

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი  
GEORGIAN TECHNICAL UNIVERSITY  
ГРУЗИНСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

წოველკვარტალური გამოცემა  
QUARTERLY PUBLICATION  
ЕЖЕКВАРТАЛЬНОЕ ИЗДАНИЕ

ISSN 1512-0996

Certificate  
ICI Journals Master List

INDEX  COPERNICUS  
I N T E R N A T I O N A L

შრომები  
WORKS  
ТРУДЫ  
N2(504)



თბილისი-TBILISI-ТБИЛИСИ  
2017

დაარსებულია 1924 წელს.  
პერიოდულობა - 4 ნომერი წელიწადში.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამეცნიერო შრომების კრებული არის ყოველკვარცაღური რეგულარული პერიოდული გამოცემა.

ყველა უფლება დაცულია. ამ კრებულში გამოქვეყნებული ნებისმიერი სტატიის (ტექსტი, 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 ნორმების დაცვაზე.

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

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

მოგვწერეთ:  
sagamomcemlosakhli@yahoo.com

## სტრუქტურული კოლეგია

### თანამშრომლები

ა. ფრანგიშვილი

### მოხალისეები:

დ. კლიმიაშვილი

ბ. გასიჭაშვილი

### წევრები:

ა. აბრამაშვილი, ბ. აბრამიშვილი, ა. აბშიდავა,  
ე. ბანათაშვილი, თ. ბაყაყაძე, ჯ. ბერიძე,  
ს. ბიელიძე (პოდოლნიკი), პ. ბიელიძე (სტოვაკი),  
თ. გაბადაძე, ჯ. გაბოვიძე, თ. გელაშვილი,  
ა. გიგინეიშვილი, ბ. გობში (გერმანია),  
აღ. გრიგოლიშვილი, ედ. ელიზბარაშვილი, ს. ესაძე,  
ვდ. ვარდოსანიძე, თ. ზუმბურიძე,  
პ. ზუნკელი (ავსტრია), დ. თავხელიძე,  
პ. თოდუა (რუსეთი), ბ. იმნაძე, ი. კვესელავა,  
ტ. კვიციანი, ა. კვეციანი (ესტონეთი), ბ. კვიციანი,  
თ. ლომინაძე, ი. ლომიძე, ა. მამადისი (საბერძნეთი),  
მ. მაცაბერიძე, თ. მეგრელიძე, მ. მესხი, ა. მონღონელიძე,  
დ. მძინარიშვილი, დ. ნაჭროშვილი,  
ნ. ნაჭვლიშვილი, შ. ნემსაძე, დ. ნობაძე,  
გ. საღუქვაძე, ქ. ქოქრაშვილი, ე. ქუთელია,  
ა. შარვაშიძე, ს. შმიდტი (გერმანია),  
პ. შეროერი (გერმანია), მ. ჩხვიძე,  
ბ. წვერიანი, თ. ჯაგოდნიშვილი, თ. ჯიშკარიანი.

© საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 2017

ISSN 1512-0996



Founded in 1924.  
Published in quarterly editions.

Georgian Technical University's Collection of Academic Works is a quarterly refereed periodical journal.

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](mailto:sagamomcemlosakhli@yahoo.com)

## EDITORIAL BOARD

### CHIEF

A. Prangishvili

### DEPUTIES:

L. Klimiashvili

Z. Gasitashvili

### MEMBERS:

A. Abzalava, G. Abramishvili, A. Abshilava,  
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), Al. Grigolishvili, B. Imnadze,  
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. Natsvlshvili,  
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.

© Publishing House "Technical University", 2017



Учрежден в 1924 году.  
Периодичность – 4 номера в год

Сборник научных трудов Грузинского технического университета является ежеквартальным реферируемым периодическим изданием.

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,  
Е.Ш. Бараташвили, Т.В. Бацакадзе,  
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),  
Ал.Р. Григолишвили, Т.А. Джагоднишвили,  
Т.С. Джишкариани, О.Г. Зумбуридзе,  
Г. Зункел (Австрия), Б.Л. Имнадзе, 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», 2017

ISSN 1512-0996



# შინაარსი

## აბრარული და ბიოლოგიური მემკვიდრეობა

გ. კაიშაური. საქართველოში მოყვანილი „ქართული თეთრი“ ჯიშის ბობრის ბიოქიმიური შედგენილობის კვლევის შედეგები.....11

## ბიზნესი, მენეჯმენტი და გუდალტრული აღრიცხვა

რ. ქუთათელაძე, ს. მაჭარაშვილი, თ. აბრალავა. საქართველოში კერძო უმაღლესი განათლების სახელმწიფო რეგულირების სრულყოფის გზები..... 17

## კომპიუტერული მემკვიდრეობა

მ. დიდგოვსკა, კ. კოზლოვი. პერსონიზებული ადაპტური სწავლების სისტემის შემქმნა .....29

## მემკვიდრეობა გადაწყვეტილების მიღების შესახებ

ნ. მუხიგულაშვილი, მ. პაპასკირი, პ. ელიზბარაშვილი. სარკინიგზო ავტომატიკისა და ტელემედიკის მოწყობილობების ტექნიკური ექსპლუატაციის სისტემის საწარმოო პროცესების ანალიზი ..... 35

## დედაგივის უმსწავლელი მემკვიდრეობა და კვანტოლოგია

ტ. კვიციანი. დახრილ ბრტყელ ბრუნტის ფერდოზე ნაყარის მდგრადობის კვრახე გაანგარიშება.....42

ტ. კვიციანი. მითის კლდოვან კალთაზე მდებარე ტრაპეციოიდული განივკვეთის მქონე ბრუნტის ფერდოს მდგრადობის გაანგარიშება.....51

## ენერგია

დ. ჯაფარიძე, ი. ბიჭიაშვილი, ნ. გიორგიშვილი. საქართველოში ენერგორესურსებზე მოთხოვნის საშუალოვადიანი დაბეჭვვა.....60

## საინჟინრო საქმე

ხ. ლეუვა, თ. ესაძე. მხურვალემდეგი ბეტონი ალბილობრივი რესურსების საფუძველზე მაღალტემპერატურული ღუმლებისათვის ..... 71

ხ. ლეუვა, თ. ესაძე. სილიკონატრიუმიანი კომპოზიციური შემკვრელი მაღალტემპერატურული მხურვალემდეგი ბეტონისათვის .....80

შ. ნემსაძე. ნაწილობრივი განმუხტვების მეთოდით ელექტრული მოწყობილობების დიაგნოსტიკის შესახებ ..... 87

ლ. ანთაშვილი, მ. ოქროსაშვილი, გ. თაგაძე. სემცდანიშნულების საკონსტრუქციო ფოლადების მაღალი სისწირის ინფორმაციურ ღუმელში გამოდნობის ტექნოლოგიის დამუშავება და მიღებული ნამუშაუბის კომპლექსური შესწავლა..... 98

ნ. მთლადინი, რ. მთლადინი, ნ. ჯიქია. ვაკუუმ-დოლის წივის კალახე ვაკუუმის ზონის ალბილმდებარეობის გავლენის კვლევა.....107

<b>ო. თედორაძე, დ. თავხელიძე.</b> კარტოვილის ამღები მანქანების სავლემ გამოცდების შედეგები.....	119
<b>ბ. გვასალია, თ. კვაჭაძე, ი. სუნიაშვილი.</b> რბოლისებრი ბანიკვიტის მქონე ცილინდრული ქელის ოპტიმალური პარამეტრების ბანსაზღვრა.....	130
<b>მ. ძიბიგური, მ. მესხი.</b> სოლოლაკში ინტერვენციის საკითხისთვის (საცხოვრებელი სახლები ამადლებისა და კოჯრის ქუჩების შეყრის ადგილას).....	140

**მათემატიკა**

<b>გ. სოჭოლაგა, ნ. მაჭარაშვილი.</b> ჰაარის მწკრივების შეჯამებადობის შესახებ.....	149
<b>გ. სოჭოლაგა, ნ. მაჭარაშვილი.</b> ბირთვში ჰარმონიული ფუნქციის სასაზღვრო მნიშვნელობის შესახებ.....	158
<b>ზ. ციციშვილი.</b> ვილტრაციის ამოცანის ამოხსნა სამკუთხედის ფორმის სრულყოფილი ღრენაჟისათვის.....	164
<b>ლ. ჯიქიძე, გ. ცუციტიძე.</b> ბამტარი სითხის არასტაციონარული დინება ფოროვანი დისკოს მახლობლობაში მახინტური ველისა და სითბობადაცემის ბათვალისწინებით.....	169
<b>დ. კიკნაძე.</b> აბრეშუმის ძავის კონუსურ თითისტარზე დახვევისას წარმოქმნილი დაჭიმულობის მათემატიკური მოდელირება და ანბარიში.....	176

<b>ავტორთა საძიებელი</b> .....	182
<b>ავტორთა საწურაფლებოდ</b> .....	183

# CONTENTS

## AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL SCIENCES

- G. Kaishauri.** THE RESULTS OF THE RESEARCH OF BIOCHEMICAL INDICES OF THE PUMPKIN SORT  
“KARTULI TETRI”, CULTIVATED IN GEORGIA ..... 11

## BUSINESS, MANAGEMENT AND ACCOUNTUNG

- R. Kutateladze, S. Macharashvili, T. Abralava.** THE IMPROVEMENTS OF STATE REGULATIONS OF  
PRIVATE HIGHER EDUCATION IN GEORGIA..... 17

## COMPUTER SCIENCE

- M. Didkovska, K. Kozlov.** CONSTRUCTING A PERSONALIZED ADAPTIVE LEARNING SYSTEM..... 29

## DECISION SCIENCES

- N. Mukhigulashvili, M. Papaskiri, P. Elizbarashvili.** ANALYSIS OF OPERATING PROCESSES OF TECHNICAL  
MAINTENANCE SYSTEM OF RAILROAD AUTOMATION AND TELEMCHANICS DEVICES ..... 35

## EARTH AND PLANETARY SCIENCES

- T. Kvitsiani.** CALCULATION OF THE FILL SHEAR STRENGTH OVER A FLAT SLOPING GROUND..... 42
- T. Kvitsiani.** CALCULATION OF THE STABILITY OF THE GROUND SLOPE WITH A TRAPEZOID CROSS-SECTION  
LOCATED ON THE MOUNTAIN ROCKY SLOPE..... 51

## ENERGY

- D. Japaridze, I. Bichiashvili, N. Giorgishvili.** MID-TERM FORECASTING OF ENERGY RESOURCES CONSUMPTION  
IN GEORGIAN ..... 60

## ENGINEERING

- Kh. Lezhava, T. Esadze.** HEAT-RESISTANT CONCRETE OBTAINED ON LOCAL RAW MATERIALS FOR  
HIGH-TEMPERATURE FURNACE ..... 71
- Kh. Lezhava, T. Esadze.** SODIUM SILICATE COMPOSITION BINDER FOR HIGH TEMPERATURE RESISTANT  
CONCRETE ..... 80
- Sh. Nemsadze.** ABOUT DIAGNOSTICS OF ELECTRICAL EQUIPMENT BY METHOD OF PARTIAL DISCHARGE..... 87
- L. Antashvili, M. Okrosashvili, G. Tavadze.** DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR THE CONSTRUCTIONAL  
STEEL - MELTING IN HIGH-FREQUENCY INDUCTION FURNACE AND COMPLEX STUDY OF OBTAINED SAMPLES..... 98
- N. Molodini, R. Molodini, N. Jikia.** ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF VACUUM ZONE ON TRACTIVE EFFORT  
OF VACUUM DRUM..... 107
- O. Tedoradze, D. Tavkheldze.** RESULTS OF THE FIELD EXAMINATION OF POTATO HARVESTING MACHINE..... 119

<b>B. Gvasalia, T. Kvachadze, I. Sukhiashvili.</b> DETERMINING THE OPTIMAL PARAMETERS OF CYLINDER COLUMN WITH A RING SHAPED CROSS-SECTION .....	130
<b>M. Dzidziguri, M. Meskhi.</b> FOR THE STUDY OF INTERVENTION ISSUE IN SOLOLAKI (HOUSES LOCATED AT THE INTERSECTION OF KOJORI AND AMAGLEBA STREETS) .....	140
<b>MATHEMATICS</b>	
<b>V. Khocholava, N. Macharashvili.</b> ON THE SUMMABILITY OF HAAR SERIES .....	149
<b>V. Khocholava, N. Macharashvili.</b> ON A BOUNDARY VALUE OF HARMONIC FUNCTIONS IN THE BALL.....	158
<b>Z. Tsitskishvili.</b> WATER FILTRATION SOLUTIONS IN PERFECT TRIANGULAR DRAIN .....	164
<b>L. Jikidze, V. Tsutskiridze.</b> NONSTATIONARY FLOW OF THE CONDUCTING FLUID NEAR THE ROTATING POROUS DISK WITH REGARD TO MAGNETIC FIELD AND THE HEAT TRANSFER.....	169
<b>D. Kiknadze.</b> MATHEMATICAL MODELLING AND ANALYSIS OF WINDING A SILK THREAD ON THE CONICAL SPINDLE .....	176
<b>AUTHOR'S INDEX</b> .....	182
<b>GUIDE FOR AUTHORS</b> .....	183



# СОДЕРЖАНИЕ

## АГРАРНЫЕ И БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Г.Н. Кайшаури.** РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ БИОХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ТЫКВЫ СОРТА «КАРТУЛИ ТЕТРИ», ВЫРАЩЕННОЙ В ГРУЗИИ ..... 11

## БИЗНЕС, МЕНЕДЖМЕНТ И БУХГАЛТЕРСКИЙ УЧЕТ

- Р.Г. Кутателадзе, С.А. Мачарашвили, Т.А. Абралава.** ПУТИ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ГОСУДАРСТВЕННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЧАСТНОГО ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ ..... 17

## КОМПЬЮТЕРНЫЕ НАУКИ

- М. Дидковска, К. Козлов.** СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ ПЕРСОНАЛИЗОВАННОГО АДАПТИВНОГО ОБУЧЕНИЯ ..... 29

## НАУКА О ПРИНЯТИИ РЕШЕНИЙ

- Н.И. Мухигулашвили, М.О. Папаскири, П.М. Элизбарашвили.** АНАЛИЗ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ УСТРОЙСТВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ ..... 35

## НАУКИ ИЗУЧАЮЩИЕ ЗЕМЛЮ И ПЛАНЕТАЛОГИЯ

- Т.А. Квициани.** РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ НАСЫПИ ПРИ ПЛОСКИХ ГРУНТОВЫХ НАКЛОННЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ СДВИГА ..... 42
- Т.А. Квициани.** РАСЧЕТ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ГРУНТОВОГО ОТКОСА С ТРАПЕЦЕИДАЛЬНЫМ ПОПЕРЕЧНЫМ СЕЧЕНИЕМ, РАСПОЛОЖЕННОГО НА ГОРНОМ СКАЛЬНОМ СКЛОНЕ ..... 51

## ЭНЕРГИЯ

- Д.А. Джафаридзе, И.Дж. Бичиашвили, Н.И. Гиоргишвили.** СРЕДНЕСРОЧНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ПОТРЕБНОСТИ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ В ГРУЗИИ ..... 60

## ИНЖЕНЕРНОЕ ДЕЛО

- Х.Д. Лежава, Т.И. Эсадзе.** ЖАРСТОЙКИЙ БЕТОН НА ОСНОВЕ МЕСТНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ПЕЧЕЙ ..... 71
- Х.Д. Лежава, Т.И. Эсадзе.** СИЛИКАТНАТРИЕВОЕ КОМПОЗИЦИОННОЕ ВЯЖУЩЕЕ ДЛЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ЖАРСТОЙКОГО БЕТОНА ..... 80
- Ш.А. Немсадзе.** О ДИАГНОСТИКЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ МЕТОДОМ ЧАСТИЧНОГО РАЗРЯДА ..... 87

<b>Л.Д. Анташвили, М.Н. Окросашвили, Г.Ф. Тавадзе.</b> РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ВЫПЛАВКИ КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ СПЕЦНАЗНАЧЕНИЯ В ИНДУКЦИОННОЙ ПЕЧИ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ И КОМПЛЕКСНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ ЗАГОТОВОК.....	98
<b>Н.Ш. Молодини, Р.Н. Молодини, Н.Э. Джикия.</b> АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ МЕСТОРАСПОЛОЖЕНИЯ ВАКУУМНОЙ ЗОНЫ НА ТЯГОВОЕ УСИЛИЕ ВАКУУМ-БАРАБАНА .....	107
<b>О.М. Тевдорадзе, Д.Д. Тавхелидзе.</b> РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛЕВЫХ ИСПЫТАНИЙ УБОРОЧНЫХ МАШИН КАРТОФЕЛЯ .....	119
<b>Б.А. Гвасалия, Т.Д. Квачадзе., И. Сухиашвили.</b> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОЛОННЫ, ИМЕЮЩЕЙ КОЛЬЦЕОБРАЗНОЕ ПОПЕРЕЧНОЕ СЕЧЕНИЕ.....	130
<b>М.А. Дзидзигури, М.О. Месхи.</b> К ВОПРОСУ ИНТЕРВЕНЦИИ В СОЛОЛАКИ (ЖИЛЫЕ ДОМА НА ПЕРЕСЕЧЕНИИ УЛ. АМАГЛЕБА И КОДЖОРИ).....	140
<b>МАТЕМАТИКА</b>	
<b>В.В. Хочолава, Н.Д. Мачарашвили.</b> О СУММИРУЕМОСТИ РЯДОВ ХААРА.....	149
<b>В.В. Хочолава, Н.Д. Мачарашвили.</b> О ГРАНИЧНОМ ЗНАЧЕНИИ ГАРМОНИЧЕСКОЙ ФУНКЦИИ В ЯДРЕ .....	158
<b>З.А. Цицкишвили.</b> РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ О ФИЛЬТРАЦИИ ВОДЫ В СОВЕРШЕННУЮ ДРЕНУ ТРЕУГОЛЬНОЙ ФОРМЫ.....	164
<b>Л.А. Джикидзе, В.Н. Цуцкиридзе.</b> НЕСТАЦИОНАРНОЕ ТЕЧЕНИЕ ПРОВОДЯЩЕЙ ЖИДКОСТИ ВБЛИЗИ ВРАЩАЮЩЕГОСЯ ПОРИСТОГО ДИСКА С УЧЕТОМ МАГНИТНОГО ПОЛЯ И ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ.....	169
<b>Д.Л. Кикнадзе.</b> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ РАСТЯЖЕНИЯ, ОБРАЗУЮЩЕГОСЯ ПРИ НАМАТЫВАНИИ НА КОНУСООБРАЗНОЕ ВЕРЕТЕНО ШЕЛКОВОЙ НИТИ .....	176
<b>ПЕРЕЧЕНЬ АВТОРОВ .....</b>	182
<b>К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ .....</b>	183

UDC 635.62+543.8

SCOPUS CODE 1101

## საქართველოში მოყვანილი „ქართული თეთრი“ ჯიშის გობრის ბიოქიმიური შემადგენლობის კვლევის შედეგები

გ. კაიშაური ბიოტექნოლოგიის ცენტრი. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი. საქართველო, 0197, თბილისი, სარაჯიშვილის 1<sup>ა</sup>  
E-mail: g.kaishauri@mail.ru

### რეცენზენტები:

ნ. ბეგიაშვილი, სტუ-ის კვების მრეწველობის ინსტიტუტის სამეცნიერო საბჭოს თავმჯდომარე და დირექტორის მოადგილე, ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი

E-mail: nana-begi@mail.ru

ა. ხოტივარი, სტუ-ის კვების მრეწველობის ინსტიტუტის უფროსი მეცნიერი თანამშრომელი, ტექნიკის მეცნიერებათა კანდიდატი

E-mail: ani-barbakadze1@gmail.com

**ანოტაცია.** ნაშრომში მოცემულია აღმოსავლეთ საქართველოში მოყვანილი გობრის ჯიშის - „ქართული თეთრის“ ტექნიკურ-ქიმიური მაჩვენებლების კვლევის შედეგები.

შესწავლილია გობრის ჯიშის ორგანოლექტიკური (გარეგანი სახე, ფერი, გემო, სუნი) და ტექნიკური (საშუალო მასა, საშუალო მოცულობა, კუთრი წონა, წრფივი ზომები (სიმაღლე, დიამეტრი), ფორმის ინდექსი) მაჩვენებლები და მექანიკური შედგენილობა (ნაყოფის შემადგენელი ნაწილების, კერძოდ რბილობის, კანის, აკისა და თესლის პროცენტული თანაფარდობა).

გამოკვლეულია ჯიშის ქიმიური შედგენილობაც, კერძოდ შაქრების (მონო- და დისაქარიდები), სახამებლის, პექტინოვანი, აზოტოვანი, მთრიმლავი და მღებავი ნივთიერებების, უჯრედანას, ამინომჟავების, ვიტამინების, მინერალური ნივთიერებების შემცველობა, მჟავიანობა. გაანგარიშებულია მისი კვებითი ღირებულება.

დადგენილია, რომ ნაყოფი კარგი სასაქონლო თვისებებით ხასიათდება. ის შეიცავს ყველა შეუცვლელ ამინომჟავას და ვიტამინებს, რომელთა კომპლექსური შემცველობა აძლიერებს მის ფიზიოლოგიურ მოქმედებას.

**საკვანძო სიტყვები:** ბიოქიმიური შემცველობა; გობრა; მექანიკური შედგენილობა; ტექნიკური მაჩვენებლები.

### შესავალი

გობრის სამშობლოდ ამერიკა ითვლება. პლანეტაზე ის XVI საუკუნიდან გავრცელდა. მას საშემოდგომო ბოსტნეულთა რიცხვს მიაკუთვნებენ [1, 2]. ბუნებაში გობრის მრავალი ნაირსახეობა გვხვდება. ისინი ერთმანეთისაგან განსხვავდება როგორც მორფოლოგიური, ისე ბიოქიმიური ნიშან-თვისებებით. საქართველოში გვხვდება გობრის ყველა კულტურული სახეობა.

ქიმიური შედგენილობისა და სამკურნალო თვისებების წყალობით გოგრა ადამიანის ყოველდღიური კვების რაციონის ერთ-ერთი ძირითადი კომპონენტია. კარგად შეითვისება ორგანიზმის მიერ. მისი მოხმარება ხელს უწყობს ნივთიერებათა ცვლას. გოგრას იყენებენ დიაბეტით, პიელონეფრიტით, გასტრიტით, კუჭ-ნაწლავის ტრაქტის ქრონიკული დაავადებების დროს, ღვიძლისა და ნაღვლის ბუშტის, თირკმლების ფუნქციის დარღვევისას,

გოგრა შეიცავს ვიტამინებს, მინერალურ და სხვა ბიოლოგიურად აქტიურ ნივთიერებებს. მასში დიდი რაოდენობით გვხვდება კაროტინი. ჯიშებზე დამოკიდებულებით გოგრაში კაროტინის შემცველობა  $0,05-40 \cdot 10^{-3}$  % ფარგლებში მერყეობს. აღმოსავლეთ საქართველოს ჯიშები  $0,25-2,01 \cdot 10^{-3}$  % კაროტინს შეიცავს. კაროტინის იზომერებიდან ადამიანის ორგანიზმში წარმოიქმნება A ვიტამინი. ამის გამო, გოგრას კაროტინის წყაროდ მიიჩნევენ და A ვიტამინზე ადამიანის ორგანიზმის დღიური მოთხოვნილების დასაკმაყოფილებლად ყოველდღიური კვების რაციონში 80გ რთავენ.

გოგრის ნაყოფი მდიდარია შაქრებით (1,9– 12,0 %), სახამებლით (0,07–8,5 %), ასკორბინის მჟავათი (1,2–49,0მგ %), აუცილებელი მინერალური ნივთიერებებით (განსაკუთრებით ნატრიუმითა და კალიუმით). გოგრა შეიცავს ასევე  $0,4 \cdot 10^{-3}$  % პანთოტენის მჟავას,  $0,11-0,31 \cdot 10^{-3}$  % პირიდოქსინს,  $0,014 \cdot 10^{-3}$  % ფოლაციონს (B<sub>9</sub>),  $14 \cdot 10^{-3}$  % B<sub>c</sub> ვიტამინს,  $(0,03-0,05) \cdot 10^{-3}$  % თიამინს,  $(0,02-0,065) \cdot 10^{-3}$  % რიბოფლავინს. ამ უკანასკნელთა შემცველობა შედარებით მაღალია საქართველოში (განსაკუთრებით ქვემო ქართლში) მოყვანილ გოგრის ჯიშებში –  $(0,02-0,903) \cdot 10^{-3}$  % თიამინი და  $(0,01-0,192) \cdot 10^{-3}$  % რიბოფლავინი.

არსებობს განსხვავებული მოსაზრება გოგრაში ასკორბინის მჟავასა და კაროტინის შემცველობის შესახებ. ზოგიერთ ავტორთა მონაცემით, ასკორბინის მჟავათი ყველაზე მდიდარია ( $6-20 \cdot 10^{-3}$  %) ჩეჩენ-ინგუშეთში მოყვანილი გოგრის ჯიშები. სხვა მონაცემებით, მათი შემცველობა

გოგრაში  $37-49 \cdot 10^{-3}$  % აღწევს. აღმოსავლეთ საქართველოს ჯიშები C ვიტამინის შემცველობით ჩამოუვარდება ქვემო ქართლისა და დასავლეთ საქართველოს ჯიშებს [3–7].

ასეთი ქიმიური შედგენილობის მიუხედავად, საქართველოს გადამამუშავებელ მრეწველობაში გოგრა პრაქტიკულად გამოუყენებელი ნედლეულია.

### ძირითადი ნაწილი

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, კვლევის მიზანს წარმოადგენდა გოგრის ბიოქიმიური შედგენილობის შესწავლა.

კვლევის ობიექტად შერჩეულ იქნა აღმოსავლეთ საქართველოში გავრცელებული გოგრის ჯიშის „ქართული თეთრი“. ამ ჯიშის გოგრა მოგროვო ფორმისაა, ხორკლიან ზედაპირზე ოდნავ გამოსატყული წახნაგებით (ფორმის ინდექსი – 0,87, საშუალო მასა – 10,47კგ, საშუალო მოცულობა – 13,54 სმ<sup>3</sup>, სიმკვრივე – 0,77 გ/სმ<sup>3</sup>, საშუალო სიმაღლე – 281,5 მმ, საშუალო დიამეტრი – 322,5 მმ), აქვს მონაცრისფრო-თეთრი ფერის კანი.

კვლევის სტანდარტული მეთოდებით რბილობში განვსაზღვრეთ ბიოქიმიური შემცველობა [8–10].

