  სისტემად, რისთვისაც სამფაზა ძაბვების

ამსახველი ვექტორები, ნაჩვენები 1-ელ სურათზე დავაგეგმილოთ მართკუთხა  $q - 0 - d$  კოორდინატა სისტემის ღერძებზე. შევუთავსოთ  $v_A$  ვექტორი კოორდინატა  $0 - d$  ღერძს. შედეგად პარკის ვექტორის გეგმილებისათვის გვექნება

$$\begin{aligned} v_d &= v_A - \frac{1}{2}v_B - \frac{1}{2}v_C, \\ v_q &= 0 - \frac{\sqrt{3}}{2}v_B + \frac{\sqrt{3}}{2}v_C. \end{aligned} \quad (2)$$

სამფაზა სინუსოიდური სიმეტრიული ძაბვების სისტემისათვის ეს გეგმილები იქნება

$$v_d = \frac{3}{2}V_m \sin \omega t, \quad v_q = \frac{3}{2}V_m \cos \omega t \quad (3)$$

და პარკის ძაბვის ვექტორის მოდულისათვის მივიღებთ:

$$V = \sqrt{v_d^2 + v_q^2}, \quad (4)$$

რომლის ჰოდოგრაფი არის წრეწირი ცენტრით კოორდინატა სისტემის სათავეში.

განვიხილოთ სამფაზა სინუსოიდური არასიმეტრიული ძაბვების სისტემა:

$$\begin{aligned} v_A &= V_m \sin \omega t, \\ v_B &= \frac{1}{2}V_m \sin(\omega t - 120^\circ), \\ v_C &= V_m \sin(\omega t - 240^\circ). \end{aligned} \quad (5)$$

როგორც ვხედავთ ამ შემთხვევაში სამფაზა სისტემის ასიმეტრიულობა გამოწვეულია იმის გამო, რომ B ფაზის ძაბვის ამპლიტუდა არის A და C ფაზების ძაბვათა ამპლიტუდის ნახევარი. შესაბამისად, პარკის ძაბვის ვექტორის გეგმილებისათვის გვექნება:

$$\begin{aligned} v_d &= V_m \left[ \sin \omega t - \frac{1}{4} \sin(\omega t - 120^\circ) - \frac{1}{2} \sin(\omega t - 240^\circ) \right], \\ v_q &= \frac{\sqrt{3}}{2} V_m \left[ \frac{1}{2} \sin(\omega t - 120^\circ) - \sin(\omega t - 240^\circ) \right]. \end{aligned} \quad (6)$$

თუ B და C ფაზათა ამპლიტუდებია შემცირებული ორჯერ ანუ გვაქვს არასიმეტრიული სამფაზა სისტემა:

$$\begin{aligned} v_A &= V_m \sin \omega t, \\ v_B &= \frac{1}{2} V_m \sin(\omega t - 120^\circ), \\ v_C &= \frac{1}{2} V_m \sin(\omega t - 240^\circ). \end{aligned} \quad (7)$$

პარკის ძაბვის ვექტორის გეგმილებისათვის გვექნება:

$$\begin{aligned} v_d &= V_m \left[ \sin \omega t - \frac{1}{4} \sin(\omega t - 120^\circ) - \frac{1}{4} \sin(\omega t - 240^\circ) \right], \\ v_q &= \frac{\sqrt{3}}{4} V_m \left[ \frac{1}{2} \sin(\omega t - 120^\circ) - \sin(\omega t - 240^\circ) \right]. \end{aligned} \quad (8)$$

სამფაზა ძაბვების სისტემაში ასიმეტრია შეიძლება გამოწვეული იყოს არათანაბარი ძვრის კუთხით ფაზებს შორის. მაგალითად, ასიმეტრიული სისტემისათვის გვექნება:

$$\begin{aligned} v_A &= V_m \sin \omega t, \\ v_B &= \frac{1}{2} V_m \sin(\omega t - 90^\circ), \\ v_C &= \frac{1}{2} V_m \sin(\omega t - 240^\circ). \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} v_d &= \frac{1}{2} V_m \left[ 2 \sin \omega t - \sin(\omega t - 90^\circ) - \frac{1}{2} \sin(\omega t - 240^\circ) \right], \\ v_q &= \frac{\sqrt{3}}{2} V_m \left[ \sin(\omega t - 90^\circ) - \sin(\omega t - 240^\circ) \right]. \end{aligned} \quad (10)$$

ასიმეტრიული სამფაზა ძაბვების სისტემისათვის ასიმეტრიული ამპლიტუდით და ფაზით

$$\begin{aligned} v_A &= V_m \sin \omega t, \\ v_B &= \frac{1}{2} V_m \sin(\omega t - 120^\circ), \\ v_C &= V_m \sin(\omega t - 210^\circ). \end{aligned} \quad (11)$$

პარკის ძაბვის ვექტორის კომპონენტები იქნება:

$$\begin{aligned} v_d &= V_m \left[ \sin \omega t - \frac{1}{4} \sin(\omega t - 120^\circ) - \frac{1}{2} \sin(\omega t - 210^\circ) \right], \\ v_q &= \frac{\sqrt{3}}{2} V_m \left[ \frac{1}{2} \sin(\omega t - 120^\circ) - \sin(\omega t - 210^\circ) \right]. \end{aligned} \quad (12)$$

ზოგჯერ მნიშვნელოვანია მაღალი რიგის ჰარმონიკების გავლენა ქსელის ნორმალურ ფუნქციონირებაზე. მაგალითად, სიმეტრიული არასინუსოიდური სამფაზა ძაბვების სისტემისათვის

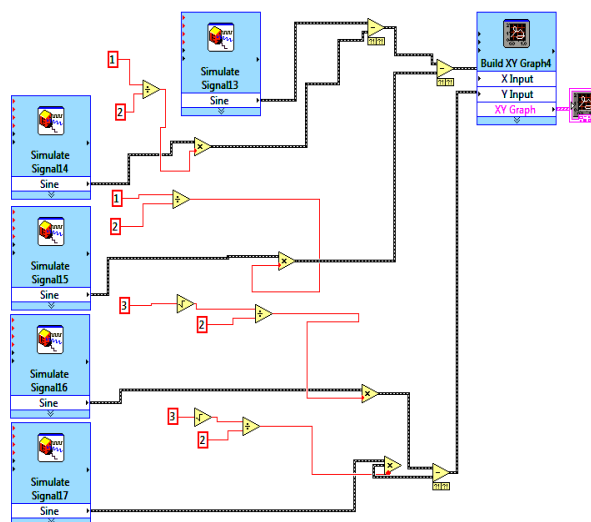
$$\begin{aligned} v_A &= V_m \sin \omega t + \frac{1}{2} V_m \sin 2\omega t + \frac{1}{3} \sin 3\omega t, \\ v_B &= V_m \sin(\omega t - 120^\circ) + \frac{1}{2} V_m \sin(2\omega t - 240^\circ) + \frac{1}{3} \sin 3\omega t, \\ v_C &= V_m \sin(\omega t - 240^\circ) + \frac{1}{2} V_m \sin(2\omega t - 120^\circ) + \frac{1}{3} \sin 3\omega t, \end{aligned} \quad (13)$$

პარკის ძაბვის ვექტორის კომპონენტები ერთი ფაზის გაწყვეტის შემთხვევაში იქნება

$$\begin{aligned} v_d &= V_m \left[ \begin{aligned} &\sin \omega t + \frac{1}{2} \sin 2\omega t + \frac{1}{3} \sin 3\omega t - \frac{1}{2} \sin(\omega t - 120^\circ) - \frac{1}{4} \sin(2\omega t - 240^\circ) - \frac{1}{6} \sin 3\omega t - \\ &-\frac{1}{2} \sin(\omega t - 240^\circ) - \frac{1}{4} \sin(2\omega t - 120^\circ) - \frac{1}{8} \sin 3\omega t, \end{aligned} \right] \\ v_q &= \frac{\sqrt{3}}{2} V_m \left[ \begin{aligned} &\sin(\omega t - 120^\circ) + \frac{1}{2} \sin(2\omega t - 240^\circ) + \frac{1}{3} \sin 3\omega t - \sin(\omega t - 240^\circ) - \frac{1}{2} \sin(2\omega t - 120^\circ) - \\ &-\frac{1}{3} \sin 3\omega t \end{aligned} \right] \end{aligned} \quad (14)$$

ცხადია, განხილული მაგალითები მხოლოდ კერძო შემთხვევებია და სამფაზა სისტემის სრულყოფილი ანალიზისათვის საჭიროა მათი განხილვა ფაზური ძაბვების ამპლიტუდის და ფაზის გარკვეულ დიაპაზონში ვარირება, რაც პრაქტიკულად შესაძლებელია კომპიუტერული მოდელირებით ზემოთ განხილული ფუნქციების LabVIEW-ში გრაფიკული პროგრამირებული მოდელირების საშუალებით. LabVIEW-ში გამოყენებულია გრაფიკული პროგრამირების ენა G, რომელიც გამოთვლების და

მათემატიკური მოდელირების ფართო შესაძლებლობებს იძლევა. გრაფიკული პროგრამირების ერთ-ერთი ღირსება არის ფუნქციის გრაფიკის ავტომატური და ინტერაქტიული რეჟიმის აგება, რომელშიც მონაცემთა დამუშავებისათვის და ანალიზისათვის გამოყენებულია ფუნქციური ბიბლიოთეკის ფართო ნაკრები. LabVIEW-ს გრაფიკული პროგრამირებაში ფუნქციის შესაბამისი გრაფიკის ასახვა ხორციელდება XY Graph ბლოკის მეშვეობით.

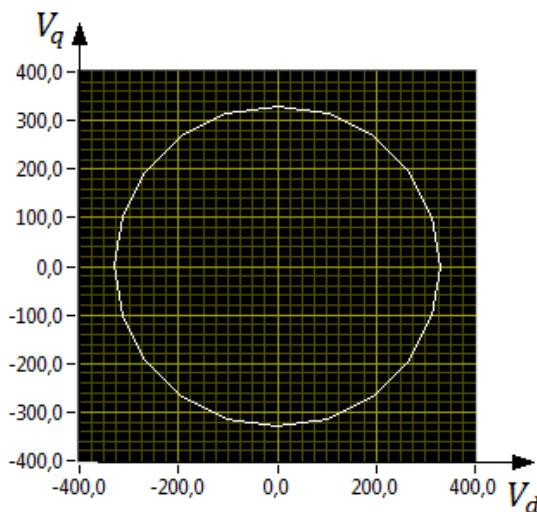


სურ. 2. გრაფიკის აგების გრაფიკული დაპროგრამების ბლოკ სქემა

ფუნქციის გრაფიკების აგება ხორციელდება შესაბამისი მათემატიკური ბლოკების გამოტანით და მათი ერთმანეთთან ლოგიკური დაკავშირების მეშვეობით ბლოკის პანელზე, რომლის ბლოკ-სქემა ნაჩვენებია მე-2 სურათზე.

მე-3 ა,ბ,გ,დ,ე,ვ სურ-ზე ნაჩვენებია (3), (6), (8), (10), (12), (14), ფონქციების შესაბამისი გრაფიკები

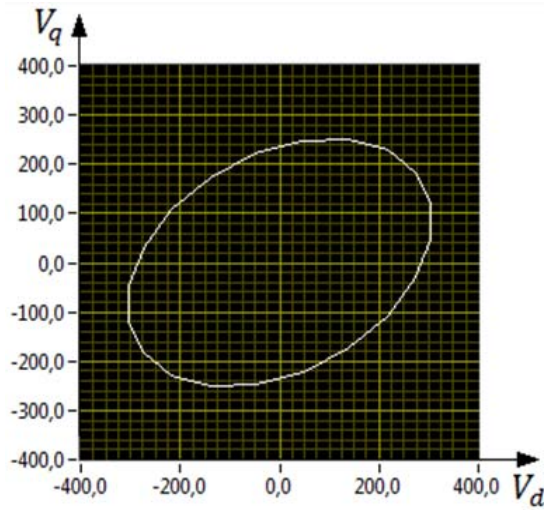
(წრეწირი, ელიფსები), აგებული განხილული მეთოდით, რომლებიც შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ძაბვების სისტემის ასიმეტრიულობის დადგენის მიზეზის (ამპლიტუდური,ფაზური,სიხშირული) დასადგენად ანუ სამფაზა წრედის დიაგნოსტიკების მიზნით.



$$V_d = \frac{3}{2} V_m \sin \omega t, V_q = \frac{3}{2} V_m \cos \omega t.$$

ა)

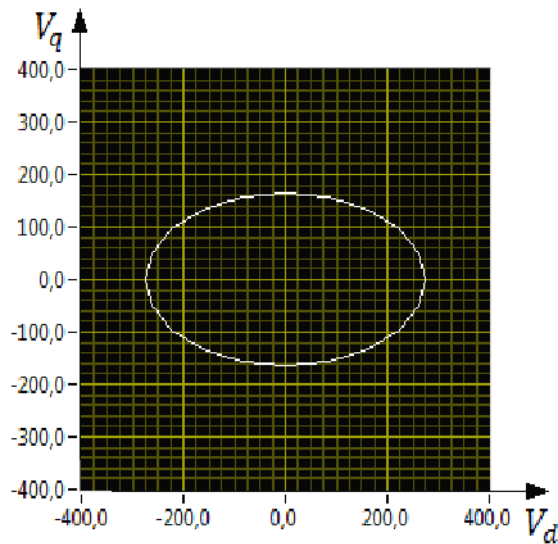




$$V_d = V_m \left[ \sin \omega t - \frac{1}{4} \sin(\omega t - 120^\circ) - \frac{1}{2} \sin(\omega t - 240^\circ) \right]$$

$$V_q = \frac{\sqrt{3}}{2} V_m \left[ \frac{1}{2} \sin(\omega t - 120^\circ) - \sin(\omega t - 240^\circ) \right]$$

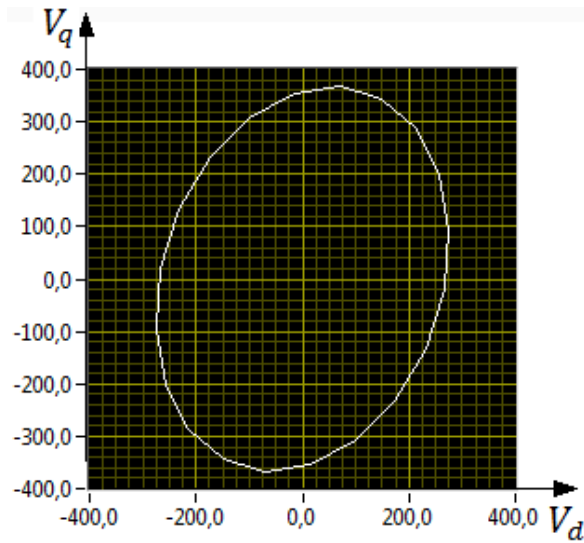
ბ)



$$V_d = V_m \left[ \sin(\omega t) - \frac{1}{4} \sin(\omega t - 120^\circ) - \frac{1}{4} \sin(\omega t - 240^\circ) \right]$$

$$V_q = \frac{\sqrt{3}}{4} V_m \left[ \sin(\omega t - 120^\circ) - \sin(\omega t - 240^\circ) \right]$$

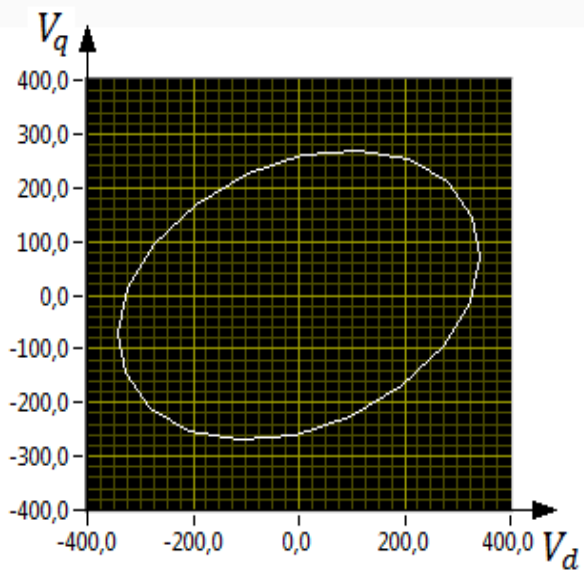
ბ)



$$V_d = \frac{V_m}{2} [2\sin(\omega t) - \sin(\omega t - 90^\circ) - \sin(\omega t - 240^\circ)]$$

$$V_q = \frac{\sqrt{3}}{2} V_m [\sin(\omega t - 90^\circ) - \sin(\omega t - 240^\circ)]$$

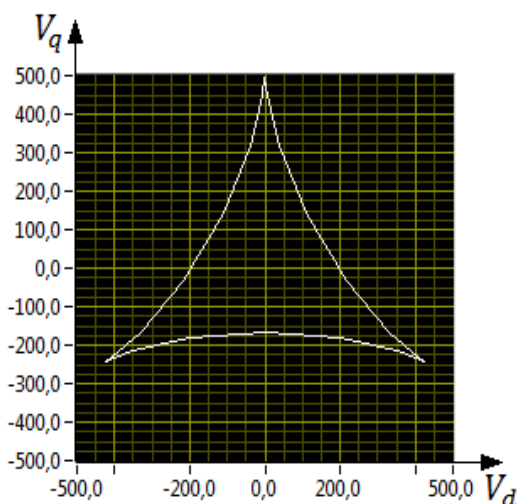
ფ)



$$V_d = V_m [\sin\omega t - \frac{1}{4}\sin(\omega t - 120^\circ) - \frac{1}{2}\sin(\omega t - 210^\circ)]$$

$$V_q = \frac{\sqrt{3}}{2} V_m [\sin(\omega t - 120^\circ) - \sin(\omega t - 210^\circ)]$$

ფ)



3)

$$v_d = V_m \left[ \begin{array}{l} \sin \omega t + \frac{1}{2} \sin 2\omega t + \frac{1}{3} \sin 3\omega t - \frac{1}{2} \sin(\omega t - 120^\circ) - \frac{1}{4} \sin(2\omega t - 240^\circ) - \frac{1}{6} \sin 3\omega t - \\ - \frac{1}{2} \sin(\omega t - 240^\circ) - \frac{1}{4} \sin(2\omega t - 120^\circ) - \frac{1}{8} \sin 3\omega t, \end{array} \right]$$

$$v_q = \frac{\sqrt{3}}{2} V_m \left[ \begin{array}{l} \sin(\omega t - 120^\circ) + \frac{1}{2} \sin(2\omega t - 240^\circ) + \frac{1}{3} \sin 3\omega t - \sin(\omega t - 240^\circ) - \frac{1}{2} \sin(2\omega t - 120^\circ) - \\ - \frac{1}{3} \sin 3\omega t \end{array} \right]$$

სურ. 3. პარკის ძაბვის ვექტორის კოდოგრაფები

### დასკვნა

დასკვნის სახით შეიძლება აღინიშნოს, რომ პროგრამა LabVIEW-ს გრაფიკის აგების გრაფიკული დაპროგრამების ბლოკ-სქემა შეიძლება ჩართულ იქნეს სამფაზა ქსელის მართვის სისტემა

SCADA-ში, რაც შესაძლებელს გახდის გადაწყვედეს ქსელის დიაგნოსტიკის უმნიშვნელოვანესი ამოცანის – ქსელის სიმეტრიულობის მონიტორინგის და დიაგნოსტიკის ამოცანა.

### ლიტერატურა

1. Basics of technical diagnostics. In 2 books. Object models, methods and algorithms for diagnosis. Ed.by P.P. Parkhomenko. M.: “Energia”. 1976, 464 p. (in Russian).
2. Butirin P.A., Vaskovskaya T.A., Karataeva V.V., Materikin S.V. Automation of physical research and experiment computer measurement and virtual instruments based on LabView. M.: DMK Press. 2005. (in Russian).

UDC 621.317.4  
SCOPUS CODE 2105

### About diagnostics of triphase sinousoidal AC network

**Shota Nemsadze** Department of Electrical Engineering and Electronics, Georgian Technical University,  
75 M. Kostava str., 0160 Tbilisi, Georgia  
E-mail: sh-nemsadze@mail.ru

**Merab Tsetskhladze** Department of Electrical Engineering and Electronics, Georgian Technical University,  
75 M. Kostava str., 0160 Tbilisi, Georgia  
E-mail: merabi.tsetskhladze@mail.ru

#### Reviewers:

**T. Kokhreidze**, Professor, Faculty of Power Engineering and Telecommunication, GTU  
E-mail: Kthamaz@gmail.com

**D. Turdzeladze**, Associate Professor, Faculty of Power Engineering and Telecommunication, GTU  
E-mail: Turdzeladze59@gmail.com

**Abstract.** It has been established that when the powerful nonlinear loads, such as electric arc furnaces are switched on in the power grid, there is a high order of harmonics, distortion of the network voltage and worsening of the quality of power supply. Increase of the share of electrical consumer with non-linear characteristics in industrial enterprises has led to the need for measuring, analyzing and modeling non-sinusoidal regimes. The existence of higher harmonics in the power supply system increases the additional losses in the current conductor parts, reduction of power supply system elements life and overheating. The negative consequences result the reduction of energy efficiency of separate electrical receivers and electrical power supply systems. The work reviews the transformation of triphase symmetric voltage system in two-phase voltage system. It was noted that the supply of high-quality electric energy to consumers is a serious technical problem, the positive solution of which will ensure their technical and economic functioning at a high level. The article considers the importance of the analysis of voltage vector hodograph of park in determining the symmetry of voltage of triphase network, its construction method as well as the efficiency of plotting appropriate function graph in LabVIEW software program using the XY Graph block in this regard.

**Key words:** Asymmetric system; LabVIEW software program; power network; triphase symmetric voltage system; vector hodograph.

UDC 621.317.4  
SCOPUS CODE 2105

### Про диагностике трехфазной синусоидальной сети переменного тока

**Шота Немсадзе**      Департамент электротехники и электроники, Грузинский технический университет,  
Грузия, 0160, Тбилиси, ул. М. Костава, 75  
E-mail: sh-nemsadze@mail.ru

**Мераб Цецхладзе**      Департамент электротехники и электроники, Грузинский технический университет,  
Грузия, 0160, Тбилиси, ул. М. Костава, 75  
E-mail: merabi.tsetskhladze@mail.ru

#### Рецензенты:

**Т. Кожреидзе**, порофессор, доктор технических наук факультета энергетики и телекоммуникации ГТУ  
E-mail: Kthamaz@gmail.com

**Д. Турдзеладзе**, асоц.профессор факультета энергетики и телекоммуникации ГТУ  
E-mail: Turdzeladze59@gmail.com

**Аннотация.** Установлено, что при подключении мощных нелинейных нагрузок, таких как электродуго-вых печей в электрической сети, наблюдается высокий порядок гармоник, искажения сетевого напряжения и ухудшение качества подаваемой электрической энергии. Увеличение доли электроприемников с нелинейными характеристиками на промышленных предприятиях привело к необходимости измерения, анализа и моделирования неинвазивных режимов. Наличие высших гармоник в системе электропитания увеличивает дополнительные потери в токопроводящих деталях, сокращает срок службы элементов системы электропитания, перегрев деталей. Негативные последствия обуславливают снижением энергоэффективности отдельных электроприемников и системы электроснабжения в целом. В работе показано преобразование трехфазной симметричной системы напряжения в двухфазную систему напряжения. Отмечено, что подача высококачественной электрической энергии потребителям является серьезной технической проблемой, положительное решение которой обеспечит их техническое и экономическое функционирование на высоком уровне. Показана значимость анализа годографа вектора напряжения Парка и методика его построения при установлении симметричности напряжения трехфазной сети. Показана также эффективность построения графика функции в программе LabVIEW с помощью блока XY Graph.

**Ключевые слова:** асимметричная система; годограф вектора; питающая сеть; программа; трехфазная симметричная система напряжений; LabVIEW.

*კანხილვის თარიღი 30.04.2019*

*შემოსვლის თარიღი 28.05.2019*

*ხელმოწერილია დასაბეჭდად 17.12.2019*

UDC 664.8

SCOPUS CODE 2201

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2019-4-118-123>

## ტენით გაჯერებული სამაცივრო კონტურის გამოშრობის ინოვაციური მეთოდი

- თამაზ მეგრელიძე** კვების ინდუსტრიის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 68°  
E-mail: tmegrelidze@yahoo.com
- თამაზ ისაკაძე** კვების ინდუსტრიის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 68°  
E-mail: tamazsakadze@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 შეგროვების და რეციკლირების ცენტრის“ დირექტორი, ტ.მ.დ.

E-mail: sulkhansuladze@gmail.com

**ანოტაცია.** სამაცივრო კონტური არის ჩაკეტილი სისტემა, სადაც დაუშვებელია არა თუ ტენის, არამედ ჰაერის მოხვედრა კი. ამიტომ სამაცივრო მანქანა-დანადგარების მონტაჟის დროს უდიდესი მნიშვნელობა ენიჭება სისტემაში აუცილებელი სიდიდის ვაკუუმის შექმნას, მაგრამ როდესაც სამაცივრო კონტურში სხვადასხვა გზით მოხვდება წყალი (ჩილერის საორთქლებლის დაზიანებით, კონდიციონერის გარე ბლოკის დატოვებით გარეთ შიგა ბლოკთან მაგისტრალების შეერთების გარეშე, საყოფაცხოვრებო მაცივრის საყინულის მექანიკური დაზიანებით და სხვა) იქიდან მისი გამოძევება

საკმაოდ დიდ სირთულეებთანაა დაკავშირებული. ამდაგვარ გაუმართავობის აღმოფხვრაზე ბევრი მაცივარტექნიკოსი იკავებს თავს და ასეთ შემთხვევებში ისინი მთლიანად ცვლიან სამაცივრო აგრეგატს ანდა დაბალი წნევის ხაზს. ყოველივე ეს კი მნიშვნელოვნად ზრდის შეკეთების ხარჯებს. ამრიგად დიდი ხნის განმავლობაში გადაუწყვეტელი რჩებოდა ტენით გაჯერებული სამაცივრო სისტემების მუშა მდგომარეობაში მოყვანა. ასეთი გაუმართავობის აღმოფხვრის უნივერსალური მეთოდი სამაცივრო კონტურის გამოშრობა. ასეთი ოპერაციებს აუცილებლად უნდა ატარებდეს კვალიფიციური პერსონალი.

**საკვანძო სიტყვები:** ვაკუუმ-ტუმბო; კომპრესორი; კონდენსატორი; სანთურა; საორთქლებელი.

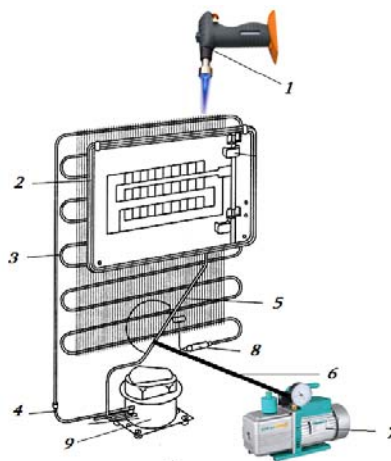
### შესავალი

სამაცივრო სისტემაში ტენთან ბრძოლის საშუალებად წარსულში ფართოდ იყო გამოყენებული სისტემაში გარკვეული დოზით მეთილის სპირტის შეყვანა. ასეთ შემთხვევაში კონტურში არსებული ტენი ადვილად იხსნებოდა სპირტში, რომელსაც აქვს წყალთან შედარებით დაბალი დუდილის ტემპერატურა. ტენის და მეთილის სპირტის ნარევი კაპილარულ მილში გავლისას ვეღარ წარმოქმნიდა ყინულის საცობებს და მაშასადამე ადგილი არ ექნებოდა სამაცივრო სისტემის გაჭედვას. ასეთი მეთოდის გამოყენება დასაშვებია მხოლოდ იმ შემთხვევაში, როდესაც მაცივარში საორთქლებელი დამზადებულია უჟანგავი ფოლადისაგან, მაგრამ თანამედროვე მაცივრებში ასეთი მეთოდის გამოყენება კატეგორიულად დაუშვებელია, რადგანაც ყველა თანამედროვე მაცივრებში გვხვდება ალუმინის საორთქლებლები. მეთილის სპირტის ალუმინის ზედაპირზე შეხება კი დროთა განმავლობაში იწვევს მათ საცერივით დაცხრილვას, რაც შეკეთებას ვეღარ დაექვემდებარება.

### ძირითადი ნაწილი

ტენით გაჯერებული სამაცივრო კონტურის გამომშრობის პრინციპული სქემა ნაჩვენებია 1-ელ სურ-ზე. სამაცივრო კონტურის ტენისგან გამოსაშრობი მექანიზმი მდგომარეობს ამავე კონტურში არსებული ტენის აორთქლებასა და ორთქლად ქცე-

ული ტენის ვაკუუმაციის გზით კონტურიდან გამომდევებაში. სამაცივრო კონტურში მოხვედრილი სითხის ასაორთქლებლად რეკომენდებულია პროპანზე მომუშავე სანთურის გამოყენება. ასეთი სანთურის ცეცხლის ალის ტემპერატურა  $700 \div 800^{\circ}\text{C}$ -ია. რაც შეეხება ჟანგბად-პროპანზე მომუშავე სანთურებს, მოცემულ შემთხვევაში მათი გამოყენება დაუშვებელია, რადგანაც ასეთი ტიპის სანთურები ქმნის  $1000^{\circ}\text{C}$ -ზე მაღალ ტემპერატურებს და მათი კონტურზე დატარებით შეიძლება დაზიანდეს სანთურის ცეცხლთან შეხებაში მყოფი მილების ზედაპირი.

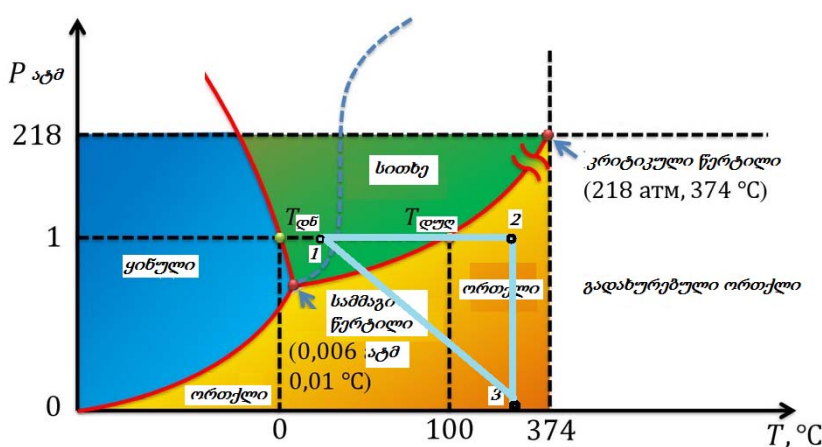


სურ.1. სამაცივრო აგრეგატის კონტურის ინოვაციური გამოსაშრობის პრინციპული სქემა. სანთურა-1, საორთქლებელი-2, კონდენსატორი-3, დაჭირხვნის ხაზი-4, შეწოვის ხაზი-5, შეწოვის შლანგი-6, ვაკუუმ-ტუმბო-7, ფილტრ-გამომშრობი-8, კომპრესორი-9

გამომშრობის პროცედურის ჩასატარებლად აუცილებელია:

1. მაცივრის კარადიდან გამონთავისუფლდეს სამაცივრო აგრეგატი,
2. სამაცივრო კონტურის შეწოვის ხაზზე დამონტაჟდეს შრედერის სარქველი შეწოვის პორტის სახით,

3. შეწოვის პორტი ფიტინგის და ონკანის შლანგით დაუკავშირდეს ორსაფეხურიან ვაკუუმ-ტუმბოს,
4. ჩაირთოს ვაკუუმ-ტუმბო და დაიწყოს ვაკუუმაციის პროცესი,
5. აენტოს სანთურა საშუალო სიმძლავრის ცეცხლზე და დავიწყით ცეცხლის დატარება კონდენსატორის მილების ზედაპირებზე
6. ვაკუუმაციის პროცესი და კონდენსატორის მილებზე სანთურის ცეცხლის დატარება დავასრულოთ სისტემაში 1 ტორიჩელის სიდიდის ნარჩენი ვაკუუმის მიღწევისთანავე. წყლის ფაზური გადასვლის დიაგრამაზე გამოშრობის პროცესი ნაჩვენებია მე-2 სურ-ზე



სურ. 2. გამოშრობის პროცესი წყლის ფაზური გადასვლის დიაგრამაზე

საწყის მდგომარეობას როდესაც სისტემაში იმყოფება სითხე წყლის სახით შეესაბამება წერტილი 1. სანთურის ალის კონდენსატორის მილებზე დატარების შედეგად სითხის ტემპერატურა მატულობს და გადააჭარბებს მის დუდილის ტემპერატურას. ამ მდგომარეობას შეესაბამება წერტილი 2, პროცესს კი გამოსახავს წირი 1-2. თუ ამ პროცესის შემდეგ დავიწყებთ ვაკუუმაციის პროცესს ვაკუუმ-ტუმბოს მეშვეობით სისტემაში წნევა დაეცემა 1 ტორიჩელამდის და ამ მდგომარეობას შეესაბამება წერტილი 3. ამ პროცესს გამოსახავს წირი 2-3. თუ ჩვენ კონტურის გახურების და ვაკუუმაციის პროცესს ვაწარმოებთ ერთდროულად მაშინ პროცესი

გამოისახება 1-3 წირით. ამრიგად სამაცივრო კონტურში არსებული წყალი გარდაიქმნება გადახურებულ ორთქლად და ეს ორთქლი გამოიდევენება ვაკუუმ-ტუმბოს მეშვეობით.

### დასკვნა

ტენით გაჯერებული სამაცივრო კონტურის გამოშრობის ინოვაციური მეთოდი ფართოდ შეიძლება დაინერგოს სამაცივრო ტექნიკის მომსახურე სპეციალისტებისათვის. ამ მეთოდის გამოყენებით შესაძლებელი გახდება მრავალი სამაცივრო აგრეგატის გადარჩენა, რასაც შეუძლია მოგვცეს ფულადი სახსრების დიდი ეკონომია.



ეს უფრო მასშტაბური სახით აისახება დიდ სამაცივრო დანადგარებში და ჩილერებში. ამრიგად ყოველივე ზემოთქმულიდან გამომდინარე სამაცივრო კონტურის ტენისგან გამომდინარე ადნომული ინოვაციური მეთოდის გამო-

ყენება დიდ დახმარებას გაუწევს სამაცივრო და კონდიციონერების ტექნიკის მომსახერე სპეციალისტებს თავიანთ საქმიანობაში და აამაღლებს მათი მუშაობის ხარისხს.

### 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. Meyer. Training manual refrigeration-AC, ICCT. 2004.
4. System trouble shooting measuring instruments. Danfoss A/S (RC-SM/MWA), 09-2002. (in Russian).
5. Refrigerant Properties Honeywel. Honeywell International Inc., USA, 2006.
6. Bernshtein A.S. Thermoelectric generators. State energy publishing. Moscow/Leningrand. 1956. (in Russian).
7. Okhotin A.S., Efremov A.A., Okhotin B.C., Pushkarsky A.S. Thermoelectric Generators. Ed. by A.P. Regel M. : "Atomizdat". 1971. (in Russian).
8. Thermoelectric Materials and Converters. Ed. by A.I.Karchevsky. M.: "Mir". 1964, 11-23 pp. (in Russian).
9. Samoylovich A.G. Thermoelectric and thermomagnetic methods for energy conversion. M.: Izdatelstvo LKI. 2007. (in Russian).
10. Jordanishvili E.K. Thermoelectric power supplies. M.: "Sovetskoye radio". 1968. (in Russian).

UDC 664.8

SCOPUS CODE 2201

## Innovative drying method for moisture-saturated refrigeration circuit

**Tamaz Megrelidze** Department of Food Industry, Georgian Technical University, 68 a M. Kostava str, 0160 Tbilisi, Georgia  
E-mail: tmegrelidze@yahoo.com

**Tamaz Isakadze** Department of Food Industry, Georgian Technical University, 68 a M. Kostava str, 0160 Tbilisi, Georgia  
E-mail: tamazsakadze@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 Georgian Refrigerant Recovery and Recycling Center  
E-mail: sulkhansuladze@gmail.com

**Abstract.** The refrigerator circuit is a locked system not allowing any moisture or air. Consequently, when installing refrigeration equipment, great importance is given to the system of creating the necessary vacuum, but when water flows occur in the refrigerator circuit in various ways (evaporator chiller damage, when the external unit of the air conditioner is left without connection to the internal unit; mechanical damage of the evaporator of the domestic refrigerator, etc.), it is quite difficult to expel it from there.

Many refrigerators refuse to fix such faults and in such cases they completely change the refrigeration unit or low pressure line. All this increases the cost of repair. For this reason, this problem has not been solved for a long time. A universal method to eliminate such faults is to dry the cooling circuit. Such operations must be performed by qualified personnel.

**Key words:** Burner; compressor; condenser; evaporator; vacuum pump.

UDC 664.8

SCOPUS CODE 2201

## Инновационный метод осушения влагой насыщенного холодильного контура

- Тамаз Мегрелидзе**      Департамент пищевой индустрии, Грузинский технический университет, Грузия, 0160, Тбилиси, ул. М. Костава, 68<sup>ა</sup>  
E-mail: tmegrelidze@yahoo.com
- Тамаз Исакадзе**      Департамент пищевой индустрии, Грузинский технический университет, Грузия, 0160, Тбилиси, ул. М. Костава, 68<sup>ა</sup>  
E-mail: tamazsakadze@gmail.com
- Гиви Гугулашвили**      Департамент пищевой индустрии, Грузинский технический университет, Грузия, 0160, Тбилиси, ул. М. Костава, 68<sup>ა</sup>  
E-mail: Givi.Gugulashvili@gmail.com

### Рецензенты:

**З. Джапаридзе**, профессор факультета транспорта и машиностроения

E-mail: zurabjaparidze@yahoo.com

**С. Суладзе**, Директор Центра сбора и рециклирования холодильников ГТУ

E-mail: sulkhansuladze@gmail.com

**Аннотация.** Контур холодильника представляет собой запертую систему, в которую не допускается не только пападания влаги, но даже и воздуха, следовательно, при монтаже холодильного оборудования большое значение уделяется в системе созданию необходимого вакуума, но когда в контуре холодильника по разному пути попадает вода (повреждение чиллера испарителя, когда внешний блок кондиционера оставляют без соединения с внутренним блоком, механические повреждения испарителя бытового холодильника и т. д.) его изгнание оттуда довольно сложно.

Многие холодильники отказываются устранить такие неисправности, и в таких случаях они полностью меняют холодильный агрегат или линию низкого давления. Все это увеличивает стоимость ремонта. По этой причине долгое время не решалась эта проблема. Универсальным методом устранения таких неисправностей является сушка контура охлаждения. Такие операции должны выполняться квалифицированным персоналом.

**Ключевые слова:** вакуумный насос; горелка; испаритель; компрессор; конденсатор.

*განხილვის თარიღი 17.05.2019*

*შემოსვლის თარიღი 21.05.2019*

*ხელმოწერილია დასაბეჭდად 17.12.2019*

UDC 664.8

SCOPUS CODE 2201

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2019-4-124-131>

## ახალი მოწყობილობა ჰაერიდან ტენის სრული მოცილებისათვის

- თამაზ მეგრელიძე** კვების ინდუსტრიის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 68°  
E-mail: tmegrelidze@yahoo.com
- თამაზ ისაკაძე** კვების ინდუსტრიის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 68°  
E-mail: tamazsakadze@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 შეგროვების და რეციკლირების ცენტრის“ დირექტორი, ტ.მ.დ.

E-mail: sulkhansuladze@gmail.com

**ანოტაცია.** მეურნეობის მრავალი დარგი საჭიროებს არა ჩვეულებრივ ტენიან, არამედ გამშრალ, ტენგამოცლილ ჰაერს. ასეთ დარგებს მიეკუთვნება, მაგალითად, ელექტროსადგურების გენერატორები, მიწისქვეშა სარდაფები და სხვენები, საწყობები (განსაკუთრებით, ფარმაცევტული), არქივები, მუზეუმები, ბიბლიოთეკები, სასოფლო-სამეურნეო, ხის დამუშავებისა და კვების საწარმოები, სადაც მაღალი ტენიანობა განაპირობებს პროდუქციის ხარისხის გაუარესებას. ასეთ შემთხვევებში აუცილებელი ხდება ატმოსფერული ჰაერისაგან ტენის მოცილება, ანუ მისი გაშრობა. განხილულია ჰაერის გაშრობის მეთოდები ნაჩვენებია, რომ დღეისათვის

ჰაერის შრობის სამი ძირითადი მეთოდი არსებობს: ჰაერის გაცხელება, ადსორბცია და ჰაერში არსებული ტენის კონდენსაცია. დასაბუთებულია, რომ შრობის არსებულ მეთოდებს შორის ყველაზე ეფექტური და მოხერხებულია ჰაერის გაშრობა მასში არსებული ტენის კონდენსაციის მეთოდით. წარმოდგენილია კონდენსაციის გზით ჰაერიდან ტენის სრული მოცილების ახალი მოწყობილობა, რომელიც გამოირჩევა მაღალი ეფექტურობით, დიდი მწარმოებლობით და კონსტრუქციის სიმარტივით.

**საკვანძო სიტყვები:** გამაცივებელი სითხე; კონდენსაცია; სპირალი; ჩამოღობა; ჰაერის გაშრობა.

## შესავალი

ატმოსფერული ჰაერის ტენიანობა ცოცხალი ორგანიზმებისათვის და, მათ შორის ადამიანისათვის, სასარგებლოა და სასიცოცხლოდ აუცილებელი პირობა. მაგრამ არსებობს მრავალი ისეთი ტექნიკური მოწყობილობა და ტექნოლოგიური პროცესი, სადაც საჭიროა მაქსიმალურად ტენმოცილებული ჰაერის გამოყენება. ასეთ მოწყობილობებს მიეკუთვნება, მაგალითად, ელექტროსადგურების გენერატორები, სადაც მაღალი ტენიანობა იწვევს ხვიების იზოლაციის დაზიანებას და ექსპლუატაციის ხანგრძლივობის მკვეთრად შემცირებას; მიწისქვეშა სარდაფები და სხვენები, სადაც მაღალი ტენიანობა ხელს უწყობს სოკოს გავრცელებას; საწყობები (განსაკუთრებით, ფარმაცევტული), არქივები, მუზეუმები, ბიბლიოთეკები, სადაც ტენიანობა აზიანებს შენახულ ნივთებს; სასოფლო-სამეურნეო, ხის დამუშავებისა და კვების საწარმოები, სადაც მაღალი ტენიანობა განაპირობებს პროდუქციის ხარისხის გაუარესებას და საერთოდ გაფუჭებას. ასეთ შემთხვევებში მიმართავენ ატმოსფერული ჰაერისაგან ტენის მოცილებას ანუ მის გაშრობას.

ატმოსფერული ჰაერის ტენიანობის შემცირების სამი ძირითადი მეთოდი არსებობს: ჰაერის გაცხელება (გადამეტხურება), ადსორბცია და ტენის კონდენსაცია.

ჰაერის გაცხელება ძალზე ფართოდ გამოიყენება შრობის ტექნიკაში. მეთოდის არსი იმაში მდგომარეობს, რომ ჰაერის გაცხელებისას იზრდება მისი ტემპერატურა და მოცულობა და უცვლელი ტენშემცველობის პირობებში ჰაერს აღმოაჩნდება ახალი პარამეტრები, როდესაც მისი ფარდობითი ტენიანობა შემცირებულია. ასეთ ჰაერს აქვს ტენის

დამატებით შთანთქმის უნარი და, როგორც აღვნიშნეთ, ფართოდ გამოიყენება სხვადასხვა პროდუქტის შრობისათვის. მეთოდის უარყოფითი მხარეა ის, რომ ფაქტობრივად, ამ შემთხვევაში ჰაერიდან საერთოდ არ ხდება მასში არსებული ტენის ართმევა. შრობისათვის ერთჯერადად გამოყენების შემდეგ ჰაერის ტენშემცველობა იმდენად იზრდება (გამოყენებამდე არსებულ ტენს ემატება პროდუქტიდან ახლად ართმეული ტენი), რომ საჭირო ხდება მისი ატმოსფეროში გამოდევნა.

ადსორბციის გზით ჰაერისაგან ტენის ართმევა საკმაოდ ეფექტური და მარტივი მეთოდია. ტექნიკაში არსებობს მრავალი ადსორბენტი, რომელიც ეფექტურად შთანთქავს ჰაერიდან ტენს, ხოლო გაცხელების შემთხვევაში შეუძლია ამ ტენის დესორბცია. აღნიშნული მეთოდი ფართოდ გამოიყენება ტექნიკის მრავალ დარგში, მაგრამ რიგ შემთხვევებში მისი გამოყენება მოუხერხებელია. მაგალითად, კვების პროდუქტების საშრობ მოწყობილობებში ჰაერის ხარჯი ძალზე დიდია (შეადგენს 20000–70000 მ<sup>3</sup>/სთ). ასეთი დიდი მოცულობის ჰაერის დამუშავება ადსორბენტებით არაეკონომიურია, რადგან შესაბამისი მოწყობილობა გამოდის ძალზე დიდი გაბარიტების, ლითონ- და ენერგოტევადობის.

ჰაერიდან ტენის ართმევის მესამე გზა არის ტენის კონდენსაცია გაცივების ხარჯზე. მეთოდის არსი მდგომარეობს მაცივარი მანქანის საორთქლებლის ცივ ზედაპირთან შეხებისას წყლის ორთქლის კონდენსაციაში, რის შედეგადაც თხევადი კონდენსატი ცალკე გამოიყოფა, ხოლო ტენმოცილებული ჰაერი მიეწოდება ტექნოლოგიური დაწინშულებით. ამასთან, საორთქლებლის ტემპერა-

ტურასა და ჰაერთან კონტაქტის ხანგრძლივობაზე დამოკიდებული ჰაერის გამრობის ხარისხი: თუ საორთქლებლის ტემპერატურა მაღალია ნამის წერტილის ტემპერატურაზე, მაშინ ტენი გამოიყოფა სითხის სახით, ხოლო ამ ტემპერატურაზე დაბალი ტემპერატურის მქონე საორთქლებლის შემთხვევაში აღნიშნული ტენი თოვლის ქურქის სახით რჩება საორთქლებლის ზედაპირზე და მოითხოვს პერიოდულ ჩამოღობას. საორთქლებლის ტემპერატურაზე დამოკიდებული აგრეთვე ჰაერში დარჩენილი ტენის რაოდენობაც: შეიძლება ჰაერიდან მოცილებული იყოს ტენის სასურველი ნაწილი, ხოლო ნამის წერტილზე დაბალი ტემპერატურის მქონე საორთქლებელთან საჭირო ხანგრძლივობის კონტაქტის შემთხვევაში შესაძლებელია ჰაერში არსებული ტენის სრული მოცილება ანუ ჰაერის მთლიანად გამრობა.

### ძირითადი ნაწილი

კონდენსაციის მეთოდით ჰაერის გამრობის მოწყობილობების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ისინი დაბალი ეფექტურობით ხასიათდება და გამრობის შედეგის მიღწევის დიდი ხანგრძლივობით. არსებულ მოწყობილობებში ძირითადად ხდება ვენტილატორის დახმარებით ჰაერის მიწოდება მაცივარი მანქანის საორთქლებელზე. რადგან ერთჯერადი კონტაქტი საორთქლებელსა და ჰაერს შორის დაბალეფექტურია, ამიტომ პროცესი მიმდინარეობს დახურულ კამერაში, რომელიც იძლევა ვენტილატორის დახმარებით საორთქლებელთან ჰაერის მრავალჯერადი კონტაქტის განხორციელების შესაძლებლობას. ჰაერიდან გამოყოფილი წყლის ორთქლი საორთქ-

ლებელზე წარმოქმნის თოვლის ქურქს, რომლის მოსაცილებლად პერიოდულად ხდება მოწყობილობის გადართვა თოვლის ქურქის ჩამოღობაზე. ყოველივე ეს განაპირობებს ჰაერიდან ტენის მოცილების დაბალ ეფექტურობას.

ატმოსფერული ჰაერის გამრობის ეფექტურობის ამაღლების მიზნით დამუშავებულია ჰაერის გამრობის ახალი მოწყობილობა, რომლის პრინციპული სქემა წარმოდგენილია სურათზე.

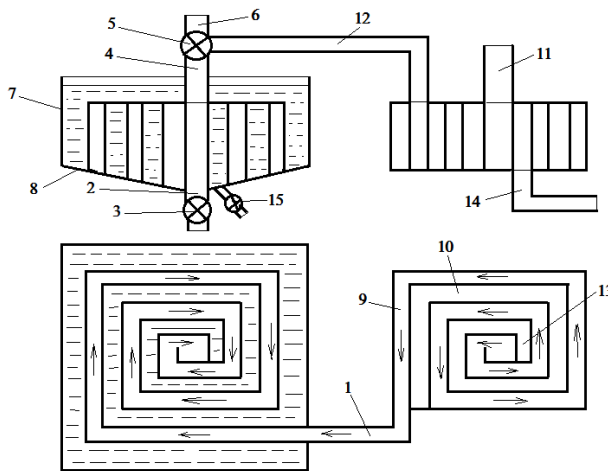
ჰაერის გამრობი მოწყობილობა შედგება ორი ნაწილისაგან: 1) გაცივების გზით ტენის გამოყინვისა და 2) ტენგამოცილილი ჰაერის წინასწარი შეთბობის სექციებისაგან.

გაცივების გზით ტენის გამოყინვის სექცია არის მართკუთხედის ფორმის განივკვეთის მქონე ჰაერსატარი 1, რომელიც სწორკუთხა სპირალის სახითაა დახვეული. სპირალის ცენტრალური ნაწილიდან ვერტიკალურად ზევით და ქვევით გამოყვანილია ორი მილი. ქვედა მილი 2 აღჭურვილია ელექტრომაგნიტური სარქველით 3, ზედა მილი 4 კი სამსვლიანი ვენტილით 5 არის აღჭურვილი, რომლის ერთი გასასვლელი დაკავშირებულია ატმოსფეროში გამავალ მილსადენთან 6. სპირალურად დახვეული ჰაერსატარის 1 ქვედა ნაწილი (ძირი) დახრილია ამ სპირალის ცენტრისაკენ და ეყრდნობა აბაზანის 7 ფსკერს 8. აღნიშნული აბაზანა 7 მთლიანად გარედან მოიცავს სწორკუთხა სპირალს და სიმძლით აღემატება მას.

ტენგამოცილილი ჰაერის წინასწარი შეთბობის სექცია არის ტენის გამოყინვის სექციის ანალოგიური და იმავე ზომების მქონე სწორკუთხა სპირალი იმ განსხვავებით, რომ ამ შემთხვევაში

სპირალი ორმაგია ანუ შედგება ერთმანეთში ჩადგმული ორი სპირალისაგან 9 და 10. აღნიშნული სპირალებიდან ერთ-ერთი, კერძოდ 9, ჰერმეტიკულად შეერთებულია პირველი სექციის ჰაერსატართან 1. ამ სექციის ცენტრალური ნაწილი აღჭურვილია ვერტიკალური მილით 11, საიდანაც სპირალში ხდება ატმოსფერული ჰაერის შეწოვა. ჰაერის წინასწარი შეთბობის სექციის მეორე სპირალის 10 პერიფერიული ნაწილი ჰერმეტიკულად შეერთებულია სამსვლიანი ვენტილიდან 5 გამომავალ მეორე მილთან 12. აღნიშნული მეორე სპირალის 10 ცენტრალური ნაწილი 13 აღჭურვილია მილით 14, რომლითაც ეს სპირალი დაკავშირებულია თბილი გამშრალი ჰაერის შემგროვ რესივერთან (სურათზე პირობით ნაჩვენებია არაა).

რე სპირალის 10 პერიფერიული ნაწილი ჰერმეტიკულად შეერთებულია სამსვლიანი ვენტილიდან 5 გამომავალ მეორე მილთან 12. აღნიშნული მეორე სპირალის 10 ცენტრალური ნაწილი 13 აღჭურვილია მილით 14, რომლითაც ეს სპირალი დაკავშირებულია თბილი გამშრალი ჰაერის შემგროვ რესივერთან (სურათზე პირობით ნაჩვენებია არაა).



ჰაერის გამშრობი მოწყობილობის პრინციპული სქემა

აბაზანაში შესაძლებელია როგორც გამაცივებელი სითხის ჩასხმა სპირალში გამავალი ჰაერის გასაცივებლად, ისე ცხელი სითხის ჩასხმა სპირალის კედლებზე წარმოქმნილი თოვლის ქურქის ჩამოსაღობად. აბაზანაში 7 სითხე შეიძლება უძრავად იყოს ან ცირკულირებდეს, რისთვისაც გამოყენებული იქნება შესაბამისი ტუმბო. სითხის ადვილად ჩამოვლისათვის აბაზანის ფსკერზე 8 გაკეთებულია სითხის ჩამოსაშვები ელექტრომაგნიტური მართვის მქონე სარქველი 15.

მოწყობილობა შემდეგნაირად მუშაობს.