დასახული მიზნის მისაღწევად შესწავლილ იქნა ჯიშის მექანიკური და ქიმიური შედგენილობა. ნაყოფში რბილობის შემცველობა შეადგენდა ნაყოფის საერთო მასის 78,25 %, კანი – 8,55 %, თესლი – 2,30 %, ხოლო აპკი – 10,90%.

ქიმიური შედგენილობის კვლევის შედეგები მოცემულია 1-ლ ცხრილში.

როგორც ცხრილიდან ჩანს, ნაყოფის რბილობის შემცველი მშრალი ნივთიერების 48% შაქრებია, რომლებშიც სჭარბობს მონოსაქარიდები (74%). პექტინოვანი ნივთიერებები წარმოდგენილია უხსნადი პექტინის სახით. ჯიშში დაბალმჟავიანია. მისი მჟავიანობაა 0,04% (ვაშლმჟავაზე გადაანგარიშებით), ხოლო pH – 6,62.

ცხრილი 1

**გოგრის საშუალო ქიმიური  
 შედგენილობა, %**

მანვენებელი	ჯიში „ქართული თეთრი“
ხსნადი მშრალი ნივთიერება	6,78
შაქრები, საერთო	3,27
მონოსაქარიდები	2,43
დისაქარიდი	0,84
სახამებელი	2,03
უჯრედანა	1,52
პექტინოვანი ნივთიერებები	
საერთო	0,94
ხსნადი	0,30
უხსნადი	0,64
აზოტოვანი ნივთიერებები (Nx6,25)	
საერთო	0,94
ცილოვანი	0,44
არაცილოვანი	0,50
მჟავიანობა	
ტიტრული (ვაშლმჟავაზე გადაანგარიშებით)	0,04
აქტიური (pH)	6,62

გამოკვლეულია ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებების შემცველობაც (ცხრილი 2).

ცხრილი 2

**გოგრაში ბიოლოგიურად აქტიური  
 ნივთიერებების შემცველობის კვლევის  
 შედეგები, %**

მანვენებელი	ჯიში „ქართული თეთრი“
მთრიმლავი და მღებავი ნივთიერებები	0,06
ვიტამინები, • 10 <sup>-3</sup>	
კაროტინი	0,06
ასკორბინის მჟავა	2,22
თიამინი	0,08
რიბოფლავინი	0,04
პანტოტენის მჟავა	0,07
პირიდოქსინი	0,05
ნიკოტინის მჟავა	0,05
ინოზიტი	0,11
ბიოტინი	0,01

საკვებ პროდუქტებში უმნიშვნელო რაოდენობით გვხვდება ბიოტინი (H ვიტამინი, ბიოსი II).

ლიტერატურაში არსებული მონაცემებით, ბიოტინის შემცველობა მაღალია ინოზიტთან შედარებით. ლიტერატურაში მწირია მონაცემები გოგრის ნაყოფებში ვიტამინების (ბიოტინი და ინოზიტი) შემცველობის შესახებ. საკვლევი ჯიში მეტ ინოზიტს შეიცავს სხვა ვიტამინებთან შედარებით.

გოგრის ნაყოფებში დადგენილია ასევე ნაცრის ელემენტების არსებობაც (ცხრილი 3).

ცხრილი 3

**გოგრაში მინერალური ნივთიერებების  
 შემცველობის კვლევის შედეგები, %**

მანვენებელი	ჯიში „ქართული თეთრი“
ნაცარი	0,71
მინერალური ნივთიერებები, • 10 <sup>-3</sup>	
ნატრიუმი	3,80
კალიუმი	43,60
კალციუმი	16,73
მაგნიუმი	11,76
• 10 <sup>-4</sup>	
რკინა	1,76
თუთია	0,43
სპილენძი	0,63
მანგანუმი	0,52
ბორი	0,09

მიღებული შედეგების ლიტერატურულთან შედარებამ აჩვენა, რომ ჩვენ მიერ მიღებული მონაცემები ლიტერატურულის ანალოგიურია ან ოდნავ ჩამორჩება.

საკვლევი ჯიშში იდენტიფიცირებულია 15 ამინომჟავა, მათ შორის თითქმის ყველა შეუცვლელი ამინომჟავა. მისი შემცველი ცილის ლიმიტირებული ამინომჟავა ლეიცინია.

ბიოქიმიური შედგენილობის კვლევის შემდეგ გაანგარიშებულ იქნა ჯიშის ენერგეტიკული ღირებულება. ის 99,3 კჯ/100 გ შეადგენდა.

### დასკვნა

შესწავლილი გოგრის ჯიში “ქართული თეთრი“ ხასიათდება კარგი სასაქონლო თვისებებით. „ქართულ თეთრში“ იდენტიფიცირებულია ყველა შეუცვლელი ამინომჟავა; ამ გოგრის ჯიშის კვებითი ღირებულების განმსაზღვრელ უმნიშვნე-

ლოვანეს მაჩვენებლად შეიძლება ჩაითვალოს მიწის ნერალური ნივთიერებები (Cu, Mn, Fe და სხვა) და ვიტამინები (კაროტინი, C, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, H, H). ამ უკანასკნელთა კომპლექსური შემცველობა ზრდის ნაყოფის ფიზიოლოგიურ მოქმედებას.

### ლიტერატურა

1. Arasimovich V.V. Pumpkin biochemistry. Biochemistry of cultural plants. Editor: Ivanov N. N. Selkhozgiz. vol. 43. Moscow-Leningrad. 1938, 329-348 pp. (In Russian).
2. Martinov S. Pumpkin. Obshestvennoe pitanie. №10. 1976, 29-40 pp. (In Russian).
3. Kaishauri G. N. Drink of preserved sorts of pumpkin. Journal “News of agrarian science“. vol. 6. N4. 2008, 97-99 pp. (In Russian).
4. Kaishauri G. N. Vegetable drink for children. Bulletin of the academy of agricultural sciences of Georgia. Tbilisi. 2009, 199-200 pp. (In Georgian).
5. Kezeli T. A. The vitamins in the plants of Georgia. „Metsniereba“. Tbilisi. 1966, 5-199, 225 pp. (In Russian).
6. Bordenyuk V., Dyakonue D. Nutrition value of pumpkin. Obshestvennoe pitanie. N2. 1977, 36-37 pp. (In Russian).
7. Ivakin N. N., Serdyuk T. L., Kolnonenko A. L., Kamneva Z. P., Bogdanova Z. N., Chulaevskaia O. M. The chemical and technological qualities of sorts of pumpkin. Kartoffel i ovoshchi. №1. 1982, 37 p. (In Russian).
8. Guidelines on chemical and technological examination of vegetable, fruit and berry crops for canning industry. M. 1993, 198 p. (In Russian).
9. Solovyova E.N. Methodological guideline for the determination of vitamins. Medgiz. M., 1960 (In Russian).
10. Pleshkov B.P. Practical work on biochemistry of plants. Kolos. M., 1976, 256 p. (In Russian).

UDC 635.62+543.8  
SCOPUS CODE 1101

## THE RESULTS OF THE RESEARCH OF BIOCHEMICAL INDICES OF THE PUMPKIN SORT “KARTULI TETRI”, CULTIVATED IN GEORGIA

**G.Kaishauri** Biotechnology Center. Georgian Technical University. 1a Sarajishvili, 0197 Tbilisi, Georgia  
E-mail: g.kaishauri@mail.ru

### Reviewers:

**N. Begiashvili**, Doctor of Technical Sciences, Chairman of Scientific Board and Deputy Director of Institute of the Food Industry, GTU

E-mail: nana-begi@mail.ru

**A. Khotivari**, PhD of Technical Sciences, Senior Scientific Worker at the Institute of Food Industry, GTU

E-mail: ani-barbakadze1@gmail.com

**ABSTRACT.** This work represents the results of the research of technico - chemical indices of the pumpkin sort “Kartuli Tetri”, cultivated in the Eastern Georgia.

We studied organoleptical (the appearance, colour, taste and flavour of the fruit) and technical (the average weight, the average volume, compactness, linear size - height, diameter as well as form index) indices and mechanic composition (proportion of biomass components, namely soft mass, skin, albedo and seeds in per cents) of pumpkin.

Chemical composition of pumpkin is studied as well, including dry matters, sugars (monosaccharides and disaccharides), tanning and colouring matters, starch, cellulose, pectinaceous and nitrogenous substances, amino acids, vitamins, mineral substances, total acidity). Energy value of a sort makes 99,3kj/100g.

Research outcomes indicate that the pumpkin is characterized as a good commodity. It is found that the sort contains all irreplaceable amino acids and vitamins and such complex content strengthens its physiological effect.

**KEY WORDS:** Biochemical composition; mechanical composition; pumpkin; technical indices.

UDC 635.62+543.8  
SCOPUS CODE 1101

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ БИОХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ТЫКВЫ СОРТА «КАРТУЛИ ТЕТРИ», ВЫРАЩЕННОЙ В ГРУЗИИ

**Кайшаури Г.Н.** Биотехнологический центр. Грузинский технический университет, Грузия, 0197, Тбилиси, ул. Сараджишвили, 1а  
E-mail: g.kaishauri@mail.ru

### Рецензенты:

**Н. Бегиашвили**, доктор технических наук, председатель научного Совета и заместитель директора Института пищевой промышленности, ГТУ

E-mail: nana-begi@mail.ru

**А. Хотивари**, кандидат технических наук, ст. научный сотрудник Института пищевой промышленности ГТУ

E-mail: ani-barbakadze1@gmail.com

**АННОТАЦИЯ.** В работе приведены результаты исследования техно-химических показателей плодов тыквы сорта «Картули тетри», выращенной в Восточной Грузии.

Изучены органолептические (внешний вид, цвет, вкус, запах) и технические (средняя масса, средний объем, плотность плода, линейные размеры (высота, диаметр), индекс формы) показатели, а также механический (процентное соотношение мякоти, кожуры, семян и плаценты) и биохимический состав плодов тыквы.

Из биохимических показателей определяли содержание растворимых сухих веществ, сахаров (моно- и дисахаридов), крахмала, клетчатки, пектиновых, азотистых, дубильных и красящих веществ, аминокислот, витаминов, минеральных веществ, кислоты. Рассчитана энергетическая ценность сорта. Она составляет 99,3 кДж/100г.

Установлено, что плоды характеризуются хорошими товарными свойствами. В сорте содержатся все незаменимые аминокислоты. Данные исследований показали, что тыква характеризуется наличием витаминов, комплексное содержание которых усиливает их физиологическое действие.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** биохимический состав; механический состав; технические показатели; тыква.



UDC 638.24

SCOPUS CODE 1407

## საქართველოში კერძო უმაღლესი განათლების სახელმწიფო რეგულირების სრულყოფის გზები

- რ. ქუთათელაძე** ბიზნესის ადმინისტრირების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 77  
E-mail: r.kutateladze@gtu.ge
- ს. მაჭარაშვილი** ბიზნესის ადმინისტრირების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 77  
E-mail: sofima.sm@gmail.com
- თ. აბრალავა** ბიზნესის ადმინისტრირების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 77  
E-mail: abralavat@gmail.com

### რეცენზენტები:

**ზ. ღუდუშაური**, სტუ-ის ბიზნესტექნოლოგიების ფაკულტეტის ბიზნესის ადმინისტრირების დეპარტამენტის პროფესორი

E-mail: zaira.gudushauri@mail.ru

**გ. ყურაშვილი**, სტუ-ის ბიზნესტექნოლოგიების ფაკულტეტის ბიზნესის ადმინისტრირების დეპარტამენტის ასოცირებული პროფესორი

E-mail: guliko-kurashvili@mail.ru

**ანოტაცია.** განხილულია ავტორების მიერ ხუთი კერძო უნივერსიტეტის 25 სტუდენტისა და 25 პროფესორ-მასწავლებლის სოციოლოგიური გამოკითხვის შედეგები. მათზე დაყრდნობით სტატიაში შემოთავაზებულია კერძო უმაღლესი სასწავლებლების სახელმწიფო რეგულირების სრულყოფა ოთხი მიმართულებით:

- სასწავლო საგნების არჩევა და კრედიტების განაწილება;
- სწავლების ხარისხი, პროფესორ-მასწავლებელთა კომპეტენცია;
- სწავლებისა და აკრედიტაცია-ავტორიზაციის ფასი;
- საჯარო უნივერსიტეტის პრივილეგიები კერძოსთან შედარებით.

**საკვანძო სიტყვები:** კერძო უმაღლესი სასწავლებელი; მარეგულირებელი ორგანოები; სახელმწიფო რეგულირება; უმაღლესი განათლება.

### შესავალი

გლობალიზაციის თანამედროვე ეტაპზე ადამიანთა საქმიანობის ყველა სფეროში წარმატების წინაპირობად კრეატიული კონკურენტუნარიანი ცოდნა იქცა. ფაქტიურად ქვეყნის კონკურენტუნარიანობის ერთ-ერთი მთავარი კრიტერიუმი მის საზღვრებში დაგროვილი ცოდნის დონე, ინტელექტუალური პოტენციალი გახდა. აღნიშნული იქმნება განათლების სისტემაში, ძირითადად უმაღლეს განათლებაში, დაგროვება კი მთელი ისტორიის მანძილზე და თაობიდან თაობებს გა-

დაეცემა. რაოდენ სამწესიეროა, რომ ამ ფონზე საქართველოში განათლების და მეცნიერების რეფორმა გარდაქმნის დღიდანვე წარსულთან, ჩვენი ისტორიის რადიკალურ რღვევაზე, ქვეყანაში არსებული პოტენციალის სრულ უარყოფაზე, ცარიელი ადგილიდან დაწყებაზე დაფუძნდა. ასე მოხდა უმაღლესი განათლების სისტემაშიც. ასეთი მიდგომა ალბათ უფრო მესამე სამყაროს (მაგალითად, აფრიკის) ქვეყნებს შეეფერებოდა და არა საქართველოს, სადაც ჯერ კიდევ XII საუკუნეში იყო აკადემიები.

სწორედ ამ მიზეზით დავინტერესდით შეგვესწავლა და შეგვეფასებინა საქართველოს კერძო უმაღლესი საგანმანათლებლო სისტემა, მისი სახელმწიფო პოლიტიკა და დაგვესახა გადაუდებელი ღონისძიებები.

## ძირითადი ნაწილი

### 1. უმაღლესი განათლების სახელმწიფო რეგულირება საქართველოში

საქართველოში როგორც კერძო, ისე საჯარო უმაღლეს განათლებას სახელმწიფო არეგულირებს. ამ ფუნქციას ასრულებს [1, მუხლი 5–8]: საქართველოს პარლამენტი, საქართველოს მთავრობა, საქართველოს განათლებისა და მეცნიერების სამინისტრო, ახალგაზრდობის და სპორტის სამინისტრო, შინაგანი და თავდაცვის სამინისტროები, საზღვაო ტრანსპორტის სააგენტო და საქართველოს ეკონომიკისა და მდგრადი განვითარების სამინისტრო.

**საქართველოს პარლამენტი** – განსაზღვრავს უმაღლესი განათლების პოლიტიკას და მართვის ძირითად მიმართულებებს, იღებს შესაბამის აქტებს, პერიოდულად ისმენს საქართველოს განათლებისა და მეცნიერების მინისტრის ანგარიშს უმაღლესი განათლების სფეროში სახელმწიფო პოლიტიკის გატარების, ფინანსური საქმიანობისა და სახელმწიფო პროგრამების შესრულების შესახებ.

**საქართველოს მთავრობა** – ახორციელებს სახელმწიფო პოლიტიკას უმაღლესი განათლების სფეროში, ამტკიცებს სახელმწიფო სასწავლო გრანტისა და სამაგისტრო გრანტის წლიურ მოცულობებს, ამტკიცებს მაგისტრატურის საგანმანათლებლო პროგრამულ მიმართულებებს, განსაზღვრავს აკრედიტებულ უმაღლეს საგანმანათლებლო პროგრამებზე ჩარიცხულ სტუდენტთა სოციალური პროგრამის ფარგლებში სახელმწიფო სასწავლო გრანტით დაფინანსების ოდენობასა და პირობებს, აფუძნებს საჯარო ან კერძო სამართლის იურიდიულ პირს – უმაღლეს საგანმანათლებლო დაწესებულებას, ქმნის რეგენტთა საბჭოს და ა. შ.

**საქართველოს განათლებისა და მეცნიერების სამინისტრო** – ატარებს ერთიან პოლიტიკას უმაღლესი განათლების სფეროში, ამტკიცებს საგანმანათლებლო დაწესებულებების ავტორიზაციისა და აკრედიტაციის დებულებებს, საფასურებს, შემუშავებს და ამტკიცებს შეფასებისა და გამოცდების ეროვნული ცენტრის დებულებას, განსაზღვრავს უმაღლესი საგანმანათლებლო პროგრამების კრედიტებით გაანგარიშების წესს, ამტკიცებს უმაღლესი განათლების კვალიფიკაციის ჩარჩოს, ასევე ბაკალავრიატის, მაგისტრატურისა და დოქტორანტურის საგანმანათლებლო პროგრამების დაფინანსების წესსა და პირობებს და ა. შ.

**სპორტის და ახალგაზრდობის საქმეთა სამინისტრო** – მონაწილეობს სახელმწიფოს მიერ დაფუძნებული სახელოვნებო-შემოქმედებითი და სასპორტო უმაღლესი საგანმანათლებლო დაწესებულებებისთვის სტატუსის მოპოვების მიზნით წინადადებების შედგენაში, წესდების შემუშავება-დამტკიცებაში, მათზე კონტროლის განხორციელებაში, მათი პროგრამული დაფინანსების უზრუნველყოფაში, ავტორიზაცია-აკრედიტაციის პირობების შემუშავებაში და ა. შ.

**საქართველოს თავდაცვის სამინისტრო** – სამხედრო უმაღლესი საგანმანათლებლო დაწესებულებებს წარუდგენს წინადადებებს სტატუსის მოპოვების მიზნით, ამტკიცებს მათ წესდებას, უზრუნველყოფს პროგრამულ დაფინანსებას, მონაწილეობს ავტორიზაციისა და აკრედიტაციის პირობების შემუშავებაში, ახორციელებს მათგან მომსახურების შესყიდვას და სხვა.

**საქართველოს შინაგან საქმეთა სამინისტრო** – საპოლიციო უმაღლესი საგანმანათლებლო დაწესებულებებისთვის ამტკიცებს წესდებებს, უზრუნველყოფს მათ პროგრამულ დაფინანსებას ან/და ახორციელებს მათგან მომსახურების შესყიდვას, მონაწილეობს საპოლიციო უმაღლესი საგანმანათლებლო დაწესებულებების ავტორიზაციისა და აკრედიტაციის პირობების შემუშავებაში.

**საქართველოს ეკონომიკისა და მდგრადი განვითარების სამინისტრო** – ამტკიცებს საზღვაო უმაღლესი საგანმანათლებლო დაწესებულებების წესდებებს, რომელთა წარდგენა ხდება საქართველოს განათლებისა და მეცნიერების სამინისტროს მიერ.

**საზღვაო ტრანსპორტის სააგენტო** – საქართველოს მთავრობას წარუდგენს წინადადებებს საზღვაო უმაღლესი საგანმანათლებლო დაწესებულებების დაფუძნების შესახებ, ახორციელებს მათ სახელმწიფო კონტროლს, უფლებამოსილია განახორციელოს მათი პროგრამული დაფინანსება, მონაწილეობს ავტორიზაციისა და აკრედიტაციის პირობების შემუშავებაში და სხვა.

ზემოთ დასახელებული სახელმწიფო ინსტიტუტები საქართველოს უმაღლეს განათლების როგორც სახელმწიფო, ისე კერძო სექტორს არეგულირებს შემდეგი კანონებით და კანონქვემდებარე აქტებით:

1. საქართველოს კანონი „უმაღლესი განათლების შესახებ“, 2004;

2. საქართველოს კანონი „განათლების ხარისხის განვითარების შესახებ“;

3. საქართველოს ეროვნული საკვალიფიკაციო ჩარჩო;

4. საქართველოს კანონი „მეცნიერების, ტექნოლოგიების და მათი განვითარების შესახებ“;

5. საქართველოს საგადასახადო კოდექსი.

ამ ნუსხიდან ყველაზე ძირითადი მარეგულირებელი დოკუმენტია საქართველოს კანონი „უმაღლესი განათლების შესახებ“. იგი შეიქმნა და ამუშავდა 2004 წელს.

საქართველოში „უმაღლესი განათლების შესახებ“ კანონის მიღება და მისით სწავლებისა და სწავლის ხარისხის აღიარება უმაღლესი განათლების სისტემის ეფექტიანობის მთავარი კრიტერიუმი, დიდი, ძალზე დიდი წინ გადადგმული ნაბიჯი იყო. შემდეგ ამას მოჰყვა ლისაბონის კონვენციის წევრობა, რითაც საქართველოს უმაღლესი განათლება საერთო ევროპულ სივრცეში მოექცა, შემდეგ (2005 წელს) ბოლონის პროცესთან შეერთება, უმაღლესი საგანმანათლებლო დაწესებულებათა აკრედიტაცია, კრედიტების ტრანსფერის ევროპული სისტემის დანერგვა და მრავალი სხვა. ეს არასრული სიაა იმ რეფორმებისა, რომლებიც ამ სფეროში განხორციელდა.

რეფორმის მსვლელობისას მოხდა უმაღლესი საგანმანათლებლო დაწესებულებების ავტონომია, განახლდა როგორც კერძო, ისე საჯარო საგანმანათლებლო დაწესებულებების მატერიალური ბაზა, შეიქმნა ინფორმაციულ-საკომუნიკაციო ინფრასტრუქტურა, ასევე შეიქმნა და ძალაში შევიდა ახალი კანონები, მოწესრიგდა უმაღლესი განათლების სამართლებრივი ბაზა.

საქართველოს კანონით „უმაღლესი განათლების შესახებ“ კერძო უმაღლესი საგანმანათლებლო დაწესებულება, როგორც კერძო სამართლის იურიდიული პირი, შეიძლება დაფუძნდეს „მეწარმეთა შესახებ“ საქართველოს კანონით და სა-

ქართველოს სამოქალაქო კოდექსის ნორმებით. იგი უფლებამოსილია განასორციელოს უმაღლესი საგანმანათლებლო საქმიანობა კანონმდებლობით დადგენილი წესით. მისი საქმიანობის სახელმწიფო რეგულირება, უპირველეს ყოვლისა, ხდება კანონით „უმაღლესი განათლების შესახებ“. კერძო უმაღლეს სასწავლებლებზე არ ვრცელდება მხოლოდ „უმაღლესი განათლების შესახებ“ საქართველოს კანონის მე-4, მე-5 (გარდა 32-ე – 35-ე მუხლებისა) და მე-14 თავებით გათვალისწინებული ნორმები.

უმაღლესი განათლების კერძო სამართლის დაწესებულებათა სახელმწიფოს მხრიდან ადმინისტრაციული რეგულირება გამოიხატება იმით, რომ იგი „ასორციელებს სახელმწიფო პოლიტიკას უმაღლესი განათლების სფეროში... ყოველწლიურად ამტკიცებს საგანმანათლებლო პროგრამულ მიმართულებებს და გრანტით დაფინანსების წლიურ მოცულობას... აფუძნებს საჯარო სამართლის ან კერძო სამართლის უმაღლეს საგანმანათლებლო იურიდიულ პირს... განსაზღვრავს უმაღლეს საგანმანათლებლო პროგრამების კრედიტებით გამოანგარიშების წესს... ამტკიცებს უმაღლესი განათლების კვალიფიკაციათა ჩარჩოს და სხვა მრავალს“.

„უმაღლესი განათლების შესახებ“ საქართველოს კანონის მე-4, მე-5 და მე-14 თავები, რომლებიც არ ვრცელდება კერძო სამართლის უმაღლესი საგანმანათლებლო დაწესებულებებზე, შემდეგია:

- სახელმწიფოს მიერ დაფუძნებული უმაღლესი საგანმანათლებლო დაწესებულებების სტრუქტურა (თავი IV);
- უმაღლესი საგანმანათლებლო დაწესებულების პერსონალი (თავი V);
- სახელმწიფოს მიერ დაფუძნებული უმაღლესი საგანმანათლებლო დაწესებულების ქონება

და ნორმატიული აქტების შესრულების კონტროლი (XIV).

„უმაღლესი განათლების შესახებ“ საქართველოს კანონში მოცემულია შენიშვნა, რომ გამოწვევის წესით კანონის მე-5 თავიდან კერძო სექტორზეც ვრცელდება 32-ე მუხლი – „უმაღლესი საგანმანათლებლო დაწესებულების აკადემიური პერსონალი“ და 35-ე მუხლი – „აკადემიურ თანამდებობებზე არჩევისა და დანიშვნის პირობები“.

ამ კანონის ყველა დანარჩენი თავი, გარდა მავალი დებულებების ჩათვლით, ვრცელდება კერძო სექტორის უმაღლეს საგანმანათლებლო დაწესებულებებზეც.

როგორც ამ კანონის, ისე სხვა მარეგულირებელი კანონების და კანონქვემდებარე აქტების სრულყოფის მიმართულებებს შემოგთავაზებთ ამ ნაშრომის მესამე ნაწილში. ჩვენი წინადადებები ეყრდნობა იმ კვლევას, რომელიც ამორჩევით ჩავატარეთ საქართველოს კერძო უმაღლეს სასწავლებლებში.

### **კერძო უმაღლესი განათლების სახელმწიფო რეგულირების სოციოლოგიური კვლევის პრაქტიკული კონტექსტი**

სტატიის ფარგლებში 2016 წელს კერძო უმაღლესი დაწესებულებების სახელმწიფო რეგულირების ოპტიმიზაციის მიზნით, იმ მექანიზმების მისაგნებად, რომლებიც ჯერ არ არის ამოქმედებული კერძო სექტორში, ჩვენ დავგეგმეთ და დამოუკიდებლად ჩავატარეთ ორი ურთიერთშემხვედრი კვლევა. მან მოიცვა:

- კერძო უნივერსიტეტების სტუდენტები;
- კერძო უნივერსიტეტების პროფესორ-მასწავლებლები და დამფუძნებლები.

პირველ ჯგუფში ჩართული იყო 25 სტუდენტი, მეორე ჯგუფში – 25 თანამშრომელი (დამფუძნებლების ჩათვლით). მათი შემაჯამებელი პირობები იხილეთ ცხრილში.