ჰაერიდან ტენის სრულად მოცილებისათვის

აუცილებელია მისი გაცივება ნამის წერტილზე უფრო დაბალ ტემპერატურამდე. ამისათვის ხდება აბაზანის 7 შევსება გამაცივებელი სითხით (დაბალი ტემპერატურის მქონე მარილხსნარი, თხევადი აზოტი და სხვ.). აბაზანის სითხით შევსების შემდეგ იწყება ტენიანი ატმოსფერული ჰაერის მიწოდება მილში 11. აღნიშნული თბილი ტენიანი ჰაერი გაივლის სპირალის 9 გასწვრივ და გადადის ტენის გამოყენების სექციის სპირალურ ჰაერსატარში 1, რომელიც მოთავსებულია დაბალი ტემპერატურის სითხით შევსებულ აბაზანაში 7. სპირალში მოძრაობის პროცესში მისი კედლების გავლით ადგილი აქვს ჰაერის გაცივე-

ბას, რასაც ხელს უწყობს სპირალის სწორი კუთხეები, რადგან ჰაერის ნაკადის სპირალის კედლებთან მართობული კუთხით დაჯახება უზრუნველყოფს ჰაერსა და კედელს შორის თბოგადაცემის პროცესის მნიშვნელოვან ინტენსიფიკაციას (კედელზე მართობულად დაჯახებული ნაკადის ეფექტი). სპირალის სიგრძე ისეა შერჩეული, რომ მისი გავლის შედეგად ჰაერი მთლიანად ცივდება ისეთ ტემპერატურამდე, რომელიც უზრუნველყოფს მასში არსებული ტენის სრულად გამოყოფას. გამოყენებული წყალი ქურქის სახით დაიფარება სპირალის შიგა კედლებზე, გაყინული და სრულიად ტენგამოცლილი ჰაერი კი სპირალის 1 ცენტრალური ნაწილიდან მილით 4 გაივლის სამსვლიან ვენტილს 5, გადადის მილში 12 და მიეწოდება წინასწარი შეთბობის სექციის სპირალში 10. აღნიშნული სპირალის პერიფერიული ნაწილიდან ცენტრისაკენ გადაადგილების პროცესში ცივი ჰაერი სპირალის კედლების გავლით თბება ორმაგი სპირალის მეზობელ მილში 9 გამავალი თბილი ჰაერის სითბოს ხარჯზე. სპირალის 10 ცენტრალური ნაწილის მიღწევის შემდეგ გამშრალი ჰაერი უკვე გამთბარია დაახლოებით ატმოსფერული ჰაერის ტემპერატურამდე. ამიტომ მილის 14 გავლით გამთბარი და გამშრალი (ტენმოცილებული) ჰაერი მიეწოდება თბილი ჰაერის შემგროვ რესივერს (სურათზე პირობით ნაჩვენებია არაა), რომელიც აღჭურვილია ჰაერის წნევისა და ტემპერატურის მზომი-მარეგულირებელი ხელსაწყოებით.

როგორც აღვნიშნეთ, ჰაერიდან მოცილებული ტენი თოვლის ქურქის სახით რჩება სპირალის 1 შიგა ზედაპირებზე. გარკვეული დროის შემდეგ აღ-

ნიშნულმა ქურქმა შეიძლება გამოიწვიოს თბოგადაცემის პროცესის ეფექტურობის შემცირება. ეს განაპირობებს აღნიშნული თოვლის ქურქის ჩამოღობის აუცილებლობას. ამისათვის იხსნება ელექტრომაგნიტური სარქველები 3 და 15 და სამსვლიანი ვენტილი 5 გადაიყვანება ისეთ მდგომარეობაში, როდესაც მილი 4 შეერთებულია მილთან 6, ხოლო მილი 12 ჩაკეტილია. აბაზანის 7 გამაცივებელი სითხისაგან დაცლის შემდეგ ვენტილი 15 იკეტება და აბაზანაში ხდება ცხელი სითხის (წყლის) მიწოდება, რაც განაპირობებს სპირალის 1 კედლების შესაბამის გაცხელებას. გაცხელების შედეგად სპირალის 1 შიგა კედლებიდან ხდება თოვლის ქურქის ჩამოღობა. მიღებული წყალი ჰაერსატარის 1 (სპირალის) ქვედა ძირის დახრის გამო თავს იყრის ამ სპირალის ცენტრში და ვენტილის 3 გავლით გამოიდევენება გარეთ. ამავე დროს ატმოსფერული ჰაერი კვლავ განაგრძობს მოძრაობას წინასწარი შეთბობის სექციიდან ტენის გამოყინვის სექციისაკენ. მაგრამ რადგან ჰაერის გაცივება ამ უკანასკნელში აღარ ხდება, ამიტომ ეს ჰაერი ინარჩუნებს მაღალ ტემპერატურას და სპირალში 1 გავლისას ხელს უწყობს მისი შიგა კედლების გაშრობას. ამ გაშრობის შედეგად დატენიანებული ჰაერი სპირალის ცენტრალური ნაწილიდან მილის 4, ვენტილის 5 და მილის 6 გავლით გაიდევენება ატმოსფეროში. სპირალის 1 კედლებიდან თოვლის ქურქის ჩამოღობა სწრაფად მიმდინარეობს (ეს სიჩქარე დამოკიდებულია აბაზანაში ჩასხმული სითხის ტემპერატურაზე). როდესაც ვენტილის 3 გავლით წყლის ჩამოდინება შეწყდება, თოვლის ქურქის ჩამოღობა დასრულებულია.

ამის შემდეგ ვენტილის 15 გავლით ცხელი სითხე გამოიდევენება აბაზანიდან, ვენტილები 3 და 15



კვლავ იკეტება, სამსვლიანი ვენტილი 5 კვლავ შეაერთებს მილებს 4 და 12 ერთმანეთთან და აბაზანაში ჩაისხმება ჰაერის გამაცივებელი სითხე. მოწყობილობა კვლავ მზადაა ჰაერიდან ტენის სრულად მოცილებისათვის.

### დასკვნა

ჰაერიდან ტენის მოსაცივებელი მოწყობილობა არის მართკუთხედის განივკვეთის მქონე ჰაერსატარი, რომელიც ორ სხვადასხვა სექციაშია სწორკუთხა სპირალის სახით დახვეულია. ამასთან, ტენგამოცლილი ჰაერის წინასწარი შეთბობის სექციაში აღნიშნული სპირალის მეზობელ კედლებს შორის დარჩენილი ასევე სპირალური სივრცე გამოყენებულია როგორც მეორე სპირალი. შესაბამისად, მთლიანად მოწყობილობის კონსტრუქცია საკმაოდ მარტივია. სპირალის დამზადების სიმარტივეს განაპირობებს აგრეთვე მისი სწორკუთხა ფორმა. თუმცა აღნიშნული სწორკუთხა ფორმა, კონსტრუქციის გამარტივების გარდა, უზრუნველყოფს აგრეთვე სპირალში გამავალ ჰაერსა და

სპირალის გარეთ არსებულ გარემოს შორის თბოგადაცემის პროცესის ინტენსიფიკაციას (კედელზე მართობულად დაჯახებული ნაკადის ეფექტი). მოწყობილობის აბაზანაში ძალზე მარტივად ხდება გამაცივებელი ან გამაცხელებელი სითხის ჩასხმა და გამოშვება. ეს ამარტივებს კონსტრუქციას და უზრუნველყოფს აგრეთვე ორ ცალკეულ სპირალად დახვეული, მაგრამ სინამდვილეში ერთი ჰაერსატარის გავლით მოძრაობისას ჰაერის გაცივების, ტენის მოცილებისა და შემდგომი გათბობის პროცესების გაერთიანება. როგორც გათბობის, ისე გაცივების სპირალების საერთო სიგრძე ისეა შერჩეული, რომ მათში გავლისას ჰაერმა სრულად მოასწროს საჭირო ტემპერატურამდე გაცივება და ტენის გამოყოფა, შემდეგ კი – გათბობა. გარდა ამისა, მოწყობილობის აბაზანაში შესაძლებელია როგორც სპეციალურად ამ მიზნით მომზადებულიო გამაცივებელი და გამაცხელებელი სითხეების გამოყენება, ისე, არსებობის შემთხვევაში, საწარმოში დარჩენილი მეორეული სითხეების გამოყენებაც.

### ლიტერატურა

1. Megreldze T., Revishvili T., Shubladze Z., Dolidze B., Megreldze G., Gugulashvili G. Device for restoring the working agent of the machine for withering tea. Georgian Patent # GE P 4710 B. 01.10.2009. cl. F 23 F 3/00, F 25 B 29/00.
2. Megreldze T., Pirveli G., Gugulashvili G., Beruashvili G., Isakadze T. Restoration of the drying capacity of the working agent of a new machine for drying by an innovative method. Scientific reviewed journal „Science and Technology“. # 1 (721). Tbilisi. 2016, 67-72 pp. (in Georgian).
3. Megreldze T., Magradze L., Papava L., Gugulashvili G., Sadagashvili E., Razmadze M. Restoration of the working agent used for drying. Scientific-technical journal „Energy“. # 1 (65). Tbilisi. 2013, 58-62 pp. (in Georgian).
4. Gugulashvili L., Khositashvili I., Gugulashvili G. Perspectives of improving the efficiency of cooling systems of hydro generators. Scientific reviewed journal „Science and Technology“. # 1 (727). Tbilis. 2018, 50-55 pp. (in Georgian).

UDC 664.8

SCOPUS CODE 2201

## Device for the complete moisture removal from the air

**Tamaz Megrelidze** Department of Food Industry, Georgian Technical University, 68<sup>a</sup> M. Kostava str, 0160 Tbilisi, Georgia

E-mail: tmegrelidze@yahoo.com

**Tamaz Isakadze** Department of Food Industry, Georgian Technical University, 68<sup>a</sup> M. Kostava str, 0160 Tbilisi, Georgia

E-mail: tamazisakadze@gmail.com

**Givi Gugulashvili** Department of Food Industry, Georgian Technical University, 68<sup>a</sup> 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 Georgian Refrigerant Recovery and Recycling Center

E-mail: sulkhansuladze@gmail.com

**Abstract.** It has been shown that many industries require dried, dehydrated air rather than ordinary moisture-laden air. Such industries include, for example, electric generators, warehouses (especially pharmaceutical), archives, museums, libraries, agricultural, woodworking and food industries, where high moisture content causes product degeneration. In such cases, moisture is removed from the air (i.e. its drying). The article considers the main methods of air drying (heating, adsorption, condensation) and shows that the most effective and acceptable is air drying due to moisture removal by its condensation method. New device for complete drying of air by moisture condensation is presented. It is characterized by simple design providing productivity improvement. This is achieved by cooling, moisture removal and the subsequent heating of the air as it passes along one spiral-shaped duct. The lengths of the cooling and heating spirals are selected in such a way that the air passing along them completely manages to take the required temperature.

**Key words:** Chilling fluid; condensation; dehumidification of air; spiral; thawing.

UDC 664.8

SCOPUS CODE 2201

### Устройство для полного удаления влаги из воздуха

- Тамаз Мегрелидзе**      Департамент пищевой индустрии, Грузинский технический университет, Грузия, 0160, Тбилиси, ул. М. Костава, 68<sup>ა</sup>  
E-mail: tmegrelidze@yahoo.com
- Тамаз Исакадзе**      Департамент пищевой индустрии, Грузинский технический университет, Грузия, 0160, Тбилиси, ул. М. Костава, 68<sup>ა</sup>  
E-mail: tamazsakadze@gmail.com
- Гиви Гугулашвили**      Департамент пищевой индустрии, Грузинский технический университет, Грузия, 0160, Тбилиси, ул. М. Костава, 68<sup>ა</sup>  
E-mail: Givi.Gugulashvili@gmail.com

### Рецензенты:

- З. Джапаридзе**, профессор факультета транспорта и машиностроения ГТУ  
E-mail: zurabjaparidze@yahoo.com
- С. Суладзе**, Директор Центра сбора и рециклирования холодильников ГТУ  
E-mail: sulkhansuladze@gmail.com

**Аннотация.** Показано, что для многих отраслей хозяйства требуется не обыкновенный влажный, а осушенный, обезвоженный воздух. К таким устройствам относятся, например, электрические генераторы, склады (особенно, фармацевтические), архивы, музеи, библиотеки, сельскохозяйственные, деревообрабатывающие и пищевые производства, где высокое влагосодержание обуславливает ухудшение качества продуктов. В таких случаях предпринимают отвод влаги от воздуха, т.е. его осушку. В статье рассмотрены основные методы осушки воздуха (нагревание, адсорбция, конденсация) и показано, что более эффективным и приемлемым из них является осушка воздуха за счет отвода влаги методом ее конденсации. Представлено новое устройство для полной осушки воздуха путем конденсации влаги, которое отличается простотой конструкции и обеспечивает повышение производительности. Это достигается за счет охлаждения, отвода влаги и последующего нагревания воздуха при прохождении его вдоль одного спиралеобразного воздуховода. Длины спиралей охлаждения и нагревания подобраны с таким расчетом, что проходящий вдоль них воздух полностью успевает принять необходимую температуру.

**Ключевые слова:** конденсация; осушение воздуха; оттаивание; охлаждающая жидкость; спираль.

*განხილვის თარიღი 17.05.2019*

*შემოსვლის თარიღი 21.05.2019*

*ხელმოწერილია დასაბეჭდად 17.12.2019*

UDC 551.482.32

SCOPUS CODE 2201

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2019-4-132-140>

## ნაკადის დასაშვებ სიჩქარეთა კორექტირებული დამოკიდებულების გაანგარიშება

- † ირაკლი ყრუაშვილი** აგროინჟინერიის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0192, თბილისი, გურამიშვილის გამზირი №17
- ირმა ინაშვილი** წყალმომარაგება, წყალარინების, თბოაირმომარაგებისა და შენობათა საინჟინრო აღჭურვის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 68<sup>ბ</sup>  
E-mail: irmainashvili@yahoo.com
- მაია ლომიშვილი** აგროინჟინერიის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0192, თბილისი, გურამიშვილის გამზირი №17  
E-mail: makomako429@mail.ru

### რეცენზენტები:

**მ. კუპრავიშვილი**, სტუ-ის აგრარული მეცნიერებისა და ბიოსისტემების ინჟინერინგის ფაკულტეტის ასოცირებული პროფესორი

E-mail: m.kupravishvili@gtu.ge

**კ. ბზიავა**, სტუ-ის სამშენებლო ფაკულტეტის ასოცირებული პროფესორი

E-mail: kbziava@gtu.ge

**ანოტაცია.** ნიადაგ-გრუნტების ირიგაციული ეროზიის განმაპირობებელ ფაქტორთა შორის ძირითადი როლი ზედაპირულ ჩამონადენს მიეკუთვნება, აქედან გამომდინარე ნაკადის ჰიდრომექანიკური ძალური ზემოქმედება განსაზღვრავს კალაპოტის წონასწორობის სტატიკურ და დინამიკურ ფორმებს.

ზედაპირული ჩამონადენის ძირითადი ჰიდრომექანიკური პარამეტრი – სიჩქარე, ცალსახა კავშირშია წვიმის ინტენსიურობასთან. მნიშვნელოვანია ზედაპირული ჩამონადენის ფორმირების ფიზიკურ-მათემატიკური მოდელის დასაბუთება.

შემოთავაზებულია ამ მოდელის შესაბამისი საანგარიშო სქემა და კონკრეტული ამოცანის გადაწყვეტა ეროზიის ძირითადი მახასიათებელი პარამეტრების ცვალებადობის ფართო დიაპაზონში.

**საკვანძო სიტყვები:** დასაშვები სიჩქარე; ზედაპირული ჩამონადენი; ირიგაციული ეროზია; წყლისმიერი ეროზია.

### შესავალი

საირიგაციო სისტემის ფუნქციონირება გულისხმობს რიგი ეკოლოგიური ასპექტების გათვალისწინებას.

ნებას, რაც წყლის ბუნებრივი რესურსების რაციონალური მართვის აუცილებელი კომპონენტია.

ირიგაციული ეროზიის ინტენსიურობის ძირითად განმსაზღვრელ ფაქტორებიდან, მნიშვნელოვანია წვიმის ერთეულოვანი ჰიდროგრაფის არაერთგვაროვნების კოეფიციენტი და მისი სიხშირე. პრაქტიკული ამოცანების გადაწყვეტისათვის გარკვეული მნიშვნელობა გააჩნია რეგიონებისათვის მრავალწლიური მეტეოროლოგიური მონაცემების განზოგადების საფუძველზე შედგენილ ინტენსიურობის რუკებს. ატმოსფერული ნალექების წლიური განაკვეთი წარმოდგება 5-10 დამახასიათებელი წვიმის ჰიდროგრაფით. მრავალრიცხოვანი მონაცემების ურთიერთშეჯერებით, დადგენილია, რომ ყველაზე საიმედოა 95%-იანი უზრუნველყოფის შესაბამისი ინტენსიურობის საანგარიშოდ აღება. გაანგარიშებისა და სათანადო პროგნოზისათვის ამ პარამეტრზე, მნიშვნელოვანია არა მარტო ინტენსიურობის ორდინატა, არამედ ნალექების მოსვლის ხანგრძლივობა და ასიმეტრიულობა [1].

ზედაპირული ჩამონადენის პარამეტრი – სიჩქარე, ცალსახა კავშირშია წვიმის ინტენსიურობასთან და მისი მოძრაობა ჭავლის სახით, შეიძლება გავაიგივოთ კალაპოტურ ნაკადებთან და გამოვიყენოთ მათზე გავრცელებული კანონზომიერებანი. ზედაპირული ჩამონადენის რეჟიმზე დღემდე არ არის ჩამოყალიბებული ერთიანი კონცეფცია, თუმცა ემპირიულად დამტკიცებულია ჩამონადენის მორფომეტრიისა და უპირველესად სიღრმის როლი ტურბულენტური რეჟიმის ჩამოყალიბებაში. რეჟიმის სახეობის დასადგენად გამოიყენება არა ჩვეულებრივი სახით რეინოლდისის

კრიტერიუმი, არამედ მისი სახეცვლილება, რომელიც გამოხატავს სიჩქარისა და სიღრმის ურთიერთკავშირს. ნაწილაკების მოგლეჯა-წატაცება ძირითადად ტურბულენტურ რეჟიმზე ხდება. გარდა ნაკადის ხარჯისა და ქანობისა ფორმირებული სიჩქარის ველზე დიდ ზეგავლენას ახდენს რელიეფის ფორმა და სასაზღვრო შრე. ჩამონადენის ფორმირებაში ასევე დიდ როლს ასრულებს ფერდობის ქანობი, რადგან ის განსაზღვრავს დაწნევის დროს [2], [3].

ზედაპირული ჩამონადენის პარამეტრებიდან საბაზისო მოდელი წარმოდგენილია შემდეგი სახით:

$$\frac{\partial q}{\partial t} - \frac{\partial z}{\partial t} = I - K - l, \quad (1)$$

სადაც  $q$  არის ხარჯის ერთეული სიგანეზე;  $t$  – დრო;  $x$  და  $z$  – განსახილველი კვეთის კოორდინატები;  $I, K, l$  – შესაბამისად წვიმის, წყალშთანთქმისა და აორთქლების ინტენსიურობა.

ამ პარამეტრებიდან ყველაზე დიდი სირთულეა  $I$ -სა და  $K$ -ს განსაზღვრა. გაანგარიშებებში აიღება ამ პარამეტრების საშუალო მნიშვნელობები, რაც მიზეზი ხდება ირიგაციის ეროზიული პროგნოზის საიმედოობის ხარისხის დაქვეითებისა და უპირველეს ყოვლისა ეს გამოიხატება იმაში, რომ ერთი და იგივე წვიმის საშუალო ინტენსიურობის შემთხვევაში, ირიგაციული ეროზიის პროგნოზი იქნება სრულიად ურთიერთგანსხვავებული. როგორც წესი, ანგარიშისას მხედველობაში მიიღება ერთეულოვანი ჰიდროგრაფის არაერთგვაროვნების კოეფიციენტი. ასევე არანაკლებ მნიშვნელოვანია წყალშთანთქმის საანგარიშო სიდიდის განსაზღვრა, მაჩვენებლიანი ფუნქციით მისი ცვალებადობის წარმოდგენის შემთხვევაში [4].

**ძირითადი ნაწილი**

ირიგაციული ეროზიის ამოცანების გადაწყვეტისას ყველაზე დიდი მნიშვნელობა ენიჭება ძირითადი ნაკადის სიჩქარეს. ეს გასაგებია, რადგან ნაკადის სიჩქარე განსაზღვრავს ნიადაგ-გრუნტის ნაწილაკზე ნაკადის დინამიკურ ძალურ ზემოქმედებას და ამასთანავე თვით ნაკადის ტრანსპორტუნარიანობას. ზედაპირული ჩამონადენის ლოკალური (მყისი) სიჩქარის საანგარიშოდ მიღებულია შემდეგი სახის დამოკიდებულება [5]:

$$U = (m_0 \sqrt{l})^{1/n_0+1} (hl)^{1/n_0+1} = m_* h^z l^{n_0} P, \quad (2)$$

სადაც  $m$  არის კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ხორკლიანობას;  $n_0$  – ფარდობითი ხორკლიანობა;  $h$  – წყალგაცემის ინტენსიურობა;  $l$  – ფერდოს სიგრძე;  $z = \frac{1}{n_0+1}$  – ხარისხის მაჩვენებელი;  $m_0$  – ვარიაციული რიგის ნომერი;  $P$  – ალბათური უზრუნველყოფის მაჩვენებელი.

ზედაპირული ჩამონადენის საშუალო სიჩქარე  $V_{საშ}$  განისაზღვრება:

$$V_{საშ} = \frac{1}{l} \int_0^l u dl = \frac{m h^z l^{n_0}}{l} \quad (3)$$

ამ უკანასკნელის გამოყენება მოითხოვს, რიგი ექსპერიმენტული მონაცემების სათანადო დამუშავებას, რომელიც ცალკეულ ავტორთა შეხედულებისამებრ ხორციელდება და ამიტომაც გაანგარიშების შედეგებიც ერთმანეთისაგან განსხვავდება ერთი რიგითაც კი [6].

საშუალო სიჩქარე წყალგამყოფიდან  $x$  მანძილით დაშორებულ კვეთში გამოიხატება შემდეგნაირად:

$$V_x = mc \sqrt{zi}, \quad (4)$$

სადაც  $m$  არის კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ფერდობზე ნაკადის გადახრას თანაბარი

ძრაობის ჰიდრავლიკური რეჟიმისაგან;  $c$  – სიჩქარის კოეფიციენტი;  $i$  – ფსკერის ქანობი.

$$q = V_x \omega = \frac{z^{0,67} \sqrt{i \cdot 1 \cdot m}}{n_0}, \quad (5)$$

$$q = \frac{z^{1,67} \sqrt{i m}}{n_0}. \quad (6)$$

თუ სიჩქარის კოეფიციენტს  $c$  -ს მივიღებთ მანინგის მიხედვით, მაშინ ხარჯი  $x$  კვეთში იქნება:

თუ დავუშვებთ, რომ აორთქლება და წყლის დაგროვება ზედაპირული ჩამონადენის სახით დიდ გავლენას არ ახდენს ირიგაციულ ეროზიაზე, მაშინ (1) დამოკიდებულების გათვალისწინებით შეიძლება დავწეროთ:

$$\frac{1,67 z^{0,67} \sqrt{i m}}{n_0} dz = (I - K) dx. \quad (7)$$

თუ მივიღებთ, რომ  $K = const$ , მაშინ (3.2.7)-ის ინტეგრებით მივიღებთ:

$$\frac{z^{1,67} \sqrt{i m}}{n_0} = (I - K) x. \quad (8)$$

მაშინ ფსკერული სიჩქარე ხორკლიანობის შვერილზე იქნება [6]:

$$V_\Delta = \frac{z^{0,67} \sqrt{i \Delta^{1/6} m}}{n_0 z^{1/6}} = \frac{\sqrt{z i \Delta^{1/6} m}}{n_0} \quad (9)$$

(9) განტოლებაში  $V_x$ -ის ჩასმით, მივიღებთ:

$$V_\Delta = \frac{V_x \Delta^{1/6}}{z^{1/6}} \quad (10)$$

ხორკლიანობის კოეფიციენტსა და შვერილის სიმაღლეს შორის კავშირი, შეიძლება წარმოვადგინოთ შემდეგი სახით:

$$\Delta^{1/6} = 22,2 n_0. \quad (11)$$

ამ უკანასკნელის გათვალისწინებით გვექნება:

$$V_\Delta = 22,2 \sqrt{z i m}, \quad (12)$$

შესაბამისად:

$$V_\Delta = \frac{(I-K)^{0,3} x^{0,3} i^{0,35} \Delta^{1/6} m^{0,7}}{n_0^{0,7}}. \quad (13)$$

საჭიროა აღინიშნოს, რომ (12) ფორმულით არ არის გათვალისწინებული ნატანის ფორიანობა,



ორ მეზობელ  $dx$  მანძილით დაშორებულ კვეთს შორის დროის რაღაც პერიოდში ხდება მოსული ნალექების ნაწილის ჩაქონვა (ინფილტრაცია), ხოლო მეორე ნაწილის ტრანზიტი, რაც იძლევა ხვედრითი ხარჯის ნაზარდს. ეს ცვლილება შეიძლება გამოვხატოთ შემდეგნაირად:

$$dq = h'_x V'_x - h_x V_x = \varepsilon dx - K dx. \quad (17)$$

საშუალო სიჩქარე ნაკადის ნებისმიერ კვეთში განისაზღვრება შეზის მიხედვით:

$$V_x = \frac{87\sqrt{h_x}}{n_0} \sqrt{h_x i} = C h_x, \quad (18)$$

სადაც 
$$C = \frac{87\sqrt{h_x}}{n_0}.$$

(18)-ის გათვალისწინებით (17) განტოლება მიიღებს სახეს:

$$C(h_x^2 + 2h_x dh_x + (dh_x)^2) - ch_x^2 = (\varepsilon - K) dx. \quad (19)$$

მაღალი რიგის  $dh_x^2$  უსასრულოდ მცირე სიდიდის უგულებელყოფით გვექნება:

$$2ch_x dh_x = (\varepsilon - K) dx. \quad (20)$$

ამ უკანასკნელის ინტეგრებით მივიღებთ:

$$h_x = \sqrt{\frac{x}{c}(\varepsilon - K)}. \quad (21)$$

მიღებული დამოკიდებულება ნაკადის ზედაპირის ფორმის აღწერისათვის ეყრდნობა დაშვებას, რომლის მიხედვითაც არათანაბარი ძრაობა შეცვლილია თანაბარი ძრაობით. (16) განტოლება სავსებით მარტივად მიიღება ხარჯის უწყვეტობის პირობიდან. დავუშვათ გვაქვს  $x$  სიგრძის ერთეული სიგანის სწორკუთხა ფართობი, რომელზედაც ჩამოედინება დროის ერთეულში წყლის მოცულობა ტოლი  $x(\varepsilon - K)$ , ცხადია ეს უწყვეტობის პირობის თანახმად უნდა გაუტოლდეს ხარჯს  $x$  კვეთში  $- ch_x h_x$ , ანუ მივიღებთ  $h_x$ -ის განმსაზღვრელ (21) განტოლებას.

ნაკადის სიღრმის განსაზღვრის მოყვანილი მეტოდი ეყრდნობა მეტად უხეშ ლინეარიზაციას და ამასთანავე დიფერენციალურად აღრიცხება ჩამონადენის ფორმირების პროცესი, რაც გამოიხატება სარწყავი ფართობის ზედაპირის ქანობის ჰიდრაულიკურ ქანობთან გატოლებაში  $i = I$ .