საქართველოს კერძო უნივერსიტეტების სტუდენტებისა და პროფესორ-მასწავლებელთა  
 სოციოლოგიური გამოკითხვის შედეგები (%)

№	კითხვარი	კვლევის საშუალო შედეგი	№	კითხვარი	კვლევის საშუალო შედეგი
1	ხართ თუ არა კმაყოფილი უნივერსიტეტის მატერიალურ-ტექნიკური ბაზით?		1	ხართ თუ არა კმაყოფილი შრომის ანაზღაურებით?	
	ა) კი	97		ა) არა	96
	ბ) არა	53		ბ) კი	4
2	გაკმაყოფილებთ თუ არა, რომ კერძო უნივერსიტეტებს სასწავლო საგნების არჩევაში სრული დამოუკიდებლობა აქვთ მიცემული?		2	გსურთ თუ არა, რომ შრომის ანაზღაურების საათობრივი სიდიდის ქვედა ზღვარს ადგენდეს სახელმწიფო?	
	ა) არა. საგნები განათლების სამინისტროს მიერ უნდა იყოს განსაზღვრული	99		ა) კი	97,6
	ბ) ნაწილობრივ	1		ბ) არა	2,4
3	ფიქრობთ თუ არა, რომ კერძო უნივერსიტეტებში სწავლების ფასის ზედა და ქვედა ზღვარს სახელმწიფო უნდა ადგენდეს?		3	მისაღებია ავტორიზაცია-აკრედიტაციის საფასური?	
	ა) კი	99,6		ა) არა, იგი დაუსაბუთებლად დიდია	95
	ბ) არა	0,4		ბ) კი, მისაღებია	5
4	გინდათ თუ არა, რომ უნივერსიტეტს ჰქონდეს მეტი ავტონომია?		4	რამდენად სამართლიანად მიგაჩნიათ, რომ ზოგიერთ სპეციალობაზე სახელმწიფო გრანტს აძლევს საჯარო უნივერსიტეტს და არ აძლევს კერძო უნივერსიტეტს	
	ა) კი	42,6		ა) რა თქმა უნდა, არასამართლიანია	98,8
	ბ) არა	57,4		ბ) ნაწილობრივ ეუჭვრ მხარს	1,2
5	გაკმაყოფილებთ თუ არა გრანტის რაოდენობა?		5	რამდენად სამართლიანია, რომ ერთი უნივერსიტეტის დამფუძნებლები ექსპერტების როლში შემოწმებაზე შედიან მეორე უნივერსიტეტში?	
	ა) არა. მისი რაოდენობა არ უნდა განისაზღვროს საჯარო უნივერსიტეტში სწავლის ფასით	98,6		ა) დაუშვებელია, მიკერძოებას ექნება ადგილი	5,6
	ბ) ნაწილობრივ	1,4		ბ) დასაშვებია	
6	გსურთ თუ არა, რომ კერძო უნივერსიტეტებში ფაკულტეტებს და მათში სტუდენტთა რაოდენობას დაკვეთის წესით საზღვრავდეს სახელმწიფო და კურსდამთავრებულებს სავალდებულო წესით ასაქმებდეს კიდევ?		6	სახელმწიფო კერძო უნივერსიტეტებიდან მოითხოვს, რათა მათი ფინანსური გეგმა საიტზე დაიდოს. როგორია თქვენი აზრი ამის შესახებ?	
	ა) კი	100		ა) არ შეიძლება, რადგან ფინანსური მანქანებლები კონფიდენციალურია	95
	ბ) არა	-		ბ) ნაწილობრივ შესაძლებელია	5
7	ხართ თუ არა კმაყოფილი სწავლების ხარისხით?		7	სრულ პროფესორს სახელმწიფო მხლოდ ერთ სამსახურში აძლევს მუშაობის უფლებას. როგორია ამის შესახებ თქვენი აზრი?	
	ა) არა	92		ა) არ არის სწორი ხელფასის სიმცირის გამო	97
	ბ) ნაწილობრივ	8		ბ) სწორი გადაწყვეტილებაა	3

8	გსურთ თუ არა, რომ სწავლის პროცესს აკონტროლებდეს განათლების სამინისტროს მიერ შექმნილი სპეციალისტთა კომისიები?		8	თქვენი აზრით, რამდენად სწორია, რომ სახელმწიფო კერძო უნივერსიტეტებს ინვლიდებისთვის თხოვს ადაპტურ გარემოს, რომელიც არც აკრედიტებულ საჯარო უნივერსიტეტებს აქვს და არც აკრედიტაციის საბჭოს?	
	ა) კი	80,4		ა) რა თქმა უნდა, დარღვევაა	100
	ბ) არა	19,6	ბ) ნაწილობრივ დასაშვებია	-	
9	როგორ ფიქრობთ, ისეთი განათლების მისაღებად, რომლითაც თქვენ დასაქმდებით, რომელიც უნდა მოგცეთ უნივერსიტეტებმა, არის საკმარისი სახელმწიფოს მხრიდან მისი რეგულირება?		9	როცა კერძო უნივერსიტეტში ექსპერტი შემოდის შესამოწმებლად, როგორ ფიქრობთ, უნდა იყოს თუ არა დადებული აკრედიტაციის საბჭოს საიტზე მისი კომპეტენციის შესახებ ინფორმაცია?	
	ა) არა	98,2		ა) კი, უნდა იყოს	99,2
	ბ) ნაწილობრივ	1,8	ბ) გვარი და სახელიც საკმარისია	0,8	
10	როგორ ფიქრობთ, ხომ არ არის საჭირო, რომ კერძო უნივერსიტეტის აკადემიური პერსონალი (პროფესორ-მასწავლებლები) კონკურსში მონაწილეობისას ატარებდეს საჩვენებელ ლექციას იმ საგნებში, რომელთა წაკითხვაზეც აქვს პრეტენზია		10	უჭკერთ თუ არა მხარს იმ ვითარებას, რომ ექსპერტები შედიოდნენ სააპელაციო საბჭოში?	
	ა) კი	99,6		ა) არა	100
	ბ) არა	0,4	ბ) ნაწილობრივ	-	

ამრიგად, ჩვენი გამოკვლევით, სტუდენტთა უმრავლესობის (90% და მეტი) აზრით არასწორია:

1. რომ სასწავლო საგნების არჩევას და კრედიტების განაწილებას ახდენს კერძო უნივერსიტეტი;
2. რომ სწავლის ფასს საზღვრავს თავად კერძო უნივერსიტეტი;
3. არსებული სახელმწიფო რეგულირება;
4. გრანტის სიდიდის განსაზღვრის არსებული წესი.

სტუდენტთა უმრავლესობის აზრით, საჭიროა:

1. პროფესორ-მასწავლებლებს კონკურსში მონაწილეობისას დაევალოთ საჩვენებელი ლექციის ჩატარება;
2. სწავლების ფასის ზედა და ქვედა ზღვრები კერძო უნივერსიტეტებში დააწესოს საქართველოს მთავრობამ;
3. სწავლების პროცესი გააკონტროლოს განათლების სამინისტროს კომისიამ;
4. სწავლებაში დასაქმებისთვის საჭირო პრაქტიკული საგნების ჩართვა;

5. კერძო უნივერსიტეტებმა ფაკულტეტებსა და სტუდენტთა რაოდენობაზე მიიღონ სახელმწიფო დაკვეთები.

კერძო უმაღლეს სასწავლებელთა თანამშრომელთა გამოკვლევამ აჩვენა, რომ:

- თანამშრომელთა 90%-ს არ აკმაყოფილებს შრომის ანაზღაურების არსებული წესი;
- თანამშრომელთა 97,6% მოითხოვს, რომ კერძო უნივერსიტეტებში ხელფასები დაადგინოს განათლების სამინისტრომ;
- 97% არასამართლიანად თვლის პროფესორისთვის ორ ადგილზე მუშაობის აკრძალვას;
- თანამშრომელთა 95% თვლის, რომ აკრედიტაცია-ავტორიზაციის საფასური მიუღებლად დიდია და ა. შ.

ჩატარებული გამოკვლევის შედეგები საშუალებას მოგვცემს, რომ კერძო უმაღლესი საგანმანათლებლო ბიზნესის რეგულირების სახელმწიფო ორგანოებს შეეთავაზოთ ოპტიმიზაციის ისეთი გზები, რომელიც არ იქნება მხოლოდ განყენებული აზროვნების ნაყოფი, არამედ დაეყრდნობა

ამ სფეროში მოღვაწე სტუდენტებისა და პროფესორ-მასწავლებელთა აზრსაც.

### კერძო უმაღლესი განათლების სახელმწიფო რეგულირების სრულყოფის გზები

კერძო უმაღლესი განათლების სახელმწიფო რეგულირების ოპტიმიზაციის მიმართულებით ჩვენი მოსაზრება ოთხ სფეროს ეხება:

1. სასწავლო საგნების არჩევა და კრედიტების განაწილება;
2. სწავლების ხარისხი, სწავლების პროცესის კონტროლი და პროფესორ-მასწავლებელთა და ექსპერტთა კომპეტენცია;
3. სწავლების ფასი, აკრედიტაცია-ავტორიზაციის ფასი, გრანტის სიდიდე და თანამშრომელთა შრომის ანაზღაურების სიდიდე;
4. საჯარო უნივერსიტეტების პრივილეგიურ მდგომარეობაში ყოფნა.

ჩვენი აზრი, საქართველოს კერძო უნივერსიტეტების პროფესორ-მასწავლებლებისა და სტუდენტების აზრი სახელმწიფო რეგულირების გაუმჯობესების მიმართულებით შემდეგია:

**სასწავლო საგნების არჩევა და კრედიტების განაწილება.** როგორც ცნობილია, კერძო უნივერსიტეტებს სრული თავისუფლება აქვს მიცემული სასწავლო საგნების არჩევისა და კრედიტების განაწილებაში, ავტონომიის მიცემით ეს უფლებაც მიიღეს (გავიხსენოთ ბოლონიის კომუნიკე). საქართველო გარდამავალი ეკონომიკის მქონე პოსტსაბჭოთა ქვეყნებს შორის ყველაზე ღარიბი ქვეყანაა. მოსახლეობის სიღარიბეს უმუშევრობა განაპირობებს. აქედან გამომდინარე, კერძო უნივერსიტეტის დამფუძნებლებს თავად რომ არ მოუწიოთ მთელი სანათესაოს, სამეზობლოს თუ სამეგობროს რჩენა, ამჯობინებენ თავისთან დაასაქმონ ისინი (თითო ოჯახიდან თითო კაცი მაინც). ხშირად მათ ასაქმებენ ადმინისტრაციულ თანამდებობებზე (კანცელარია, ბიბლიოთეკა, დაცვა და ა. შ.), მაგრამ, როცა ეს ადგილები

არასაკმარისია, აკადემიურ თანამდებობებზეც ნიშნავენ. რა თქმა უნდა, ეს ხდება მათი სპეციალობის გათვალისწინებით. მაგრამ, როცა სპეციალობა არ ემთხვევა უნივერსიტეტში არსებულ პროფილებს, მაშინ ხდება სასწავლო საგნების მორგება მათ კომპეტენციებზე. თუ ეს პიროვნება ისტორიკოსია, მაშინ ისტორია ჩაჯდება სილაბუსში სასწავლო საგნად, თუ ფსიქოლოგია – ფსიქოლოგია და ა. შ. ასევე ხდება თანამშრომელთა მიღება კონკურსის წესით, მაგრამ კერძო უნივერსიტეტის დამფუძნებლები ამასაც ადვილად წყვეტენ, უნივერსიტეტი ხომ მათია. ანალოგიურად ხდება საგნებს შორის კრედიტების განაწილებაც ანუ საგნის სწავლებისას კრედიტები შედეგზე გასასვლელად კი არ იანგარიშება და ნაწილდება, არამედ იმაზე, ვინ ასწავლის და რამდენი ხელფასი უნდა მიიღოს უნივერსიტეტიდან. თუ საგნის მასწავლებელი კერძო უნივერსიტეტის დამფუძნებლის ახლობელია, ეს საგანიც უპრობლემოდ ჩაჯდება სასწავლო გეგმაში და კრედიტებიც მეტი გამოეყოფა სხვასთან შედარებით.

ვერ ვიტყვი, რომ ეს ყველა კერძო უნივერსიტეტში ხდება, მაგრამ ზოგიერთში კი ნამდვილად. შედეგად სტუდენტები ვერ იღებენ საჭირო ცოდნას საჭირო შედეგზე გასასვლელად, რომელიც მათ დაუბრკოლებლად დასაქმებას დასჭირდება. ამას ამბობენ არა მხოლოდ სტუდენტები, არამედ დამსაქმებლებიც. ისინი დაუფარავად ამბობენ, რომ სტუდენტებს არა აქვთ პრაქტიკული ცოდნა, რომ ისინი ძირითადად თეორიულ საგნებს სწავლობენ.

ზემონათქვამიდან გამომდინარე, საქართველოს კერძო უნივერსიტეტებს, მენტალიტეტისა და მოსახლეობის მატერიალური გაჭირვების გამო, არ გამოადგება ევროპის მაღალგანვითარებულ ქვეყნებში დამკვიდრებული სრული ავტონომია. საბაზრო ეკონომიკაზე გარდამავალ პერიოდში საქართველოს კერძო უნივერსიტეტებს სასწავლო

საგნების ნუსხა და მათ შორის კრედიტების განაწილება საქართველოს განათლებისა და მეცნიერების სამინისტროსგან უნდა ეძლეოდეს.

**სწავლების ხარისხი, სწავლების პროცესის კონტროლი, პროფესორ-მასწავლებელთა და ექსპერტთა კომპეტენცია.** ამ საკითგებზე ჩვენი აზრი მთლიანად ეფუძნება ზემოგანხილულ ვითარებას. კერძო უნივერსიტეტებში არსებული სწავლების დაბალი ხარისხი სწორედ პროფესორ-მასწავლებელთა დაბალი კვალიფიკაციით არის გამოწვეული. სწავლების პროცესი ხომ საერთოდ არ კონტროლდება გარედან (მხედველობაში გვაქვს განათლებისა და მეცნიერების სამინისტრო). როგორც ჩანს, მარეგულირებელი ორგანო, მოცემულ შემთხვევაში განათლებისა და მეცნიერების სამინისტროს და განათლების ხარისხის განვითარების ეროვნული ცენტრი, ენდობა მხოლოდ მათ მიერ აკრედიტებულ კერძო უნივერსიტეტების თვითშეფასებას და ექსპერტების დასკვნებს. ექსპერტებს ხშირად არ გააჩნიათ საჭირო დონის კომპეტენცია იმ მიმართულებით, რა მიმართულებითაც ისინი იგზავნება კერძო უნივერსიტეტებში. სამწუხაროდ, აკრედიტაციის საბჭოს საიტზე მათი გვარი და სახელი იდება და არა ინფორმაცია მათი კომპეტენციის შესახებ. ამიტომ, ჩვენი წინადადებაა ეს საკითხი უფრო მკაცრად დარეგულირდეს კერძო უნივერსიტეტებში, კერძოდ:

➤ საიტზე დაიდოს ინფორმაცია ექსპერტების კომპეტენციის შესახებ;

➤ განათლებისა და მეცნიერების სამინისტროს სპეციალისტთა ჯგუფებმა კერძო უნივერსიტეტში არანაკლებ თვეში ერთ-ორჯერ შეამოწმონ სწავლების ხარისხი (ლექციებზე დასწრებით);

➤ კერძო უნივერსიტეტს კონკურსის ჩატარების ერთ-ერთ მოთხოვნად დაუწესდეს კონკურსანტის გამოცდა პროფილურ საგანში (მაგალითად, საჩვენებელი ლექციის ჩატარება).

**სწავლების ფასი, აკრედიტაცია-ავტორიზაციის ღირებულება, გრანტის რაოდენობა და თანამშრომელთა შრომის ანაზღაურება.** საქართველოს კერძო უნივერსიტეტი თავად აწესებს სწავლის ფასს. მოსახლეობის ცხოვრების დონიდან გამომდინარე, ეს ფასი მაღალია. სწორედ ამ მიზეზით, ამა თუ იმ კერძო უნივერსიტეტში ეროვნული გამოცდებით ჩარიცხული სტუდენტი ვერ რეგისტრირდება სტუდენტად და ქუჩაში რჩება.

მაღალია კერძო უნივერსიტეტის ავტორიზაცია-აკრედიტაციის ღირებულებაც. ამასთან, უნივერსიტეტს მისი წინასწარი გადახდის ვალდებულება აქვს, განურჩევლად იმისა, მიიღებს თუ არა ავტორიზაციას ან აკრედიტაციას. უნივერსიტეტმა არ იცის რა ხარჯები შედის ღირებულებაში, რატომ არის ასეთი მაღალი.

სახელმწიფო გრანტი, რომელსაც სტუდენტი ეროვნულ გამოცდებზე მიღებული ქულებით იმსახურებს, განისაზღვრება არა იმ უნივერსიტეტის სწავლის ფასით, არამედ საჯარო უნივერსიტეტის სწავლის ფასით. რადგან, ძირითად შემთხვევაში, კერძო უნივერსიტეტში სწავლის ფასი მაღალია, ამიტომ სტუდენტს უხდება დამატებითი თანხის გადახდა.

კიდევ უფრო პრობლემურია კერძო უნივერსიტეტის თანამშრომელთა შრომის ანაზღაურება. იმის გამო, რომ საქართველოში არ არის დადგენილი მინიმალური ხელფასი, კერძო უნივერსიტეტის დამფუძნებლები მეტი მოგების მიღების მიზნით ამ სფეროში თვითნებობენ. გასაკვირია, რომ ამ გაჭირვების წლებში საქართველოს განათლებისა და მეცნიერების სამინისტრო პროფესორს (სრულ პროფესორს) აძლევს მხოლოდ ერთ უნივერსიტეტში მუშაობის უფლებას და არ ინტერესდება იმით, რაზე ნაკლები არ უნდა ჰქონდეს მას ამ უნივერსიტეტში ხელფასი? ეს რეგულაცია მისაღებია, თუ იგი მუშაობს ივ. ჯავახიშვილის სახელობის უნივერსიტეტში, სადაც პროფესორის



ხელფასი 3500 ლარია თვეში, მაგრამ ჩვენ მიერ გამოკვლეულ კერძო უნივერსიტეტებში, სადაც იგი არ სცილდება 400 ლარს, რა თქმა, უნდა მისაღები არ არის.

აქედან გამომდინარე, გთავაზობთ შემდეგ რეკომენდაციებს:

➤ კერძო უნივერსიტეტში სწავლების ფასის ზედა და ქვედა ზღვარი სახელმწიფომ დააწესოს;

➤ ავტორიზაცია-აკრედიტაციის ღირებულება მისი შემადგენელი ხარჯების მუხლობრივი გაწერით დაიდოს განათლების ხარისხის განვითარების ეროვნული ცენტრის საიტზე;

➤ გრანტის რაოდენობა განისაზღვროს იმ უნივერსიტეტის სწავლების ფასის მიხედვით, სადაც სტუდენტი ჩაირიცხა;

➤ უმაღლესი სასწავლო დაწესებულებებისთვის სახელმწიფომ დააწესოს თანამდებობრივი განაკვეთები და იგი სავალდებულო უნდა იყოს ყველასთვის, საჯარო იქნება თუ კერძო;

➤ მოწვეული ანუ საათობრივი ანაზღაურების მასწავლებლებისთვის კი დააწესოს ერთი საათის ანაზღაურების ქვედა ზღვარი (დაქირავებულის კვალიფიკაციის მიხედვით – ხარისხის მქონე, ხარისხის არმქონე).

**კერძო უნივერსიტეტისგან განსხვავებით, საჯარო უნივერსიტეტის პრივილეგიური მდგომარეობა.** ეს განსაკუთრებით შესამჩნევია ავტორიზაცია-აკრედიტაციის მოთხოვნების წარდგენისას. მაგალითად, კერძო უნივერსიტეტს უნარშეზღუდული სტუდენტებისთვის სრული ადაპტური გარემოს შექმნა მოეთხოვება. არც ივ. ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტს და არც საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტს ასეთი გარემო არა აქვს შექმნილი. ორივე ეს უნივერსიტეტი აკრედიტებულია.

კერძო უნივერსიტეტებს რომ თხოვთ ფინანსური გეგმების საიტზე დადებას, აკრედიტებულ თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტს თუ სა-

ქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტს აქვს იგი საიტზე დადებული?

განა სწორი მიდგომაა, რომ საჯარო უნივერსიტეტების თანამშრომლები არიან კერძო უნივერსიტეტების ავტორიზაცია-აკრედიტაციის ექსპერტები? დაუჯერებელია, რომ ისინი მიუკერძოებლები იქნებიან.

კერძო უნივერსიტეტს ავტორიზაცია არ მიეცემა თუ იგი არ აკმაყოფილებს ავტორიზაციის თუნდაც ერთ სტანდარტს. მაშ, როგორ მიიღო აკრედიტაცია თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტმა და საქართველოს ტექნიკურმა უნივერსიტეტმა, განა მათ ყველა კორპუსში აქვთ უნარშეზღუდულ სტუდენტთა გადაადგილების პანდუსი?

ამ და სხვა ურთიერთგანსხვავებული მიდგომების გამო, რის შედეგადაც საჯარო უნივერსიტეტები პრივილეგიურ მდგომარეობაში არიან, კერძო უნივერსიტეტებთან შედარებით საჭიროა:

➤ სახელმწიფოს მიერ დაწესებული ავტორიზაცია-აკრედიტაციის მოთხოვნები იყოს ერთნაირი და მათი შესრულება მკაცრად გაკონტროლებული;

➤ არა მხოლოდ კერძო, არამედ საჯარო უნივერსიტეტებსა და განათლებისა და მეცნიერების სამინისტროს განათლების ხარისხის განვითარების ეროვნულ ცენტრსაც, რომელიც აწესებს ავტორიზაცია-აკრედიტაციის ფასებს, მოეთხოვოს ფინანსური გეგმის გამჭვირვალობა ანუ საიტზე დადება;

➤ საქართველოს მთავრობამ დაიწყოს ექსპერტების მომზადება უმაღლესი განათლების გარე სტრუქტურებიდან. მათ სამსახურებრივი ინტერესი არ უნდა ჰქონდეთ უმაღლეს საგანმანათლებლო დაწესებულებებთან;

➤ თუ კერძო უნივერსიტეტი არ აკმაყოფილებს მხოლოდ ერთ (ან ორ) სტანდარტს, მას უარი არ უნდა ეთქვას ავტორიზაციაზე, არამედ მიეცეს პირობითად (გამოსწორების ვადის ჩვენებით).

დაბოლოს, ახალი სტანდარტებით, უმაღლესი სწავლების საქართველოს სახელმწიფო მარეგულირებელი ორგანოები კერძო უმაღლესი სასწავლებლებისგან მოითხოვენ, რომ მათ გაფორმებული ჰქონდეთ ხელშეკრულებები შრომის ბაზრის მკვლევარ სააგენტოებსა და დამსაქმებლებთან (სხვადასხვა კომპანია). ორივეს მიზანია კურსდამთავრებულთა დასაქმება. აქედანვე უნდა ვიცოდეთ, რომ ეს მოთხოვნა მხოლოდ „ქალაქ-ზე“ შესრულებდა, რადგან დამსაქმებლებმა უკვე იციან, რომ საქართველოს კერძო უნივერსიტეტების კურსდამთავრებულებს მათთვის გამოსადეგი ცოდნა არა აქვთ (იშვიათი გამონაკლისის გარდა), ხოლო რაც შეეხება შრომის ბაზრის შემსწავლელ სააგენტოებს, მათთან დაიდება ფიქტიური ხელშეკრულებები, სააგენტოების მომსახურების ძვირად ღირებული მომსახურების გამო.

ჩვენი აზრით, ამ მდგომარეობიდან ყველაზე კარგი გამოსავალია ის, რომ თავად სახელმწიფომ შექმნას შრომის ბაზრის შემსწავლელი სამსახური და მისი შედეგების მიხედვით დააკეთა მისცეს როგორც კერძო, ისე საჯარო უნივერსიტეტებს გახსნან მოთხოვნადი სპეციალობები სტუდენტთა სავარაუდო რაოდენობით, რომელთა დასაქმებას, შეკვეთიდან გამომდინარე, თავად სახელმწიფო უზრუნველყოფს.

## დასკვნა

საქართველოს კერძო უმაღლესი საგანმანათლებლო ბიზნესის სახელმწიფო რეგულირების გამოკვლევამ აჩვენა, რომ იგი არაეფექტურია. ამას იწვევს საქმიანობის ზოგიერთ სფეროში მკაცრი მოთხოვნები (მაგალითად, მატერიალურ-ტექნიკური ბაზა), ზოგიერთში კი (მაგალითად, სწავლის პროცესი, აკადემიური პერსონალის კომპეტენციები და სხვა) – ნაკლებად მკაცრი.

ზემოთქმულიდან გამომდინარე, ამ სფეროს ეფექტიანობის ასამაღლებლად ვიდევით შემდეგ წინადადებებს:

1. სასწავლო საგნების ნუსხა და აკრედიტების განაწილება მიეცეს განათლების სამინისტროს მიერ;
2. განათლებისა და მეცნიერების სამინისტროს სპეციალისტთა ჯგუფებმა კერძო უნივერსიტეტში არანაკლებ თვეში ერთ-ორჯერ შეამოწმონ სწავლების ხარისხი (ლექციებზე დასწრებით);
3. საიტზე დაიდოს ინფორმაცია ექსპერტების კომპეტენციის შესახებ;
4. კერძო უნივერსიტეტებს კონკურსის ჩატარების ერთ-ერთ მოთხოვნად დაუწესდეთ კონკურსანტის გამოცდა პროფილურ საგანში (მაგალითად, საჩვენებელი ლექციის ჩატარება);
5. კერძო უნივერსიტეტებში სწავლების ფასის ზედა და ქვედა ზღვარი სახელმწიფომ დააწესოს;
6. ავტორიზაცია-აკრედიტაციის ღირებულება მისი შემადგენელი ხარჯების მუხლობრივი გაწერით დაიდოს განათლების ხარისხის განვითარების ეროვნული ცენტრის საიტზე;
7. გრანტის რაოდენობა განისაზღვროს იმ უნივერსიტეტის სწავლების ფასის მიხედვით, სადაც სტუდენტი ჩაირიცხა;
8. უმაღლესი სასწავლო დაწესებულებებისთვის სახელმწიფომ დააწესოს თანამდებობრივი განაკვეთები, რომელიც სავალდებულო იქნება ყველასთვის, საჯარო იქნება თუ კერძო;
9. მოწვეული ანუ საათობრივი ანაზღაურების მასწავლებლებისთვის დააწესოს ერთი საათის ანაზღაურების ქვედა ზღვარი (დაქირავებულის კვალიფიკაციის მიხედვით – ხარისხის მქონე, ხარისხის არმქონე);
10. სახელმწიფოს მიერ დაწესებული ავტორიზაცია-აკრედიტაციის მოთხოვნები იყოს ერთნაირი და მათი შესრულება მკაცრად გაკონტროლებული;
11. არა მხოლოდ კერძო, არამედ საჯარო უნივერსიტეტებსა და განათლებისა და მეცნიერების სამინისტროს განათლების ხარისხის განვითარების ეროვნულ ცენტრსაც, რომელიც აწესებს ავტორიზაცია-აკრედიტაციის ფასებს, მოეთხოვოს

ფინანსური გეგმის გამჭვირვალობა ანუ საიტზე დადება;

12. საქართველოს მთავრობამ დაიწყო ექსპერტების მომზადება უმაღლესი განათლების გარე სტრუქტურებიდან. მათ სამსახურებრივი ინტერესი არ უნდა ჰქონდეთ უმაღლეს საგანმანათლებლო დაწესებულებებთან;

13. თუ კერძო უნივერსიტეტი არ აკმაყოფილებს მხოლოდ ერთ (ან ორ) სტანდარტს, მას

უარი არ უნდა ეთქვას ავტორიზაციაზე, არამედ მიეცეს იგი პირობითად (გამოსწორების ვადის ჩვენებით);

14. სახელმწიფომ თავად შექმნას უმაღლეს-დამთავრებულთა შრომის ბაზრის შემსწავლელი სამსახური და დაკვეთა მისცეს კერძო უნივერსიტეტს რა სპეციალობით და რამდენი სტუდენტი მოამზადოს.