შეიძლება დავწეროთ შემდეგი განტოლება (ნახაზი 1) საანგარიშო სქემის მიხედვით:

$$z = z_0 + h_x - ix, \quad (22)$$

საიდანაც

$$\frac{dz}{dx} = \frac{dh_x}{dx} - i. \quad (23)$$

რადგან  $dz/dx$  არის აღებული წერტილში თავისუფალი ზედაპირის წარმოებული ანუ სხვანაირად ჰიდრაულიკური ქანობი  $I$ , რომელიც ჩაენაცვლება ფსკერის ქანობს და შეზის ფორმულით მოგვცემს შემდეგი სახის დამოკიდებულებას:

$$(\varepsilon - K)x = \frac{87}{n_0} \sqrt{h_x} \sqrt{h_x I} h_x. \quad (24)$$

ამ უკანასკნელი განტოლების სრული იდენტიფიკაციის მიზნით (21) განტოლებასთან, (24) დამოკიდებულებას წარმოვადგენთ შემდეგი სახით:

$$\frac{(\varepsilon - K)n_0}{87\sqrt{i}} \frac{x}{h_x^2} = \frac{1}{\sqrt{i}} \sqrt{\frac{dh_x}{dx} - i}. \quad (25)$$

ამ განტოლების მარცხენა მხარე მიღებული დაშვების საფუძველზე შეიძლება ჩავთვალოთ 1-ის ტოლად და ამიტომ (25) განტოლება მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$\sqrt{i} = \sqrt{\frac{dh_x}{dx} - i}, \quad (26)$$

საიდანაც

$$\frac{dh_x}{dx} = 2i. \quad (27)$$

სასაზღვრო პირობის გათვალისწინებით,  $x = 0, h_x = 0$  (27)-ის ინტეგრება გვაძლევს:



$$h_x = 2ix. \quad (28)$$

(28)-ის გათვალისწინებით და სათანადო გარდაქმნებით, მივიღებთ:

$$ax^2 dx = h_x^4 dh_x - ih_x^4 dx. \quad (29)$$

თუ მივიღებთ  $b = ih_x^4$ , მაშინ (29)-ის ინტეგრება სასაზღვრო პირობის გათვალისწინებით მოგვცემს:

$$h_x = \sqrt[5]{\frac{5}{3} ax^3 + 5bx}. \quad (30)$$

ჩამონადენის რეალური ფიზიკური სურათის ასახვისაგან ეს განტოლება შორს არის, მაგრამ ის გაცილებით უკეთ გამოხატავს ნაკადის ძრაობის არასტაციონარულობას, ვიდრე შემოთავაზებული (21) განტოლება. ჩვენ შეგვიძლია განვსაზღვროთ ნაკადის ნებისმიერ  $x$  კვეთში მორფომეტრიული მახასიათებელი  $h_{x1}$ . ზემოთ ნაჩვენები წესით  $h_x$  -ის შესაბამისად დავადგინოთ დასაშვები ქანობი ანუ ის ქანობი, რომელიც პასუხობს კალაპოტის გაურეცხვადობის პირობას.

### დასკვნა

ნიადაგ-გრუნტების აგრეგატების მიდრეკილება ზედაპირულ-მოლეკულური ეფექტების წარმოშობისაკენ და მათი ფორმირება წყალშევისების ხარისხის შესაბამისად, რადიკალურად ცვლის ირიგაციული ეროზიის სხვადასხვა სტადიაზე აგრეგატების ზღვრული წონასწორობის პირობებს. (30) ფორმულით განსაზღვრულ  $h_x$  ნაკადის სიღრმეს, ჩვენ ყოველთვის შეგვიძლია შევუსაბამოთ ის დიამეტრი, რომელიც არ დაექვემდებარება ირიგაციულ ეროზიას და უზრუნველყოფს თვითგარეცხვადი კალაპოტის მდგრადობას. წყლისმიერი ეროზიის რაოდენობრივი პროგნოზი უშუალოდ

უკავშირდება დასაშვები სიჩქარის განსაზღვრას. ზემოთ დავადგინეთ, რომ სხვადასხვა ავტორთა მიერ შემოთავაზებული დასაშვები (არაგამრეცხი) სიჩქარის საანგარიშო დამოკიდებულებანი შეიძლება გამოვხატოთ ერთიანი, მოდიფიცირებული, საერთო სტრუქტურის შემდეგი სახის ფორმულით:

$$V_{\phi}^I = A\sqrt{(\gamma_1 - \gamma_0)d}. \quad I$$

რომლის ადაპტაციაც ნიადაგ-გრუნტების სპეციფიკური თვისებების გათვალისწინებით გამოვხატოთ შემდეგი სახის კორექტირებული დამოკიდებულებით:

$$V_{\phi}^{II} = A\sqrt{(\gamma_1 - \gamma_0)(1 - n)d}. \quad II$$

I და II ფორმულის თანაფარდობა  $\alpha$  შეიძლება წარმოვიდგინოთ შემდეგი სახით:

$$\alpha = \frac{V_{\phi}^I}{V_{\phi}^{II}} = \frac{A\sqrt{(\gamma_1 - \gamma_0)d}}{A\sqrt{(\gamma_1 - \gamma_0)(1 - n)d}} = \sqrt{\frac{1}{1 - n}}. \quad III$$

II ფორმულით გამოთვლილი დასაშვები სიჩქარე შევცვალოთ მხოლოდ დიამეტრით და გამოვიყენოთ I ფორმულა, ე.ი. ის განვსაზღვროთ ახალი დიამეტრის ჩასმით, რომელიც რიცხვობრივად ტოლი იქნება  $(1 - n)d$ . ეს ნიშნავს, რომ კორექტირებულ ფორმულას (რომელიც ითვალისწინებს აგრეგატის ფორიანობას) და არსებულ ნორმატიულ საანგარიშო ფორმულის გამოყენებით მიღებულ შედეგებს შორის განსხვავება, გაანგარიშების „ცდომილებას“ მივაკუთვნოთ, ამის მიხედვით ირიგაციული ეროზიის პროგნოზი, სფერული ნაწილაკებისათვის, შესაბამისი დამოკიდებულების გამოყენებით გვაძლევს:

$$\frac{E_1}{E_2} = \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^3 = \left(\sqrt{\frac{1}{1 - n}}\right)^6 = \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^6 = \alpha^6. \quad IV$$

აქედან გამომდინარე, შეგვიძლია დავასკვნათ, ბულების გამოყენება, რომელიც ითვალისწინებს ზო-  
რომ აუცილებელია ნიადაგ-გრუნტების წყლისმიერ გიერთ სპეციფიკას და უზრუნველყოფს ირიგა-  
ეროზიის რაოდენობრივი პროგნოზისათვის და- ციული ეროზიის პროგნოზის მაღალ საიმედოობას.  
საშვებ სიჩქარეთა კორექტირებული დამოკიდე-

---

### ლიტერატურა

1. Mirtskhulava Ts. E. Water erosion of soils. (Mechanism, forecast). Tbilisi. "Metsniereba". 2000, 420 p. (in Georgian).
2. Kruashvili I., Inashvili I., Bziava K., Lomishvili M. Soil moisture regulation in irrigated agriculture. World academy of science, engineering and technology international journal of biological, biomolecular, agricultural, food and biotechnological engineering. Vol.10. №12. 2016, 791-794 pp.
3. Kruashvili I., Inashvili I., Bziava K., Lomishvili M. Determination of optimal irrigation rates of agricultural crops under consideration of soil properties and climatic conditions. Annals of agrarian science. Vol. 14. Issue 3. 2016, 217–221 pp.
4. Agroskin I.I. and others. Hydraulics. M. 1964, 483 p. (in Russian).
5. Kruashvili I., Inashvili I. Mathematical model of defining concentration and turbulent exchange coefficient in suspended streams. Annals of agrarian science. 3 (1). 2005. 98-100 pp. (in Georgian).
6. World agro-climatic directory. Hydrometeorological publishing house. Leningrad. 1937, 414 p. (in Russian).
7. Kostyakov A.N. Fundamentals of land reclamation. M.: "Sudkhhozizd". 1962, 452 p. (in Russian).

UDC 551.482.32

SCOPUS CODE 2201

## Calculation of corrected dependency of the flow permissible velocity

- † **Irakli Kruashvili** Department of Agro-Engineering, Georgian Technical University, 17 D. Guramishvili Str, 0192, Tbilisi, Georgia
- Irma Inashvili** Department of Water Supply, Canalization, Heating and Air Conditioning System and Plumbing Installation, Georgian Technical University, 68<sup>b</sup> M. Kostava str, 0160 Tbilisi, Georgia  
E-mail: irmainashvili@yahoo.com
- Maia Lomishvili** Department of Agro-Engineering, Georgian Technical University, 17 D. Guramishvili Str, 0192, Tbilisi, Georgia  
E-mail: makomako429@mail.ru

### Reviewers:

**M. Kupravishvili**, Associate Professor, Faculty of Agricultural Science and Biosystems Engineering, GTU

E-mail: m:kupravishvili@gtu.ge

**K. Bziava**, Associate Professor, Faculty of Civil Engineering, GTU

E-mail: kbziava@gtu.ge

**Abstract.** The main role of soil irrigation erosion factors is surface runoff. Therefore, the hydro-mechanical impact of the surface runoff determines the static and dynamic forms of the irrigation channel sustainability.

The main hydro-mechanical parameter of surface runoff is velocity, which depends on rain intensity. The work considers the validation of physical-mathematical model of the surface runoff formation.

The corresponding calculation model for this model and the solution of a specific task are proposed in a wide range of volatility of the main characteristics of erosion.

**Key words:** Irrigation erosion; permissible velocity; surface runoff; water erosion.

UDC 551.482.32

SCOPUS CODE 2201

### Расчет скорректированной зависимости допускаемой скорости потока

† **Ираклий Круаშვილი** Департамент Агроинженерии, Грузинский Технический Университет, Грузия, 0192, Тбилиси. проспект Д. Гурамишвили 17

**Ирма Инашвили** Департамент водоснабжения, канализации, теплоснабжения и инженерного оборудования, Грузинский технический университет, Грузия, 0160, Тбилиси, ул. М. Костава, 68<sup>б</sup>

E-mail: irmainashvili@yahoo.com

**Майя Ломишвили** Департамент Агроинженерии, профессор, Грузинский Технический Университет, Грузия, 0192, Тбилиси. проспект Д. Гурамишвили 17

E-mail: makomako429@mail.ru

#### Рецензенты:

**М. Купрашвили**, ассоциированный профессор факультета аграрных наук и инженеринга биосистем ГТУ

E-mail: m:kupravishvili@gtu.ge

**К. Бзиава**, ассоциированный профессор строительного факультета ГТУ

E-mail: kbziava@gtu.ge

**Аннотация.** Основную роль факторов ирригационной эрозии почв составляет поверхностный сток, поэтому гидромеханическое воздействие потока определяет статические и динамические формы баланса пласта.

Основные гидромеханические параметры поверхностного стока - скорость, связанная с интенсивностью дождя. В статье дается обоснование физико-математической модели формирования поверхностного стока.

Соответствующая модель расчета для этой модели и решения конкретной задачи предлагается в широком диапазоне волатильности основной характеристики эрозии.

**Ключевые слова:** водная эрозия; допустимая скорость; ирригационная эрозия; поверхностный сток

*განხილვის თარიღი 28.06.2019*

*შემოსვლის თარიღი 28.06.2019*

*ხელმოწერილია დასაბეჭდად 17.12.2019*

UDC 511.5

SCOPUS CODE 2607

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2019-4-141-173>

**ერთი ფუნდამენტური ამოცანის შესახებ დიოფანტურ გეომეტრიულ ფიგურებზე**

**ზურაბ ალდგომელაშვილი** მათემატიკის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 77  
E-mail: diophant\_zura@rambler.ru

**რეცენზენტები:**

**ალ. კირთაძე**, სტუ-ის ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის პროფესორი  
E-mail: kirtadze2@yahoo.com

**მ. მანია**, თსუ-ის ა. რაზმაძის მათემატიკის ინსტიტუტის მთავარი მეცნიერი თანამშრომელი, ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა დოქტორი  
E-mail: mania@rmi.ge

**ანოტაცია.** ჩვენ დიოფანტურს ვუწოდებთ მთელრიცხვა  $n$ -კუთხედს იმ მოტივით, რომ თითოეული მათგანის კომბინატორული თვისებების დასადგენად საჭიროა გარკვეული დიოფანტური განტოლების (განტოლებათა სისტემის) ამოხსნა, რაც ამ საკითხის შემსწავლელი ამოცანებიდან ერთ-ერთი ფუნდამენტური ამოცანაა.

**ამოცანა  $(n;k)$ :** არსებობს თუ არა ყოველი ფიქსირებული  $k$  ნატურალური რიცხვისათვის ისეთი დიოფანტური  $n$ -კუთხედი ( $n \geq 3$ ), რომლის რომელიმე გვერდის ან დიაგონალის სიგრძე ტოლია  $k$ -სი, და თუ არსებობს, მაშინ იპოვეთ ყველა ასეთი  $n$ .

ნაჩვენებია, რომ არ არსებობს ისეთი დიოფანტური  $n$ -კუთხედი ( $n > 3$ ), როგორც ამოხსნეილი, ასევე ჩაზნეილია, რომლის რომელიმე გვერდის ან დიაგონალის სიგრძე ტოლია  $++$ -ის. ე.ი.  $k = 1$ -სათვის ზემოხსენებული საკითხი გადაჭრილია.

კვლევის მეშვეობით ნაპოვნია რიგი დიოფანტური ოთხკუთხედები, რომელთა ერთ-ერთი გვერდი ტოლია 2-ის (აქ უნდა შევნიშნოთ, რომ ყოველი მათგანი წრეწირში ჩახაზული აღმოჩნდა). ნაჩვენებია, რომ ყოველი მათგანი წრეწირში ჩახაზული ისეთი დიოფანტური ოთხკუთხედი, რომლის დიაგონალის სიგრძე  $k$ -ს ტოლია. ნაჩვენებია, რომ ნებისმიერი ნატურალური ( $k \geq 3$ )-ისათვის მოიძებნება დიოფანტური ოთხკუთხედი, რომლის გვერდის სიგრძე  $k$ -ს ტოლია.

$n \in \{3; 4; 5\}$  ფუნდამენტური კვლევის შედეგად ნაჩვენებია, რომ  $k = 2$ -სათვის ამოხსნეილი  $n$ -კუთხედებისათვის (თუმცა არც ერთი ასეთი დიოფანტური ხუთკუთხედი ჯერ არ არის ნაპოვნი. ავტორის აზრით ასეთი ხუთკუთხედი არ არსებობს) და  $n \in \{3; 4; 5; 6\}$  – ჩაზნეილი  $n$ -კუთხედებისათვის (აქაც  $n = 5$  და  $n = 6$ -სათვის არც ერთი ასეთი  $n$ -კუთხედი არ არის ჯერ ნაპოვნი. და თუ არსებობს,

შემთხვევისათვის მოყვანილია ასეთი ფიგურების ყველა შესაძლო სახე).

ამოცანა  $(n;k)$ ,  $k=3$ -სათვის და ნაჩვენებია, რომ ამ შემთხვევაში  $3 \leq n \leq 7$ , მაგრამ არ არის ნაპოვნი არც ერთი ასეთი დიოფანტური ხუთკუთხედი, არც დიოფანტური ექვსკუთხედის და არც დიოფანტური შვიდკუთხედი, ავტორის აზრით ასეთი დიოფანტური ფიგურები არ არსებობს, და თუ არსებობს მოყავს მათი სავარაუდლო სახე.

**საკვანძო სიტყვები:** დიოფანტური ფიგურები.

### შესავალი

ჯერ კიდევ უხსოვარი დროიდან მათემატიკოსები იყვნენ დაინტერესებულნი მთელი რიცხვა გეომეტრიული ფიგურების კვლევით. ურიგო არ იქნებოდა შეგვენიშნა, რომ ასეთი ფიგურების თვისებების კვლევით დაინტერესებულნი იყვნენ ისეთი დიდი მათემატიკოსებიც, როგორებიც არიან: პ. ფერმა, კ.ფ. გაუსი, ლ. ეილერი, ვ. სერპინსკი, ჰ. შტეინჰაუზი და სხვა. ასეთ ფიგურებს ჩვენ ვუწოდებთ დიოფანტურს იმ მოტივით, რომ თითოეული მათგანის თვისებების დასადგენად საჭიროა გარკვეული დიოფანტური განტოლების (განტოლებათა სისტემის) ამოხსნა.

ვ. სერპინსკისა და ჰ. შტეინჰაუზის მიერ დასმული და გადაჭრილი იყო ამ თემასთან დაკავშირებული არაერთი პრობლემური ამოცანა. აქ შევჩერდებით ერთ მათგანზე.

### ძირითადი ნაწილი

ამოცანა: ყოველი  $n \in N$ -სათვის სიბრტყეში მოიძებნება ერთ წრფეზე არამდებარე ისეთი  $n$  წერტილი, რომელთათვის ყოველ ორ მათგანს შორის მანძილი გამოისახება ნატურალური რიცხვით.

ამ ამოცანის გადაჭრისას მათ აჩვენეს, რომ ყოველი  $n \in N$ -სათვის ყოველთვის არსებობს დიოფანტური  $n$ -კუთხედი. აქ იბადება კითხვა: არსებობს თუ არა ყოველი ფიქსირებული  $k \in N$ -სათვის დიოფანტური  $n$ -კუთხედი, რომლის რომელიმე ორ წვეროს შორის მანძილი ტოლია  $k$ -ს, და თუ არსებობს, მაშინ ვიპოვოთ ყველა ასეთი  $n$ .

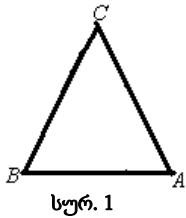
დიოფანტური გეომეტრიული ფიგურების შემსწავლელი ამოცანებიდან ცხადია, ერთ-ერთი უმთავრესი ადგილი უჭირავს შემდეგს:

**ამოცანა\*  $(n;k)$  არსებობს თუ არა ყოველი ფიქსირებული  $k$  ნატურალური რიცხვისათვის, დიოფანტური  $n$ -კუთხედი ( $n \geq 3$ ), რომლის რომელიმე გვერდის ან დიაგონალის სიგრძე ტოლია  $k$ -სი, და თუ არსებობს, მაშინ ვიპოვოთ ყველა ასეთი  $n$ .**

ჩვენ მიერ ნაჩვენებია, რომ არ არსებობს ისეთი დიოფანტური  $n$ -კუთხედი, როგორც ამოზნექილი, ისე ჩაზნექილი, რომლის რომელიმე გვერდის ან დიაგონალის სიგრძე ტოლია 1-ის. ე.ი.  $k=1$ -სათვის ზემოხსენებული საკითხი გადაჭრილია.

ამის დასამტკიცებლად განვიხილოთ რამდენიმე ამოცანა.

ლემა 1. თუ დიოფანტური სამკუთხედის ერთ-ერთი გვერდი 1-ის ტოლია, მაშინ მისი დანარჩენი გვერდები ამ სამკუთხედის ტოლი ფერდებია.



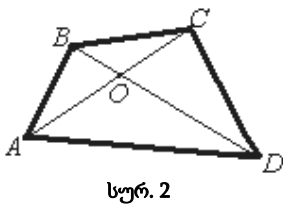
მოც:  $\Delta ABC$ ;  
 $|BC|, |AC| \in N$ ;  
 $|AB| = 1$ .  
 -----  
 ა.დ.  $|BC| = |AC|$ .

ზოგადობის შეუზღუდავად ვთქვათ  $|BC| \leq |AC|$ . სამკუთხედის უტოლობის ძალით  $|AB| + |BC| > |AC|$  ანუ  $1 + |BC| > |AC|$ .

ე.ი.  $\begin{cases} |BC|, |AC| \in N; \\ |BC| \leq |AC| < |BC| + 1. \end{cases} \Rightarrow (|BC| = |AC|)$ . რ.დ.გ.

ეს შესანიშნავი თვისება არის ერთ-ერთი ქვაკუთხედი დიოფანტური და ბიდიოფანტური გეომეტრიული ფიგურების კვლევის აპარატისა.

ლემა 2. ამოზნექილი დიოფანტური ოთხკუთხედის ყოველი გვერდისა და ყოველი დიაგონალის სიგრძე 1-ზე მეტია.



დავუშვათ საწინააღმდეგო. ე.ი. ვთქვათ ოთხკუთხედ  $ABCD$ -ში თითოეული გვერდისა და დიაგონალის სიგრძე გამოისახება ნატურალური რიცხვით და ამასთან ერთ-ერთი გვერდის სიგრძე, ზოგადობის შეუზღუდავად ვთქვათ  $|AB| = 1$ .

ლემა 1-ის თანახმად  $|BC| = |AC|$  და  $|BD| = |AD|$ .

ეს კი შეუძლებელია, ვინაიდან მაშინ  $C$  და  $D$  წერტილები უნდა მდებარეობდეს  $[AB]$ -ს შუამართობზე. ე.ი. ჩვენი დაშვება მცდარია. მაშასადამე ამ პირობით  $\Delta ABCD$ -ს თითოეული გვერდის სიგრძე 1-ზე მეტია.

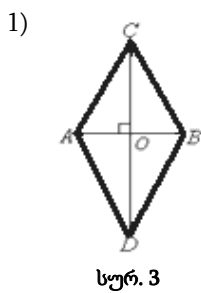
ახლა ვთქვათ  $\Delta ABCD$ -ს დიაგონალის სიგრძე 1-ის ტოლია, ზოგადობის შეუზღუდავად ვთქვათ  $|AC| = 1$ .

ლემა 1-ის თანახმად  $|AB| = |BC|$  და  $|CD| = |AD|$ . ამასთან  $\Delta BOC$  და  $\Delta AOD$ -დან სამკუთხედის უტოლობის გამოყენებით ადვილი საჩვენებელია, რომ  $|BD| + |AC| > |BC| + |AD|$  ანუ  $|AB| + |AD| < |BD| + 1$ .  $\Delta ABD$ -დან გვაქვს  $|AB| + |AD| > |BD|$ . ე.ი.  $\begin{cases} |AB|, |BD|, |AD| \in N; \\ |BD| < |AB| + |AD| < |BD| + 1. \end{cases}$  ეს შეუძლებელია. ამრიგად დაშვება მცდარია ანუ  $|AC| > 1$ .

ე.ი. საბოლოოდ გვაქვს, რომ ყოველი ამოზნექილი დიოფანტური ოთხკუთხედის თითოეული გვერდისა და დიაგონალის სიგრძე 1-ზე მეტია. რ.დ.გ.

**ლემა 3.** თუ სიბრტყეზე მდებარე ოთხი წერტილიდან არც ერთი სამი არ მდებარეობს ერთ წრფეზე და ამასთან მანძილი ყოველ ორ მათგანს შორის გამოისახება ნატურალური რიცხვით, მაშინ ამ მანძილებიდან თითოეული მათგანი 1-ზე მეტია.

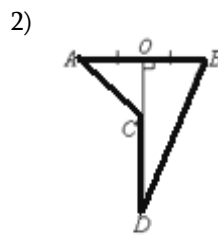
დავუშვათ საწინააღმდეგო. ე.ი. ვთქვათ სიბრტყეზე მოიძებნება ისეთი ოთხი წერტილი, რომელთაგან არც ერთი სამი არ მდებარეობს ერთ წრფეზე, მანძილი ყოველ ორ მათგანს შორის გამოისახება ნატურალური რიცხვით და ამასთან, რომელიღაც ამ მანძილებიდან 1-ის ტოლია. მაშინ **ლემა 1**-ის თანახმად დანარჩენი ორივე წერტილი უნდა მდებარეობდეს 1-ის ტოლი სიგრძის მონაკვეთის შუამართობზე. აქ გვექნებოდა ორი შემთხვევა



მოც:  $\Delta ABC$ ;

$$\begin{cases} |AB| = 1; \\ |AC| = |BC| \in N; \\ |AD| = |DB| \in N; \\ |CD| \in N. \end{cases}$$

სურ. 3



მოც:  $|AB| = 1, |AC| = |BC| = m;$

$$\begin{cases} |AD| = |DB| = n, \\ |CD| = l, m, n, l \in N. \end{cases}$$

სურ. 4

- 1) ეს შემთხვევა განხილულია **ლემა 2**-ში.
- 2)  $\Delta AOC$  და  $\Delta DOB$  -დან გვაქვს:

$$\begin{cases} |AC|^2 = |AO|^2 + |OC|^2; \\ |BD|^2 = |OB|^2 + |OD|^2; \\ |OD| = |OC| + |CD|, |AO| = |OB| = 0,5; \\ |AC| = |CB| = m, |AD| = |DB| = n, |CD| = l, m, n, l \in N. \end{cases} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \begin{cases} m^2 = \left(\frac{1}{2}\right)^2 + |OC|^2; \\ n^2 = \left(\frac{1}{2}\right)^2 + (l + |OC|)^2; \\ m, n, l \in N. \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} |OC| = \frac{n^2 - m^2 - l^2}{2l}; \\ 4m^2 - 1 = (2|OC|)^2; \\ m, n, l \in N. \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} |OC| = \frac{n^2 - m^2 - l^2}{l} = q \in \mathbb{Q}_+; \\ 4m^2 - 1 = q^2; \\ m, n, l \in N. \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} m, q \in N; \\ 4m^2 - q^2 = 1. \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} m, q \in N; \\ (2m - q)(2m + q) = 1. \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} m, q \in N; \\ 2m - q = 1; \\ 2m + q = 1. \end{cases}$$

ეს კი შეუძლებელია. მაშასადამე მანძილი ნებისმიერ ორ წერტილს შორის ამ მოცემული წერტილებიდან, მეტია 1-ზე. რ.დ.გ.

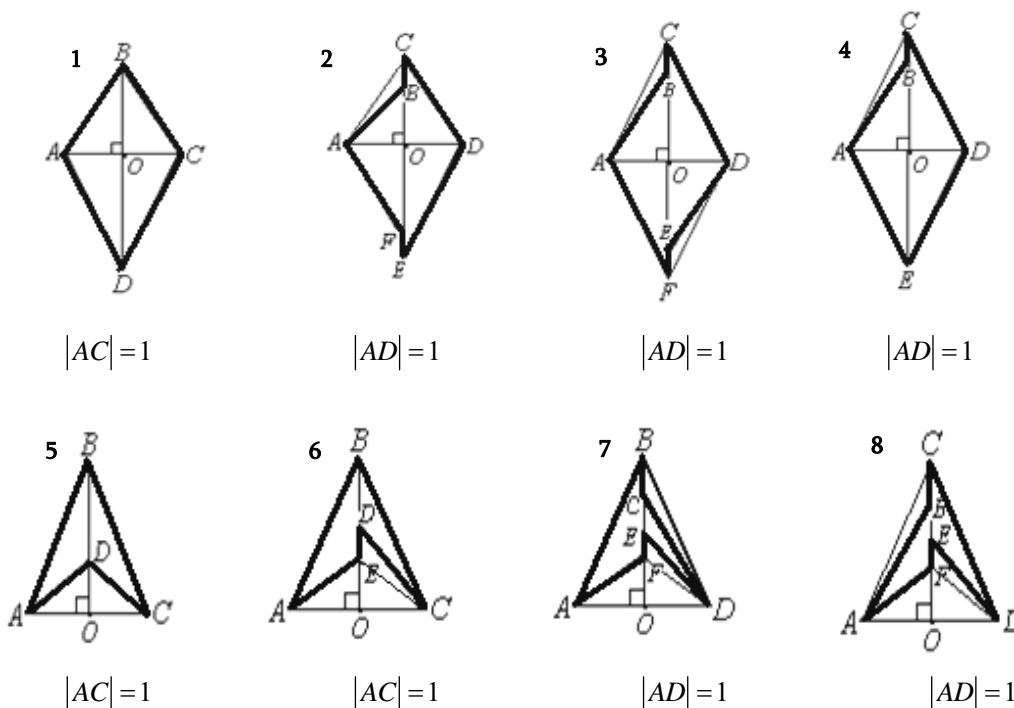


**თეორემა 1.** ამოზნექილი დიოფანტური  $n$ -კუთხედის ( $n > 3$ ), ყოველი გვერდისა და ყოველი დიაგონალის სიგრძე 1-ზე მეტია.

დავუშვათ საწინააღმდეგო. ე.ი. დავუშვათ ამოზნექილი დიოფანტური  $n$ -კუთხედის ( $n > 3$ ), რომელიმე ორ წვეროს შორის მანძილი ტოლია 1-ის. **ლემა 1**-ის ძალით დანარჩენი წვეროები უნდა მდებარეობდნენ ამ ორი წვეროს შემაერთებელი მონაკვეთის შუამართობზე. ვინაიდან ეს  $n$ -კუთხედი უნდა იყოს ამოზნექილი, ამიტომ ცხადია  $n=4$ , მაგრამ ლემა 2-ის თანახმად ასეთი ოთხკუთხედი არ არსებობს. ე.ი. ჩვენი დაშვება მცდარია ანუ ყოველი ამოზნექილი დიოფანტური  $n$ -კუთხედის ( $n > 3$ ), ყოველი გვერდისა და ყოველი დიაგონალის სიგრძე მეტია 1-ზე. რ.დ.გ.