### ლიტერატურა

1. Law of Georgia on higher education. Collection of normative acts. Paragraph 12. Tbilisi. 2016. (in Georgian).

UDC 638.24

SCOPUS CODE 1407

### THE IMPROVEMENTS OF STATE REGULATIONS OF PRIVATE HIGHER EDUCATION IN GEORGIA

**R. Kutateladze** Department of Business Administration, 77 M. Kostava str, 0175 Tbilisi, Georgia  
E-mail: r.kutateladze@gtu.ge

**S. Macharashvili** Department of Business Administration, 77 M. Kostava str, 0175 Tbilisi, Georgia  
E-mail: sofima.sm@gmail.com

**T. Abzalava** Department of Business Administration, 77 M. Kostava str, 0175 Tbilisi, Georgia  
E-mail: abzalavat@gmail.com

#### Reviewers:

**Z. Gudushauri**, Invited Professor, Department of Business Administration, Faculty of business technology, GTU  
E-mail: zaira.gudushauri@mail.ru

**G. Kurashvili**, Associate Professor, Department of Business Administration, Faculty of business technology, GTU  
E-mail: guliko-kurashvili@mail.ru

**ABSTRACT.** The structure of the article is as follows: Introduction; state regulation of higher education in Georgia; the practical context of sociological research of private higher education regulated by the state; the improvements of state regulations of private higher education; conclusion.

The article considers the results of sociological survey which was conducted by 5 private universities with 25 students and 25 professors. According to this survey it is offered 4 directions for the improvement of state regulations of private higher education:

- Selection of student courses and distribution of credits

- Learning experience and teaching staff competencies
- Tuition fees and costs of authorization and accreditation
- The state universities privileges in comparison with private universities.

The article ends with the conclusion briefly summarizing main claims.

**KEY WORDS:** Higher education; private higher educational institution; regulatory bodies; state regulations.

---

UDC 638.24

SCOPUS CODE 1407

## ПУТИ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ГОСУДАРСТВЕННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЧАСТНОГО ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

<b>Р.Г. Кутателадзе</b>	Департамент бизнес-администрирования, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава, 77 E-mail: r.kutateladze@gtu.ge
<b>С.А. Мачарашвили</b>	Департамент бизнес-администрирования, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава, 77 E-mail: sofima.sm@gmail.com
<b>Т.А. Абралава</b>	Департамент бизнес-администрирования, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава, 77 E-mail: abralavat@gmail.com

### Рецензенты:

**З. Гудушаури**, профессор Департамента бизнес-администрирования факультета бизнес-технологии ГТУ  
E-mail: zaira.gudushauri@mail.ru

**Г. Курашвили**, асоц. профессор Департамента бизнес-администрирования факультета бизнес-технологии ГТУ  
E-mail: guliko-kurashvili@mail.ru

**АННОТАЦИЯ.** Показаны результаты социологического опроса, проведенные авторами среди 25 студентов и 25 профессоров в пяти частных университетах. На основе этого исследования в статье предлагается усовершенствование государственного регулирования частного высшего образования по четырем направлениям:

- выбор учебных предметов и распределение кредитов;
- качество обучения и компетенция профессорско-преподавательского состава;
- цена обучения и аккредитации-авторизации;
- привилегии государственных университетов по сравнению с частными университетами;

Статья заканчивается итоговым заключением.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** высшее образование; государственное регулирование; регулирующие органы; частное высшее учебное заведение.

UDC 004.89

SCOPUS CODE 1706

## CONSTRUCTING A PERSONALIZED ADAPTIVE LEARNING SYSTEM

**M. Didkovska** Educational and Scientific Complex "Institute of Applied Systems Analysis", National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", 14-b, Politekhnichna st, Kyiv, 03056, Ukraine  
E-mail: maryna.didkovska@gmail.com

**K. Kozlov** Educational and Scientific Complex "Institute of Applied Systems Analysis", National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", 14-b, Politekhnichna st, Kyiv, 03056, Ukraine  
E-mail: k.kozlov@gmail.com

### Reviewers:

**P. Bidyuk**, Professor, Chair of Mathematical Methods of Systems Analysis, Educational and Scientific Complex "Institute of Applied Systems Analysis", NTUU "KPI"  
E-mail: pbidyuke@gmail.com

**O. Tymoschuk**, Associate Professor, Chair of Mathematical Methods of System Analysis, Educational and Scientific Complex "Institute of Applied Systems Analysis", NTUU "KPI"  
E-mail: oxana.tim@gmail.com

---

### ABSTRACT.

This paper considers an approach to develop effective online learning system based on adaptive testing. There have been solved the tasks such as formalization of adaptive learning stages in online educational systems, development of automated organization method of educational materials and machine learning method as well to improve quality and efficiency of online educational systems. Suggested the ways for the automation of the learning process components, including determination of the level of student's knowledge, selection of materials and the creation of individual customized training plan.

Based on the proposed methods and processes was developed adaptive learning system with automated organization of learning material structure.

**KEY WORDS:** Adaptive; automated organization; on-line learning.

### INTRODUCTION

Nowadays most of the existing solutions in online learning do not use personalization in the selection of materials for the learning of each student. Basic online training resources, such as Coursera, Udacity, Udemy, Edx offer a significant amount of video content and a small number of fixed tests to verify the material in the pre-specified structure, which is the same for all students. This presentation of the material does not allow to implement individual learning plan.

At the same time, we can see an active development of adaptive learning systems and financing of such research by the international funds [1]. Most of these adaptive learning systems are not open sourced and used in the commercial area. Such systems are implemented by the world leading universities and are available only to a limited number of students. Examples of such systems are Knewton, Cerego, SmartSparrow.

In this paper the personalized learning system is proposed with the structure to implement different approaches to creating an individual training plan by using the methods of artificial intelligence.

**MAIN PART**

**Characteristics of adaptive learning system**

Intelligent training system should ensure high efficiency of student learning by providing personalized instruction. Different students need different speed and different order of tasks to take in the educational material. Intelligent training system must be continuously adaptable - respond in real time to the actions of the students, to find the gaps in knowledge and suggest the tasks and materials that will help to reduce gaps. In order to create unique optimal curriculum we propose to use machine learning algorithms and ontological relations in educational materials and students' answers.

**The structure of educational material.** The educational material is divided into courses (topics). Topics of the courses have no restrictions on any items that are studied in universities or specialized training centers. The course consists of two types of learning material - rules and questions. The goal of the student is to learn these rules and his / her knowledge is checked by the correctness of answers to questions.

Questions and rules in the course are grouped by sections (modules). Sections have a linear sequence and reflect the increasing complexity of the material in the course.

**Learning process.** Since a student chooses to study the topic, he / she starts with the first section of the course and answers to the questions in this section. After achieving the required progress, a student is invited to proceed to the next section. Progress increases after every correctly answered question. After each question a student is offered an explanation to review a question, an explanation for each answer, as well as rules concerning the question.

The approach to learning in the proposed system is concentrated on the active references to material that occurs in response to questions. Unlike passive references that occur during repeated viewing/reading of lectures student actively contributes to mention the effect on student test [2], which reinforces memorization of material [3]. Choosing a sequence of questions for a student becomes an important component of training [4].

The system should be able to retain and motivate the user to learn more and do it on regular basis. For this, we have to develop a system of gamification and selected algorithms should form the core of the intelligent

training system. The effectiveness of training depends on these components.

**Construction of question sequences.**

1.  $A_u$  is the set of answers for the user  $u$ . It is necessary to identify question  $q$  which would be asked next

2. The sequence of questions that would be asked next  $Q_u_n$ . Need to identify question  $q_{n+1}$  which complement sequence for the user  $u$  so that  $Q_{u_{n+1}} = (Q_u_n, q_{n+1})$

**Last answers.** The user  $u$  can answer the same question many times. Let's consider that only his last answer is important for us

$$time(a) = time \mid a = (u, q, b, time)$$

$$a_{last,qu} = (u, q, b, time_{last,qu}) \in A_{qu}, \text{ where } time_{last,qu} = \max_{a \in A_{qu}} time(a)$$

where,  $u$  - user identifier,  $q$  - question identifier,  $b \in \{0,1\}$  - result of answer to question, time - time of the answer.

Then for module  $x$  you can choose users' last set of answers to the question:

$$A_{last,xu} = \{a_{last,qu} \mid q \in Q_x\}$$

and the last set of right answers

$$A_{last,xu+} = \{a = (u, q, b, time) \mid a \in A_{last,xu}, b = 1\}$$

In this case the user progress in the module would be counted as

$$Progress_u(x) = \frac{|A_{last,xu+}|}{|Q_x|}$$

**Clustering of topics and modules on complexity.**

To create personalized learning system, it is proposed to break the set of questions (already marked by tags) on modules by categories and complexity. Let's use qualitative and quantitative methods of clustering. The task of breaking into clusters by the similarity is the task of categorical data clustering.

Let's consider the problem of clustering for categorical data. With use of CLOPE [5] algorithm it is possible to break into clusters any categorical data, working with them as transactional data.

Transactional data clustering problem is to obtain such a partitioning of the entire set of transactions, that

similar transactions were in one cluster, and that differ from each other - in different clusters.

The CLOPE clustering algorithm maximizes global utility function, which makes closer transactions in clusters by increasing parameter of cluster histogram.

Usage of this algorithm gives ability to create automatically the partition of all materials for each topic into modules (clusters) by complexity and sameness of categories (tags) and to control the size of modules.

### Quality criteria for clustering

CLOPE algorithm does not provide the calculation of the distance between the individual objects in the cluster and distance between clusters and uses a global utility function. Given this, and the fact that the partition must have special features to solve a specific problem, to assess selected external quality criteria, indexes Rand, Jaccard and FM should be used [6].

Suppose we are given some training sample  $X$ , for which the correct clustering  $C$  is known. With some clustering algorithm we have received  $K$ . We need to check how  $K$  coincides with  $C$ . Calculate the number of pairs of elements  $(x_i, x_j)$ , for which:

- elements belonging to the same cluster in  $C$  and one cluster in  $K$  :  $SS$
- elements belonging to the same cluster in  $C$  and different cluster in  $K$  :  $SD$
- elements belonging to the same cluster in  $C$  and one cluster in  $K$  :  $DS$
- elements belonging to the same cluster in  $K$  and different cluster in  $C$  :  $DD$

Then accordance indices are calculated as:  $(ss + dd) / (ss + sd + ds + dd)$

1. Rand

$$RI = \frac{SS + DD}{SS + SD + DS + DD}$$

2. Jaccard

$$J = \frac{SS}{SS + SD + DS}$$

3. FM (Folkes and Mallows index)

$$FM = \sqrt{\frac{SS}{SS + SD} \times \frac{DD}{DS + DD}}$$

**The formalization of the complexity of content.** The complexity of the question, rule or tag - a number from 0 to 1 is based on responses.

### Questions difficulty

$$Difficulty(q) = \frac{|A_{q-}|}{|A_q|}$$

where  $A_q$  - set of answers to the question  $q$ , such so

$$A_q \subset A, A_{q+} \cup A_{q-} = A_q, A_{q+} \cap A_{q-} = \emptyset$$

$A_{q-}$  - wrong answers on the question  $q$

$A_{q+}$  - right answers on the question  $q$

$|\cdot|$  - power of set

### Tags difficulty

$$Difficulty(t) = \frac{|A_{tq-}|}{|A_{tq}|}$$

where  $A_{tq}$  - set of answers to questions marked with a tags  $t$ ,

$$A_{Q_t} = \{a \mid a \in \cup A_{q_i}, q_i \in Q_t\}$$

$$A_{tq} \subset A, A_{tq+} \cup A_{tq-} = A_{tq}, A_{tq+} \cap A_{tq-} = \emptyset$$

### Rules difficulty

$$Difficulty(r) = \frac{|A_{rq-}|}{|A_{rq}|}$$

where  $A_{rq}$  - set of answers to questions connected to the rule  $r$ ,

$$A_{Q_r} = \{a \mid a \in \cup A_{q_i}, q_i \in Q_r\}$$

$$A_{rq} \subset A, A_{rq+} \cup A_{rq-} = A_{rq}, A_{rq+} \cap A_{rq-} = \emptyset$$

### Modules difficulty

$$Difficulty(x) = \frac{\sum_{q \in Q_x} Difficulty(q)}{|Q_x|}$$

Modules of each course - ordered set. Modules inside of the course organized by complexity

$$Difficulty(x_i) < Difficulty(x_{i+1})$$

### Recommendations for future research

The most difficult problem for the widespread use of intelligent tutoring systems is the motivation and retention of students [7][8]. One of the main objectives in creating the educational system is to provide education in the absence of the institution. In this case, the problem is palpable, about 90% of students do not return to training after the first few lessons [9][10]. Therefore appropriate user interface should be created that will increase student motivation. It is necessary to implement game mechanics and develop other ways of promotion.

It is essential to implement quality assessment methods for questions selection algorithms, considering both subjective assessments of satisfaction of student learning and the effectiveness of the receipt of knowledge.

## CONCLUSION

This work proposes the structure of personalized learning, which allows different approaches to creating an individual training plan. The ways of automation of the system responsible for the creation of building

sequence of tasks considering individual student's level of knowledge.

The structure of the system could be used for online training and assessment of knowledge in education, knowledge assessment testing projects, and standardized tests GMAT, IELTS, and others.

## References

1. [http://www.gatesfoundation.org/Media-Center/Press-Releases/2014/09/Gates-Foundation-Announces-Finalists-for-\\$20-Million-in-Digital-Courseware-Investments](http://www.gatesfoundation.org/Media-Center/Press-Releases/2014/09/Gates-Foundation-Announces-Finalists-for-$20-Million-in-Digital-Courseware-Investments). (in English).
2. Van den Broek G. S. E., Segers E., Takashima A., Verhoeven L. Do testing effects change over time? Insights from immediate and delayed retrieval speed. *Memory*. № 7. 2014, 803–812 pp. (in English).
3. Kornell N., Bjork R. A., Garcia M. A. Why tests appear to prevent forgetting: A distribution-based bifurcation model. *Journal of memory and language*. № 2. 2011, 85–97 pp. (in English).
4. Vanlehn K., Graesser A.C., Jackson G.T. and others. When are tutorial dialogues more effective than reading? *Journal cognitive science*. № 1. 2007, 3–62 pp. (in English).
5. Yiling Yang, Xudong Guan, Jinyuan You. CLOPE: A fast and effective clustering algorithm for transactional data. *Proceedings of the eighth ACM SIGKDD international conference on knowledge discovery and data mining - KDD '02*. 2002, 682-687 pp. (in English).
6. Abraham A., Hassanien A.-E., Carvalho A.P., de L.F. de Snáşel, V. *Foundations of computational intelligence. Volume 6: Data mining*. Springer. 2009, 397 p. (in English).
7. Lan Li, Xiongyi Liu, Steckelberg A. L. Assessor or assessee: How student learning improves by giving and receiving peer feedback. *British journal of educational technology*. № 3. 2010, 525–536 pp. (in English).
8. Ravid G., Kalman Y. M., Rafaeli S. Wikibooks in higher education: Empowerment through online distributed collaboration computers in human behavior. 24. 2008, 1913–1928 pp. (in English).
9. Yang D., Sinha T., Adamson D., Rosé C.P. Turn on, tune in, drop out: Anticipating student dropouts in massive open online courses. *Proceedings of the 2013 NIPS Data-driven education workshop*. Vol.11. 2013, 1-8 pp. (in English).
10. Breslow L., Pritchard D. E., DeBoer J., Stump G. S., Ho A. D., Seaton D. T. Studying learning in the worldwide classroom: Research into edX's first MOOC. *Research & practice in assessment*. Vol.8. 2013, 13–25 pp. (in English).



UDC 004.89

SCOPUS CODE 1706

### პერსონიზებული ადაპტური სწავლების სისტემის შექმნა

**მ. დიდკოვსკა** უკრაინის ეროვნული ტექნიკური უნივერსიტეტის სიკორსკის სახელობის კიევის პოლიტექნიკური ინსტიტუტი, გამოყენებითი სისტემური ანალიზის ინსტიტუტი, უკრაინა, 03056, კიევი, პოლიტექნიკურის ქ. 14<sup>ბ</sup>

E-mail: maryna.didkovska@gmail.com

**კ. კოზლოვი** უკრაინის ეროვნული ტექნიკური უნივერსიტეტის სიკორსკის სახელობის კიევის პოლიტექნიკური ინსტიტუტი, გამოყენებითი სისტემური ანალიზის ინსტიტუტი, უკრაინა, 03056, კიევი, პოლიტექნიკურის ქ. 14<sup>ბ</sup>

E-mail: k.kozlov@gmail.com

#### რეცენზენტები:

**პ. ბიდიუკი**, უკრაინის ეროვნული ტექნიკური უნივერსიტეტის სიკორსკის სახელობის კიევის პოლიტექნიკური ინსტიტუტის, გამოყენებითი სისტემური ანალიზის ინსტიტუტის სისტემური ანალიზის მათემატიკური მეთოდების კათედრის პროფესორი, ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი

E-mail: pbidyuke@gmail.com

**ო. ტომოშჩუკი**, უკრაინის ეროვნული ტექნიკური უნივერსიტეტის სიკორსკის სახელობის კიევის პოლიტექნიკური ინსტიტუტის, გამოყენებითი სისტემური ანალიზის ინსტიტუტის დოცენტი, ტექნიკის მეცნიერებათა კანდიდატი, სისტემური ანალიზის მათემატიკური მეთოდების კათედრის გამგის მოვალეობის შემსრულებელი

E-mail: oxana.tim@gmail.com

**ანოტაცია.** მოცემული სტატია ასახავს ონლაინსწავლების სისტემის ეფექტური შექმნისადმი მიდგომას, რომელიც დაფუძნებულია ადაპტირებად ტესტირებაზე. შესრულებულია შემდეგი ამოცანები: ონლაინსწავლების სისტემაში ადაპტირებადი სწავლების ეტაპების ჩამოყალიბება, სასწავლო მასალების ავტომატური ორგანიზების მეთოდების შემუშავება და ონლაინსწავლების სისტემების სიზუსტისა და ხარისხის ასამაღლებლად მანქანური სწავლების მეთოდების განვითარება. სწავლების პროცესის კომპონენტების ავტომატიზაციის მიზნით შემოთავაზებულია შემდეგი გზები: შემოთავაზებული მეთოდების საფუძველზე შეიქმნას ადაპტირებადი ონლაინსწავლების სისტემა სწავლების მასალების ავტომატური ორგანიზების სტრუქტურით, სტუდენტის ცოდნის საფეხურის განსაზღვრა, სასწავლო მასალების არჩევა და ინდივიდუალურად მორგებული სასწავლო გეგმის შემუშავება.

**საკვანძო სიტყვები:** ადაპტირებადი; ავტომატური ორგანიზება; ონლაინსწავლება.

UDC 004.89

SCOPUS CODE 1706

## СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ ПЕРСОНАЛИЗОВАННОГО АДАПТИВНОГО ОБУЧЕНИЯ

**М. Дидковска**                    Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт им. Сикорского», Института прикладного системного анализа. Киев, 03056, Политехническая ул. 14<sup>б</sup>, Украина.

E-mail: maryna.didkovska@gmail.com

**К. Козлов**                      Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт им. Сикорского», Института прикладного системного анализа. Киев, 03056, Политехническая ул. 14<sup>б</sup>, Украина.

E-mail: k.kozlov@gmail.com

### Рецензенты:

**П. Бидюк**, д.т.н., профессор кафедры математических методов системного анализа. Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт им. Сикорского», Институт прикладного системного анализа. Киев, Украина.

E-mail: pbidyuke@gmail.com

**О. Тимошук**, к.т.н. доцент, и.о. зав. кафедры математических методов системного анализа, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт им. Сикорского», Институт прикладного системного анализа. Киев, Украина.

E-mail: oxana.tim@gmail.com

**АННОТАЦИЯ.** В данной статье описывается подход к созданию эффективной системы онлайн-обучения, основанный на адаптивном тестировании. Описаны способы автоматизации компонентов процесса обучения - определение уровня знаний студента, выбор материалов и создание индивидуально настраиваемого учебного плана.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** автоматическая организация; адаптированный; онлайн-обучение.

UDC 656.25:621.391

SCOPUS CODE 1804

**სარკინიგზო ავტომატიკისა და ტელემეჩანიკის მოწყობილობების ტექნიკური ექსპლუატაციის სისტემის საწარმოო პროცესების ანალიზი**

- ნ. მუხიგულაშვილი** სარკინიგზო ტრანსპორტის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 68<sup>ა</sup>  
E-mail: ninom2008@Gmail.com
- მ. პაპასკირი** სარკინიგზო ტრანსპორტის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 68<sup>ა</sup>  
E-mail: murtaz.papaskiri@mail.ru
- პ. ელიზბარაშვილი** სარკინიგზო ტრანსპორტის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 68<sup>ა</sup>  
E-mail: papunaelizbar@gmail.com

**რეცენზენტები:**

**ალ. ღუნდუა**, სტუ-ის სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტის სარკინიგზო ტრანსპორტის დეპარტამენტის ასოცირებული პროფესორი

E-mail: lekso48@yahoo.com

**გრ. თელია**, სტუ-ის სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტის სარკინიგზო ტრანსპორტის დეპარტამენტის ასოცირებული პროფესორი

E-mail: gitelia@gtu.ge

**ანოტაცია.** სარკინიგზო ავტომატიკისა და ტელემეჩანიკის (სატ) მოწყობილობების დაზიანების გამომწვევი მიზეზების სტატისტიკური მონაცემების ანალიზით ცნობილია, რომ საქართველოს რკინიგზაზე დღეს არსებული ტექნიკური მომსახურების სარეგლამენტო სამუშაოები შეადგენს მომსახურე პერსონალის მთლიანი სამუშაო დროის 60–70%, ამასთან მომსახურე პერსონალი დროის მნიშვნელოვან ნაწილს (65%-მდე) ხარჯავს უწყესივრობის ლოკალიზაციასა და მტყუნების დადგენაზე. სტატიაში თანამიმდევრულადაა განხილული სატ-ის მოწყობილობების ტექნიკური ექსპლუატაციის სისტემა და მასთან დაკავშირებული ყველა საწარმოო პრო-

ცესი, მისი ძირითადი ტექნიკური მომსახურების (ტმ) სისტემა და სარემონტო სამუშაოები. ტმ-ის მეთოდების ანალიზის საფუძველზე რეკომენდებულია, რომ სატ-ის მოწყობილობების ექსპლუატაციის პროცესში, შრომის წარმადობის მთავარი მიმართულება უნდა იყოს სარეგლამენტო სამუშაოების წილის შემცირება და ბევრად ეფექტურ და პროგრესულ, “მდგომარეობის მიხედვით”, ტმ-ის მეთოდზე გადასვლა.

**საკვანძო სიტყვები:** სარკინიგზო ავტომატიკა და ტელემეჩანიკა; ტექნიკური ექსპლუატაცია; ტექნიკური მომსახურება მდგომარეობის მიხედვით.

**შესავალი**

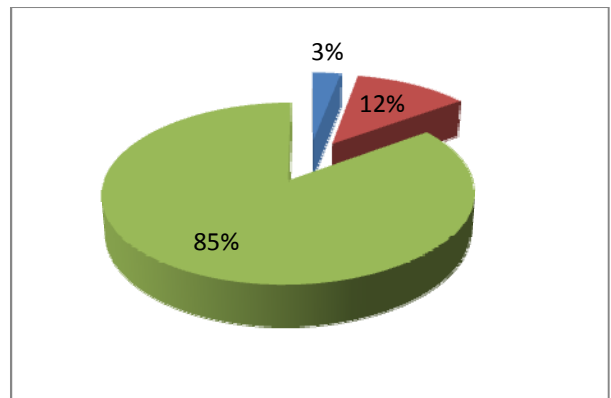
გადახიდევის პროცესი სარკინიგზო ტრანსპორტის ძირითადი საწარმოო პროცესია, რომლის ეფექტურობა და უსაფრთხოება განისაზღვრება ტექნიკური საშუალებების მდგომარეობით და ამ ტექნიკურ საშუალებებთან ადამიანის ურთიერთქმედების ეფექტურობის დონით. მატარებელთა უსაფრთხო მოძრაობის უზრუნველყოფის ერთ-ერთი ძირითადი ტექნიკური საშუალება სარკინიგზო ავტომატიკისა და ტელემექანიკის (სატ) მოწყობილობებია, რომელთა ტექნიკური მდგომარეობა ხასიათდება დაძველების მაღალი ხარისხით. სტანდარტული მეთოდებით სატ-ის მოწყობილობების მოდერნიზება დიდ ხარჯებთანაა დაკავშირებული. ასევე გარკვეულ პერიოდში მივიღებთ მომსახურე პერსონალის ხარისხობრივი და რაოდენობრივი დონის გაზარდვას და “ადამიანის ფაქტორის” როლის ზრდას. ადამიანის არასწორი მოქმედება იწვევს მატარებელთა მოძრაობის უსაფრთხოების ხარისხის და უბნის გამტარუნარიანობის შემცირებას და, შესაბამისად, გადახიდევის პროცესის დესტაბილიზაციას.