**თეორემა 2.** თუ სიბრტყეზე მდებარე  $n$ -წერტილიდან ( $n > 3$ ), არც ერთი სამი არ მდებარეობს ერთ წრეზე და ამასთან მანძილი ყოველ ორ მათგანს შორის გამოსახება ნატურალური რიცხვით, მაშინ ამ მანძილებიდან ყოველი მათგანი 1-ზე მეტია.

ისევე, როგორც წინა თეორემაში, თუ მანძილი დიოფანტური მრავალკუთხედის რომელიმე ორ წვეროს შორის 1-ის ტოლია, მაშინ მისი დანარჩენი წვეროები უნდა მდებარეობდეს ამ ორი წვეროს შემაერთებელი მონაკვეთის შუამართობზე. თუ გავითვალისწინებთ იმას, რომ ამ წვეროებიდან არც ერთი სამი არ მდებარეობს ერთ წრეზე, მაშინ გვექნება მხოლოდ შემდეგი შემთხვევები (იხ. სურ. 5).



სურ. 5

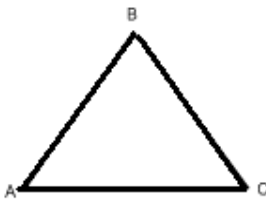
პირველ ოთხს არ გააჩნია 1-ლი ამონახსნი თეორემის თანახმად. ოთხივე შევსებით ღებულობს 1)-ის სახეს და ვინაიდან არ არსებობს ასეთი დიოფანტური ოთხკუთხედი, ამიტომ არ იარსებებს არც 2), 3) და 4) სახის დიოფანტური ოთხკუთხედები, ხოლო ბოლო ოთხს არ გააჩნა ამონახსნი მე-2 თეორემის ძალით. აქაც

შეესებოთ 6), 7) და 8) დადის 5)-ის სახეზე. ე.ი. ჩვენი დაშვება მცდარია ანუ ამოცანის პირობით მოცემული მანძილებიდან ყოველი მათგანი 1-ზე მეტია. ამით მთლიანად დამტკიცებულია.

ე. ი. ჩვენ დავამტკიცეთ შემდეგი თეორემა:

**ამოცანა\* (n;1) არ არსებობს ისეთი დიოფანტური n-კუთხედი (n > 3), როგორც ამოზნექილი, ასევე ჩაზნექილი, რომლის რომელიმე გვერდის ან დიაგონალის სიგრძე 1-ის ტოლი იყოს.**

ამოცანა 1. დიოფანტურ  $\triangle ABC$ -ში  $|AC|=2$  და  $|AB|=a; (a \in N)$  ვიპოვოთ  $|BC|$ .



მოც:  $\triangle ABC; |BC| \in N; |AC|=2, |AB|=a; a \in N, a \neq 1$ .

უ. გ.  $|BC|$

გვაქვს ორი შემთხვევა: 1)  $\begin{cases} a \in N; a \geq 2; \\ |BC| \leq a. \end{cases}$  2)  $\begin{cases} a \in N; a \geq 2; \\ |BC| \geq a. \end{cases}$

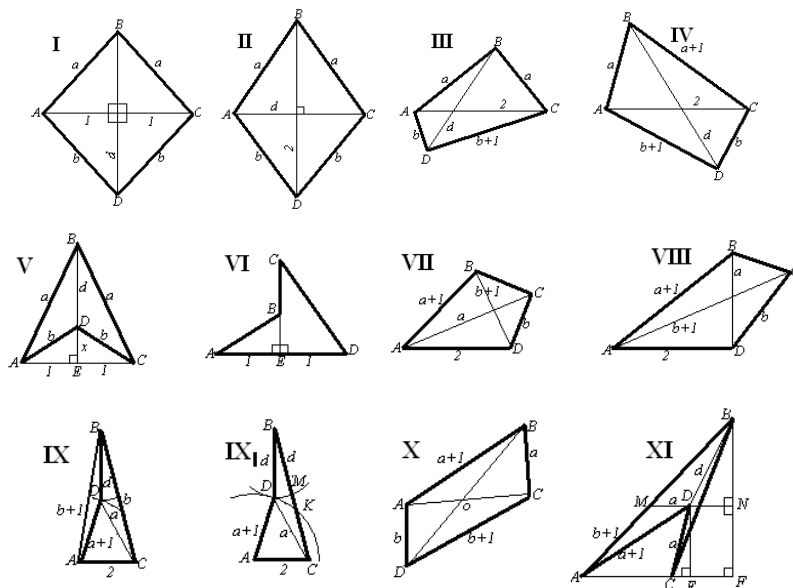
1)  $\triangle ABC$ -დან სამკუთხედის უტოლობის თანახმად  $a < |BC| + 2$

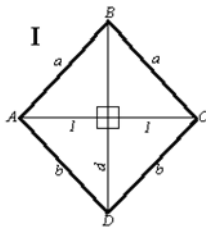
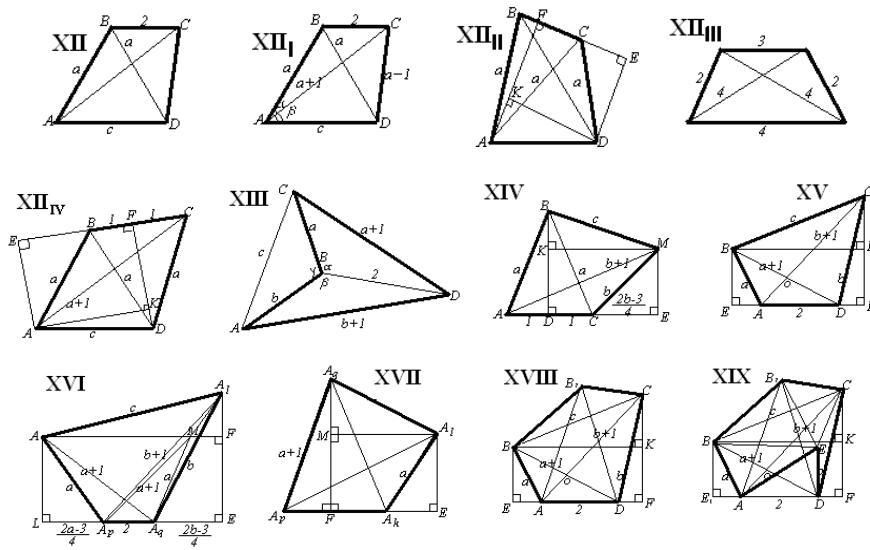
$$\begin{cases} |BC|; a \in N; a \geq 2; \\ |BC| \leq a < |BC| + 2. \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} a \in N \\ a = |BC|; \\ a = |BC| + 1. \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} a \in N; a \geq 2; \\ |BC| = a; \\ |BC| = a - 1. \end{cases}$$

2)  $\triangle ABC$ -დან სამკუთხედის უტოლობის თანახმად  $|BC| < a + 2$

$$\begin{cases} |BC|; a \in N; a \geq 2; \\ a \leq |BC| < a + 2. \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} a \in N; a \geq 2; \\ |BC| = a; \\ |BC| = a + 1. \end{cases}$$

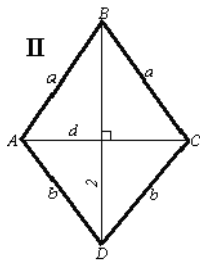
ჩვენ მიერ ქვემოთ მოყვანილია ყველა ისეთი დიოფანტური ოთხკუთხედი, რომლის გვერდის ან დიაგონალის სიგრძე შეიძლება 2-ის ტოლი იყოს





$$\text{მოც: } \begin{cases} a, b, d \in \mathbb{N}; \\ |AB| = |BC| = a; \\ |AD| = |CD| = b; \\ |AC| = 2; \quad |BD| = d. \end{cases}$$

ლემა 3-ში ჩვენ უკვე გვქონდა ნაჩვენები, რომ ასეთი დიოფანტური ოთხკუთხედი არ არსებობს.



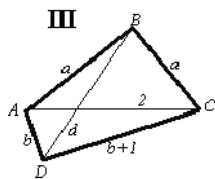
$$\text{მოც: } \begin{cases} a, b, d \in \mathbb{N}; \quad a < b; \\ |AB| = |BC| = a; \\ |AD| = |CD| = b; \\ |AC| = d; \quad |BD| = 2. \end{cases}$$

$$\Delta ABC \text{-დან გვაქვს } \begin{cases} a, b \in \mathbb{N}; \\ a < b; \\ a + 2 > b. \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} a, b \in \mathbb{N}; \\ b - 2 < a < b \end{cases} \Rightarrow (a = b - 1)$$

ცნობილია, რომ ამოზნექილი ოთხკუთხედის დიაგონალების სიგრძეთა ჯამი მეტია მოპირდაპირე გვერდების სიგრძეთა ჯამზე. ამიტომ  $d + 2 > a + b$  ანუ  $d + 2 > 2b - 1$ .

$\Delta ABC$ -დან  $\begin{cases} d, b \in \mathbb{N}; \\ d < 2a = 2b - 2; \end{cases}$  ე.ო.  $\begin{cases} d, b \in \mathbb{N}; \\ 2b - 3 < d < 2b - 2 \end{cases}$  ეს კი შეუძლებელია. ამიტომ ასეთი დიოფანტური

ოთხკუთხედი არ არსებობს.



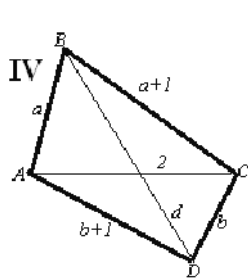
$$\text{მოც: } \begin{cases} a, b, d \in \mathbb{N}; \quad |AB| = |BC| = a; \\ |AD| = b; \quad |CD| = b + 1 \\ |AC| = 2; \quad |BD| = d. \end{cases}$$

$\Delta ABD$ -დან  $d < a + b$ .

ოთხკუთხედ  $ABCD$ -დან  $|AC| + |BD| > |AB| + |CD|$ , ანუ  $d + 2 > a + b + 1$ .

გვაქვს:  $\begin{cases} d < a+b \\ d+2 > a+b+1 \\ a, b, d \in N \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} a+b-1 < d < a+b \\ a, b, d \in N \end{cases}$  ეს კი შეუძლებელია. ამიტომ ასეთი დიოფანტური ოთხ-

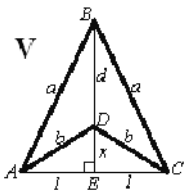
კუთხედი არ არსებობს.



მოც:  $\begin{cases} a, b, d \in N; \\ |AB| = a, |BC| = a+1; \\ |AD| = b+1, |CD| = b; \\ |AC| = 2; |BD| = d. \end{cases}$

$\begin{cases} |BD| + |AC| > |BC| + |AD|; \\ |BD| < |AB| + |AD|; \\ |AB|, |BC|, |AD|, |BD| \in N. \end{cases}$  ე.ო.  $\begin{cases} a, b, d \in N; \\ d+2 > a+1+b+1 \\ d < a+b+1 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} a, b, d \in N; \\ a+b < d < a+b+1 \end{cases}$

ეს კი შეუძლებელია. ამიტომ ასეთი დიოფანტური ოთხკუთხედი არ არსებობს.

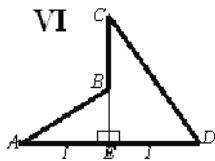


მოც:  $\begin{cases} a, b, d \in N; \\ |AB| = |BC| = a; \\ |AD| = |CD| = b; \\ |BD| = d; |AC| = 2 \end{cases}$

მართკუთხა  $\triangle AED$  და მართკუთხა  $\triangle AEB$  -დან გვაქვს:

$$\begin{cases} a, b, d \in N \\ 1^2 + x^2 = b^2 \\ 1^2 + (d+x)^2 = a^2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} a, b, d \in N \\ 1 + x^2 = b^2 \\ 1 + x^2 + d^2 + 2dx = a^2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} a, b, d \in N \\ x = \frac{a^2 - b^2 - d^2}{2d} \in Q_+ \\ 1 + x^2 = b^2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} b, x \in N \\ (b-x)(b+x) = 1 \end{cases} \Rightarrow$$

$\Rightarrow \begin{cases} b, x \in N \\ b-x=1 \\ b+x=1 \end{cases}$  ეს კი შეუძლებელია. ამიტომ ასეთი დიოფანტური ოთხკუთხედი არ არსებობს.



მოც:  $\begin{cases} |AB| = |BD| = a; |AC| = |CD| = b; \\ |BC| = d; |AD| = 2. \\ a, b, d \in N \end{cases}$

ამოცანის პირობიდან გამომდინარე B და C წერტილები მდებარეობს

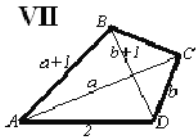
$[AD]$  -ს შუა მართობზე, ამიტომ  $|AE| = |ED| = \frac{|AD|}{2} = 1$ .

მართკუთხა  $\triangle AEB$  და მართკუთხა  $\triangle CED$  -დან გვაქვს:

$$\begin{cases} a^2 = |BE|^2 + 1 \\ b^2 = (d + |BE|)^2 + 1 \\ a, b, d \in N. \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} a^2 = |BE|^2 + 1 \\ |BE| = \frac{b^2 - d^2 - a^2}{2d} \in Q_+ \\ a, b, d \in N. \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} a^2 - |BE|^2 = 1 \\ a, |BE| \in N \end{cases} \Rightarrow$$

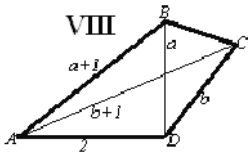
$$\Rightarrow \begin{cases} (a-|BE|)(a+|BE|) = 1; \\ a, |BE| \in N. \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} a-|BE| = 1; \\ a+|BE| = 1; \\ a, |BE| \in N. \end{cases}$$

კუთხედი არ არსებობს.



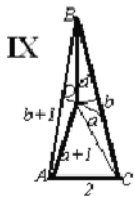
$$\text{მოც: } \begin{cases} a, b, d, c \in N; \\ |AB| = a+1; |AC| = a; |BC| = c; |CD| = b; \\ |BD| = b+1; |AD| = 2. \end{cases}$$

ასეთი დიოფანტური ოთხკუთხედი არ არსებობს, ვინაიდან ამოზნექილი ოთხკუთხედის დიაგონალების სიგრძეთა ჯამი მეტი უნდა იყოს ამ ოთხკუთხედის მოპირდაპირე გვერდების სიგრძეთა ჯამზე, ე.ი. უნდა იყოს  $|BD|+|AC| > |AB|+|CD|$ , მაგრამ, აქედან გამომდინარე გვექნებოდა  $a+(b+1) > (a+1)+b$ , რაც შეუძლებელია.



$$\text{მოც: } \begin{cases} a, b, d, c \in N; \\ |AB| = a+1; |AC| = b+1; |BC| = c; |CD| = b; \\ |BD| = a; |AD| = 2. \end{cases}$$

VIII-შიც, VII-ს მსგავსად უნდა იყოს  $|BD|+|AC| > |AB|+|CD|$ , მაგრამ, აქედან გამომდინარე გვექნებოდა  $a+(b+1) > (a+1)+b$ . ამიტომ ასეთი დიოფანტური ოთხკუთხედი არ არსებობს.



$$\text{მოც: } \begin{cases} a, b, d, c \in N; \\ |AB| = b+1; |AC| = 2; |BC| = b; |CD| = a; \\ |BD| = d; |AD| = a+1. \end{cases}$$

შემოვხაზოთ  $A$  წერტილიდან  $[AD]$  და  $B$  წერტილიდან  $[BD]$  რადიუსებით რკალები და ვთქვათ ისინი კვეთენ  $[BC]$  -ს შესაბამისად  $K$  და  $M$  წერტილებში.

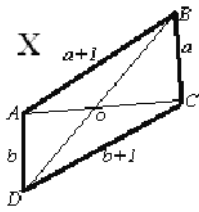
$$\Delta AKC \text{ -დან გვაქვს } (2+|CK| > a+1) \Rightarrow (|CK| > a-1).$$

$$\begin{cases} |CK|+|BM| < b; \\ |CK| > a-1; |BM| = d. \end{cases} \Rightarrow a-1+d < b \Rightarrow d < b-a+1.$$

$$\Delta BDC \text{ -დან } d+a > b \Rightarrow d > b-a.$$

$$\text{ე.ი. } \begin{cases} d > b-a; \\ d < b-a+1 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} b-a < d < b-a+1; \\ a, b, d \in N \end{cases}$$
 ეს კი შეუძლებელია. ამიტომ ასეთი დიოფანტური ოთხ-

კუთხედი არ არსებობს.



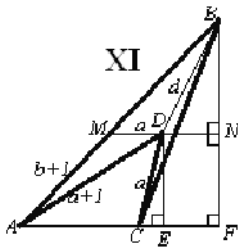
$$\text{მოც: } \begin{cases} a, b, |BD| \in \mathbb{N}; a > 3; b > 3; \\ |AB| = a+1; |BC| = a; |AD| = b; |CD| = b+1; \\ \begin{cases} |AC| = 2; \\ |AC| = 3. \end{cases} \end{cases}$$

$$\begin{cases} a, b \in \mathbb{N} \\ a > 3 \\ b > 3 \\ \begin{cases} |AC| = 2 \\ |AC| = 3 \end{cases} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} |AC|^2 + a^2 \leq (a+1)^2 \\ |AC|^2 + b^2 \leq (b+1)^2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \widehat{ACB} \in \left[ \frac{\pi}{2}; \pi \right) \\ \widehat{DAC} \in \left[ \frac{\pi}{2}; \pi \right) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} a < |BD| < a+1 \\ b < |DO| < b+1 \end{cases} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow a+b < |BO| + |OD| < a+b+2 \Rightarrow |BD| \in (a+b; a+b+2).$$

$$\triangle ABCD \text{ -დან გვაქვს } |BD| < a+b+1. \text{ ე.ო. } \begin{cases} |BD| \in (a+b; a+b+1); \\ |BD| \in \mathbb{N} \end{cases} \Rightarrow |BD| \notin \mathbb{N}.$$

ამიტომ ასეთი დიოფანტური ოთხკუთხედი არ არსებობს.



$$\begin{aligned} \triangle MBN \sim \triangle ABF &\Rightarrow \frac{|MB|}{|AB|} = \frac{|BN|}{|BF|} \Rightarrow \\ \Rightarrow \frac{|MB|}{b+1} &= \frac{\sqrt{12b^2 + 12b - 9} - \sqrt{12a^2 + 12a - 9}}{\sqrt{12b^2 + 12b - 9}} = 1 - \sqrt{\frac{2a-1}{2b-1} \cdot \frac{2a+3}{2b+3}} < \\ < 1 - \frac{2a-1}{2b-1} &= \frac{b-a}{b-\frac{1}{2}}. \end{aligned}$$

$$\text{გვაქვს } |MB| < (b-a) + 1.5 \left( \frac{b-a}{b-\frac{1}{2}} \right) < (b-a) + 1.5.$$

$$\begin{cases} |BD| < |MB| < (b-a) + 1.5 \\ |BD| \in \mathbb{N} \end{cases} \Rightarrow |BD| \leq (b-a) + 1$$

$$\triangle ADB \text{ -დან გვაქვს: } (a+1) + |BD| > b+1 \Rightarrow |BD| > b-a.$$

$$\text{ე.ო. } \begin{cases} b-a < |BD| \leq b-a+1; \\ a, b, |BD| \in \mathbb{N} \end{cases} \Rightarrow |BD| = b-a+1.$$

$$\text{მართკუთხა } \triangle DNB \text{ -დან } |DN|^2 + |BN|^2 = |BD|^2. \text{ ე.ო.}$$

$$\left( \frac{b-a}{2} \right)^2 + \left( \frac{\sqrt{12b^2 + 12b - 9} - \sqrt{12a^2 + 12a - 9}}{4} \right)^2 = ((b-a) + 1)^2. \text{ საიდანაც მივიღებთ:}$$

$$24a^2b - 24ab^2 - 62ab + 37a^2 + 13b^2 + 28b - 40a + 13 = 0 \quad (*)$$

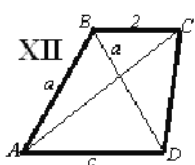
აქედან გამომდინარე

$$37a^2 + 13b^2 + 13 \equiv 0 \pmod{2} \Rightarrow a^2 + b^2 + 1 \equiv 0 \pmod{2} \Rightarrow \begin{cases} a = 2p \\ b = 2k - 1 \end{cases} \cup \begin{cases} a = 2p - 1 \\ b = 2k \end{cases} \\ p, k \in \mathbb{N}$$

თუ  $b=2k$  მაშინ  $(*)$ -დან გვაქვს:  $37a^2 + 13 = 4 \cdot 37p(p-1) + 37 + 13 \equiv 0 \pmod{4}$ , რაც შეუძლებელია.

თუ  $a=2p$ , მაშინ  $(*)$ -დან გვაქვს  $13b^2 + 13 = 13(4p(p-1) + 2) \equiv 0 \pmod{4}$ , რაც ასევე შეუძლებელია. ე. ი.

ასეთი დიოფანტური ოთხკუთხედი არ არსებობს.



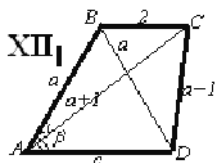
მოც:  $\begin{cases} |AB| = |BD| = a, & |AD| = c, & |BC| = 2; \\ |AC|, & |CD|, & a, & c \in \mathbb{N}; & |CD| < |BD|. \end{cases}$

ამოცანის პირობიდან გამომდინარე გვაქვს:  $c < 2a$ ;

$$|CD| = a - 1; \begin{cases} |AC| = a + 1; & (*) \\ |AC| = a & (**) \end{cases}$$

განვიხილოთ თითოეული მათგანი ცალ-ცალკე:

(\*)  $\Delta ABC$  და  $\Delta ACD$ -დან კოსინუსების თეორემით გვაქვს:



$$\begin{cases} 2^2 = a^2 + (a+1)^2 - 2a(a+1)\cos\alpha \\ (a-1)^2 = c^2 + (a+1)^2 - 2c(a+1)\cos\beta \end{cases} \Rightarrow$$

$$\begin{cases} \cos\alpha = \frac{2a^2 + 2a - 3}{2}; & \sin\alpha = \frac{\sqrt{12a^2 + 12a - 9}}{2a(a+1)}; \\ \cos\beta = \frac{c^2 + 4a}{2c(a+1)}; & \sin\beta = \frac{\sqrt{(c^2 - 4)(4a^2 - c^2)}}{2c(a+1)} \end{cases}$$

$\Delta ABD$  -დან

$$\frac{c}{2a} = \cos(\alpha + \beta) = \frac{(c^2 + 4a)(2a^2 + 2a - 3)}{4ac(a+1)^2} - \frac{\sqrt{(c^2 - 4)(4a^2 - c^2)(12a^2 + 12a - 9)}}{4ac(a+1)^2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \sqrt{(c^2 - 4)(4a^2 - c^2)(12a^2 + 12a - 9)} = -(2a + 5)c^2 + (8a^3 + 8a^2 - 12a) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 16(a+1)^2c^4 - 4(a+1)^2(20a^2 - 9)c^2 + 64a^4(a+1)^2 = 0 \Rightarrow 4c^4 - (20a^2 - 9)c^2 + 16a^4 = 0.$$

აქედან გამომდინარე  $c = 4p$ , ( $p \in \mathbb{N}$ ). ჩასმით მივიღებთ:

$$(4(4p)^4 - (20a^2 - 9)(4p)^2 + 16a^4 = 0) \Leftrightarrow (64p^4 - (20a^2 - 9)p^2 + a^4 = 0)$$

ბოლო განტოლებიდან გვაქვს:  $\begin{cases} a^4 = 0 \pmod{p^2} \\ a, p \in \mathbb{N} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} a^2 = pt \\ a, p, t \in \mathbb{N} \end{cases}$  მიღებულის ბოლო განტოლებაში ჩას-

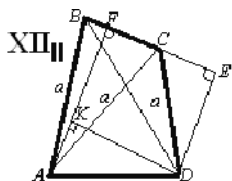
მითა და გამარტივებით მივიღებთ:

$$\begin{cases} t^2 - 20pt + (64p^2 + 9) = 0 \\ p, t \in N \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} t = 10p - 3\sqrt{4p^2 - 1}; \\ t = 10p + 3\sqrt{4p^2 - 1}. \Rightarrow t \in \emptyset. \\ p, t \in N \end{cases}$$

შენიშვნა:  $\begin{cases} 4p^2 - 1 = n^2; \\ p, n \in N \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} (2p-n)(2p+n) = 1; \\ p, n \in N \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} 2p-n = 1; \\ 2p+n = 1; \Rightarrow (n \in \emptyset). \\ p, n \in N. \end{cases}$

ე. ი. ასეთი დიოფანტური ოთხკუთხედი არ არსებობს.

(\*\*)



მოც:  $\begin{cases} |AB| = |BD| = |AC| = a; \\ |CD| = a-1; |BC| = 2; |AD| = c; \\ a, c \in N. \end{cases}$

მართკუთხა  $\triangle BED$  და მართკუთხა  $\triangle CED$ -დან გვაქვს:

$$a^2 - (2 + |CE|)^2 = (a-1)^2 - |CE|^2 \Rightarrow |CE| = \frac{2a-5}{4};$$

$$|DE| = \sqrt{(a-1)^2 - \left(\frac{2a-5}{4}\right)^2} = \frac{\sqrt{12a^2 - 12a - 9}}{4}$$

მართკუთხა  $\triangle AKD$  -დან პითაგორას თეორემით:

$$c^2 = \left(\frac{2a-1}{4}\right)^2 + \left(\sqrt{a^2-1} - \frac{\sqrt{12a^2-12a-9}}{4}\right)^2 \Rightarrow 4c^4 - 4(4a^2 - 2a - 3)c^2 + (4a^4 - 4a^3 + a^2) = 0$$

სადაც  $a, c \in N, a > 2, c > 1$ .

მიღებული განტოლებიდან გამომდინარეობს, რომ:  $a=2p; p \in N$ . ჩასმით მივიღებთ:

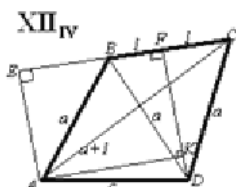
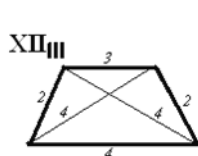
$$\begin{cases} c^4 - (16p^2 - 4p - 3)c^2 + p^2(4p-1)^2 = 0 \\ p, c \in N, p, c > 1 \end{cases} \quad (1)$$

(1) -დან  $p=2$ -სათვის გვექნება:

$$\begin{cases} c^4 - 53c^2 + 192 = 0 \\ c \in N, c > 1 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} c = 2 \\ c = 7. \end{cases}$$

$c=7$ -სათვის  $\triangle ACD$  გადაგვარებულია, ვინაიდან  $|AC| + |CD| = 4 + 3 = 7 = |AD|$ .

$c=2$ -სათვის მივიღებთ ჩვენთვის უკვე ნაცნობ დიოფანტურ ტრაპეციას. (1)-ის სხვა რომელიმე ამონახსნი დღეისათვის ჩვენთვის უცნობია. ვფიქრობთ სხვა ნატურალური ამონახსნი არ არსებობს.



მოც:  $\begin{cases} |AB| = |BD| = |CD| = a; \\ |AC| = a+1; |BC| = 2; |AD| = c; \\ a, c \in N. \end{cases}$

მართკუთხა  $\triangle AEC$  -დან და მართკუთხა  $\triangle AEB$  -დან გვაქვს:



$$(a+1)^2 - (|EB|+2)^2 = a^2 - |EB|^2 \Rightarrow |EB| = \frac{2a-3}{4}; |AE| = \sqrt{a^2 - \left(\frac{2a-3}{4}\right)^2} = \frac{\sqrt{12a^2+12a-9}}{4}.$$

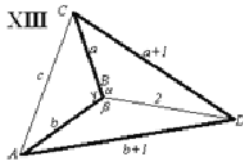
მართკუთხა  $\triangle AKD$  -დან პითაგორას თეორემით:

$$c^2 = \left(\frac{2a+1}{4}\right)^2 + \left(\sqrt{a^2-1} - \frac{\sqrt{12a^2+12a-9}}{4}\right)^2,$$

საიდანაც მივიღებთ:  $4c^4 - 4(4a^2 + 2a - 3)c^2 + a^2(2a + 1)^2 = 0$ . XIII-ის ანალოგიურად მიიღება:

$$\begin{cases} c^4 - (16p^2 + 4p - 3)c^2 + p^2(4p + 1)^2 = 0 \\ p, c \in N, p, c > 1 \\ a = 2p \end{cases} \quad (2)$$

დღეისათვის არ არის ნაპოვნი (2)-ის თუნდაც ერთი ამონახსნი. ჩვენი აზრით, მას არ უნდა გააჩნდეს ამონახსნი ნატურალურ რიცხვებში.



$$\text{მოც: } \begin{cases} \alpha + \beta > 180^\circ; \\ |BC| = a; |CD| = a+1; |AD| = b+1; \\ |AB| = b; |BD| = 2; |AC| = c; \\ a, b, c \in N. \end{cases}$$

$\triangle BCD$ ;  $\triangle ABD$  და  $\triangle ABC$  -დან კოსინუსების თეორემით გვაქვს:

$$\begin{cases} (a+1)^2 = a^2 + 2^2 - 4a \cdot \cos \alpha; \\ (b+1)^2 = b^2 + 2^2 - 4b \cos \beta; \\ c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos \gamma; \\ \cos \gamma = \cos(360^\circ - (\alpha + \beta)) = \cos(\alpha + \beta). \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \cos \alpha = \frac{3-2a}{4a}; \sin \alpha = \frac{\sqrt{12a^2+12a-9}}{4a} \\ \cos \beta = \frac{3-2b}{4b}; \sin \beta = \frac{\sqrt{12b^2+12b-9}}{4b} \\ \cos \gamma = \cos(\alpha + \beta) = \frac{a^2 + b^2 + c^2}{2ab}. \end{cases}$$

$$\Rightarrow \frac{a^2 + b^2 - c^2}{2ab} = \cos(\alpha + \beta) = \frac{(3-2a)(3-2b) - \sqrt{(12a^2+12a-9)(12b^2+12b-9)}}{16ab} \Rightarrow$$

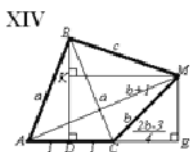
$$\Rightarrow \sqrt{(12a^2+12a-9)(12b^2+12b-9)} = (3-2a)(3-2b) - 8(a^2 + b^2 - c^2) \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow 4c^4 + c^2(9-6b-6a+4ab-8a^2-8b^2) + 2(a-b)^2(2(a^2+ab+b^2)+3(a+b)) = 0 \quad (1)$$

თუ (1) ში ჩავსვავთ  $a=b$ -ს, მივიღებთ:

$$4c^4 + c^2(9-6a-6a+4a^2-8a^2-8a^2) + 2(a-a)^2(2(a^2+a^2+a^2)+3(a+a)) = 0 \Leftrightarrow 4c^2 = 12a^2 + 12a - 9,$$

რომელსაც არ გააჩნია ამონახსნი ნატურალურ რიცხვებში, ვინაიდან, წინააღმდეგ შემთხვევაში, მისი მარცხენა მხარე ლუწი იქნებოდა, ხოლო მარჯვენა კი – კენტი. რაც შეეხება (1)-ს, დღეისათვის ჩვენთვის უცნობია თუნდაც ერთი სამეული ნატურალური ამონახსნებისა.



$$\text{მოც: } \begin{cases} |AB| = |BC| = a; |MC| = b; \\ |AM| = b+1; |BM| = c; |AC| = 2; \\ a, b, c \in N. \end{cases}$$

$$|MK| = 1 + \frac{2b-3}{4} = \frac{2b+1}{4};$$

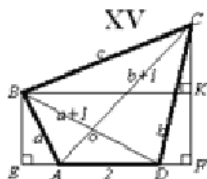
$$|BK| = \sqrt{c^2 - \left(\frac{2b+1}{4}\right)^2}; \quad |KD| = |ME| = \frac{\sqrt{12b^2 + 12b - 9}}{4};$$

$$\begin{cases} |BD| = \sqrt{4c^2 - 1}; \\ |BD| = \sqrt{c^2 - \left(\frac{2b+1}{4}\right)^2} + \frac{\sqrt{12b^2 + 12b - 9}}{4} \Rightarrow 4\sqrt{4c^2 - 1} = \sqrt{16c^2 - (2b+1)^2} + \sqrt{12b^2 + 12b - 9} \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow 9c^4 - 6c^2(b^2 + b) + (b^2 + b)^2 = 0 \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow \left(\frac{3c^2}{b^2 + b} - 1\right)^2 = 0 \Leftrightarrow \frac{3c^2}{b^2 + b} - 1 = 0 \Leftrightarrow b^2 + b = 3c^2 \Leftrightarrow b(b+1) = 3c^2 \Leftrightarrow (2b+1)^2 - 12c^2 = 1. \end{cases} \quad (1)$$

$$(a_1^2 - 12b_1^2)(c_1^2 - 12d_1^2) = (a_1c_1 - 12b_1d_1)^2 - 12(a_1d_1 - b_1c_1)^2. \quad (2)$$

(1) არის პელის განტოლება. მისი ამოხსნით მივიღებთ (1)-ის ნატურალურ ამონახსნებს. მათ შორის პირველი სამი წყვილია:

$$\left[ \begin{cases} 2b+1 = 7; \\ c = 2. \end{cases}; \begin{cases} 2b+1 = 97; \\ c = 28. \end{cases}; \begin{cases} 2b+1 = 1351; \\ c = 390. \end{cases} \right] \Leftrightarrow \left[ \begin{cases} b = 3; \\ c = 2. \end{cases}; \begin{cases} b = 48; \\ c = 28. \end{cases}; \begin{cases} b = 675; \\ c = 390. \end{cases} \right]$$



მოც:  $\begin{cases} AB = a; \quad |BC| = c; \quad |CD| = b; \quad |AC| = b+1; \\ |BD| = a+1; \quad a, b, c \in N. \end{cases}$

$\triangle ACD$ -დან  $\cos \widehat{ADC} = \frac{3-2b}{4b} < 0$  ( $b \in N; \quad b \neq 1$ ).

კუმერის ერთ-ერთი თეორემით (თეორემა: თუ ამოზნექილი ოთხკუთხედის გვერდებისა და დიაგონალების სიგრძეები გამოისახება რაციონალური რიცხვებით, მაშინ დიაგონალები გადაკვეთის წერტილით დაიყოფა რაციონალური სიგრძის მონაკვეთებად)  $|AO|, |OD| \in Q_+$ .

$\triangle AOD$  - დან სინუსების თეორემით გვაქვს:

$$\frac{|AO|}{|OD|} = \frac{\sin \widehat{ODA}}{\sin \widehat{OAD}} = \frac{\sin \widehat{BDA}}{\sin \widehat{CAD}} = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \widehat{BDA}}}{\sqrt{1 - \cos^2 \widehat{CAD}}} = \frac{\sqrt{1 - \left(\frac{2a+5}{4(a+1)}\right)^2}}{\sqrt{1 - \left(\frac{2b+5}{4(b+1)}\right)^2}} = \frac{(b+1)\sqrt{4a^2 + 4a - 3}}{(a+1)\sqrt{4b^2 + 4b - 3}}.$$

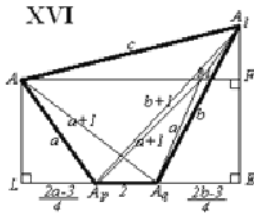
აქედან გამომდინარე  $\frac{\sqrt{4a^2 + 4a - 3}}{\sqrt{4b^2 + 4b - 3}} = t \in Q_+$  ანუ  $4a^2 + 4a - 3 = t^2(4b^2 + 4b - 3)$ . ე.ი. ამ ამოცანის ამოხსნა

დადის შემდეგი ამოცანის ამოხსნაზე.

ამოხსნათ ნატურალურ  $a, b, m$  და  $n$  რიცხვებში განტოლება

$$n^2(4a^2 + 4a - 3) = m^2(4b^2 + 4b - 3).$$

$$|AM| = \frac{2a-3}{2} + 2 = \frac{2a+1}{2}$$



ოთხკუთხედ  $A_p A_q A_l M$  -დან

$$|AM| + |A_p A_l| > |AA_l| + |A_p M| \Rightarrow \frac{2a+1}{2} + b+1 > a+1+c \Rightarrow c < b + \frac{1}{2} \Rightarrow c \leq b.$$

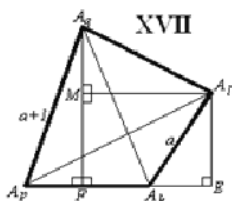
$$b > a \Rightarrow \frac{2a-1}{2b-1} < \frac{2a+3}{2b+3} \quad \text{მართკუთხა } \Delta AFA_l \text{ -დან პითაგორას თეორემით:}$$

$$\begin{aligned} c^2 &= \left(\frac{a+b+1}{2}\right)^2 + \frac{1}{16} \left(\sqrt{12b^2+12b-9} - \sqrt{12a^2+12a-9}\right)^2 = \\ &= \left(\frac{a+b+1}{2}\right)^2 + \frac{12b^2+12b-9}{16} \left(1 - \sqrt{\frac{2a-1}{2b-1} \cdot \frac{a+3}{2b+3}}\right)^2 = \left(\frac{a+b+1}{2}\right)^2 + \frac{3(2b-1)(2b+3)}{16} \times \\ &\times \left(1 - \sqrt{\frac{2a-1}{2b-1} \cdot \frac{a+3}{2b+3}}\right)^2 \quad (*) \quad (*)\text{-დან გვაქვს:} \end{aligned}$$

$$\boxed{1} \quad c^2 < \left(\frac{a+b+1}{2}\right)^2 + \frac{3(2b-1)(2b+3)}{16} \cdot \frac{4(b-a)^2}{(2b-1)^2} = \left(\frac{a+b+1}{2}\right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{2b+3}{2b-1}\right) \cdot (b-a)^2;$$

$$\boxed{2} \quad c^2 > \left(\frac{a+b+1}{2}\right)^2 + \frac{3(2b-1)(2b+3)}{16} \cdot \frac{4(b-a)^2}{(2b-3)^2} = \left(\frac{a+b+1}{2}\right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{2b-1}{2b+3}\right) \cdot (b-a)^2.$$

ე.ი თუ არსებობს ასეთი დიოფანტური ოთხკუთხედი, მაშინ  $c$  უნდა აკმაყოფილებდეს  $\boxed{1}$  და  $\boxed{2}$  პირობებს.



$$\text{მოც: } \begin{cases} A_p A_q A_l A_k; \\ |A_p A_q| = |A_q A_k| = |A_p A_l| = a+1 \\ |A_k A_l| = a; \quad |A_p A_k| = 2; \\ |A_q A_l| = c; \\ a, c \in N. \end{cases}$$

მართკუთხა  $\Delta A_p E A_l$  და  $\Delta A_k E A_l$  -იდან გვაქვს:

$$(a+1)^2 - (|A_k E| + 2)^2 = a^2 - |A_k E|^2 \Rightarrow a^2 + 2a + 1 - |A_k E|^2 - 4|A_k E| - 4 = a^2 - |A_k E|^2 \Rightarrow |A_k E| = \frac{2a-3}{4}.$$

$$|A_q F| = \sqrt{(a+1)^2 - 1} = \sqrt{a^2 + 2a}; \quad |EF| = \frac{2a-3}{4} + 1 = \frac{2a+1}{4}.$$

$$|A_l E| = \sqrt{a^2 - \left(\frac{2a-3}{4}\right)^2} = \frac{\sqrt{12a^2 + 12a - 9}}{4}.$$

$\Delta A_q M A_l$  -იდან პითაგორას თეორემით გვაქვს:

$$c^2 = \left(\frac{2a+1}{4}\right)^2 + \left(\sqrt{a^2 + 2a} - \frac{\sqrt{12a^2 + 12a - 9}}{4}\right)^2 = \frac{4a^2 + 6a - 1 - \sqrt{12a^4 + 36a^3 + 15a^2 - 18a}}{2}.$$

მარტივი გარდაქმნებით მივიღებთ განტოლებას:

$$c^2 = \frac{4a^2 + 6a - 1 - \sqrt{(a^2 + 2a)(12a^2 + 12a - 9)}}{2}. \quad (1)$$

$$1 \quad a \geq 3 \Leftrightarrow 12a^2 + 12a - 9 \geq 9(a^2 + 2a) \Leftrightarrow \sqrt{(a^2 + 2a)(12a^2 + 12a - 9)} \geq \sqrt{9(a^2 + 2a)^2} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow c^2 \leq \frac{4a^2 + 6a - 1 - 3(a^2 + 2a)}{2} = \frac{a^2 - 1}{2} \Leftrightarrow c \leq \sqrt{\frac{a^2 - 1}{2}}$$

$$2 \quad a^2 + 50a + 36 > 0 \Leftrightarrow 48a^2 + 48a - 36 < 49a^2 + 98a \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow 12a^2 + 12a - 9 < \frac{49}{4}(a^2 + 2a) \Leftrightarrow (a^2 + 2a)(12a^2 + 12a - 9) < 3.5^2(a^2 + 2a)^2 \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \sqrt{(a^2 + 2a)(12a^2 + 12a - 9)} < 3.5(a^2 + 2a)^2.$$

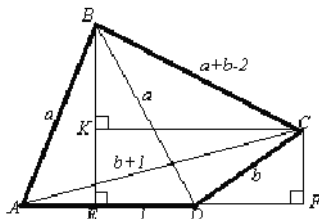
$$\text{ქ.ო. } c^2 > \frac{4a^2 + 6a - 1 - 3.5(a^2 + 2a)}{2} = \frac{0.5a^2 - a - 1}{2} = \left(\frac{a-1}{2}\right)^2 - \frac{3}{4} \Rightarrow c \geq \frac{a-1}{2}.$$

საბოლოოდ გვაქვს, რომ, თუ არსებობს ასეთი დიოფანტური ოთხკუთხედი, მაშინ  $c \in \left[\frac{a-1}{2}; \sqrt{\frac{a^2-1}{2}}\right)$ .

ახლა განვიხილოთ წრეწირში ჩახაზულობისა და წრეწირზე შემოხაზულობის საკითხი ისეთი დიოფანტური ოთხკუთხედებისათვის, რომელთა ერთ-ერთი გვერდის სიგრძე 2-ის ტოლია.

როგორც ვნახეთ, XIV სახის დიოფანტურ ოთხკუთხედზე ზოგ შემთხვევაში შემოიხაზება წრეწირი. ახლა გამოვიკვლიოთ ჩაიხაზება თუ არა ასეთი სახის დიოფანტურ ოთხკუთხედში წრეწირი?

**ამოცანა 2.**



მოც: □ABCD-ში ჩაიხაზება წრეწირი

$$\begin{cases} |AB| = |BD| = a; & |CD| = b; \\ |AC| = b + 1; \\ |AD| = 2 \\ a, b, |BC| \in \mathbb{N}. \end{cases}$$

$$(\square ABCD\text{-ში ჩაიხაზება წრეწირი}) \Rightarrow |BC| = |AB| + |CD| - |AD| = a + b - 2.$$

$$|BD| = \sqrt{|BE|^2 + |ED|^2} \Rightarrow |BE| = \sqrt{a^2 - 1}$$

$$|BE| = |BK| + |KE| = \sqrt{|BC|^2 - |KC|^2} + |CF| = \sqrt{(a+b-2)^2 - \left(\frac{2b+1}{4}\right)^2} + \frac{\sqrt{12b^2 + 12b - 9}}{4}.$$

$$\text{ქ.ო. } \sqrt{a^2 - 1} = \sqrt{(a+b-2)^2 - \left(\frac{2b+1}{4}\right)^2} + \frac{\sqrt{12b^2 + 12b - 9}}{4}$$

$$\Leftrightarrow \sqrt{16(a+b-2)^2 - (2b+1)^2} = \sqrt{16a^2 - 16} - \sqrt{12b^2 + 12b - 9} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} \sqrt{16a^2 - 16} - \sqrt{12b^2 + 12b - 9} > 0 \\ 16a^2 + 12b^2 + 32ab - 64a - 68b + 63 = 16a^2 - 16 + 12b^2 + 12b - 9 - 8\sqrt{(a^2 - 1)(12b^2 + 12b - 9)} \end{cases} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} 16a^2 > 12b^2 + 12b + 7 \\ -4ab + 8a + 10b - 11 = \sqrt{(a^2 - 1)(12b^2 + 12b - 9)}. \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} a > 2; \\ b > 2. \end{cases} \Rightarrow -4ab + 8a + 10b - 11 \geq \sqrt{(2^2 - 1)(12 \cdot 2^2 + 12 \cdot 2 - 9)} = \sqrt{189} > 13 \Rightarrow 2a(b - 2) < 5b - 12 \quad (*)$$

$$(b > 2) \Rightarrow a < 2.5 - \frac{1}{b-2} < 2.5. \text{ ე.ი. } a = 2.$$

$$a=2 \text{ -ის (1) ში ჩასმით მივიღებთ: } \begin{cases} -8b + 16 + 10b - 11 = 3\sqrt{4b^2 + 4b - 3} \\ b \in N. \end{cases} \Leftrightarrow$$

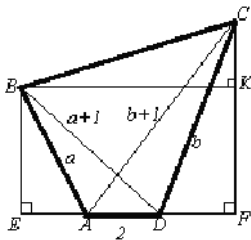
$$\Leftrightarrow \begin{cases} 2b + 5 = 3\sqrt{4b^2 + 4b - 3} \\ b \in N \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} 8b^2 + 4b - 13 = 0 \\ b \in N \end{cases} \Leftrightarrow b \in \emptyset$$

$$b=2 \text{ -ის (1) ში ჩასმით მივიღებთ: } \begin{cases} -8a + 8a + 20 - 11 = 3\sqrt{7(a^2 - 1)} \\ a \in N; a \geq 2. \end{cases} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} 9 = 7(a^2 - 1) \\ a \in N; a \geq 2. \end{cases} \Rightarrow a \in \emptyset. \text{ ე.ი. ასეთი დიოფანტური ოთხკუთხედი არ არსებობს.}$$

ახლა განვიხილოთ წრეწირში ჩახაზულობისა და წრეწირზე შემოხაზულობის საკითხი XV სახის დიოფანტური ოთხკუთხედებისათვის.

ამოცანა 3.



მოც:  $ABCD$  ჩახაზულია წრეწირში;

$$\begin{cases} |AB| = a; |BD| = a+1; |CD| = b; \\ |AC| = b+1; |AD| = 2; |BC| = c; \\ a, b, c \in N \end{cases}$$

( $\square ABCD$  ჩახაზულია წრეწირში)

$$\Rightarrow |BD| \cdot |AC| = |AB| \cdot |CD| + |BC| \cdot |AD| \Rightarrow (a+1)(b+1) = ab + 2c \Leftrightarrow c = \frac{a+b+1}{2};$$

$$\text{მართკუთხა } \triangle AEB \text{ და მართკუთხა } \triangle BED \text{ -დან } |AB|^2 - |EA|^2 = |BD|^2 - |ED|^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow a^2 - |EA|^2 = (a+1)^2 - (|EA|+2)^2 \Leftrightarrow |EA| = \frac{2a-3}{4}.$$

$$\text{ანალოგიურად } |DF| = \frac{2b-3}{4}. |EF| = |EA| + |AD| + |DF| = \frac{2a-3}{4} + 2 + \frac{2b-3}{4} = \frac{a+b+1}{2}.$$

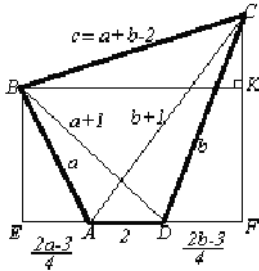
ე.ი.  $|EF| = |BK| = |BC|$ . მივიღეთ, რომ  $ABCD$  მართკუთხედაა. ამიტომ

$$|BE| = |CF| \Rightarrow \frac{\sqrt{12a^2 + 12a - 9}}{4} = \frac{\sqrt{12b^2 + 12b - 9}}{4} \Leftrightarrow a(a+1) = b(b+1) \Leftrightarrow a = b.$$

ე.ი.  $c = \frac{a+a+1}{2} = \frac{2a+1}{2} \notin N.$

ეს კი შეუძლებელია. ამიტომ ასეთი დიოფანტური ოთხკუთხედი არ არსებობს.

**ამოცანა 4.**



მოც:  $\square ABCD$  შემოხაზულია წრეწირზე;

$$\begin{cases} |AB| = a; |BD| = a+1; |CD| = b; \\ |AC| = b+1; |AD| = 2; |BC| = c; \\ a, b, c \in N; b > a. \end{cases}$$

( $\square ABCD$  -ში ჩახაზულია წრეწირი).

$$\Rightarrow c+2 = a+b \Rightarrow c = a+b-2$$

$$|EF| = \frac{2a-3}{4} + 2 + \frac{2b-3}{4} = \frac{2a+2b+2}{4} = \frac{a+b+1}{2}$$

$$\sqrt{c^2 - \frac{(a+b+1)^2}{4}} = |CF| - |BE| = \frac{\sqrt{12b^2 + 12b - 9}}{4} - \frac{\sqrt{12a^2 + 12a - 9}}{4} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow 2\sqrt{4c^2 - (a+b+1)^2} = \sqrt{12b^2 + 12b - 9} - \sqrt{12a^2 + 12a - 9} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow 4\left(4(a+b-2)^2 - (a+b+1)^2\right) = 12b^2 + 12b - 9 + 12a^2 + 12a - 9 -$$

$$-2\sqrt{(12b^2 + 12b - 9)(12a^2 + 12a - 9)} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \sqrt{(12b^2 + 12b - 9)(12a^2 + 12a - 9)} = -39 - 12ab + 42a + 42b \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \sqrt{(4b^2 + 12b - 3)(4a^2 + 4a - 3)} = -13 - 4ab + 14a + 14b \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow (4b^2 + 12b - 3)(4a^2 + 4a - 3) = (-13 - 4ab + 14a + 14b)^2 \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow 16a^2b^2 + 16ab^2 - 12b^2 + 16a^2b + 16ab - 12b - 12a^2 - 12a + 9 =$$

$$= 169 + 16a^2b^2 + 196a^2 + 196b^2 + 104ab - 364a - 364b - 112a^2b - 112ab^2 + 392ba \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow 128ab^2 - 208b^2 + 128a^2b - 480ab + 352b - 208a^2 + 352a - 160 = 0 \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow 8ab^2 - 13b^2 + 8a^2b - 30ab + 22b - 13a^2 + 22a - 10 = 0 \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow 8ab^2 + 8a^2b + 22b + 22a = 13b^2 + 13a^2 + 30ab + 10 \quad (*)$$

$$\text{თუ } \begin{cases} b \geq a > 3; \\ a, b \in N. \end{cases} \text{ მაშინ } \begin{cases} 8ab^2 \geq 32b^2 > 26b^2 \geq 13a^2 + 13b^2; \\ 8a^2b = 8a(ab) \geq 32ab > 30ab; \\ 22a + 22b > 22 \cdot 3 + 22 \cdot 3 > 10 \end{cases} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 8ab^2 + 8a^2b + 22a + 22b > 13a^2 + 13b^2 + 30a + 10.$$

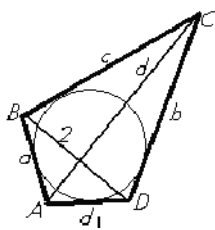
ე.ი.  $\begin{cases} a, b \in N; \\ b \geq a; \\ a \in \{1; 2; 3\}. \end{cases}$

$a = 1$ ,  $a = 2$  და  $a = 3$  –ის ჩასმით (\*)-ში მივიღებთ:

$$\begin{cases} 8b^2 + 8b + 22b + 22 = 13 + 13b^2 + 30b + 10; \\ 16b^2 + 32b + 22b + 44 = 52 + 13b^2 + 60b + 10; \\ 24b^2 + 72b + 22b + 66 = 117 + 13b^2 + 90b + 10. \\ b \in N. \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} 5b^2 + 1 = 0; \\ b^2 - 2b - 6 = 0; \\ 13b^2 + 4b - 61 = 0. \\ b \in N. \end{cases} \Leftrightarrow (b \in \emptyset).$$

ე.ი. ასეთი დიოფანტური ოთხკუთხედი არ არსებობს.