**ძირითადი ნაწილი**

სატ მოწყობილობები განწერტებულია ლიანდაგის გასწვრივ და მომსახურე პერსონალი დროის მნიშვნელოვან ნაწილს (65%-მდე) ხარჯავს უწყვირობის ლოკალიზაციაზე, დეფექტის პოვნაზე ან მტყუნების მიზეზზე [5]. გარდა ამისა, დროის დანაკარგი ბევრ ფაქტორზეა დამოკიდებული: პერსონალის კვალიფიკაციაზე – რამდენად აქვს მას საზომი აპარატურის, მარაგი ნაწილებისა და ხელსაწყოების მოხმარების გამოცდილება; პერსონალის ფსიქოლოგიურ მომზადებაზე – დაზიანების აღმოსაფხვრელად რთულ სამატარებლო სიტუაციაში რამდენად დარწმუნებულია ის თავის მოქმედებებში. ანუ სატ-ის მოწყობილობის საიმედო და მტყუნებების გარეშე მუშაობისათვის საჭიროა მაღალკვა-

ლიფიციური მომსახურე პერსონალი. ფაქტია, რომ დღეს საქართველოს რკინიგზა განიცდის როგორც ასეთი სპეციალისტების მნიშვნელოვან დეფიციტს, ისე ექსპლუატაციისათვის ვარგისი აპარატურის ნაკლებობას. ახალი აპარატურის უქონლობის გამო, სამმართველოს საკონტროლო-საგამომცდელო ლაბორატორია იძულებულია ექსპლუატაციის ვადა გაუგრძელოს ვადაგასულ აპარატურას.

რკინიგზაზე ავარიებისა და დაზიანებების გამომწვევი მიზეზების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ დაზიანებათა უმრავლესობა გამოწვეულია ინსტრუქციების მოთხოვნების ან ტექნიკის მომსახურების წესების დარღვევით: უხარისხოდ ჩატარებული პროფილაქტიკური სამუშაოებით, ტექნიკური საშუალებების დათვალიერებისა და შემოწმების ვადების არდაცვით, საქმის წარმოების წესებისა და ტექნოლოგიური დისციპლინის, ინსტრუქციების მოთხოვნების ან ტექნიკის მომსახურების დარღვევით.



საექსპლუატაციო მტყუნებების რაოდენობა – 85%;

სქემური და კონსტრუქციული (საპროექტო) – 12%;

საწარმოო (ქარხნული) მტყუნებების რაოდენობა – 3%.

საქართველოს რკინიგზაზე სატ-ის მოწყობილობების ეფექტურად ფუნქციონირების ერთ-ერთი ხელშემშლელი ფაქტორია აგრეთვე თანა-

მედროვე ტექნოლოგიების ბაზაზე შექმნილი სატ-ის სისტემების დანერგვის დაბალი ტემპი. მათი საიმედოობა მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული იმაზე, თუ რამდენად დროულად და ტექნიკურად მართებულად წარმოებს მათი მომსახურება და რემონტი.

სატ-ის მოწყობილობების ტექნიკური ექსპლუატაციის სისტემა საწარმოო პროცესების, ტექნიკური მომსახურებისა (ტმ) და რემონტის კომპლექსია მოთხოვნილი ხარისხით ფუნქციონირების უზრუნველსაყოფად.

სატ-ის მოწყობილობების ტექნიკური ექსპლუატაციის სისტემა არის აღნიშნული მოწყობილობებისა და მათი გამართული (მუშაობისუნარიანი) მდგომარეობის შემანარჩუნებელი, ტექნიკური ექსპლუატაციის პროცესის უზრუნველყოფი, გარკვეული კვალიფიკაციის მქონე პერსონალის ერთობლიობა. ამგვარად, ცნება ტექნიკური ექსპლუატაცია ბევრად ფართოა, ვიდრე სტრუქტურულ მუშაობაში გავრცელებული “ტექნიკური მომსახურებისა და რემონტის” ცნება. ტექნიკური ექსპლუატაციის პროცესში იგულისხმება სხვა სახის სამუშაოების გათვალისწინება და რეგლამენტირება. სატ-ის მოწყობილობების ტექნიკური ექსპლუატაციის სისტემა უნდა უზრუნველყოფდეს მათ მოვლა-შენახვის მაღალ ხარისხს, ტექნიკური ექსპლუატაციის პროცესის სამართლებრივ, საკადრო, ნორმატიულ, ინფორმაციულ, ტექნიკურ, ტექნოლოგიურ და სამედიცინო უზრუნველყოფას, ასევე შრომის დაცვის წესების შესრულებას, სამუშაო დროის რეჟიმებისა და დასვენების საათების დაცვას, პერსონალის შრომის სანიტარიულ-ჰიგიენური პირობების შექმნას. ტექნიკურ ექსპლუატაციასთან დაკავშირებული ყველა საწარმოო პროცესი, ტექნოლოგიური სამუშაოები, ტექნიკური საშუალებები (საზომი ხელსაწყოები, სტენდები, ავტომატიზებული სამუშაო

ადგილები და ა.შ.) რეგლამენტირებულია შესაბამისი ნორმატიული დოკუმენტებით.

სატ-ის მოწყობილობების რემონტი არის მათი წესიერულობის ან მუშაობის უნარის აღდგენისათვის, ასევე სატ-ის საშუალებების ან მათი შემადგენელი ნაწილების რესურსების აღდგენისათვის გამიზნული ოპერაციების კომპლექსი. ტმ-ისა და რემონტის სისტემა მთლიანობაში მომსახურებად სისტემაში შემავალი მოწყობილობების ხარისხის აღდგენისა და შენარჩუნებისათვის აუცილებელი, ურთიერთდაკავშირებული დოკუმენტაციისა და შემსრულებლების ერთობლიობაა.

ტექნიკური ექსპლუატაციის ძირითადი პროცესია სატ-ის მოწყობილობების ტექნიკური მომსახურების პროცესი. ტმ მოიცავს სამუშაოთა კომპლექსს სატ-ის ცალკეული მოწყობილობების გამართული და სამუშაო მდგომარეობის შესანარჩუნებლად ექსპლუატაციის (დანიშნულების მიხედვით გამოყენების), გამოყენების მოლოდინის, შენახვისა და ტრანსპორტირების დროს, ასევე მათ ოპერატიულ აღდგენას დაზიანების შემდეგ.

საქართველოს რკინიგზაზე დღეს არსებული ტმ-ის პროცესი გულისხმობს სარეგლამენტო (პროფილაქტიკურ მომსახურებას) და მტყუნების შემდგომ აღდგენით (ავარიული რემონტი) სამუშაოებს. ტმ-ის არსებულ მეთოდოლოგიას აქვს პროფილაქტიკური მიმართულება, რომელიც ემსახურება ტექნიკური სისტემის მუშაობის უნარის დარღვევის ანუ მტყუნების აღიქმას, რომელიც იწვევს მოწყობილობების ნორმალური მოქმედების ნაწილობრივ ან მთლიან შეწყვეტას. ტმ უნდა უზრუნველყოფდეს სატ-ის მოწყობილობების უმტყუნებო მუშაობას.

ტმ-ის პროცესი მოიცავს ოთხი სხვადასხვა სამუშაოს:

სარეგლამენტო, დამატებითი, მოწყობილობების კომპლექსური შემოწმება და აღდგენითი სამუშაოები დაზიანების შემდეგ.

**სარეგლამენტო სამუშაოები** სრულდება რეგულარულად, ტექნოლოგიური პროცესის გრაფიკით დადგენილი პერიოდულობით. მათი მიზანია მოწყობილობებს დაუბრუნოს ექსპლუატაციის პროცესში დაკარგული პირვანდელი თვისებები რემონტის საშუალებით;

- **დამატებით სამუშაოებს** მიეკუთვნება ერთჯერადი სამუშაოები მოწყობილობების არსებული მდგომარეობის გასაუმჯობესებლად და საიმედოობის დონის ასამაღლებლად;

- **კომპლექსური შემოწმება.** მოწყობილობების ტექნიკური მდგომარეობის სერიოზული რევიზია ტარდება დადგენილი დროითი შუალედებით. აღნიშნული შემოწმებების შედეგების მიხედვით განისაზღვრება სარეგლამენტო და დამატებითი სამუშაოების მოცულობა. კომპლექსური შემოწმება ეფექტურად მოქმედებს ტმ-ის პროცესის სრულყოფაზე.

- **აღდგენითი სამუშაოები** მიმდინარე რემონტის ფარგლებში წარმოებს.

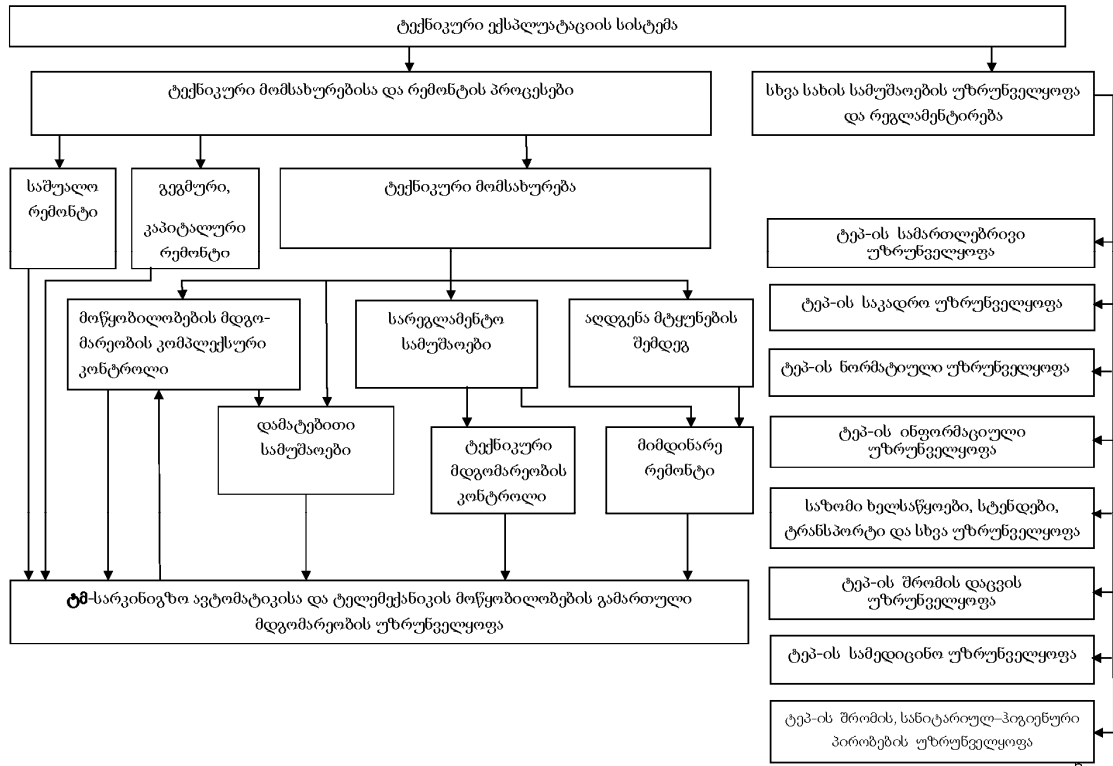
აღსანიშნავია, რომ ტმ-ისა და კაპიტალური რემონტის სამუშაოების შესრულება ცალ-ცალკე წარმოებს. ტმ-ის პროცესის პარალელურად წარმოებს გეგმური, კაპიტალური და საშუალო სარემონტო სამუშაოები მოწყობილობების სრული რესურსის აღსადგენად. მიღებულია სარეგლამენტო სამუშაოების დაყოფა მოწყობილობების ტექნიკური მდგომარეობის კონტროლისა და მიმდინარე რემონტად. ტექნიკური მდგომარეობის კონტროლით ხდება მოქმედი მოწყობილობების მდგომარეობის შესაბამისობის შეფასება მათ მიმართ წაყენებულ მოთხოვნებთან. მიმდინარე რემონ-

ტით კი ხდება მოწყობილობების ტექნიკური მდგომარეობის მიყვანა დადგენილ მოთხოვნებამდე და მათი მუშაობის უნარის უზრუნველყოფა. მიმდინარე რემონტი წარმოებს ყოველდღიური ტმ-ის დროს. სარეგლამენტო სამუშაოების მოცულობა და შესრულების პერიოდულობა განისაზღვრება ნორმატიული დოკუმენტებით, რომლებიც ჯერ კიდევ საბჭოთა კავშირის დროინდელია და არ გააჩნია საკმარისი სტატისტიკური და სამეცნიერო-კვლევითი დასაბუთება.

სარეგლამენტო სამუშაო სატ-ის მოწყობილობების მომსახურე პერსონალის სამუშაო დროის 60–70% შეადგენს, შესაბამისად მეურნეობაში შრომის წარმადობის მთავარი მიმართულება უნდა იყოს სარეგლამენტო სამუშაოების წილის შემცირება მოწყობილობების ექსპლუატაციის პროცესში. სარეგლამენტო სამუშაოების მოცულობის და შესრულების პერიოდულობის მართვა დამოკიდებულია ტმ-ის პროცესის ორგანიზებაზე, სტრატეგიაზე. გადაზიდვების მოცულობის ზრდის პირობებში მნიშვნელოვანი როლი ენიჭება ტექნიკური მომსახურების ორგანიზებას.

მაღალი საიმედოობის მოწყობილობებზე ორიენტაცია და მათთან კომპლექსში ჩაშენებული და სხვა ავტომატური კონტროლის სისტემების დაწესება, მოწყობილობების პარამეტრების გაზომვის ავტომატიზაცია და ცალკეული მოწყობილობების რეზერვირება გამორიცხავს, მომსახურე პერსონალის შეცდომების გამო, მოწყობილობების მტყუნებებს და მნიშვნელოვნად ამცირებს მათი აღდგენის დროს.

სატ-ის მოწყობილობების ტექნიკური ექსპლუატაციის სისტემის სქემა



სქემაზე ნაჩვენებია სატ-ის მოწყობილობების ტექნიკური ექსპლუატაციის სისტემა, ტექნიკური მომსახურების, რემონტისა და სხვა სახის სამუშაოების ორგანიზების ტექნოლოგიური სპექტრი.

**დასკვნა**

როგორც ვხედავთ, სწორედ ავტომატური კონტროლის მოწყობილობები იძლევა სარკინიგზო ავტომატიკისა და ტელემექანიკის მოწყობილობების უწყვეტი მონიტორინგის და პროგრესული, “მდგომარეობის მიხედვით”, ტმ-ის რეალიზების

საშუალებას. მაკონტროლებელი მოწყობილობები ავტომატურად აფიქსირებს მოწყობილობის მტყუნებას, უკეთეს შემთხვევაში შეუძლია მოწყობილობის დაზიანების წინა მდგომარეობის გამოცნობაც. “მდგომარეობის მიხედვით” ტმ-ის შემთხვევაში, ექსპლუატირებადი მოწყობილობების მუშაობის უნარის უწყვეტად კონტროლის პირობებში, ტექნიკური პერსონალი აპარატურის მოვლა-შენახვის, შემოწმების, გამართვისა და რეგულირების სათანადო ხარისხს უზრუნველყოფს.

**ლიტერატურა**

1. Brejdo A. I., Ovsyannikov V.A. Organization of railway automation and remote control devices maintenance. Transport. Moscow. 1983. (in Russian).
2. Keshelava G., Mukhigulashvili N. Maintenance technology of automatic train signal devices, 2006. 511 p. (in Georgian).
3. Pryshchepa M.V., Sepeti A.A., Faraponov I.A. Improvement of technical maintenance of RAT devices. Avtomatika, sviaz, informatika. Moscow. № 1. 2011. (in Russian).

4. Dmitrenko I.E., Dyakov D.V., Sapozhnikov V.V. Measurement and diagnosis in systems of railway automatics, telemechanics and communication. Transport. Moscow. 1994, 263 p. (in Russian).
5. Sepeti A.A. Changes in technical maintenance technology. Railroad automation and telemechanics. Trans-Zhat 2004. Saint Petersburg. 2004. (in Russian).
6. Keshelava G., Mukhigulashvili N. Guidelines for maintenance of automatic train signal devices and systems. Railway publishing. Tbilisi. 2016, 164 p. (in Georgian).
7. Kupradze V., Mukhigulashvili N., Papaskiri M. Automated diagnostics systems for organization of on-condition maintenance. Informational-analytical journal "Transport". №1-2 (57-58). Tbilisi. 2015, 5-8 pp. (in Georgian).
8. Benashvili G., Kupradze V., Mukhigulashvili N. Technological model and technical diagnostics processes of on-condition maintenance. Scientific-technical journal „Transporti da mankanatmshenebloba“. #2(27). Tbilisi. 2015, 156-163 pp. (in Georgian).
9. Benashvili G., Kupradze V., Mukhigulashvili N. Research of probability of failures of RAT facilities. Scientific-technical journal „Transporti da mankanatmshenebloba“. №2(27), Tbilisi, 2015, 164-171 pp. (in Georgian).

UDC 656.25:621.391

SCOPUS CODE 1804

## ANALYSIS OF OPERATING PROCESSES OF TECHNICAL MAINTENANCE SYSTEM OF RAILROAD AUTOMATION AND TELEMCHANICS DEVICES

- N. Mukhigulashvili** Department of Railway Transportation, Georgian Technical University, 68<sup>a</sup> M. Kostava str., 0175 Tbilisi, Georgia  
E-mail: ninom2008@gmail.com
- M. Papaskiri** Department of Railway Transportation, Georgian Technical University, 68<sup>a</sup> M. Kostava str., 0175 Tbilisi, Georgia  
E-mail: murtaz.papaskiri@mail.ru
- P. Elizbarashvili** Department of Railway Transportation, Georgian Technical University, 68<sup>a</sup> M. Kostava str., 0175 Tbilisi, Georgia  
E-mail: papunaelizbar@gmail.com

### Reviewers:

**A. Dundua**, Associate Professor, Department of Railway Transportation, Faculty of Transportation and Mechanical Engineering, GTU  
E-mail: lekso48@yahoo.com

**G. Telia**, Associate Professor, Department of Railway Transportation, Faculty of Transportation and Mechanical Engineering, GTU  
E-mail: gitelia@gtu.ge

**ABSTRACT.** According to the analysis of statistics related to the damage sources of railroad automation and telemechanics (RAT) facilities, it's defined that at present the time of scheduled operations of technical maintenance in Georgian Railway makes 60-70% of all working hours of service personnel and considerable part of time (65%) comes to the localization of malfunctions and detection of relevant damage sources.

The article briefly considers RAT technical maintenance system and all related working processes, basically RAT technical maintenance system and works on facilities repair.



Some recommendations are made based on the methods of RAT technical maintenance system such as in working processes of RAT the main direction of labor productivity has to be reduction of scheduled operations of technical maintenance and increased efficient use of on-condition maintenance method.

**KEY WORDS:** On-condition maintenance; technical maintenance; RAT - railroad automation and telemechanics.

---

UDC 656.25:621.391

SCOPUS CODE 1804

## АНАЛИЗ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ УСТРОЙСТВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ

- Мухигулашвили Н.И.** Департамент железнодорожного транспорта, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава, 68<sup>ა</sup>  
E-mail: ninom2008@gmail.com
- Папаскири М.О.** Департамент железнодорожного транспорта, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава, 68<sup>ა</sup>  
E-mail: murtaz.papaskiri@mail.ru
- Элибарашвили П.М.** Департамент железнодорожного транспорта, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава, 68<sup>ა</sup>  
E-mail: papunaelizbar@gmail.com

### Рецензенты:

**Ал. Дундуа**, ассоциированный профессор Департамента железнодорожного транспорта, факультета транспорта и машиностроения ГТУ

E-mail: lekso48@yahoo.com

**Г. Телия**, ассоциированный профессор Департамента железнодорожного транспорта, факультета транспорта и машиностроения ГТУ

E-mail: gitelia@gtu.ge

**АННОТАЦИЯ.** По анализу статистических данных причин повреждения устройств железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) определено, что время регламентных работ существующего на сегодняшний день технического обслуживания на Грузинской железной дороге составляет 60-70% от всего рабочего времени обслуживающего персонала, но значительная часть времени (65%) приходится на локализацию неисправностей и определение причины отказа. Подробно рассмотрена техническая эксплуатационная система ЖАТ и составляющие ее все производственные процессы - в основном система технического обслуживания (ТО) ЖАТ и работы по ремонту устройств. На основе анализа методов ТО систем ЖАТ сделаны рекомендации: в эксплуатационном процессе систем ЖАТ главным направлением производительности труда должно быть сокращение доли регламентных работ в ТО и переход на прогрессивный и эффективный метод ТО - «обслуживание по состоянию».

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** железнодорожная автоматика и телемеханика; техническая эксплуатация; техническое обслуживание по состоянию.

UDC 624.137.2:046.3

SCOPUS CODE 1909

## დახრილ ბრტყელ ბრუნტის ფერდოზე ნაყარის მდგრადობის კვრახე ბანბაროშბა

ტ. კვიციანი საინჟინრო მექანიკისა და მშენებლობის ტექნიკური ექსპერტიზის დეპარტამენტი,  
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოს-  
ტავას 68ბ  
E-mail: tarielk@mail.ru

### რეცენზენტები:

გ. ჭოხონელიძე, სტუ-ის სამშენებლო ფაკულტეტის აგული სოხადის სახელობის სამოქალაქო და  
სამრეწველო მშენებლობის დეპარტამენტის პროფესორი

E-mail: dep45@gtu.ge

ნ. შავლაყაძე, სტუ-ის ინფორატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის მათემატიკის  
დეპარტამენტის პროფესორი

E-mail: nucha@rmi.ge

**ანოტაცია.** განხილულია ამოცანა პორიზონ-  
ტისადმი  $\alpha$  კუთხით დახრილ ბრტყელ არაკლ-  
დოვან ფერდოზე სამთო სამუშაოებით წარმოქმ-  
ნილი, გარკვეული დანიშნულებისა და გეომეტ-  
რიული ზომების გრუნტის ნაყარის ძვრის მარა-  
გის კოეფიციენტის განსაზღვრაზე.

ამოცანის გადასაწყვეტად დადგენილია მეწ-  
ყერ-ჩამონაქცევი პრიზმის საშიში დაცურების  
კრიტიკული წრის მდებარეობა ანუ წრის მინიმალ-  
ური მარაგის კოეფიციენტი, რომელიც დამო-  
კიდებულია ნაყარის გეომეტრიასა და გრუნტის  
პარამეტრებზე. მარაგის კოეფიციენტის გამო-  
სათვლელად დადგენილია დაცურების ზედა-  
პირის სიმტკიცე ძვრაზე გრუნტის შემდეგი პა-  
რამეტრების გამოყენებით: ეფექტური შეჭიდუ-  
ლობა –  $\bar{K}$ ; ეფექტური შიგა ხახუნის კუთხე –  
 $\bar{\varphi}$ ; კუთრი წონა –  $\gamma$  და ფორული წნევის კოე-

ფიციენტი –  $r_u$ . ნაყარის ზედაპირის აპროქსი-  
მაციით მივიღებთ სამკუთხედის განიკვეთის  
ფორმის ნაყარი. მიღებულია დახრილ ბრტყელ  
არაკლდოვან ფერდოზე აგებული მიწის ნაგე-  
ბობის (სამკუთხა განიკვეთის ნაყარის) ძვრის  
მარაგის  $K_{\text{ბგ}} = f(\alpha, \beta, D, \bar{K}_1, \bar{K}_2, \bar{\varphi}_1, \bar{\varphi}_2, r_{u1}, r_{u2}, \gamma)$  კოე-  
ფიციენტის განსაზღვრის საჭირო დამოკიდე-  
ბულებები. კომპიუტერის გამოყენებით სამკუთხა  
ნაყარისათვის აგებულია ბუნებრივი ფერდოს,  
ნაყარის  $\alpha, \beta$  დახრის კუთხეების, ასევე კრიტი-  
კული წრის ჩაღრმავების მაჩვენებელი და  $D$ -ს  
სხვადასხვა კომბინაციისთვის დადგენილია  
მდგრადობისა და ხახუნის რიცხვების გრაფი-  
კები. მიღებული ამონახსნები რეალურ შედეგ-  
თან კარგი მიხლოებაა, რაც დასტურდება სტა-  
ტიაში განხილული ტესტური მაგალითებით.  
ამასთან,  $D = 0$  შემთხვევა შეიძლება გამოვიყე-

ნოთ მარაგის კოეფიციენტის გამოსათვლელად, როცა ბუნებრივი ფერდო კლდოვანია.

**საკვანძო სიტყვები:** გრუნტი; დაცურების ზედაპირი; კუთრი წონა; მარაგის კოეფიციენტი; მდგრადობა; სიმტკიცე; ფერდო; შეჭიდულობა.

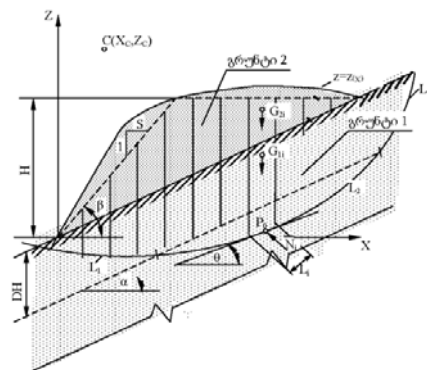
### შესავალი

გრუნტის მასალით ნაგებობათა დაპროექტებისას როგორც მშენებლობის, ისე ექსპლუატაციის პერიოდში ერთ-ერთი ძირითადი პრობლემა ფერდობის მდგრადობის უზრუნველყოფაა. მრავალ ასეთ პრობლემურ შემთხვევასთან გვაქვს საქმე მიწის კაშხლების, დამბების, სამრეწველო ნარჩენების საცავების, სატრანსპორტო ნაყარის, აგრეთვე გათხრითი სამუშაოების, ღია სამთო სამუშაოების, არხების გაყვანის, მიწის ნაგებობათა მშენებლობისა და ექსპლუატაციის პერიოდში. დამრეც (ციცაბო) ფერდობზე სამთო სამუშაოების შესრულებისას ამოღებული გრუნტის ნაყარმა ფერდობზე დაწყობისას შეიძლება მიიღოს სამკუთხა ან ტრაპეციოიდული განივკვეთის პროფილი. ამოღებული ქანების ქვემოთ გადაადგილებას ზღუდავენ, ფერდობზე აწყობენ და დაზვიინება იზრდება. ფაქტიურად ნაყარის ზედაპირი შეიძლება ძალიან უსწორმასწორო იყოს, მაგრამ მდგრადობისას გაანგარიშების გამარტივების მიზნით ჰორიზონტალური და დახრილი წრფეების მონაკვეთებით ახდენენ ნაყარის ფორმის აპროქსიმაციას. გამარტივებული მეთოდის გამოყენების მიზანია, რომ ფერდოს მდგრადობის გაანგარიშებისას რთული მათემატიკური განტოლებების (რომელთა ამოხსნა ხშირად შეუძლებელია) ნაცვლად განვიხილოთ განტოლებები, რომელთა ამოხსნა გაცილებით ადვილი იქნება. მიღებული ამონახსნები უნდა იყოს რეალურ შედეგებთან კარგი მიახლოება.