**ამოცანა 5.** მოც:  $ABCD$  შემოხაზულია წრეწირზე;



$$\begin{cases} |CD|=b; |AD|=d_1; |AB|=a; |BC|=c; |AC|=d; \\ a+b=c+d; \quad (1) \\ |BD|=2; \\ d_1=2. \\ a, b, c \in N \end{cases}$$

1) თუ  $|BD|=2$ , მაშინ სამკუთხედის უტოლობით და (1)-ის გათვალისწინებით გვაქვს:

$$\text{I. } \begin{cases} b = c - 1; \\ d_1 = a - 1. \end{cases} \quad ; \text{ II. } \begin{cases} b = c; \\ d_1 = a. \end{cases} \quad ; \text{ III. } \begin{cases} b = c + 1; \\ d_1 = a + 1. \end{cases}$$

განვიხილოთ თითოეული მათგანი

I.  $(\square ABCD - \text{დან}) \begin{cases} 2 + d > c + a - 1; \\ d < (c - 1) + (a - 1); \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} c + a - 3 < d < c + a - 2 \\ a, c, d \in N. \end{cases}$   
 $(\triangle ABC - \text{დან}) \begin{cases} a, c, d \in N. \end{cases}$   
 ეს კი შეუძლებელია.

II. ეს შემთხვევა განხილულია ლემა 1-ში.

III.  $(\square ABCD - \text{დან}) \begin{cases} d + 2 > (a + 1) + c; \\ d < a + c; \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} a + c - 1 < d < a + c; \\ a, c, d \in N. \end{cases}$   
 $(\triangle ABC - \text{დან}) \begin{cases} a, c, d \in N. \end{cases}$   
 ეს კი შეუძლებელია.

ე.ი. არ არსებობს წრეწირზე შემოხაზული დიოფანტური ოთხკუთხედი, რომლის დიაგონალის სიგრძე 2-ის ტოლია.

**შენიშვნა:** შემთხვევა, როდესაც წრეწირში ჩახაზული დიოფანტური ოთხ-კუთხედის დიაგონალის სიგრძე ტოლია 2-ის, განხილულია მე-7 ამოცანაში.

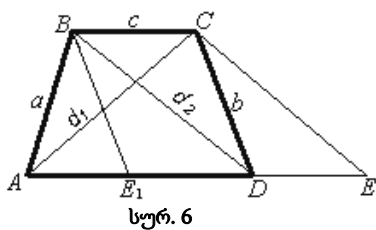
როგორც უკვე იყო აღნიშნული, მთელირიცხვა გეომეტრიული ფიგურების შესწავლით მათემატიკოსები დაინტერესებული იყვნენ ჯერ კიდევ ჩვენს წელ-თაღრიცხვამდე, მიუხედავად ამისა, ამ სფეროში ერთეული გადაჭრილი ამოცანები ისე გვხვდება, როგორც ოაზისები გობის უდაბნოში. ასეთი შედეგის მიზეზი არის ისეთი ერთიანი მეთოდის არ არსებობა, რომელიც მოგვცემდა საშუალებას ყოველი დიოფანტური გეომეტრიული ფიგურის თვისებების შესწავლისათვის ამ ფიგურის მახასიათებელი განტოლებიდან (განტოლებათა სისტემიდან) დახვეწილი ლაკონური ხერხით მიგველო შესაბამისი, რამდენადაც შესაძლებელია მარტივი დიოფანტური განტოლება (განტოლებათა სისტემა) და ამასთან მოგვცემდა ამ განტოლებათა (განტოლებათა სისტემის) ამოხსნის ოპტიმალური გზის აღწერას. ამ ნაშრომში ჩვენ შევცხებით ამ საკითხსაც.

ჩვენ მიერ მე-3 §-ში დამტკიცებულია, რომ არ არსებობს ისეთი დიოფანტური  $n$ -კუთხედი ( $n > 3$ ), როგორც ამოხსნილი, ასევე ჩაზნეკილი, რომლის რომელიმე გვერდის ან რომელიმე დიაგონალის სიგრძე 1-ის ტოლია.

მაშასადამე, **ამოცანა \* ( $n; 1$ )** გადაჭრილია მთლიანად.

როგორც ზემოთ ვნახეთ,  $k=2$ -სათვის **ამოცანა\* ( $n; 2$ )**-ის გადაჭრა ურთულეს პრობლემას წარმოადგენს  $n=4$ -სათვისაც კი – ანუ ოთხკუთხედების შემთხვევაში. კერძოდ, როგორც ქვემოთ ვნახავთ იმ გამარტივებულ შემთხვევაშიც კი, როდესაც დიოფანტური ოთხკუთხედის ორი გვერდი პარალელურია (დანარჩენი ორი ან პარალელურია, ან არა)  $k=2$ -სათვის **ამოცანა\* ( $n; k$ )**-ს ამოხსნა ერთობ შრომატევადია.

**ამოცანა 6.** ვიპოვოთ ყველა ისეთი დიოფანტური პარალელოგრამი და დიოფანტური ტრაპეცია, რომლის რომელიმე გვერდის ან დიაგონალის სიგრძე 2-ის ტოლია.



ცნობილია, რომ ყოველი დიოფანტური ოთხკუთხედის თითოეული გვერდისა და დიაგონალის სიგრძე 1-ზე მეტია, და თუ დიოფანტურ  $\triangle MNP$ -ში  $|MN|=2$  და  $|MP|=|NP|+k$ , მაშინ  $k \in \{-1; 0; 1\}$ .

ვთქვათ ამოცანის პირობას აკმაყოფილებს  $\square ABCD: [BC] \parallel [AD]$ ;  
 $|AB|=a; |CD|=b; |BC|=c; |AD|=d; |AC|=d_1; |BD|=d_2$ .  
 $a, b, c, d, d_1, d_2 \in \mathbb{N} \setminus \{1\}$ .

გავავლოთ:  $[CE] \parallel [BD]; [BE_1] \parallel [CD]; E_1 \in [AD]; D \in [AE]$  .

ზოგადობის შეუზღუდავად ვთქვათ  $a \leq b$  და  $d \geq c$ . ადვილი საჩვენებელია, რომ  $d_1^2 + d_2^2 = a^2 + b^2 + 2cd$  (1) და  $d_2 \geq d_1$  (2)

განვიხილოთ შემდეგი შემთხვევები:



I.  $c = 2$ .  $\Delta ABC$  და  $\Delta BDC$  -დან გვაქვს:  $d_1 \in \{a-1; a; a+1\}$ ;  $d_2 \in \{b-1; b; b+1\}$ .

ამ შემთხვევაში საკითხის გადასაჭრელად განხილული უნდა იქნეს 9 შემთხვევა, ხოლო როგორც შემდეგ ვნახავთ  $a = 2$  -ისათვის კი – 27 შემთხვევა. ეს იმდენად შრომატევადი სამუშაოა, რომ ურთულესი პრობლემის გადაჭრის შემთხვევაშიც კი, მუშაობის ყოველგვარ სურვილს დაგიკარგავთ. აქ ჩვენ შემოგთავაზებთ მეთოდს, რომელიც ამ ტიპის ამოცანების ამოხსნისას განსახილველ ვარიანტთა რიცხვს არნახულად ამცირებს.

ვთქვათ  $d_1 = a+k$  და  $d_2 = b+t$  (3). ცხადია,  $k \in \{-1; 0; 1\}$  და  $t \in \{-1; 0; 1\}$ . (3)-ის შეტანით (1)-ში  $(a+k)^2 + (b+t)^2 = a^2 + b^2 + 4d$ , საიდანაც გამარტივებით მივიღებთ

$$2(2d - ak - bt) = b^2 + t^2. \quad (4)$$

ცხადია  $k^2 + t^2 \neq 0$ . ამიტომ (4)-დან იმის გათვალისწინებით, რომ  $k, t \in \{-1; 0; 1\}$ , გვაქვს:  $k^2 = t^2 = 1$ . ე.ი.  $k, t \in \{-1; 1\}$ . (4)-ში შეტანით მივიღებთ ოთხ განტოლებას:

$$2d + a + b = 1 \quad (5); \quad 2d - a + b = 1 \quad (6); \quad 2d + a - b = 1 \quad (7); \quad 2d - a - b = 1 \quad (8)$$

$\Delta ABE_1$  -იდან:  $(d-c) + a \geq b$ ;  $(d-c) + b \geq a$  (ტოლობებს ადგილი აქვს, როცა  $d = c$  და  $a = b$ ). ე.ი.  $d + a - b \geq 2$  და  $d - a + b \geq 2$ , ანუ (5)-ს, (6)-ს და (7)-ს, მოცემული შეზღუდვებით, არ გააჩნიათ ამონახსნი ნატურალურ რიცხვთა სიმრავლეში. რაც შეეხება (8)-ს, ამ შემთხვევაში  $k = t = 1$ . ე.ი.  $d_1 = a+1$  და  $d_2 = b+1$ . ადვილი საჩვენებელია, რომ

$$(d+c)(a-b)(a+b) = (d-c)(d_1-d_2)(d_1+d_2). \quad (9)$$

(ეს ფორმულა სამართლიანია, როგორც  $ABCD$  ტრაპეციისათვის, ასევე  $ABCD$  პარალელოგრამისათვის). თუ გავითვალისწინებთ, რომ:  $c = 2$ ;  $d_1 = a+1$ ;  $d_2 = b+1$  და  $a+b = 2d$ , მაშინ (9)-დან მივიღებთ:  $(d+2)(a-b)(2d-1) = (d-2)(a-b)(2d+1) \Leftrightarrow (a-b)((d+2)(2d-1) - (d-2)(2d+1)) = 0 \Leftrightarrow 6(a-b)d = 0 \Leftrightarrow a = b$ , მაგრამ ამ შემთხვევაში (8)-ის მარცხენა მხარე ლუწი იქნება, მარჯვენა კი – კენტი, რაც შეუძლებელია. ე.ი.  $c > 2$ .

II.  $2 = a < c \leq d$   $\Delta ABC$ ,  $\Delta ABE_1$  და  $\Delta ABD$  -დან მივიღებთ, რომ:  $d_1 \in \{c-1; c; c+1\}$ ;

$$b \in \{d-c-1; d-c; d-c+1\}; \quad d_2 \in \{d-1; d; d+1\}. \quad (10)$$

$\angle ABC$  ან  $\angle BAD$  არამახვილია, ამიტომ  $d_1 = c+1$  ან  $d_2 = d+1$ . თუ გავითვალისწინებთ იმას, რომ  $\Delta BCD$  -დან  $b+c > d_2$  და  $b+c \in \{d-1; d; d+1\}$ , მივიღებთ რომ  $d_2 < d+1$ . ე.ი. დაგვრჩა  $d_1 = c+1$ . ე.ი. (10) მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$2 = a < c \leq d; \quad d_1 = c+1; \quad b \in \{d-c-1; d-c; d-c+1\}; \quad d_2 \in \{d-1; d\}. \quad (11)$$

აქაც I-ის ანალოგიურად ვთქვათ  $b = d-c+m$  და  $d_1 = d+n$  (12). ცხადია რომ:  $m \in \{-1; 0; 1\}$  და  $n \in \{-1; 0\}$  (13). (12)-ის (1)-ში ჩასმით მივიღებთ:

$$(c+1)^2 + (d+n)^2 = 2^2 + (d-c+m)^2 + 2dc \Leftrightarrow 2(dm - cm - c - dn + 2) = n^2 - m^2 + 1. \quad (14)$$

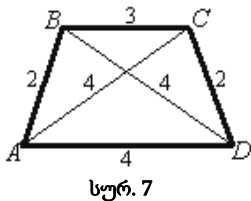
ე.ი.  $n^2 - m^2 + 1 \equiv 0 \pmod{2}$  (15). (13)-ის (15)-იდან გვაქვს:  $n = 0$ ;  $m \in \{-1; 1\}$  (16) (თუ  $n^2 - m^2 + 1 = 2$ , მაშინ  $d = c - 1$ , რაც შეუძლებელია. ე.ი.  $n^2 - m^2 + 1 = 0$ , საიდანაც მიიღება (16)). ე.ი.

$$\begin{cases} n^2 - m^2 + 1 = 0; \\ 2(dm - cm - c - dn + 2) = 0. \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} n = 0, m \in \{-1; 1\}; \\ dm - cm - c + 2 = 0. \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} -d + c - c + 2 = 0; \\ d - c - c + 2 = 0. \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} d = 2; \\ d = 2c - 2. \end{cases}$$

$d = 2$  შეუძლებელია, ვინაიდან  $d > c > a = 2$ .

$d = 2c - 2$  -ისათვის მივიღებთ:  $b = c - 1$ ;  $d_2 = 2c - 2$ ;  $d_1 = c + 1$ ;  $a = 2$ . ამ მონაცემების (9)-ში შეტანით მივიღებთ:

$$\begin{cases} (3c - 2)(3 - c)(c + 1) = (c - 2)(3 - c)(3c - 1); \\ c \in \mathbb{N} \setminus \{1\}. \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} c = \frac{1}{2}; \\ c = 3. \end{cases} \Leftrightarrow c = 3. \\ c \in \mathbb{N} \setminus \{1\}.$$



სურ. 7

მაშასადამე ჩვენ მივიღებთ XII-ზე გამოსახულ ტრაპეციას. (იხ. სურ. 7). (აქ შევნიშნოთ, რომ ეს იყო ნაპოვნი (1989 წელს) პირველი დიოფანტური ოთხკუთხედი, რომლის გვერდის სიგრძე ტოლია 2-ის).

III.  $d_2 > d_1 = 2$ . მაშინ  $\triangle ABC$ ,  $\triangle BDC$  და  $\triangle ACE$  -დან გვაქვს:  $a \in \{c - 1; c; c + 1\}$ ;  $b \in \{d - 1; d; d + 1\}$ ;  $d_2 \in \{d + c - 1; d + c\}$ . ამასთან  $d_2 \neq d + c + 1$  ვინაიდან  $d_2 < b + c \leq d + c + 1$ . აქაც ისევე, როგორც II-ში ვთქვათ:  $a = c + l$ ;  $b = d + p$  და  $d_2 = d + c + k$  (17). ცხადია აქაც  $l, p \in \{-1; 0; 1\}$ ;  $k \in \{-1; 0\}$ ; (18). (17)-ის შეტანით (1)-ში მივიღებთ:

$$2^2 + (d + c + k)^2 = (c + l)^2 + (d + p)^2 + 2cd \Leftrightarrow 2(ck + dk - lc - dp + 2) = l^2 + p^2 - k^2. \quad (19)$$

(19)-იდან გვაქვს:

$$l^2 + p^2 - k^2 \equiv 0 \pmod{2} \Leftrightarrow \left\{ \begin{array}{l} l = p = k = 0, \text{ ან } \\ \left\{ \begin{array}{l} l = 0; \\ p = \pm 1; \\ k = -1. \end{array} \right. \text{ ან } \left\{ \begin{array}{l} p = 0; \\ l = \pm 1; \\ k = -1. \end{array} \right. \text{ ან } \left\{ \begin{array}{l} k = 0; \\ l = \pm 1; \\ p = \pm 1. \end{array} \right. \end{array} \right. \quad (20)$$

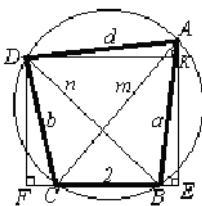
ამ მნიშვნელობათათვის პირველ სამ შემთხვევაში  $ck + dk - lc - dp + 2 = 0$  (21<sub>1</sub>), ხოლო მეოთხე შემთხვევაში  $ck + dk - lc - dp + 2 = 1$  (21<sub>2</sub>).

მოსინჯვით ადვილად ვრწმუნდებით, რომ (21<sub>1</sub>) და (21<sub>2</sub>), (20) პირობებით, არ არსებობს.

საბოლოოდ გვაქვს, რომ ასეთი დიოფანტური პარალელოგრამი არ არსებობს, ხოლო დიოფანტური ტრაპეციებიდან მხოლოდ ერთადერთი აკმაყოფილებს ამოცანის პირობას. (იხ. სურ. 7). განვიხილოთ კიდევ ერთი ამოცანა.

**ამოცანა 7.** ვიპოვოთ წრეწირიში ჩახაზული ყველა ისეთი დიოფანტური ოთხკუთხედი, რომლის გვერდის ან დიაგონალის სიგრძე 2-ის ტოლია.

ვთქვათ  $\triangle ABCD$  აკმაყოფილებს ამოცანის პირობას და მისი რომელიმე გვერდის სიგრძე, ზოგადობის შეუზღუდავად, ვთქვათ:



სურ. 8

$$c = 2; \quad m = a + k; \quad n = b + l. \quad (22)$$

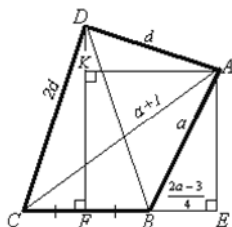
ცხადია  $k, l \in \{-1; 0; 1\}$ . (23) პტოლემეას თეორემით გვაქვს:  $mn = ab + cd$  (24). (22)-ის (24)-ში ჩასმით და გამარტივებით მივიღებთ  $al + bk + lk = 2d$  (25). (23)-ის გათვალისწინებით (25)-იდან გვაქვს:  $-b - a + 1 = 2d$  (26);  $-b + a - 1 = 2d$  (27);  $-b = 2d$  (28);  $-a = 2d$  (29);  $0 = 2d$  (30);  $a = 2d$  (31);  $b - a - 1 = 2d$  (32);  $b = 2d$  (33);  $b + a + 1 = 2d$  (34).

ცხადია (26), (28)-ს (29)-სა და (30)-ს, მოცემული შეზღუდვებით, არ გააჩნიათ ამონახსნები ნატურალურ რიცხვებში. ასევე არ გააჩნია ამონახსნი ნატურალურ რიცხვებში (27)-ს, ვინაიდან ამ შემთხვევაში  $\triangle ABD$ -დან  $|AB| = a < |BD| + |AD| = b + 1 + d < b + 1 + 2d$ . ანალოგიურად მივიღებთ, რომ (32)-ს არ გააჩნია ნატურალურ რიცხვებში ამონახსნი. ახლა ვაჩვენოთ, რომ მოცემული შეზღუდვებით არც (34)-ს გააჩნია ამონახსნი ნატურალურ რიცხვებში. დავუშვათ საწინააღმდეგო. ვთქვათ  $\triangle ABCD$  აკმაყოფილებს ამოცანის პირობას. ამ შემთხვევაში გვაქვს:  $|CD| = b$ ;  $|AD| = d = \frac{a+b+1}{2}$ ;  $|AB| = a$ ;  $|BC| = 2$ ;  $|AC| = a+1$ ;  $|DB| = b+1$ . ავაგოთ:  $E, F \in (CB)$ ;  $[DF] \perp (CB) \perp [AE]$ ;  $K \in [EA] \perp [DK]$ .

მართკუთხა  $\triangle AEB$  და  $\triangle AEC$ -დან  $|AB|^2 - |BE|^2 = |AE|^2 = |AC|^2 - |CE|^2$ . ე.ი.  $a^2 - |BE|^2 = (a+1)^2 - (2 + |BE|)^2 \Leftrightarrow |BE| = \frac{2a-3}{4}$ . ანალოგიურად  $|FC| = \frac{2b-3}{4}$ .  $|EF| = |FC| + |CB| + |BE| = \frac{2a-3}{4} + 2 + \frac{2b-3}{4} = \frac{a+b+1}{2} = |AD|$ . ე.ი.  $|DK| = |AD|$  და  $|AK| = 0$  ანუ  $|DF| = |AE|$ .

$$\Rightarrow \sqrt{|AB|^2 - |BE|^2} = \sqrt{|CD|^2 - |FC|^2} \Leftrightarrow \sqrt{a^2 - \left(\frac{2a-3}{4}\right)^2} = \sqrt{b^2 - \left(\frac{2b-3}{4}\right)^2} \Rightarrow a(a+1) = b(b+1) \Rightarrow a = b.$$

$$\text{ე.ი. } d = \frac{a+b+1}{2} = \frac{2a+1}{2} \notin N.$$



სურ. 9

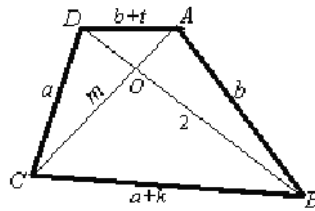
ეს კი შეუძლებელია. ე.ი. ჩვენი დაშვება მცდარია ანუ (34)-ს მოცემული შეზღუდვებით არ გააჩნია ამონახსნი ნატურალურ რიცხვებში. დაგვრჩა განსახილველი იდენტური განტოლებები (31) და (33).

$$|AE| = 1 + \frac{2a-3}{4}; \quad |DK| = \sqrt{d^2 - \left(\frac{2a+1}{4}\right)^2}. \quad |AE| = |KF| = \sqrt{\frac{12a^2 + 12a - 9}{4}}.$$

$$\sqrt{|DB|^2 - |FB|^2} = |DF| = |DK| + |KF| = \sqrt{d^2 - \left(\frac{2a+1}{4}\right)^2} + \sqrt{\frac{12a^2 + 12a - 9}{4}}$$

საიდანაც გვაქვს:  $\left(\frac{3d^2}{a^2+a} - 1\right)^2 = 0 \Leftrightarrow ((2a+1)^2 - 12d^2 = 1)$  (\*).

ეს შემთხვევა დადის ჩვენ მიერ განხილულ XIV-ზე. ახლა ვთქვათ წრეწირში ჩახაზული დიოფანტური  $\triangle ABCD$ -ის, რომელიმე დიაგონალის სიგრძე, ზოგადობის შეუზღუდავად ვთქვათ:



სურ.10

$$|DB| = 2; \quad |AB| = b; \quad |BC| = a+k; \quad |CD| = a; \quad |AD| = b+t.$$

ცხადია  $t, k \in \{-1; 0; 1\}$  (35). პტოლემეას თეორემით გვაქვს:  $2m = ab + (a+k)(b+t)$  (36)

$\Leftrightarrow 2m = 2ab + at + bk + kt$ .

$\triangle ADC$ -დან  $m < a + b + t$

ე.ი.  $2(a+b+t) > 2ab + at + bk + kt \Leftrightarrow 2ab + a(t-2) + b(k-2) + t(k-2) < 0$ .

$$\begin{cases} a > 2; \\ b > 2. \end{cases} \Rightarrow a \geq 3 \geq 1,5 + \frac{4,5}{2b-3} = \frac{3b}{2b-3} \Rightarrow 2ab - 3a - 3b \geq 0$$

ე.ი.  $2ab - 3a - 3b \geq 2ab + a(t-2) + b(k-2) + t(k-2) \Leftrightarrow t(2-k) \geq a(t+1) + b(k+1) \geq 0$ . (37)

(37)-ს, (35) პირობით არ გააჩნია ამონახსნი ნატურალურ რიცხვებში. ე.ი.  $(a-2)(b-2) = 0$  (37<sub>1</sub>).

$\triangle AOD$  და  $\triangle ACB$ -დან სამკუთხედების უტოლობის გამოყენებით ადვილი საჩვენებელია, რომ

$$|AC| + |BD| > |AB| + |CD| \quad \text{ე.ი.} \quad m + 2 > a + b \Rightarrow m > a + b - 2 \Rightarrow \begin{cases} m > a; \\ m > b. \end{cases} \quad \text{ე.ი.}$$

$$m \in \{a+1; a+2; b+1; b+2\}. \quad (38)$$

(38)-ის გათვალისწინებით (36)-იდან გვაქვს:

$$2 = b(a-2) + (a+k)(b+t); \quad (39) \quad 4 = b(a-2) + (a+k)(b+t); \quad (40)$$

$$2 = a(b-2) + (a+k)(b+t); \quad (41) \quad 4 = a(b-2) + (a+k)(b+t). \quad (42)$$

ადვილი საჩვენებელია, რომ ამ განტოლებებს არ გააჩნია ნატურალურ რიცხვებში ამონახსნი თუ:

$$\begin{cases} a = 2; & b \in \mathbb{N} \setminus \{1\}; \\ k, t \in \{-1; 0; 1\}. \end{cases} \quad \text{ს} \quad \begin{cases} b = 2; & a \in \mathbb{N} \setminus \{1\}; \\ k, t \in \{-1; 0; 1\}. \end{cases}$$

ე.ი. საბოლოოდ გვაქვს, რომ წრეწირში ჩახაზული დიოფანტური ოთხკუთხედის თითოეული დიაგონალის სიგრძე 2-ზე მეტია, და 2-ის ტოლი გვერდის მქონე ყველა დიოფანტური ოთხკუთხედი მიიღება, დიოფანტური,  $(2a+1)^2 - 12d^2 = 1$  (43) განტოლების ამოხსნით

$$(|AB|=a; |BC|=2; |CD|=2d; |AD|=d; |DB|=2d; |AC|=a+1). \quad (44)$$

შეგნიშნოთ, რომ ნაპოვნი დიოფანტური ოთხკუთხედებიდან რომელთა რომელიმე გვერდის სიგრძე 2-ის ტოლია, ყველა აღმოჩნდა წრეწირში ჩახაზული. დღეისათვის არ არის ცნობილი ამ სახის დიოფანტური ოთხკუთხედი რომელზედაც არ შემოიხაზება წრეწირი. გაცილებით უარესადაა საქმე იმ დიოფანტურ ოთხკუთხედებთან მიმართებაში, რომელთა რომელიმე დიაგონალის სიგრძე 2-ის ტოლია. ჩვენ ვაჩვენებთ, რომ თუ ისინი არსებობენ, მაშინ მათზე არ შემოიხაზება წრეწირი, მაგრამ რა ხდება სხვა შემთხვევაში, ჩვენთვის არ არის ცნობილი, მიუხედავად იმისა, რომ როგორც ამოცანა-2-ის (I-XVII) განხილვიდან ჩანს, მცდელობა არ დაგვიკლია.

ჩვენ მიერ მე-2 და მე-3 და ამოცანებში ნაჩვენები მეთოდი მართლაც რომ საგრძნობლად ბევრად ამცირებს განსახილველ ვარიანტთა რაოდენობას. ამასთან მკვეთრად არის გამოხატული ხერხი მიღებული დიოფანტური განტოლებების ამოხსნისა. ეს ყოველივე, **ამოცანა\* (n;k)**-სათვის, ზოგადად ასე შეგვიძლია ჩამოვაცალიბოთ:

განვიხილოთ  $n$ -კუთხედის წვეროებისაგან ყველა ის დიოფანტური სამკუთხედი, რომელთა რომელიმე ორ წვეროს შორის მანძილი ტოლია  $k$ -სი, და იმის გათვალისწინებით, რომ დანარჩენი ორი გვერდის სიგრძეთა სხვაობის მოდული არის  $\{1; 2; \dots; k-1\}$  სიმრავლის ელემენტი, ერთ-ერთი გვერდის სიგრძე გამოვსახოთ მეორის სიგრძეს დამატებული  $t$ , სადაც  $t \in \{-(k-1); -(k-2); \dots; 0; 1; 2; \dots; (k-1)\}$ ;

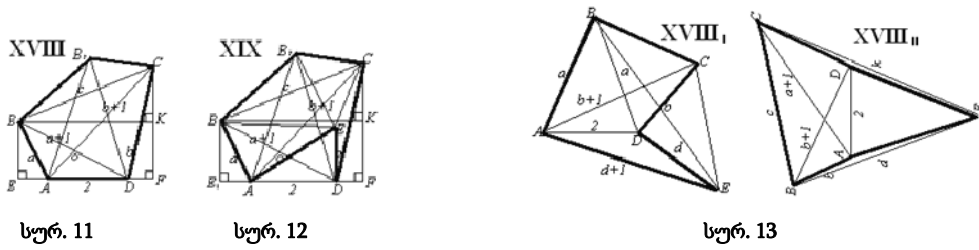
ამ მონაცემების მოცემული  $n$ -კუთხედის მახასიათებელ განტოლებაში (განტოლებებში) შეტანით მივიღებთ ყველა შესაძლო დიოფანტურ განტოლებას;

მიღებული დიოფანტური განტოლებებიდან გამოხშირვა განტოლებებისა, რომლებსაც, მოცემული შეზღუდვებით, არ გააჩნიათ ამონახსნები ნატურალურ რიცხვებში, ძირითადად მიიღწევა სამკუთხედის უტოლობების გამოყენებით მიღებულ დიოფანტური განტოლებებისთვის დამატებითი შეზღუდვებით და ასევე **ამოცანა\* (n, k)**-ის შედეგების გამოყენებით, რომელიც უკვე გვქონდა მიღებული  $\{((k;3));((k;4));\dots((k;n-1))\}$ -სათვის.