### ძირითადი ნაწილი

**ამოცანა.** ვთქვათ, გვაქვს ჰორიზონტისადმი  $\alpha$  კუთხით დახრილ ბრტყელ არაკლდოვან ფერდობზე სამთო სამუშაოებით წარმოქმნილი, გარკვეული დანიშნულებისა და გეომეტრიული ზომების გრუნტის ნაყარი. საჭიროა განვსაზღვროთ ნაყარის მდგრადობაზე ძვრის მარაგის კოეფიციენტი (ნახ. 1).

იმისათვის, რომ განვსაზღვროთ ძვრის მარაგის კოეფიციენტი, საჭიროა დავადგინოთ დაცურების ზედაპირზე გრუნტის დაძვრის სიმტკიცე შემდეგი პარამეტრების გამოყენებით: ეფექტური შეჭიდულობა –  $\bar{K}$ ; ეფექტური შიგა ხახუნის კუთხე –  $\bar{\varphi}$ ; კუთრი წონა –  $\gamma$  და ფორული წნევის კოეფიციენტი –  $r_w$ . ვისარგებლოთ ბიშოფის გამარტივებული მეთოდით [1] და  $z = x \cdot \text{tg} \beta$  და  $x = H$  წრფეებით მოვახდინოთ ნაყარის ზედაპირის აპროქსიმაცია. შედეგად მივიღებთ სამკუთხედის განივკვეთის ფორმის ნაყარს, რომელიც ზემოდან შემოსაზღვრულია  $z(x)$  წირით, ხოლო ქვემოდან ბრტყელი ფერდოთი –  $z = x \cdot \text{tg} \alpha$  წრფით.



ნახ. 1. არაკლდოვან ბრტყელ ფერდობზე სამკუთხა განივკვეთის ფორმის ნაყარის მდგრადობაზე გაანგარიშების სქემა

ფერდოს შემადგენელი გრუნტი რომ განვსაზღვროთ ნაყარის გრუნტისგან, შემოვიღოთ აღნიშვნა: ფერდოს – გრუნტი 1, ნაყარის – გრუნტი 2. ვიგულისხმობთ, რომ გრუნტებს 1 და 2 ერთნაირი კუთრი წონა  $\gamma$  აქვს.

ნაყარისათვის გვაქვს შემდეგი მონაცემები: სიმაღლე –  $H$ ; დახრის კუთხე –  $\beta$ ; გრუნტის ევექტური შეჭიდულობა –  $\bar{K}_2$ , ევექტური ხახუნის კუთხე –  $\bar{\varphi}_2$  და ფორული წნევის კოეფიციენტი –  $r_{u2}$ . ბუნებრივი ფერდოსათვის: დახრის კუთხე –  $\alpha$ ; ევექტური შეჭიდულობა –  $\bar{K}_1$ ; ევექტური ხახუნის კუთხე –  $\bar{\varphi}_1$  და ფორული წნევის კოეფიციენტი –  $r_{u1}$ .

ჩავთვალოთ, რომ ნაყარის ფუძე ანუ ფერდო შედგება ერთგვაროვანი ქანებისაგან. მაშინ ერთგვაროვან მასივში მეწყერ-ჩამონაქცევის საშიში დაცურების ზედაპირი იქნება წრიულ-ცილინდრულთან მიახლოებული, რადგან წრეს მასის ერთეულზე აქვს შედარებით მცირე ზედაპირის ფართობი.

1-ელ ნახაზზე ჩანს, რომ ყველაზე საშიშია წრე, რომლის მინიმალური მარაგის კოეფიციენტი ეხება  $z = x \operatorname{tg} \alpha - DH$  წრფეს, რომელიც გადის ბუნებრივი ფერდოს ზედაპირის ქვემოთ  $DH$  სიღრმეზე, სადაც  $D$  ჩაღრმავების მაჩვენებელია და  $H$  – ნაყარის სიმაღლე. როცა  $D = 0$ , მაშინ წრე ეხება ბუნებრივი ფერდოს ზედაპირს ანუ  $z = x \operatorname{tg} \alpha$  წრფეს.  $D$ -ს მაქსიმალური დასაშვები სიდიდე განისაზღვრება ბუნებრივი ფერდოს მასივის მტკიცე ქანების სიღრმეში განლაგების პირობიდან. სიღრმეში გრუნტის პარამეტრების სხვადასხვა მონაცემისათვის მარაგის კოეფიციენტების უმცირესი მნიშვნელობების შედარებით შეიძლება ვიპოვოთ კრიტიკული წრე მინიმალური მარაგის კოეფიციენტით.

ფერდოების მდგრადობის გაანგარიშებისას [2,3,4] ლიტერატურაში მოცემულია ე.წ. ძვრის წრიული ცილინდრული ზედაპირების მეთოდი, რომლის თანახმად ძვრის ზედაპირი წარმოადგენილია წრის რკალის სახით, რაც გლობალურად ნაკლებადაა მოსალოდნელი. ამავე დროს ლოკა-

ლურადაც, ე.ი. ძვრის  $\ell: z = z(x)$  წირის (ნახ. 1) ფიქსირებული  $P_0(x_0, z(x_0))$  წერტილის საკმარისად მცირე მიდამოში მაღალი რიგის უსასრულოდ მცირე სიდიდის სიხუსტით (თუ წირს გააჩნია უწყვეტად ცვალებადი სიმრუდე) ეს წირი მისი სიმრუდის წრეწირია, რომლის ცენტრი  $C(x_c, z_c)$  და  $R$  რადიუსი მოიცემა შემდეგი ფორმულით [5]:

$$\begin{aligned} x_c &= x_0 - \frac{z'(x_0)[1+z'^2(x_0)]}{z''(x_0)}, \\ z_c &= z(x_0) + \frac{1+z'^2(x_0)}{z''(x_0)}, \\ R &= \frac{[1+z'^2(x_0)]^{3/2}}{|z''(x_0)|}. \end{aligned} \quad (1)$$

შესაბამისად,  $\ell$  წირის მცირე  $\ell(P_0, \varepsilon) = \ell \cap \{P \in R^2 : |P - P_0| < \varepsilon\}$  უბანზე შეგვიძლია ფერდოს ჩამონაქცევისათვის ძვრაზე მდგრადობის კოეფიციენტი შევაფასოთ შემდეგი სახით:

$$K_{\ell(P_0, \varepsilon)}^{db} = \sum_{i=1}^{m_1} F_{i,\varepsilon}^- \cdot r_{i,\varepsilon}^- / \sum_{i=1}^{m_2} F_{i,\varepsilon}^+ \cdot r_{i,\varepsilon}^+, \quad (2)$$

სადაც  $F_{i,\varepsilon}^-$  და  $r_{i,\varepsilon}^-$  ( $i = 1, \dots, m_1$ );  $F_{i,\varepsilon}^+$  და  $r_{i,\varepsilon}^+$  ( $i = 1, \dots, m_2$ ) შესაბამისად  $\ell(P_0, \varepsilon)$  უბანზე მოქმედი მძვრელი და დამჭერი ძალებია  $C(x_c, z_c)$  წერტილის მიმართ. ეს კოეფიციენტი  $\ell(P_0, \varepsilon)$  უბანზე დამჭერი ძალების,  $C(x_c, z_c)$  წერტილის მიმართ, მომენტების ჯამის შეფარდებაა მძვრელი ძალების მომენტების ჯამთან, იმავე წერტილის მიმართ, იგივე უბანზე. როგორც ცნობილია, მიღებული  $K_{\ell(P_0, \varepsilon)}^{db}$  მნიშვნელობებიდან მხოლოდ მინიმალურია ფერდოს სტატიკური მდგრადობის ნამდვილი საზომი განხილულ უბანზე. თუ (2)-ში გადავალოთ ზღვარზე, როდესაც  $\varepsilon \rightarrow 0$ ,

მაშინ მივიღებთ ძვრახე მდგრადობის კოეფიციენტს უშუალოდ  $P_0$  წერილში [5], ე.ი.

$$K^{db}(P_0) = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \sum_{i=1}^{m_1} F_{i,\varepsilon}^- \cdot r_{i,\varepsilon}^- / \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \sum_{i=1}^{m_2} F_{i,\varepsilon}^+ \cdot r_{i,\varepsilon}^+ \geq 1. \quad (3)$$

იმისათვის, რომ განვსაზღვროთ მდგრადობა და ხახუნი, საჭიროა დავადგინოთ კრიტიკული წრის მდებარეობა, რომელიც დამოკიდებულია არა მარტო ფერდოს გეომეტრიაზე (ე.ი.  $D, H, \alpha, \beta$ ), არამედ გრუნტის პარამეტრებზეც (ე.ი.  $\bar{K}_1, \bar{\varphi}_1, r_{u_1}, \bar{K}_2, \bar{\varphi}_2, r_{u_2}$  და  $\gamma$ ). მაშასადამე, გვექნება შემდეგი ფუნქციური დამოკიდებულება [6,7]:

$$K_{db} = f(\alpha, \beta, D, \bar{K}_1, \bar{K}_2, \bar{\varphi}_1, \bar{\varphi}_2, r_{u_1}, r_{u_2}, \gamma). \quad (4)$$

თუ გავითვალისწინებთ ყველა ჩამოთვლილ პარამეტრს, მაშინ მდგრადობის გრაფიკების აგება პრაქტიკულად შეუძლებელია. საბედნიეროდ მკვლევარებმა დაადგინეს, რომ გეომეტრიის დადგენას გაცილებით მეტი ეფექტი აქვს, ვიდრე გრუნტის პარამეტრებს [6]. ამასთან დაკავშირებით, ჩამონაქცევი პრიზმის ყველაზე საშიში წრის საპოვნელად შეიძლება განვიხილოთ ბმული გრუნტები, რომელთათვისაც  $\bar{\varphi} = 0$ , ხოლო ხახუნი გამოვსახოთ, როგორც  $\alpha, \beta$  და  $D$ -ს ფუნქცია.

ყველაზე კრიტიკული წრისათვის დაცურების ზედაპირი წარმოადგენს წრის მხებს (ნახ. 1). თუ ცნობილია  $Z=Z(x)$  ფუნქცია, მაშინ კრიტიკული წრის ცენტრის კოორდინატები და რადიუსი გამოითვლება (4) ფორმულით. ამ დროს დაცურების ზედაპირზე განვითარებული საშუალო ძაბვები ადვილად განისაზღვრება, თუ დაცურების რკალზე თანაბრად განაწილებულ მხები ძაბვებით განპირობებული წრის ცენტრის მიმართ ჩამონაქცევი პრიზმის სიმძიმის ძალის მომენტს ნულს გავუტოლებთ. ეს მოქმედი მხები ძაბვები გრუნტის კუთრი წონისა და ნაყარის

სიმაღლის პროპორციულია და შეიძლება გამოვსახოთ შემდეგი სახით [9]:

$$\tau = \gamma H / N_s, \quad (5)$$

სადაც  $\tau$  მოქმედი მხები ძაბვებია;  $N_s$  – მდგრადობის რიცხვი, რომელიც  $\alpha$  და  $\beta$  კუთხეების ფუნქციაა.

მარაგის კოეფიციენტი გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$K_{db} = s / \tau, \quad (6)$$

სადაც  $s$  ძვრახე სიმტკიცეა, რომელიც სრული ძაბვების ანალიზის დროს  $K$  შეჭიდულობის ტოლია.

ჩავსვათ (8) გამოსახულება (9)-ში, მივიღებთ:

$$K_{db} = \frac{KN_s}{\gamma H}. \quad (7)$$

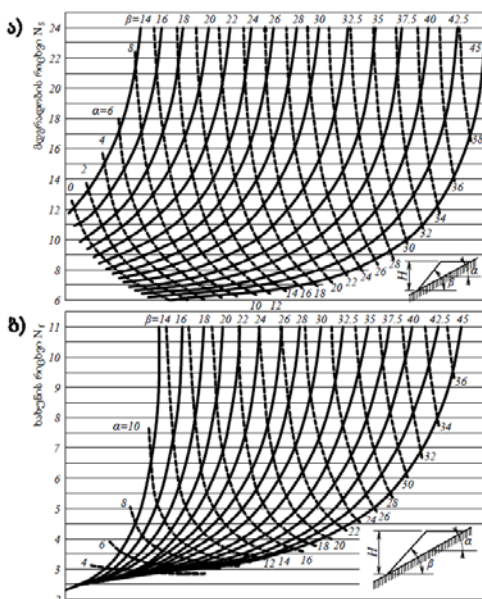
თუ ჩამონაქცევი მასის ზედაპირი წრიულ-ცილინდრულია, მაშინ ძვრის მარაგის კოეფიციენტის მინიმალური მნიშვნელობის განსაზღვრავად, ე.ი. დაცურების ყველაზე საშიში ზედაპირის გამოსავლენად, საჭიროა აიგოს ბევრი წრე. 1-ელ ნახაზზე მრავალ წრეთაგან ნახვენებია ერთ-ერთი, რომლისთვისაც განისაზღვრება მდგრადობის მარაგის კოეფიციენტი. ამ მეთოდით ძვრის მარაგის კოეფიციენტის განსაზღვრავად ჩამონაქცევი პრიზმას ვერტიკალური წრეებით  $n$  ნაწილად დაყოფენ.  $i$ -ური ბლოკის წონაა  $G_i$ , დაცურების ზედაპირის სიგრძე –  $L_i$ , წრის მხების დახრის კუთხე –  $\theta_i$  და ნორმალური ძალა –  $N_i$ . მორკულონის პირობის თანახმად,  $i$ -ური ბლოკის შემკავებელი ძალა ტოლია:  $KL_i + N_i \operatorname{tg} \phi$ , რომელიც დამოკიდებულია ბლოკის ორივე წახნაგზე მოქმედ ძალებზე. ამოცანა სტატიკურად განუსაზღვრელია, თუ გამარტივებისთვის რაიმე დაშვება არ იქნება გამოყენებული. მძვრელი ძალა, რომელიც დაცურების ზედაპირზე წონის მდგენელია  $G_i \sin \theta_i$ -ის ტოლია, ხოლო მარაგის კოეფიციენტი ასე ჩაიწერება [8,9]:

$$K_{ფ3} = \frac{\sum_{i=1}^n (KL_i + N_i \operatorname{tg} \phi)}{\sum_{i=1}^n (G_i \sin \theta_i)} . \text{ აქ } N_i = G_i \cos \theta_i . \quad (8)$$

მივიღოთ, რომ  $\rho=0$ , მაშინ (7) და (8) განტოლებების შედარებით მივიღებთ  $N_s$  მდგრადობის რიცხვის გამოსახულებას შემდეგი სახით:

$$N_s = \frac{\gamma H \sum_{k=1}^n L_i}{\sum_{i=1}^n (G_i \cdot \sin \theta_i)} . \quad (9)$$

$\alpha$  და  $\beta$  კუთხეების სხვადასხვა კომბინაციისათვის მდგრადობის  $N_s$  მნიშვნელობები გამოითვლება კომპიუტერის საშუალებით და აიგება შესაბამისი გრაფიკები (ნახ. 2, ა), რომელიც შესრულებულია შემდეგი მონაცემების საფუძველზე:  $H = 3.1$  მ,  $\gamma = 15.7$  კნ/მ<sup>3</sup> და  $K = 47.9$  კპა. ამასთან, კომპიუტერული პროგრამით მიღებული მარაგის კოეფიციენტი ფაქტიურად მდგრადობის რიცხვია, რაშიც შეიძლება დაერწმუნდეთ იგივე მონაცემების (7) განტოლებაში ჩასმით. პროგრამა ასევე საშუალებას იძლევა განვსაზღვროთ დაცურების ყველაზე საშიში წრის ცენტრი და შესაბამისი რადიუსი.



ნახ. 2. ჩამონაქცევისა და ნაყარის მდგრადობის გრაფიკები

ეფექტური დაძაბულობის ანალიზით სარგებლობისას შიგა ხახუნის კუთხე ნულის ტოლია და ძვრაზე სიმტკიცე შეიძლება შემდეგნაირად გამოვსახოთ:

$$S = \bar{K} + \frac{(1-r_u)\gamma H \operatorname{tg} \bar{\phi}}{N_f} , \quad (10)$$

სადაც  $N_f$  ხახუნის რიცხვია, რომელიც  $\alpha$  და  $\beta$  კუთხეების ფუნქციაა.

(5) და (10) განტოლებები ჩავესვათ (6) განტოლებაში, მივიღებთ მარაგის კოეფიციენტსა და მდგრადობას შორის დამოკიდებულებას:

$$K_{ფ3} = N_s \left[ \frac{\bar{K}}{\gamma H} + \frac{(1-r_u) \operatorname{tg} \bar{\phi}}{N_f} \right] . \quad (11)$$

(9) განტოლებიდან  $N_s$ -ის ჩასმით (11) განტოლებაში

$$K_{ფ3} = \frac{\sum_{i=1}^n (KL_i + (1-r_u)G_i \cos \theta_i \operatorname{tg} \bar{\phi})}{\sum_{i=1}^n (G_i \sin \theta_i)} \quad (12)$$

და (12) განტოლებასთან შედარებით მივიღებთ:

$$N_f = \frac{\gamma H \sum_{i=1}^n L_i}{\sum_{i=1}^n (G_i \cos \theta_i)} . \quad (13)$$

შევარჩიოთ წრე, რომელიც გამოვიყენეთ  $N_s$ -ის განსასაზღვრავად, მაშინ (13) განტოლებით შეიძლება განვსაზღვროთ  $N_f$  ხახუნის რიცხვი  $\alpha$  და  $\beta$  სხვადასხვა კომბინაციისათვის. გამოთვლების შედეგები მოყვანილია მე-2, ბ ნახაზზე. (11) განტოლების საფუძველზე განსაზღვრული მარაგის კოეფიციენტისა და მე-2 ნახაზის გრაფიკების შედარებისას შეიძლება მისი მნიშვნელობა მინიმალური არ აღმოჩნდეს, რადგან დაცურების ყველაზე საშიში წრეს ადგილი აქვს, როცა  $\rho=0$ , რაც მე-2 ნახაზზე მოცემული გრაფიკების აგებისას გამოიყენება. მაგრამ განსხვავებას ვღებულობთ, როცა  $\rho$  განსხვავებულია ნულისაგან, განსაკუთრებით მაშინ, როცა

გრუნტი შეჭიდულობასთან შედარებით მაღალი შიგა სახუნით გამოირჩევა. მაშასადამე, ამ დროს აუცილებელია შემასწორებელი კოეფიციენტის შემოღება [10,11].

ნორმალური მეთოდისათვის, (3)-ის თანახმად, მარაგის კოეფიციენტი შეიძლება გამოვსახოთ შემდეგი სახით:

$$K_{ფი} = \frac{\sum_{i=1}^n [\bar{K}_1 L_1 + \bar{K}_2 L_2 + (1-r_{u_1}) G_{i1} tg \bar{\varphi}_1 + (1-r_{u_2}) G_{i2} \cos \theta_i tg \varphi_i]}{\sum_{i=1}^n G_i \sin \theta_i} \quad (14)$$

სადაც  $L_1$  და  $L_2$ , შესაბამისად, არის გრუნტებში 1 და 2 გამავალი საშიში დაცურების წრის რკალების სიგრძე;  $G_{i1}$  და  $G_{i2}$  – რკალის ზემოთ გრუნტების 1 და 2  $i$ -ური ნაწილის წონები. გრუნტი 2-ის წონა

$$G_2 = \sum_{i=1}^n G_{2i} = \frac{1}{2} \gamma H^2 \frac{\sin(\beta - \alpha)}{\sin \beta \cdot \sin \alpha} \quad (15)$$

ხოლო  $z = x \cdot tg \alpha$  წრფითა და წრის რკალით შემოსაზღვრული გრუნტის 1 სეგმენტის წონა:

$$G_i = \sum_{i=1}^n G_{i1} = \frac{1}{2} \gamma H \left( L_1 - R \sin \frac{L_1}{R} \right) \quad (16)$$

(14) განტოლება შეიძლება გარდაექმნათ შემდეგი სახით:

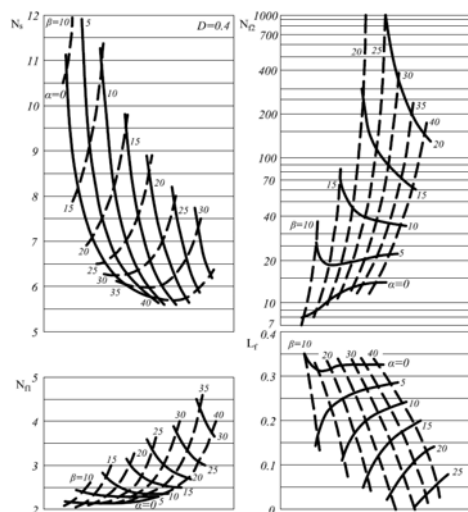
$$K_{ფი} = N_s \left[ \frac{\bar{K}}{\gamma H} (1-L_s) + \frac{\bar{K}_2}{\gamma H} L_f + (1-r_{u_1}) \frac{tg \bar{\varphi}_1}{N_{f_1}} + (1-r_{u_2}) \frac{tg \bar{\varphi}_2}{N_{f_2}} \right] \quad (17)$$

სადაც  $L_f = \frac{L_2}{L_1 + L_2}$  სიგრძის ფაქტორია.

(14) და (17) განტოლებების შედარებით მარტივად შეიძლება დავამტკიცოთ, რომ  $N_f$  სახუნის კოეფიციენტის ანალოგიურია (9) ფორმულით განსაზღვრული  $N_s$ -ის გამოსახულებისა და გრუნტებისათვის 1 და 2 შემდეგი სახე ექნება:

$$N_{f_1} = \frac{\gamma H \sum_{i=1}^n L_i}{\sum_{i=1}^n G_{j1} \cos \theta_i}; \quad N_{f_2} = \frac{\gamma H \sum_{i=1}^n L_i}{\sum_{i=1}^n G_{j2} \cos \theta_i} \quad (18)$$

$N_s$ ,  $N_{f_1}$ ,  $N_{f_2}$  და  $L_f$  სიდიდეების დასადგენად  $\alpha$ ,  $\beta$  კუთხეებისა და  $D$ -ს სხვადასხვა მნიშვნელობისათვის გამოყენებულია კომპიუტერული პროგრამა „მათემატიკა-5“. გამოთვლები ჩატარებულია  $\alpha$ ,  $\beta$  კუთხეებისა და  $D$ -ს სხვადასხვა მნიშვნელობისათვის, კერძოდ ნაყარის ფერდოს დახრის კუთხე  $\beta$  იცვლებოდა ( $5^\circ$ ;  $40^\circ$ ) ინტერვალში; ბუნებრივი ფერდოს დახრის კუთხე  $\alpha$  იცვლებოდა ( $0^\circ$ ;  $30^\circ$ ) ინტერვალში, ხოლო  $D$  ჩაღრმავების მაჩვენებელი – ( $0,2$ ;  $0,8$ ) ინტერვალში. ეს დიაპაზონები თითქმის მთლიანად მოიცავს შემთხვევებს, რომლებიც პრაქტიკაში გვხვდება. გამოთვლებით მიღებული შედეგებით აგებულია გრაფიკები  $D=0,2$ ,  $D=0,4$ ,  $D=0,6$  და  $D=0,8$  მნიშვნელობებისათვის, რომელთაგან  $D=0,4$  მოცემულია მე-3 ნახაზზე. როცა  $\alpha$  ძალიან მცირეა და  $\bar{\varphi} = 0$ , მაშინ ჩაღრმავების მაჩვენებელი  $D$  შეიძლება აღმოჩნდეს ძალიან დიდი და გრაფიკების დიაპაზონის გარეთ. დასმული ამოცანის გადასაწყვეტად საჭირო პარამეტრების მიღებული დამოკიდებულებით და მდგრადობის გრაფიკების გამოყენებით საილუსტრაციოდ განვიხილოთ მარაგის კოეფიციენტის გამოთვლის რიცხვითი მაგალითები.



ნახ. 3. არაკლოვან ფუძეზე სამკუთხა ნაყარისათვის მდგრადობის გრაფიკები, როცა  $D=0,4$

**მოცემულია:**  $\alpha = 15^\circ$ ,  $\beta = 35^\circ$ ;  $H = 6$  მ;  $\gamma = 19,6$  კნ/მ<sup>3</sup>;  $\bar{K}_1 = 4,8$  კპა;  $\bar{\phi}_1 = 20^\circ$ ;  $\bar{K}_2 = 7,2$  კპა და  $\bar{\phi}_2 = 30^\circ$ . განვსაზღვროთ მარაგის კოეფიციენტი, როცა ფილტრაცია არა გვაქვს და  $D$  ჩადრმავე-ბის კოეფიციენტი: 1.  $D = 0$ ; 2.  $D=0,2$ ; 3.  $D=0,4$ ; 4.  $D=0,6$  და 5.  $D=0,8$ .

**ამოხსნა.** გამოვთვალოთ (17) განტოლებაში შე- მავალი ცალკეული წევრები, გვაქვს:  $K_1/\gamma H = 4,8/(19,6 \cdot 6) = 0,04$ .  $K_2/\gamma H = 7,2/(19,6 \cdot 6) = 0,06$ ,  $tg20^\circ = 0,364$  და  $tg30^\circ = 0,577$ . 1. როცა  $D = 0$ , მა- შინ მე-2 ნახაზის გრაფიკებიდან:  $N_s = 8,9$ ;  $N_f = 4,1$  და (11) განტოლებიდან:  $K_{\text{ფ}} = 8,9/(0,06 + 0,577/4,1) = 1,79$ . 2. როცა  $D=0,2$ , მაშინ გრაფიკე- ბიდან (აქ მოყვანილი არ არის):  $N_s = 6,8$ ,  $N_{f1} = 3,5$ ;  $N_{f2} = 26$ , ხოლო (17) განტოლებიდან:  $K_{\text{ფ}} = 6,8/(0,04 \cdot 0,71 + 0,06 \cdot 0,29 + 0,364/3,6 + 0,557/2,6) = 1,17$ . 3. როცა  $D = 0,4$ , მაშინ მე-3 ნახაზის გრა- ფიკებიდან:  $N_s = 6,0$ ,  $N_{f1} = 2,6$ ,  $N_{f2} = 72$  და  $L_1 = 0,18$ , ხოლო (17) განტოლებიდან:  $K_{\text{ფ}} = 6,0/(0,04 \cdot 0,82 + 0,06 \cdot 0,18 + 0,364/2,6 + 0,557/7,2) = 1,15$  4. როცა  $D=0,6$ , მაშინ გრაფიკებიდან (აქ მო- ყვანილი არ არის):  $N_s = 5,4$ ,  $N_{f1} = 2,1$ ;  $N_{f2} = 140$

და  $L = 0,12$ ; ხოლო (17) განტოლებიდან:  $K_{\text{ფ}} = 5,4/(0,04 \cdot 0,88 + 0,06 \cdot 0,12 + 0,364/2,1140) = 1,19$ . ამ- რიგად, როცა  $D = 0,4$ , მაშინ მარაგის კოეფიციენ- ტის მნიშვნელობა მინიმალურია და 1,15-ის ტოლი.

### დასკვნა

ბიშოფის გამარტივებული მეთოდით მიღებუ- ლია დახრილ ბრტყელ არაკლდოვან ფერდოზე აგებული მიწის ნაგებობის (სამკუთხა განივკვე- თის ნაყარის) ძერის მარაგის  $K_{\text{ფ}} = f(\alpha, \beta, D, \bar{K}_1, \bar{K}_2, \bar{\phi}_1, \bar{\phi}_2, r_{u1}, r_{u2}, \gamma)$  კოეფიციენტის განსასაზღვ- რავად საჭირო დამოკიდებულობები. კომპიუტერ- ის გამოყენებით სამკუთხა ნაყარისათვის  $\alpha$ ,  $\beta$  კუთხეებისა და  $D$ -ს სხვადასხვა კომბინაცი- ისთვის დადგენილა კრიტიკული წრის მდებარე- ბა, აგებულია მდგრადობისა და ხახუნის გრაფიკები. ამ გრაფიკებით (17) განტოლებიდან ადვილად გამოითვლება მარაგის კოეფიციენტი. მიღებული ამონახსნები რეალურ შედეგთან კარგი მიახლოებაა, რაც დასტურდება სტატიაში განხილული ტესტური მაგალითებით. ამასთან,  $D = 0$  შემთხვევა შეიძლება გამოიყენოთ ფერდოს მდგრადობის დასადგენად, როცა ნაყარის საგები ანუ ფერდო კლდოვანია.

### ლიტერატურა

1. Bishop A.W. The use of the slip circle in the stability analysis of slopes. Geotechnique. Vol . 5. No. 1. 1955, 7-17 pp. (in English).
2. Arsenyev A. I., Bukin I. I., Mironenko V. A. Wall stability and quarry reclamation. Nedra. M., 1982, 164 p. (in Russian).
3. Morgenstern N. Stability chart for earth slopes during rapid drawdown. The institution of civil engineers. London. 1963. (in English).
4. Physenko G. A. Stability of opencast and dumping sites. Nauka. M., 1985, 380 p. (in Russian).
5. Kvitsiani T., Gedenidze Z., Khutsishvili G. Assessment of slope stability in case of sliding over a smooth curvilinear surface. GTU Collection of Works. N4 (470). Tbilisi. 2008, 13-18 pp. (in Georgian).
6. Kvitsiani T. Change of the boundary deflected mode of a slope ground during the mining works. Scientific-technical Journal "Mshenebloba". Tbilisi. 2016, 15-21 pp. (in Georgian).



7. Huang Yang H. Stability analysis of earth slopes. Van Nostrand Reinhold company, New York. 1983, 49 p. (in English).
8. Verruijt A. Soil mechanics. Delft University Of Technology. 2001. (in English).
9. Chowdhury R. N., Flentje P. N. Geotechnical analysis of slopes and landslides - achievements and challenges. 11th IAEG Congress of the international association of engineering geology and the environment. United Kingdom: CRC Press (Taylor & Francis). 2010, 1-6 pp. (in English).
10. Tsitovich N.A. Soil mechanics. Vysshaya shkola. Moscow. 1983. (in Russian).

UDC 624.137.2:046.3

SCOPUS CODE 1909

## CALCULATION OF THE FILL SHEAR STRENGTH OVER A FLAT SLOPING GROUND

T. Kvitsiani

Department of Engineering Mechanics and Civil engineering Technical Expertise, Georgian Technical University, 68b M. Kostava str, 0175 Tbilisi, Georgia  
E-mail: tarielk@mail.ru

### Reviewers:

**G. Chokhanelidze**, Professor, Aguli Sokhadze Department of Civil and Industrial Engineering, Faculty of Civil Engineering, GTU

E-mail: dep45@gtu.ge

**N. Shavlakadze**, Professor, Department of Mathematics, Faculty of informatics and control systems, GTU

E-mail: nucha@rmi.ge

**ABSTRACT.** The paper considers the problem of assessing the shear reserve coefficient of ground fill of a definite designation and geometric sizes originated due to the mining works on a flat non-rocky slope inclined by angle  $\alpha$  to the horizon.

In order to solve the problem, the location of the critical circle of hazardous slide of the landslide sliding triangle is identified, with the minimum reserve coefficient of the circle, which depends on the fill geometry and ground parameters. In order to calculate the reserve coefficient, the shear strength on the sliding surface is identified by means of the following ground parameters: effective adherence, effective internal friction angle; specific weight  $g$  and pore stress coefficient  $r_u$ . By approximating the fill surface, we gained the fill with a triangle cross-section. The relations necessary to calculate the shear reserve coefficient of a ground structure (fill with a triangle cross-section) built on the inclined flat non-rocky slope are obtained.

By using the computer software, the graphs of stability and friction numbers for different combinations of inclination angles  $a$  and  $b$  of the natural slope and fill and cavity index of a critical circle  $D$  are drafted for the triangle fill. The obtained solutions represent good approximation to the real results what is proved by the test examples considered in the article. In addition, this case may be used to calculate the reserve coefficient for a rocky natural slope.

**KEY WORDS:** Adherence; ground; reserve coefficient; sliding surface; slope; specific weight; stability; strength.

UDC 624.137.2:046.3

SCOPUS CODE 1909

## РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ НАСЫПИ ПРИ ПЛОСКИХ ГРУНТОВЫХ НАКЛОННЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ СДВИГА

**Квициани Т.А.** Департамент инженерной механики и технической экспертизы строительства,  
Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава, 68<sup>б</sup>  
E-mail: tarielk@mail.ru

### Рецензенты:

**Г. Чохонелидзе**, профессор Департамента гражданского и промышленного строительства Агули Сохадзе  
строительного факультета ГТУ

E-mail: nana-begi@mail.ru

**Н. Шавлакадзе**, профессор Департамента математики факультета информатики и систем управления ГТУ

E-mail: nuha@rmi.ge

**АННОТАЦИЯ.** Рассматривается упрощенный метод для сдвига насыпи треугольного профиля на грунтовых склонах. Установлено, что наиболее опасный круг или круг с минимальным коэффициентом запаса касается линии, проходящей на глубине  $DH$  ниже поверхности природного склона.

Получена зависимость для определения коэффициента запаса, а путем сравнения наименьшим коэффициентом запаса для различных показателей заглубления  $D$  найден наиболее опасный круг с минимальным коэффициентом запаса. Зная положение критического круга, которое зависит не только от геометрии откоса, но также от параметров грунтов, можно определить числа устойчивости и трения.

Значения числа устойчивости и трения, вычисленные с помощью ЭВМ и при различных комбинациях угла откоса и природного склона, приведены в графиках для различных значений заглубления. Эти графики охватывают большую часть встречаемых на практике случаев. Они также применимы для проведения анализа в эффективных напряжениях откоса. Применение графиков устойчивости иллюстрируется на численных примерах.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** грунт; коэффициент запаса; откос; поверхность скольжения; прочность; удельный вес; устойчивость; сцепление.

UDC 624.137.2:046.3

SCOPUS CODE 1909

## მთის კლდოვან კალთაზე მდებარე ტრაპეციოიდული განივკვეთის მქონე ბრუნტის ფერდოს მდგრადობის გაანგარიშება

ტ. კვიციანი                   საინჟინრო მექანიკისა და მშენებლობის ტექნიკური ექსპერტიზის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 68<sup>ბ</sup>  
E-mail: tarielk@mail.ru

### რეცენზენტები:

გ. ჭოსონელიძე, სტუ-ის სამშენებლო ფაკულტეტის აგული სოხაძის სახელობის სამოქალაქო და სამრეწველო მშენებლობის დეპარტამენტის პროფესორი

E-mail: dep45@gtu.ge

ნ. შავლაყაძე, სტუ-ის ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის მათემატიკის დეპარტამენტის პროფესორი

E-mail: nucha @rmi.ge

**ანოტაცია.** განხილულია ჰორიზონტისადმი სხვადასხვა კუთხით დახრილ მთის ორ ბრტყელ კლდოვან კალთაზე მდებარე გრუნტის ფერდოს სტატიკური მდგრადობის ამოცანა. ფერდოს გეომეტრიული პარამეტრების, გრუნტის ძირითადი მახასიათებლების, ფორული წნევის კოეფიციენტის, დამჭერი და მძვრელი (სეისმური დატვირთვის გათვალისწინებით) ძალების საშუალებით განისაზღვრება ტრაპეციოიდული განივკვეთის მქონე ფერდოს მდგრადობის, ძვრის მარაგის  $\bar{K}_{\text{ფ}}$  კოეფიციენტი. გაანგარიშებისას გამოიყენეს ფერდოს ბუნებრივი ზედაპირის გამარტივების მეთოდი ანუ აპროქსიმაცია ჰორიზონტალური და დახრილი წრფეების მონაკვეთებით. გამოსაკვლევადა გამოიყენება ტრაპეციოიდული განივკვეთის მქონე ფერდო. ამოცანის სტატიკურად განსაზღვრისათვის ფერდო პირობითად დაიყო ორ მცურავ ბლოკად. სტატიკის პირობიდან გამომდინარე,

შედგენილია წონასწორობის განტოლებათა სისტემა, რომელიც საძიებელი სიდიდის ( $\bar{K}_{\text{ფ}}$ -ს) მიმართ დაყვანილია ერთუცნობიან კვადრატულ განტოლებაზე. ერთ-ერთი რეალური ფერდოს გეომეტრიული პარამეტრების, გრუნტის მახასიათებლების, ფორული წნევის კოეფიციენტისა და სეისმურობის კოეფიციენტის რიცხვითი მონაცემებით ამოსსნილია ტესტური მაგალითი.

**საკვანძო სიტყვები:** გრუნტი; დაცურების ზედაპირი; კუთრი წონა; მარაგის კოეფიციენტი; მდგრადობა; სიმტკიცე; ფერდო; შეჭიდულობა.

### შესავალი

საქართველოში როგორც მთაგორიან ქვეყანაში, რთული გეოგრაფიული პირობების მიუხედავად (ხშირად დამეწყრილ, ციცაბო ფერდო-

ებზე), მრავალი მასშტაბური პროექტი ხორციელდება, როგორცაა: სარკინიგზო და საავტომობილო მაგისტრალები; სამთო-სათხილამურო ბაზები; სასარგებლო წიაღისეულის მოპოვება; ჰიდროტექნიკური და სხვა. მაგალითად, საქართველოში მდებარე (ახალქალაქ-კარწახი) ბაქო-თბილის-ყარსის სარკინიგზო მაგისტრალის 27კმ სიგრძის მონაკვეთზე რკინიგზის მშენებლობა წარმოებს ზღვის დონიდან 1700–2100 მეტრ სიმაღლეზე. ამ მონაკვეთზე ხშირია მეწყერ-ჩამონაკცევები, რაც საფრთხეს უქმნის სარკინიგზო მაგისტრალის უსაფრთხო ფუნქციონირებას; ასევე სვანეთში, თეთნულდის მთის კალთებზე, ზღვის დონიდან 1900–3200 მეტრზე მიმდინარეობს საერთაშორისო დანიშნულების სამთო-სათხილამურო ბაზის მშენებლობა [1]. იქ მისასვლელი გზების მშენებლობისას, ფერდოზე მოქმედი რთული ბუნებრივი ფაქტორებისა და დატვირთვების (მიწისძვრები და აფეთქებები) ზემოქმედებით ირღვევა ქანებში დამყარებული ბუნებრივი რეჟიმი, იცვლება დაძაბულობის ველი და წარმოიშობა დეფორმაციები. მაშასადამე, ბევრ ადგილას წარმოიქმნება ფერდოს ჩამონაკცევი მასის შესაძლო დაცურების ზედაპირები. ამიტომ, მთის კალთებზე სატრანსპორტო გზების, დამბების, მიწის გაფართოებითი სამუშაოების და სხვა მრავალი მიწის ნაგებობის დაპროექტებისას ფართოდ გამოიყენება და მეტწილად აუცილებელიცაა წინასწარ შევასრულოთ ნებისმიერი მოხაზულობის ფერდოების, მთის კალთებისა და ფერდოებზე ნაყარის სტატიკურ მდგრადობაზე გაანგარიშება [2,3,4].

ზემოთ ჩამოთვლილი მიწის ნაგებობის დაპროექტებისას უპირველესად საჭიროა ჩატარდეს ადგილობრივი, ბუნებრივი პირობების გათვალისწინებით, საველე გამოკვლევები. საველე გამოკვლევების კომპლექსში იგულისხმება: ტოპოგრაფია (მიწის ზედაპირის გეომეტრია), გეოლოგია (სამთო ტექნიკური ფაქტორების ზემოქმედება), ჰიდროგეოლოგია (წყლის რეჟიმი, კლიმატური პირობები), მცენარეულობის საფარი, ფერდოს დახრილობის ცვლილება და მეწყერის ტიპები (ბრუნვითი და ტრანსლაციური). მეწყერის წარმოქმნის შემდეგ საჭიროა ასევე განისაზღვროს დაცურების ზედაპირის ფორმები და მხოლოდ ამის შემდეგ განხორციელდეს მიწის ნაგებობის დაპროექტება [4,5].

თამამად შეიძლება ითქვას, რომ საქართველოს მასშტაბით, აღნიშნული პრობლემების გადასაწყვეტად, თითქმის არ ტარდება საველე და თეორიული სამეცნიერო კვლევები. სწორედ აღნიშნული პრობლემის გადაწყვეტა, მეცნიერულ-თეორიული ბაზის შექმნა, რეალურ გეოლოგიურ პირობებში ფერდოების სტატიკური მდგრადობის გაანგარიშების საკმაოდ ზუსტი და მარტივად გამოყენებადი საინჟინრო მეთოდები შეადგენს კვლევის ობიექტს.

### ძირითადი ნაწილი

განვიხილოთ ერთგვაროვანი გრუნტის ფენებისაგან შემდგარი ფერდო (გრუნტის ნაყარი), რომელიც ხასიათდება ეფექტური შიგა ხახუნის  $\bar{\varphi}$  (გრადუსი) კუთხით,  $\gamma$  კუთრი წონით (კნ/მ<sup>3</sup>)  $\bar{K}$  (კპა) ეფექტური შეჭიდულობით და  $r_u$  ფორული წნევის კოეფიციენტით. ფერდო ეყრდნობა ჰორიზონტისადმი  $\theta$  და  $\alpha$  კუთხეებით დახრილ ორ კლდოვან ბრტყელ მთის კალთას (საშიში დაცურების ზედაპირებს). შევარჩიოთ  $Oxz$  კოორდინატთა სისტემა ისე, როგორც ნაჩვენებია 1-ელ ნახაზზე. ფერდო ზემოდან შემოსაზღვრულია ნებისმიერი მოხაზულობის  $z=z(x)$  წირით, რომლის ანალიზური სახით ჩაწერა საკმაოდ რთულია და ზოგჯერ შეუძლებელიც. ამასთან, დადებითი პასუხის შემთხვევაში მიიღება საძიებელი უცნობის მიმართ რთული მათემატიკური განტოლებები. მათ ამოსახსნელად საჭიროა რთული მათემატიკური აპარატის გამოყენება,

რომელიც რიგითი დამპროექტებლისათვის ძნელად გამოსაყენებელია და სრულყოფილი ანალიზის საშუალებას არ იძლევა. მაშასადამე, ფერდოს მდგრადობაზე გაანგარიშებისას მივიღოთ განტოლებები, რომლებიც შედარებით იოლად ამოიხსნება, ე.ი. გამოვიყენოთ ფერდოს განივკვეთის გამარტივების მეთოდი. მოვახდინოთ ფერდოს ზედაპირის აპროქსიმაცია:  $z=0$ ,  $z=H$ ,  $z = x \cdot tg\beta$  წრფეების მონაკვეთებით და მთის კალთის ორი ბრტყელი კლდოვანი ზედაპირით ანუ საშიში დაცურების სიბრტყეებით:  $z=0$  და  $z = xtga - IH$ . აპროქსიმაციის შედეგად მივიღეთ ტრაპეციოიდული განივკვეთის მქონე ფერდო (ნახარი). ახლა განვიხილოთ ფერდოს სტატიკური მდგრადობის ამოცანა.

ფერდოს გეომეტრიული პარამეტრების, გრუნტის ძირითადი მახასიათებლების, ფორული კოეფიციენტის, დამჭერი და მძვრელი ძალების საშუალებით განვსაზღვროთ ტრაპეციოიდული განივკვეთის ფერდოს ძვრაზე მარაგის  $\bar{K}_{\alpha\beta}$  კოეფიციენტი, როცა ის ვერდნობა ჰორიზონტისადმი სხვადასხვა კუთხით დახრილ მთის ორ ბრტყელ კლდოვან კალთას. განსახილველი ფერდო სტატიკურად განუსაზღვრელია. იმისათვის, რომ ამოცანა სტატიკურად განსაზღვრული იყოს და შევძლოთ ფერდოს მარაგის კოეფიციენტის განსაზღვრა, საჭიროა  $x=IH$  წრფით ნაყარი პირობითად დავეოთ ორ მცურავ ბლოკად, სადაც  $I$  არის განსახილველი პრიზმის ფუძის სიგანის ფარდობა მის  $H$  სიმაღლესთან. ამ დაყოფით მივიღეთ ორი ბლოკი: ქვედა მარცხენა ა) სამკუთხედის ფორმისაა და ზედა მარჯვენა ბ) ტრაპეციოიდული. მათი განცალკევების შემთხვევაში ბლოკებს შორის აღიძვრება ურთიერთქმედების შიგა ძალები. გაყოფის ზედაპირებზე ქვედა და ზედა ბლოკებზე მოქმედი შიგა ძალების ნაკრები ვექტორები შესაბამისად აღვნიშ-

ნოთ:  $\vec{P}_1 = \sum \vec{P}_i$  და  $\vec{P}_2 = \sum \vec{P}_{i-1}$  -თი, ამასთან  $|\vec{P}_1| = |\vec{P}_2| = P$ . დაუშვათ, რომ ეს ვექტორები ჰორიზონტალურია და მძვრელ ძალას აქვს მარაგის კოეფიციენტი  $K_{\alpha\beta}$ .

ბლოკებზე მოდებული გარე ძალები – ბლოკის გრუნტის მოცულობის წონა, დროებითი დატვირთვა, ზედაპირზე მოდებული განაწილებული დატვირთვის ჩათვლით შეეცვალოთ შესაბამისად ქვედა და ზედა ბლოკებზე მოდებული  $G_1$  და  $G_2$  ტოლქმედი ძალებით (ნახ. 1). ბლოკებზე მოდებული აქტიური გარე ძალების ტოლქმედის გარდა, დაცურების წრიულ-ცილინდრული ზედაპირისგან განსხვავებით, უნდა გავითვალისწინოთ ძვრაზე სეისმური  $C_s G$  დატვირთვის გავლენა, რომლის მიმართულება ნაჩვენებია 1-ელ ნახაზზე. აქ  $G$  არის ფერდოს მასივის ბლოკის სიმძიმის ძალა. ლიტერატურაში არსებობს სეისმურად აქტიურ ზონებად დაყოფის რუკები, სადაც მოცემულია თითოეული ზონის  $C_s$  სეისმურობის კოეფიციენტი [1,4,6]. მიწისძვრის შემთხვევაში თითოეულ ბლოკის სიმძიმის ცენტრში იმოქმედებს შესაბამისი სეისმური ძალის  $C_s G_1$  და  $C_s G_2$  ჰორიზონტალური მდგენელები.  $C_s$  სეისმურობის კოეფიციენტის განსაზღვრისას სარგებლობენ ფორმულით, რომელიც დამოკიდებულია იმაზე, რომ მიწისძვრის ეპიცენტრიდან საშუალო დაშორება 24 კმ-ს შეადგენს [4,6,7]. ამ ნაშრომების მიხედვით სეისმურობის კოეფიციენტი  $C_s$  განისაზღვრება ფორმულით:

$$C_s = \frac{\lg^{-1}[0.267 + (M-1)0.308]}{980}, \quad (1)$$

სადაც  $M$  მოდიფიცირებულ სკალაზე ინტენსიურობას აღნიშნავს. კვლევებით დადგენილია, რომ მისი სიდიდე იცვლება 0.03-დან 0.27-მდე ფარგლებში.

ახლა  $G_1$  და  $G_2$  ტოლქმედი ძალები მათ მოდების წერტილში დავშალოთ, შესაბამისად,  $\vec{N}_1$ ,  $\vec{N}_2$

ნორმალურ და  $\vec{T}_1 = \vec{G}_1 \sin \theta$ ,  $\vec{T}_2 = \vec{G}_2 \sin \alpha$  მსებ  
 ძალებად, რომელთაგან აპროქსიმაციის შედეგად  
 $\vec{T}_1 = \vec{G}_1 \sin \theta = 0$ . გარდა ამისა, ბმებისგან გათავი-  
 სუფლებს პრინციპის თანახმად, ბლოკებზე მო-  
 დებული იქნება დაცურების ზედაპირების ჯამური  
 რეაქციები:  $\vec{R}_1 = \sum \vec{R}_{3i} = \vec{N}_1 + r_u \vec{G}_1$  და  $\vec{R}_2 = \sum \vec{R}_{2i} =$   
 $= \vec{N}_2 + r_u \vec{G}_1 \cos \alpha$ , ასევე ამ ზედაპირებზე მოდებუ-  
 ლი ძვრაზე წინაღობის ანუ დამჭერი ძალები:  
 $F_{1ღ} = (\vec{K}IH + \vec{N}_1 tg\bar{\varphi})/K_{\text{ბ}}$  და  $F_{2ღ} = (\vec{K}H \cos eca +$   
 $+ \vec{N}_2 tg\bar{\varphi})/K_{\text{ბ}}$ . ამრიგად, გვაქვს ოთხი უცნობი სი-  
 დიდე:  $P$ ,  $K_{\text{ბ}}$ ,  $\vec{N}_1$  და  $\vec{N}_2$ . სტატიკის პირობებიდან  
 გამომდინარე, მათ გამოსათვლელად შეიძლება  
 შევადგინოთ ოთხი განტოლება (ორ-ორი თითოეუ-  
 ლი ბლოკისთვის), სადაც  $\vec{N}_1$  და  $\vec{N}_2$  ძვრის  
 სიბრტყის მიმართ ეფექტური ნორმალური ძა-  
 ლებია. თუ დაუშვებთ, რომ  $P$  მიმართულია  
 პორიზონტალურად ან ორ ბლოკს შორის ხა-  
 ხუნს უარყოფთ, მაშინ დაშვება ყოველთვის  
 მიგვიყვანს უფრო მცირე მარაგის კოეფიციენ-  
 ტამდე [8,9,10].