$((k; n))$ -ით აღნიშნულია პირობა, რომელსაც აკმაყოფილებს დიოფანტური  $n$ -კუთხედის გვერდები და დიაგონალები, მაშინ, როცა რომელიმე გვერდის სიგრძე ტოლია  $k$ -სი).

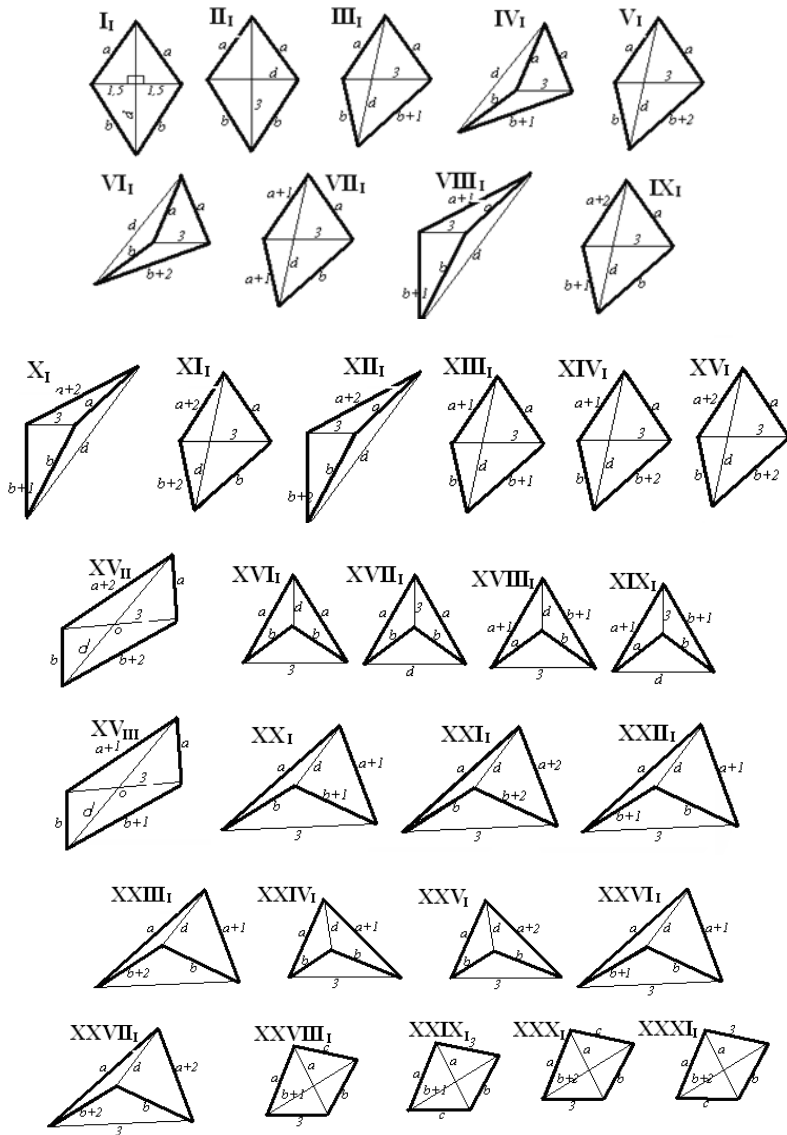
დავუბრუნდეთ **ამოცანა\* (n, k)**-ს  $k=2$ -სათვის.

საბოლოოდ გვაქვს, რომ **ამოცანა\* (n, 2)**-სათვის  $n \in \{3;4;5\}$  ამოზნექილი  $n$ -კუთხედისათვის (თუმცა  $n=5$ -სათვის არც ერთი ასეთი დიოფანტური  $n$ -კუთხედი ჯერ არ არის ნაპოვნი. ჩვენი ღრმა რწმენით ასეთი ხუთკუთხედი არ არსებობს) და  $n \in \{3;4;5;6\}$  ჩაზნექილი  $n$ -კუთხედებისათვის (აქაც  $n=5$  და  $n=6$ -სათვის იგივე სურათი გვაქვს, როგორც  $n=5$ -სათვის ამოზნექილის შემთხვევაში).

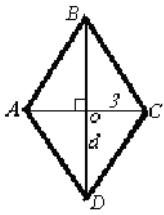


ახლა განვიხილოთ ამოცანა\* ( $n;3$ ).

$k=2$ -ის ანალოგიურად, თუ დიოფანტური სამკუთხედის ერთი გვერდი ტოლია 3-ის მაშინ დანარჩენი ორი გვერდის სხვაობის მოდული შეიძლება 0; 1 ან 2-ის ტოლი იყოს. ამის გათვალისწინებით ყველა შესაძლო დიოფანტური ოთხკუთხედები  $k=3$ -სათვის მოგვევაკვს ქვემოთ:



განვიხილოთ ამოცანის ისეთი შემთხვევები, რომელიც აუცილებელია ამოცანა\* (n;3)-ის საკითხების გადასაჭრელად:



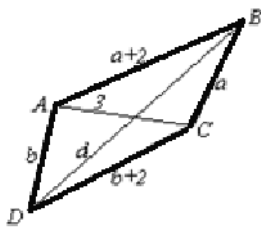
მართკუთხა  $\triangle AOB$  და  $\triangle AOD$  -დან გვაქვს:

მოც:  $ABCD$

$$\begin{cases} |AB| = |BC| = a; |AD| = |CD| = b; \\ |AC| = 3; |BD| = d; \\ a, b, d \in N. \end{cases}$$

$$\begin{cases} 1.5^2 + (d - |OD|)^2 = a^2 \\ |OD|^2 + 1.5^2 = b^2 \\ a, b, d \in N \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} |OD| = \frac{d^2 + b^2 - a^2}{2d} \\ \left(\frac{d^2 + b^2 - a^2}{d}\right) + 9 = (2b)^2 \Rightarrow \begin{cases} (2b - q)(2b + q) = 9 \\ b, q \in N \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} b = 2.5 \\ q = 4 \\ b, q \in N \end{cases} \Leftrightarrow (b \in \emptyset) \\ \frac{d^2 + b^2 - a^2}{d} \equiv q \in N \end{cases}$$

ე.ი. ასეთი დიოფანტური ოთხკუთხედი არ არსებობს.



მოც:  $\square ABCD$

$$\begin{cases} |AD| = b; |AB| = a + 2; |BC| = a; \\ |CD| = b + 2; |AC| = 3; |BD| = d; \\ a, b, d \in N. \end{cases}$$

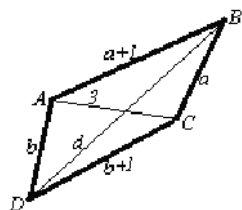
$\triangle ABC$  და  $\triangle ADC$  -დან კოსინუსების თეორემით:

$$\begin{cases} a^2 = (b+2)^2 + 3^2 - 6(b+2) \cdot \cos \widehat{BAC} \\ (b+2)^2 = b^2 + 3^2 - 6b \cdot \cos \widehat{CAD} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \cos \widehat{BAC} = \frac{2}{3} + \frac{1}{6(a+2)} \\ \cos \widehat{CAD} = -\frac{2}{3} + \frac{5}{6b} \end{cases} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \widehat{BAC} \in \left(0; \arccos \frac{2}{3}\right) \\ \widehat{CAD} \in \left(0; \pi - \arccos \frac{2}{3}\right) \end{cases} \Rightarrow (\widehat{BAD} \in (0; \pi)).$$

$$\begin{aligned} (\triangle ABD - \text{დან}) & \begin{cases} d < a + b + 2 \\ d + 3 > a + 2 + b + 2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} a + b + 1 < d < a + b + 2 \\ a, b, d \in N \end{cases} \Rightarrow (d \in \emptyset). \\ (\square ABCD - \text{დან}) & \begin{cases} a, b, d \in N \end{cases} \end{aligned}$$

ე.ი. ასეთი დიოფანტური ოთხკუთხედი არ არსებობს.



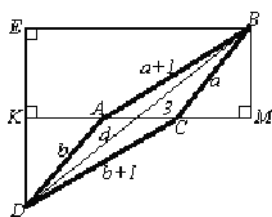
მოც:  $ABCD$

$$\begin{cases} |AB| = a + 1; |BC| = a; |CD| = b + 1; \\ |AD| = b; |AC| = 3; |BD| = d; \\ a, b, d \in N. \end{cases}$$

აქაც წინა ამოცანის ანალოგიურად გვაქვს:

$$\begin{cases} \cos \widehat{BAC} = \frac{1}{3} + \frac{4}{3(a+1)} \\ \cos \widehat{CAD} = -\frac{1}{3} + \frac{4}{3b} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \widehat{BAC} \in \left(0; \arccos \frac{1}{3}\right) \\ \widehat{CAD} \in \left(0; \pi - \arccos \frac{1}{3}\right) \end{cases} \Rightarrow \widehat{CAD} \in (0; \pi)$$

$$\begin{aligned} (\triangle ABD - \text{დან}) & \begin{cases} d < a + b + 1 \\ d + 3 > a + 1 + b + 1 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} a + b - 1 < d < a + b + 1 \\ a, b, d \in \mathbb{N} \end{cases} \Rightarrow d = a + b \\ (\square ABCD - \text{დან}) & \begin{cases} a, b, d \in \mathbb{N} \end{cases} \end{aligned}$$

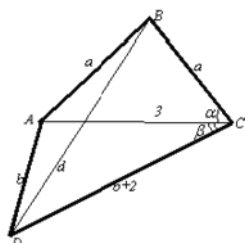


$$\begin{cases} b^2 - |KA|^2 = (b+1)^2 - (3+|KA|)^2 \\ b^2 - |CM|^2 = (a+1)^2 - (3+|CM|)^2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} |KA| = \frac{b-4}{3}, \quad |CM| = \frac{a-4}{3} \\ |DK| = \sqrt{b^2 - \left(\frac{b-4}{3}\right)^2} = \frac{\sqrt{8b^2 + 8b - 16}}{3} \\ |BM| = |EK| = \frac{\sqrt{8a^2 + 8a - 16}}{3} \end{cases}$$

მართკუთხა  $\triangle DEB$ -დან  $(|BD|^2 = |BE|^2 + |DE|^2)$ , ე.ი.

$$\begin{cases} (b+a)^2 = \left(\frac{a+b+1}{3}\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{8a^2 + 8a - 16} - \sqrt{8b^2 + 8b - 16}}{3}\right)^2 \\ b, a \in \mathbb{N} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 2(8ab + 5a - 5b + 15) + 1 = 2\sqrt{(8a^2 + 8a - 16)(8b^2 + 8b - 16)} \\ a, b \in \mathbb{N} \end{cases}$$

ეს კი შეუძლებელია ვინაიდან მარცხენა მხარე კენტიია, მარჯვენა მხარე თუ ნატურალურია, მაშინ – ლუწი იქნება. ე.ი. ასეთი დიოფანტური ოთხკუთხედი არ არსებობს.



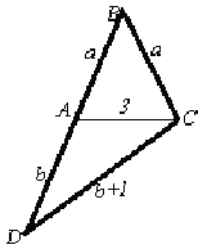
მოც:  $ABCD$

$$\begin{cases} |AB| = |BC| = a; \quad |CD| = b + 2; \\ |AD| = b; \quad |BD| = d; \quad |AC| = 3; \\ a, b, d \in \mathbb{N}. \end{cases}$$

$$\begin{aligned} (\triangle ABD - \text{დან}) & \begin{cases} |AC| + |BD| > |AB| + |DC|; \\ |AD| + |AB| > |BD|. \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 3 + d > a + b + 2; \\ a + b > d; \\ a, b, d \in \mathbb{N} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} a + b - 1 < d < a + b; \\ a, b, d \in \mathbb{N} \end{cases} \end{aligned}$$

ეს კი შეუძლებელია. ე.ი. ასეთი დიოფანტური ოთხკუთხედი არ არსებობს.





მოც:  $\triangle DBC$

$$\begin{cases} A \in [BD]; |AB| = |BC| = a; \\ |AC| = 3; \\ |AD| = b; |CD| = b+1; \\ a, b, d \in \mathbb{N}. \end{cases}$$

$\triangle BAC$  და  $\triangle DAC$  -დან კოსინუსების თეორემით გვაქვს:

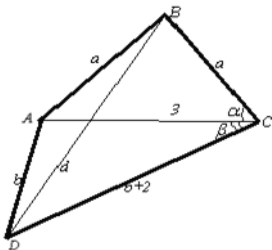
$$\begin{cases} a^2 = a^2 + 3^2 - 6a \cos \widehat{BAC}; \\ (b+1)^2 = b^2 + 3^2 - 6b \cos(\pi - \widehat{BAC}); \\ a, b \in \mathbb{N}. \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \cos \widehat{BAC} = \frac{3}{2a}; \\ \cos \widehat{BAC} = \frac{b-4}{3b}; \\ a, b \in \mathbb{N}. \end{cases} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \frac{3}{2a} = \frac{b-4}{3b}; \\ a, b \in \mathbb{N}. \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} b = 8 \cdot \frac{a}{2a-9}; \\ a, b \in \mathbb{N}. \end{cases}$$

ვინაიდან  $(8; 2a-9) = 1$ , ამიტომ  $a \equiv 0 \pmod{2a-9} \Rightarrow a \geq 2a-9 \Rightarrow a \leq 9$ .

მოსინჯვით ვპოულობთ, რომ მხოლოდ ორი წყვილი აკმაყოფილებს ამოცანის პირობას:  $\begin{cases} a = 9 \\ b = 8 \end{cases}$  და

$$\begin{cases} a = 5; \\ b = 16. \end{cases}$$



მოც:  $\square ABCD$ ;

$$\begin{cases} |AB| = |BC| = a; |CD| = b+2; \\ |AD| = b; |BD| = d; |AC| = 3; \\ a, b, d \in \mathbb{N}. \end{cases}$$

$\triangle ABC$  და  $\triangle DAC$  -დან გვაქვს:

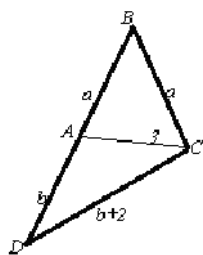
$$\begin{cases} \cos \alpha = \frac{3}{2a}; \\ (b+2)^2 = b^2 + 3^2 - 6b \cos \beta \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \cos \alpha \geq \frac{3}{4}; \\ \cos \beta = -\frac{2}{3} + \frac{5}{6b}. \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \alpha \in \left( \arccos \frac{3}{4}; \frac{\pi}{2} \right); \\ \beta \in \left( \frac{\pi}{2}; \frac{2\pi}{3} \right). \end{cases} \Rightarrow$$

$\Leftrightarrow \alpha + \beta \in \left( \frac{\pi}{2} + \arccos \frac{3}{4}; \frac{7\pi}{6} \right)$ . ე.ი.  $A$  და  $C$  წერტილები  $BD$  წრფის მიმართ შეიძლება მოხვდნენ

როგორც ერთ ნახევარსიბრტყეში, ასევე სხვადასხვა ნახევარსიბრტყეშიც.

შემთხვევა, როცა  $d = a + b$

ე.ი.  $\cos \widehat{BAC} = -\cos \widehat{CAD}$  ანუ  $\frac{3}{2a} = \frac{4b-5}{6b} \Leftrightarrow a = 2 + \frac{b+10}{4b-5}$ .

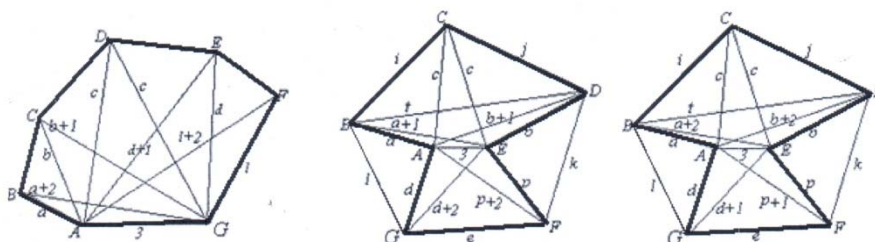


თუ  $b > 5$ , მაშინ  $\frac{b+10}{4b-5} < 1$  და ამიტომ  $a \notin N$ .

თუ  $b \leq 5$ , მაშინ  $\frac{b+10}{4b-5}$  ნატურალური რიცხვია, როცა

$$\begin{cases} a = 3 \\ b = 2 \end{cases} \text{ და } \begin{cases} a = 5 \\ b = 5 \end{cases}$$

ზემოთქმულიდან გამომდინარე ამოცანა\* ( $n; 3$ )-სთვის  $3 \leq n \leq 7$ . აქვე შევნიშნოთ, რომ  $k=3$ -სთვის არ არის ნაპოვნი არც დიოფანტური ხუთკუთხედი, არც დიოფანტური ექვსკუთხედი და არც დიოფანტური შვიდკუთხედი. ჩვენი ღრმა რწმენით ასეთი დიოფანტური ფიგურები არ არსებობს, და თუ არსებობს, მათი სავარაუდო სახე მოგვყავს ქვემოთ:



### დასკვნა

ნაშრომში დასმულია და შესწავლილია დიოფანტური  $n$ -კუთხედები. ამ სტატიის ავტორი დიოფანტურს უწოდებს მთელირიცხვით  $n$ -კუთხედს იმ მოტივით, რომ თითოეული მათგანის კომბინატორული თვისებების დასადგენად საჭიროა გარკვეული დიოფანტური განტოლების (განტოლებათა სისტემის) ამოხსნა. შემსწავლელი ამოცანებიდან ერთ-ერთი ფუნდამენტური ამოცანა.

**ამოცანა ( $n; k$ ):** არსებობს თუ არა ყოველი ფიქსირებული  $k$  ნატურალური რიცხვისათვის ისეთი დიოფანტური  $n$ -კუთხედი ( $n \geq 3$ ), რომლის რომელიმე გვერდის ან დიაგონალის სიგრძე ტოლია  $k$ -სი, და თუ არსებობს, მაშინ იპოვეთ ყველა ასეთი  $n$ .

ნაჩვენებია, რომ არ არსებობს ისეთი დიოფანტური  $n$ -კუთხედი ( $n > 3$ ), როგორც ამოხსნილი, ასევე ჩაზნეილია, რომლის რომელიმე გვერდის ან

დიაგონალის სიგრძე ტოლია 1-ის. ე.ი.  $k = 1$ -სთვის ზემოთხსენებული საკითხი გადაჭრილია.

კვლევის მეშვეობით ნაპოვანია რიგი დიოფანტური ოთხკუთხედები, რომელთა ერთ-ერთი გვერდი ტოლია 2-ის (აქ უნდა შევნიშნოთ, რომ ყოველი მათგანი წრეწირში ჩახაზული აღმოჩნდა). ნაჩვენებია, რომ ყოველი მათგანი წრეწირში ჩახაზული აღმოჩნდა. ნაჩვენებია, რომ არ არსებობს წრეწირი ჩახაზული ისეთი დიოფანტური ოთხკუთხედი, რომლის დიაგონალის სიგრძე 2-ის ტოლია. ისეთი დიოფანტური ოთხკუთხედი, რომლის დიაგონალის სიგრძე ტოლია  $k$ -ის. ნაჩვენებია, რომ ნებისმიერი ნატურალური  $n \geq 3$ )-ისათვის მოიძებნება დიოფანტური ოთხკუთხედი, რომლის გვერდის სიგრძე ტოლია  $k$ -სი.

### ლიტერატურა

1. Hadamard J. Elementary geometry. Moscow. 1937. (in Russian).
2. Steinhaus H. Problems and reflections. Moscow. 1974. (in Russian).
3. Sierpinski W. Pythagorean triangles. Dover Publications. 2011. (in Russian).
4. Sierpinski W. Elementary theory of numbers. Warsaw. 1959. (in Polish).
5. Vasilyev N.B. and others. Moscow mathematical olympiads. M.: "Nauka". 1986. (in Russian).
6. Dickson L.E. Introduction to the theory of numbers. Tbilisi. 1941. (in Russian).
7. Ozhigova E.P. What is number theory. Moscow. 1970. (in Russian).
8. Mikhelovich Sh.Kh. Theory of numbers. Moscow. 1962. (in Russian).
9. Shklarsky D.O. and others. Selected problems and theorems of elementary mathematics. Moscow. 1954. (in Russian).
10. Agdgomelashvili Z. Diophantine geometric figures. Problems and solutions from the mathematical tournament of gifted children "Pythagorean Cup 2001-2004". Publishing house "Tsis-Nami". Tbilisi. 2004. (in Georgian).
11. Agdgomelashvili Z. Collection of mathematical problems with solutions. Tb.: "Ganatileba". 1991. (in Georgian).
12. Agdgomelashvili Z. Mathematics (individual and group work). Publishing house "Tsis-Nami". Tbilisi. 2001. (in Georgian).

UDC 511.5

SCOPUS CODE 2607

**About one fundamental task on diophantine geometric figures**

**Zurab Agdgomelashvili** Department of Mathematics, Georgian Technical University, 77 M. Kostava str., 0160 Tbilisi, Georgia  
E-mail: diophant\_zura@rambler.ru

**Reviewers:**

**Al. Kirtadze**, Professor, Faculty of Informatics and Control Systems, GTU

E-mail: kirtadze2@yahoo.com

**M. Mania**, Dr. Sci. in Physics and Mathematics, Chief Research Worker, Andrea Razmadze Mathematical Institute of I. Javakhishvili Tbilisi State University

E-mail: mania@rmi.ge

**Abstract.** The goal of the work is to study one of the fundamental tasks of the study of Diophantine  $n$ -gon (the author of the paper considers an integral  $n$ -gon is Diophantine as far as determination of combinatorial properties of each of them requires solution of a certain Diophantine equation (equation sets)).

Task  $*(n; k)$ : if there is a Diophantine  $n$ -gon ( $n \geq 3$ ) with any side or diagonal equal to  $k$  for each fixed natural number  $k$ . In case it exists then let us find each such  $n$ .

It is shown that there is no such Diophantine  $n$ -gon ( $n > 3$ ), neither convex nor concave, the length of any side or diagonal of which is equal to 1. It means that for  $k=1$  the above mentioned task is solved.

The studies made it possible to find certain Diophantine rectangles, one of the sides of which is equal to 2 (it is noteworthy that all of them appeared to be inscribed in a circumcircle). The studies showed that there is no such Diophantine rectangle inscribed in a circumcircle, the diagonal length of which is equal to 2. It is shown that for any natural ( $k \geq 3$ ) there is a Diophantine rectangle with the side length equal to  $k$ .

The fundamental studies showed that for  $k=2$  and  $n = \{3; 4; 5\}$  for convex  $n$ -gons (though such Diophantine pentagon has not been found yet. In the author's opinion such pentagon does not exist) and  $n = \{3; 4; 5; 6\}$  for concave  $n$ -gons (here as well for  $n=5$  and  $n=6$  no such  $n$ -gon has been found yet and for the case of its existence all probable types of such figures are presented).

The paper considers task  $*(n; k)$  for  $k=3$  and shows that in this case  $3 \leq n \leq 7$ . However, neither such Diophantine pentagon, nor Diophantine hexagon and Diophantine heptagon have been found yet. In the author's opinion such Diophantine figures do not exist and in case they do then he presents the probable types of them.

**Key words:** diophantine figures.



## ავტორთა საძიებელი

### Author's index

### Указатель авторов

აღდგომელაშვილი ზ. 141	ლომიშვილი მ. 132
ახვლედიანი ლ. 95	მეგრელიძე თ. 118, 124
ბარნოვი ს. 43	მჭედლიშვილი ნ. 43
ბალათურია ნ. 27, 34	ნემსაძე შ. 101, 108
გილაური ნ. 27	ქაჯაია ლ. 27, 34
გუგულაშვილი გ. 118, 124	ქვარცხავა გ. 11, 19
გურგენიძე ლ. 11, 19	ქუთათელაძე რ. 56
ვეკუა თ. 56	ყანჩაველი თ. 11, 19
ილურიძე ნ. 34	ჩყრუაშვილი ი. 132
ინაშვილი ი. 132	ჩხაიძე მ. 43
ისაკაძე თ. 118, 124	ცეცხლაძე მ. 108
კილურაძე თ. 95	ჯაფარიძე თ. 95
კობიაშვილი ა. 56	†Кванталиანი И. 82
კუპრავეიშვილი მ. 66, 75	Шарикадзе М. 82

## რეცენზენტთა საძიებელი

### Reviewer's index

### Указатель рецензентов

ახობაძე მ. 43	მელაძე მ. 75
ბზიავა კ. 132	ოდიალაძე თ. 66
გრიგალაშვილი ა. 95	სამხარაძე რ. 56
გრიგორაშვილი გ. 27, 34	სულაძე ს. 118, 124
დიაკონიძე რ. 66, 75	ტურძელაძე დ. 101, 108
ებელაშვილი ნ. 27, 34	ტყემალაძე გ. 11, 19
კიკნაძე მ. 56	უგრეხელიძე ვ. 11, 19
კირთაძე ალ. 141	ჩხაიძე ბ. 95
კოტრიკაძე ქ. 43	ჯაფარიძე ზ. 118, 124
კობრეიძე თ. 101, 108	Ломинадзе Т. 82
კუპრავეშვილი მ. 132	Келептришвили Ш. 82
მანია მ. 141	

## 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 მოგვაწოდოს 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 ბაზინა; მიმღების დასახელება: ბაზინის ერთიანი ანგარიში; ბანკის კოდი: TRESGE22; მიმღების ანგარიში: საბაზინო 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](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](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](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](mailto: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](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](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](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](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](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](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/10.36073/1512-0996-2019-4>

რედაქტორები: ნ. დოლიძე, ნ. ჟიჟილაშვილი, მ. პრეობრაჟენსკაია  
კომპიუტერული უზრუნველყოფა ე. ქარჩავასი

გადაეცა წარმოებას 08.10.2019. ხელმოწერილია დასაბეჭდად 17.12.2019. ქალაქის ზომა 60X84 1/8.  
პირობითი ნაბეჭდი თაბახი 12.

საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, თბილისი, კოსტავას 77



Verba volant,  
scripta manent