1-ელ ნახაზზე გამოსახულ ქვედა და ზედა  
 ბლოკებზე მოქმედ ძალთა წონასწორობის პი-  
 რობიდან გვაქვს:

$$\vec{N}_1 + r_u G_1 - G_1 = 0, \quad (2)$$

$$(KIH + \vec{N}_1 tg\bar{\varphi})/K_{\text{ბ}} - P - C_s G_1 = 0, \quad (3)$$

$$\vec{N}_2 + r_u G_2 \cos \alpha - G_2 \cos \alpha +$$

$$C_s G_2 \sin \alpha - P \sin \alpha = 0, \quad (4)$$

$$(\vec{K}H \cos eca + \vec{N}_2 tg\bar{\varphi})/K_{\text{ბ}} =$$

$$G_2 \sin \alpha - C_s G_2 \cos \alpha = 0. \quad (5)$$

ამოვხსნათ (2)–(5) განტოლებები, რისთვისაც  
 (2) განტოლებიდან ვიპოვოთ

$$\vec{N}_1 = (1 - r_u) G_1. \quad (6)$$

შემდეგ (6) ჩავსვათ (3) განტოლებაში და  
 განვსაზღვროთ  $P$ , ხოლო (4)-დან  $\vec{N}_2$ , მივიღებთ:

$$P = [KIH + (1 - r_u) G_1 tg\bar{\varphi}] / K_{\text{ბ}} - C_s \cdot G_1, \quad (7)$$

$$\vec{N}_2 = P \sin \alpha + (1 - r_u) G_2 \cos \alpha - C_s G_2 \sin \alpha. \quad (8)$$

ამასთან, ქვედა და ზედა ბლოკებზე მოქმედი  
 აქტიური ძალების ტოლქმედები გამოვსახოთ  
 ვერდოს გრუნტის  $\gamma$  კუთრი წონით:  $G_1 = \frac{1}{2} \gamma S_1$ ,  
 $G_2 = \frac{1}{2} \gamma S_2$ , სადაც  $S_1, S_2$  ქვედა და ზედა ბლო-  
 კების განივკვეთების ფართობებია (მათი მნიშვნე-  
 ლობების გამოთვლა აქ მოყვანილი არ არის).  
 ახლა  $G_1$  და  $G_2$ -ის მნიშვნელობები ჩავსვათ (5)  
 განტოლებაში და ამოვხსნათ  $K_{\text{ბ}}$  მარაგის  
 კოეფიციენტის მიმართ, მივიღებთ შემდეგ  
 კვადრატულ განტოლებას:

$$\left\{ [ctg\alpha - (1 - l tg\beta)^2 \cdot ctg\beta] \sin \alpha + \right.$$

$$C_s [ctg\alpha - (1 - l tg\beta)^2 ctg\beta + l^2 tg\beta] \cos \alpha \left. \right\} K_{\text{ბ}}^2 -$$

$$- \left\{ \frac{\vec{K}}{\gamma H} (l \cos \alpha + \cos eca) + [(1 - r_u) \cos \alpha - C_s \sin \alpha] \times \right.$$

$$\left. [ctg\alpha - (1 - l tg\beta)^2 + l^2 tg\beta] \cdot tg\bar{\varphi} \right\} \cdot K_{\text{ბ}} -$$

$$l \sin \alpha \cdot tg\bar{\varphi} \left[ \frac{2\vec{K}}{\gamma H} + (1 - r_u) l tg\beta \cdot tg\bar{\varphi} \right] = 0. \quad (9)$$

$K_{\text{ბ}}$  მარაგის კოეფიციენტის რიცხვითი მნიშვნე-  
 ლობების გამოთვლის მოხერხებულობის მიზნით  
 (9) განტოლება გადავწეროთ შემდეგი სახით:

$$a_1 K_{\text{ბ}}^2 + a_2 K_{\text{ბ}} + a_3 = 0, \quad (10)$$

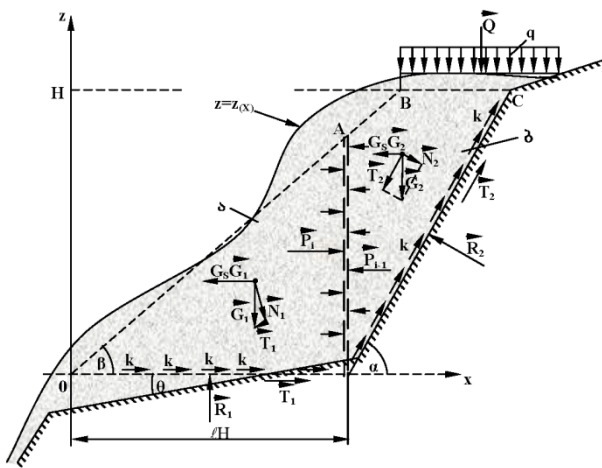
სადაც

$$a_1 = a_4 \sin \alpha + C_s (a_4 + a_5) \cos \alpha; \quad (11)$$

$$a_2 = - \left\{ \frac{\vec{K}}{\gamma H} (l \cos \alpha + \cos eca) + \right.$$

$$\left. [(1 - r_u) \cos \alpha - C_s \sin \alpha] (a_4 + a_5) tg\bar{\varphi} \right\}; \quad (12)$$

$$a_3 = -l \sin \alpha tg\bar{\varphi} \left[ \frac{\vec{K}}{\gamma H} + (1 - r_u) \frac{a_5}{l} tg\bar{\varphi} \right]. \quad (13)$$



ნახ. 1. ტრაპეციოიდული ფორმის ნაყარის ძვრა სიბრტყეებზე: ა – ქვედა ბლოკი; ბ – ზედა ბლოკი

თუ ფერდოს მდგრადობის ამოცანას განვიხილავთ აპროქსიმაციის გარეშე, ე.ი. როცა ფერდო ზემოდან შემოსაზღვრულია  $Z=Z(x)$  წირით ანუ აქვს არასწორი ფორმის გარე ზედაპირი, მაშინ ფერდოს მოცემული  $G_1$  და  $G_2$ -სათვის გვაქვს:

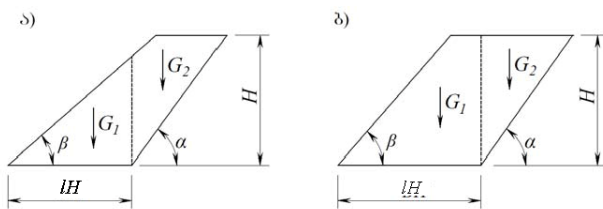
$$a_4 = G_2 / \gamma H^2 ; \quad (14)$$

$$a_5 = G_1 / \gamma H^2 . \quad (15)$$

ფერდოს ზედაპირის აპროქსიმაციის შემთხვევაში შეიძლება მივიღოთ ორი ტიპის სწორი კონფიგურაციის ფერდო (ნახ. 2). მე-2, ა ნახაზზე გამოსახული I ტიპის ფერდოსათვის

$$a_4 = -\frac{1}{2} [ctg\alpha - (1 - ltg\beta)^2 ctg\beta] , \quad (16)$$

$$a_5 = -\frac{1}{2} l^2 tg\beta ; \quad (17)$$



ნახ. 2. ზედაპირის აპროქსიმაციით მიღებული ფერდოს (ნაყარის) ორი ტიპი: ა – I ტიპი; ბ – II ტიპი

2, ბ ნახაზზე გამოსახული II ტიპის ფერდოსათვის

$$a_4 = -\frac{1}{2} ctg\alpha ; \quad (18)$$

$$a_5 = l - \frac{1}{2} ctg\beta . \quad (19)$$

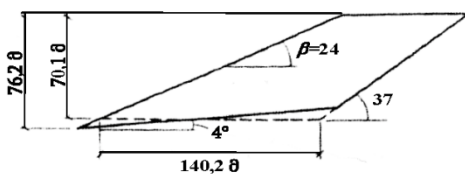
აღნიშნოთ, რომ (14) და (15) განტოლებების გამოყენებისას არასწორი ფორმის მქონე ზედაპირის ფერდოსათვის  $G_1$  და  $G_2$  სიდიდეები გამოითვლება განიკვეთის ფართობის უშუალო გაზომვით. თუ სწორი კონფიგურაციის ფერდო ისეთია, როგორც მე-2 ნახაზზეა ნაჩვენები, მაშინ საჭიროა გამოვიყენოთ (16) და (17) ან (18) და (19) განტოლებები, მიუხედავად იმისა ნაყარი ეკუთვნის I თუ II ტიპს. I ტიპის ნაყარს, რომლის  $l \leq ctg\beta$ , აქვს სამკუთხა ფორმის ქვედა ბლოკი, ხოლო II ტიპის ნაყარს, რომლის  $l > ctg\beta$ , ტრაპეციოიდული ფორმის ქვედა ბლოკი.

საჭიროა აღინიშნოს, რომ გამარტივებული განიკვეთის გამოყენების მიზანია ისეთი განტოლებების მიღება, რომლის გადაწყვეტა შესაძლებელია ხელით ან ჯიბის კალკულატორით. ამასთან, მიღებული შედეგი იქნება რეალურ სურათთან კარგი მიახლოება. საერთოდ ეს მეთოდი გათვალისწინებულია კომპიუტერის გამოყენებისათვის, სადაც  $P$  ძალა და ფუძეში ძვრის სიბრტყე პორიზონტალური არ არის ან ბუნებრივი ქანობის აპროქსიმაციას ახდენს სამი მონაკვეთის საშუალებით.

ახლა საილუსტრაციოდ განვიხილოთ შემდეგი მაგალითი. ვთქვათ,  $\theta=4^\circ$  და  $\alpha=37^\circ$  კუთხით დახრილ მთის კალთის ორ კლდოვან სიბრტყეს ეყრდნობა სამთო სამუშაოებით წარმოქმნილი გრუნტის ნაყარი. საჭიროა დავადგინოთ დაცურების ზედაპირის ძვრაზე სიმტკიცე შემდეგი რიცხვითი პარამეტრებით: ეფექტური შეჭიდულობა –  $\bar{K}=7,7$  კპა, ეფექტური შიგა ხახუნის

კუთხე –  $\bar{\varphi} = 24^\circ$ , კუთრი წონა –  $\gamma = 19,6$  კნ/მ<sup>3</sup>, ფორული წნევის კოეფიციენტი –  $r_u = 0,05$ , ნაყარის ფუძის სიგანე –  $lH = 140,2$  მ, ნაყარის დაყვანილი სიმაღლე –  $H = 70,1$  მ, ფერდოს დახრა –  $\beta = 24^\circ$  და ყველაზე საშიში დაცურების ზედაპირი გადის ნაყარის ფუძეზე. თუ ფორული წნევის კოეფიციენტის მნიშვნელობა 0,05-ის ტოლია, მაშინ იგულისხმება, რომ ნაყარის 10% წყალშია მოქცეული. სეისმური შემოქმედებისას განვსაზღვროთ მარაგის კოეფიციენტი  $\bar{K}_{\text{ფ}}$ , თუ სეისმურობის კოეფიციენტი  $C_s = 0,1$ .

**ამოხსნა.** ნაყარის ბრტყელ ზედაპირზე ძვრის ამოცანის შესწავლის მიზნით გამოვიყენოთ ფერდოს განიკვეთის გამარტივების მეთოდი. ამისათვის აუცილებელია მოვახდინოთ ნაყარის პუნებრივი ზედაპირის აპროქსიმაცია პორიზონტალური და დახრილი წრფეების საშუალებით. აპროქსიმაციის შემდეგ მივიღებთ ფერდოს, რომელიც ანალოგიურია 1-ელ ნახაზზე ნაჩვენებ ფერდოს, ე.ი. აქვს ტრაპეციოიდული ფორმა (ნახ. 3). მარტივი მეთოდი იმაში მდგომარეობს, რომ პორიზონტალური წრფე ისე გავატაროთ, როგორც მე-3 ნახაზზე პუნქტირითაა ნაჩვენები, ამასთან შემკავებელი ანუ ქვედა ბლოკი ისე უნდა გადაადგილდეს ფუძის შიგნით, რომ მთლიანი წონა შეინარჩუნოს. ზედა ამძრავი ბლოკის წონის გაზრდა უნდა კომპენსირდებოდეს ქვედა ბლოკის ძირში მარაგის კოეფიციენტის გაზრდით. მაშასადამე, მარაგის კოეფიციენტი უცვლელი უნდა დარჩეს. ეს აპროქსიმაცია გამოიწვევს ნაყარის 76,2 მეტრიდან 70,1 მეტრამდე შემცირებას.



ნახ. 3. ნაყარის სქემა

ნაყარი მიეკუთვნება I ტიპს, ვინაიდან ე.წ. ქვედა მარცხენა ბლოკს აქვს სამკუთხედის ფორმის განიკვეთი. ფუძის სიგანე შეადგენს 140,2 მეტრს ანუ  $l = 140,2/70,1 = 2$ . როცა  $\beta = 24^\circ$ ,  $\alpha = 37^\circ$ , მაშინ (16) და (17) განტოლებებიდან გვაქვს:

$$a_4 = \frac{1}{2} [ctg 37^\circ - (1 - 2tg 24^\circ)^2] = 0,650,$$

$$a_3 = \frac{1}{2} \cdot 2^2 \cdot tg 24^\circ = 0,890.$$

როცა  $\bar{K} = 7,7$  კპა,  $\bar{\varphi} = 24^\circ$ ,  $\gamma = 19,6$  კნ/მ<sup>3</sup>;  $r_u = 0,05$  და  $C_s = 0,1$ , მაშინ (11)–(13) განტოლებებით მივიღებთ:

$$a_1 = 0,650 \cdot \sin 37^\circ +$$

$$0,1(0,650 + 0,890) \cos 37^\circ = 0,514;$$

რომელიც აპროქსიმაციის შემდეგ დებულობს 1-ელ ნახაზზე ნაჩვენებ ფერდოს ანალოგიურ ტრაპეციოიდულ ფორმას (ნახ. 3).

$$a_2 = - \left\{ \frac{7,7}{19,6 \cdot 70,1} (2 \cos 37^\circ + \cos ec 37^\circ) + \right.$$

$$[1 - 0,05] \cos 37^\circ -$$

$$\left. 0,1 \sin 37^\circ \right] (0,650 + 0,890) tg 24^\circ \} = -0,497;$$

$$a_3 = -2 \sin 37^\circ \times$$

$$tg 24^\circ \left[ \frac{7,7}{19,6 \cdot 70,1} + (1 - 0,05) \left( \frac{0,890}{2} \right) tg 24^\circ \right] = -0,104.$$

მაშასადამე, (10) კვადრატული განტოლება მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$0,514 K_{\text{ფ}}^2 - 0,497 K_{\text{ფ}} - 0,104 = 0;$$

$$K_{\text{ფ}} = \frac{0,497 \pm \sqrt{(0,97)^2 + 4 \cdot 0,514 \cdot 0,104}}{2 \cdot 0,514},$$

საიდანაც  $K_{\text{ფ}} = 1,144$  და  $K_{\text{ფ}} = -0,177$ . აქ უარყოფითი ფესვი არ გამოგვადგება, ამიტომ სეისმური შემოქმედების შედეგად მარაგის კოეფიციენტი  $K_{\text{ფ}} = 1,144$ .



## დასკვნა

ფერდოს გამარტივებული განივკვეთის გამოყენების მიზანია, რომ ამ მეთოდით მიღებული ფერდოს გრუნტის სტატიკური მდგრადობის განტოლება მარაგის კოეფიციენტის მიმართ ამოვსხნათ ხელით ან კალკულატორით, რისი ნათელი დადასტურებაა განხილული ტესტური მაგალითი. საერთოდ ეს მეთოდი განკუთვნილია კომპიუტერის

გამოყენებაზე, როცა შიგა ძალების  $\vec{P}_1 = \sum \vec{P}_i$ ,  $\vec{P}_2 = \sum \vec{P}_{2i-1}$  ნაკრები ვექტორები და ფუძეში დაცურების ზედაპირი ჰორიზონტალური არ არის. მოყვანილი მეთოდი საშუალებას იძლევა წინასწარ დაგეგმვით ისეთი აქტუალური ამოცანები, როგორებიცაა მეწყერის სტაბილიზაციის უზრუნველყოფა და ოპტიმალური საინჟინრო ღონისძიებების შერჩევა.

## ლიტერატურა

1. Kvitsiani T., Gedenidze Z., Khutsishvili G. Assessment of slope stability in case of sliding over a smooth curvilinear surface. GTU collection of works. N4 (470). Tbilisi. 2008, 13-18 pp. (in Georgian).
2. Bishop A.W. The use of the slip circle in the stability analysis of slopes. Geotechnique. Vol . 5. No. 1. 1955, 7-17 pp. (in English).
3. Arsentyev A.I., Bukin I.I., Mironenko V.A. Wall stability and quarry reclamation. Nedra. M., 1982, 164 p. (in Russian).
4. Huang Yang H. Stability analysis of earth slopes. Van Nostrand Reinhold company, New York. 1983, 49 p. (in English).
5. Physenko G.A. Stability of opencast and dumping sites. Nauka. M., 1985, 380 p. (in Russian).
6. Verruijt A. Soil Mechanics. Delft University of Technology. 2001 (in English).
7. Chowdhury R.N., Flentje P.N. Geotechnical analysis of slopes and landslides - achievements and challenges. 11th IAEG Congress of the international association of engineering geology and the environment. United Kingdom: CRC Press (Taylor & Francis). 2010, 1-6 pp. (in English).
8. Kvitsiani T. Change of the boundary deflected mode of a slope ground during the mining works. Scientific-Technical Journal "Mshenebloba". Tbilisi. 2016, 15-21 pp. (in Georgian).
9. Kvitsiani T. Calculation of the stability of mountain rock slopes by the boundary stressed state method. Scientific-technical journal "Mshenebloba". Tbilisi. 2016, 15-21 pp. (in Georgian).
10. Morgenstern N. Stability chart for earth slopes during rapid drawdown. The institution of civil engineers. London. 1963 (in English).

UDC 624.137.2:046.3

SCOPUS CODE 1909

## CALCULATION OF THE STABILITY OF THE GROUND SLOPE WITH A TRAPEZOID CROSS-SECTION LOCATED ON THE MOUNTAIN ROCKY SLOPE

**T. Kvitsiani**

Department of Engineering Mechanics and Civil Engineering Technical Expertise, Georgian Technical University, 68<sup>b</sup> M. Kostava str, 0175 Tbilisi, Georgia  
E-mail: tarielk@mail.ru

### Reviewers:

**G. Chokhnelidze**, Professor, Aguli Sokhadze Department of Civil and Industrial Engineering, Faculty of Civil Engineering, GTU

E-mail: dep45@dtu.ge

**N. Shavlakadze**, Professor, Department of Mathematics, Faculty of informatics and control systems, GTU

E-mail: nuha@rui.ge

**ABSTRACT.** The problem of static stability of the ground slope located on two rocky mountain slopes inclined to the horizon at different angles is considered. The geometric parameters of the slope, principal properties of the ground, pore pressure coefficient and retention and shear forces (taking into account the seismic load) were used to calculate the shear reserve coefficient of the slope with a trapezoid section  $\bar{K}_{Sh}$ . The calculation used the simplification method of the natural slope surface, or approximation with the sections of horizontal and sloping lines. Consequently, a slope with a trapezoid cross-section is obtained to study. In order to statistically define the problem, the slope was conventionally divided into two sliding blocks. Following the term of statics, a system of the equilibrium equations is developed and reduced to the quadratic equation with one unknown quantity to the sought quantity ( $\bar{K}_{Sh}$ ). A test example was solved by using the quantitative values of the real slope geometric parameters, ground characteristics, pore pressure coefficient and factor of seismicity.

**KEY WORDS:** Adherence; gravity; ground; reserve coefficient; slip plane; slope; stability.

UDC 624.137.2:046.3

SCOPUS CODE 1909

## РАСЧЕТ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ГРУНТОВОГО ОТКОСА С ТРАПЕЦЕИДАЛЬНЫМ ПОПЕРЕЧНЫМ СЕЧЕНИЕМ, РАСПОЛОЖЕННОГО НА ГОРНОМ СКАЛЬНОМ СКЛОНЕ

**Квициანი Т.А.** Департамент технической экспертизы инженерной механики и строительства, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава, 68<sup>б</sup>  
E-mail: tarielk@mail.ru

### Рецензенты:

**Г. Чохонелидзе**, профессор Департамента гражданского и промышленного строительства Агули Сохадзе строительного факультета ГТУ

E-mail: dep45@dtu.ge

**Н. Шавлакадзе**, профессор Департамента математики факультета информатики и систем управления ГТУ

E-mail: nuha@rui.ge

**АННОТАЦИЯ.** Рассмотрена следующая задача статической устойчивости грунтового откоса: как посредством геометрических параметров откоса, основных характеристик грунта, коэффициента порового давления, держащих сдвигающих (с учетом сейсмической нагрузки) сил, определить коэффициент запаса на сдвиг откоса с трапецидальным поперечным сечением, когда он опирается на два плоских скальных склона, наклоненных к горизонту под различными углами. При расчете применен метод упрощения природной поверхности откоса, т.е. аппроксимация отрезками горизонтальных и наклонных линий. После этого для исследования получен откос с трапецидальным поперечным сечением. Задача статически определена таким образом, что откос условно разделен на два плавающих блока. Исходя из условия статики, составлена система уравнений равновесия, которая доведена до квадратного уравнения к искомому неизвестному. Тестовая задача решена по числовым значениям геометрических параметров одного из реальных откосов, характеристике грунта, коэффициенту порового давления и коэффициенту сейсмичности.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** грунт; коэффициент запаса; откос; поверхность скольжения; сцепление; удельный вес; устойчивость.

UDC 620.9

SCOPUS CODE 2102

**საქართველოში ენერგორესურსებზე მოთხოვნის საშუალოგაღიანი დაბეჭდვა**

- დ. ჯაფარიძე** ელექტროენერგეტიკისა და ელექტრომექანიკის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 75  
E-mail: d.japaridze@gtu.ge
- ი. ბიჭიაშვილი** ელექტროენერგეტიკისა და ელექტრომექანიკის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 75  
E-mail: irakli.bichiashvili@yahoo.com
- ნ. გიორგიშვილი** ელექტროენერგეტიკისა და ელექტრომექანიკის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 75  
E-mail: nino-niniaa@mail.ru

**რეცენზენტები:**

- ლ. ბოჭორიშვილი**, სტუ-ის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის ელექტროენერგეტიკისა და ელექტრომექანიკის დეპარტამენტის პროფესორი  
E-mail: lalibochorishvili@yahoo.com
- გ. ამყოლაძე**, სტუ-ის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის ელექტროენერგეტიკისა და ელექტრომექანიკის დეპარტამენტის პროფესორი  
E-mail: g2008@boom.ge

**ანოტაცია.** სტატიაში საშუალოგაღიანი პერიოდში ენერგორესურსებზე მოთხოვნის ოპტიმალური დაგეგმვის საერთაშორისო გამოცდილების ანალიზის საფუძველზე დასაბუთებულია დასმული პრობლემების თანამედროვე მოთხოვნების დონეზე გადაწყვეტის აქტუალურობა. საქართველოს მაგალითზე კორელაციური ანალიზით დადგენილია ენერგორესურსების მოთხოვნაზე მოქმედი ფაქტორები. პროგნოზირების ავტორეგრესული მოდელების გამოყენებით საშუალოგაღიანი პერიოდში ხდება ამ ფაქტორების პროგნოზირება. რეგრესული ანალიზისა და ხელონული ნეირონული ქსელების გამოყენებით ჩატარებულია ელექტროენერგეტიკის, შემის, ნახ-

შირის, ნავთობისა და ბუნებრივი აირის მოხმარების საშუალოგაღიანი პროგნოზირება. რეგულირებადი ტრენდით, ექსპონენციალური გამოთანაბრების მეთოდით დაზუსტებულია მოხმარების პარამეტრები, შესაბამისად განსაზღვრულია პროგნოზული მაჩვენებლები. საქართველოში ენერგორესურსებზე მოთხოვნის განვითარების პერსპექტივების ანალიზის მიხედვით ჩამოყალიბებულია საშუალოგაღიანი პერიოდში ენერგორესურსებზე მოთხოვნის ოპტიმალურად დაგეგმვის მრავალფაქტორიანი მათემატიკური მოდელი და შემუშავებულია ენერგორესურსებზე მოთხოვნის ოპტიმალური დაგეგმვის ერთიანი მეთოდიკა. აღნიშნული მეთოდიკა აპრობირებულია საქართველოს მაგალითზე და განსაზღვ-

რულია საშუალოვადიანი პერიოდისთვის ენერგორესურსებზე მოთხოვნის მეცნიერულად დასაბუთებული გეგმური პარამეტრები.

**საკვანძო სიტყვები:** ენერგორესურსების მოხმარება; მათემატიკური მოდელი; პროგნოზირება; რეგრესია; ფაქტორი; ხელოვნური ნეირონული ქსელები.

### შესავალი

საშუალოვადიან პერიოდში ქვეყნის ენერგორესურსებზე მოთხოვნის დაგეგმვის პრობლემისადმი მიძღვნილ შრომებში [8, 10, 11] მეცნიერები ნაკლებ ყურადღებას უთმობენ პრობლემის გადაწყვეტის კომპლექსურობას, ენერგორესურსების განსხვავებულ სტრუქტურას, ენერგეტიკული დამოუკიდებლობის დონეს, ქვეყნის სოციალურ-ეკონომიკურ მდგომარეობას. საქართველოში ენერგორესურსების მოხმარების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ საშუალოვადიან პერიოდში ქვეყნის ენერგორესურსებზე მოთხოვნის მაღალი სიზუსტით დაგეგმვის ამოცანა უნდა გადაიჭრას არსებული პრობლემისადმი კომპლექსური მიდგომით. იმის გათვალისწინებით, რომ პროგნოზირება არის გრძელვადიანი სტრატეგიული დაგეგმვა [15], პირველ რიგში უზრუნველყოფილი უნდა იყოს საშუალოვადიან პერიოდში ენერგორესურსებზე მოთხოვნის მაღალი სიზუსტით პროგნოზირება, რისთვისაც აუცილებელია გამოყენებულ იქნეს თანამედროვე მათემატიკური და ექსპერტული შეფასების ჰიბრიდული მეთოდები, საპროგნოზო პარამეტრების სიდიდე უნდა დადგინდეს მათზე მოქმედი ყველა შესაძლო ფაქტორის გათვალისწინებით, შესაბამისად რეგრესული ანალიზისა და ხელოვნური ნეირონული ქსელების საფუძველზე შემუშავდეს ენერგორესურსებზე მოთხოვნის პროგნოზირების მრავალფაქტორიანი მო-

დელი. პრობლემის გადაწყვეტის ასეთი მიდგომა საშუალებას იძლევა მაღალი სიზუსტით განისაზღვროს ქვეყანაში ენერგორესურსებზე მოთხოვნის პროგნოზული პარამეტრები და საშუალოვადიან პერიოდში შესრულდეს დაგეგმვა. აღნიშნულიდან გამომდინარე, საქართველოში ენერგორესურსებზე მოთხოვნის საშუალოვადიანი დაგეგმვა ხორციელდება [5, 6] სტატის ავტორების მიერ შემუშავებული მეთოდის საფუძველზე.

### ძირითადი ნაწილი

ენერგორესურსებზე მოთხოვნის საშუალოვადიანი პერიოდისთვის პროგნოზირების მრავალფაქტორიანი მათემატიკური მოდელის შემუშავების უზრუნველსაყოფად, ექსპერტული შეფასების საფუძველზე, განხორციელდა ენერგორესურსების მოხმარებაზე მოქმედი ფაქტორების გარკვეული სპექტრის წინასწარი შერჩევა. ჩატარებულმა კვლევამ აჩვენა, რომ ელექტროენერჯის, ნავთობის, შეშისა და ბუნებრივი აირის მოხმარებაზე, დიდი ალბათობით, შესაძლებელია გავლენა მოახდინოს ფაქტორთა მთელმა სპექტრმა, მათ შორისაა:

- ელექტროენერჯის სამომხმარებლო ტარიფი;
- ელექტროენერჯის ექსპორტი;
- შეშის მოხმარება;
- ბუნებრივი აირის საყოფაცხოვრებო მოხმარება;
- ბუნებრივი აირის სამომხმარებლო ტარიფი;
- ავტომანქანების რაოდენობა;
- აირზე მომუშავე ავტომანქანების რაოდენობა;
- ბენზინის ფასი;
- დიზელის ფასი;
- მშპ-ის რეალური ზრდის ტემპი;
- ეროვნული ვალუტის საშუალო წლიური გაცვლითი კურსი;
- ურბანიზაციის დონე;

- მოსახლეობის რაოდენობა; ბის დადგენის მიზნით ჩატარდა კორელაციური
  - ტურისტების რაოდენობა. ანალიზი [12], რომელსაც საფუძვლად დაედო
- ელექტროენერჯის, ნავთობის, შეშისა და ბუნებრივი აირის მოხმარებაზე მოქმედი ფაქტორების სტატისტიკური მონაცემები (ცხრილი 1, 2).

ცხრილი 1

საქართველოში ენერგეტიკული რესურსების მოხმარების სტატისტიკური მონაცემები 2007–2015 წწ. [1,2,3,4,5,6]

ენერგორესურსი	ზომის ერთეული	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
ელექტროენერჯია	მლნ. კვტ. სთ	8,603	8,930	8,533	10,141	10,383	10,087	10,345	11,006	11,292
ნავთობი	ტონა	601,822	701,931	753,150	806,697	874,213	942,893	1,046,800	1,100,900	1,214,120
ბუნებრივი აირი	მლნ. მ <sup>3</sup>	1,684	1,463	1,184	1,094	1,750	1,933	1,912	2,094	2,287
ნახშირი	ტონა	69,560	221,730	200,952	320,145	435,363	493,177	449,209	506,900	521,338
შეშა	მ <sup>3</sup>	805,423	818,231	697,461	798,881	595,433	447,479	626,243	595,359	445,020

ცხრილი 2

ელექტროენერჯის, ნავთობის, შეშისა და ბუნებრივი აირის მოხმარებაზე მოქმედი ფაქტორების სტატისტიკური მონაცემები 2007–2015 წწ. [1,2,3,4,5,6,7]

ენერგორესურსი	ზომის ერთეული	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
ელექტროენერჯის ექსპორტი	მლნ. კვტ. სთ	626	680	749	1,524	931	528	450	604	660
შეშის მოხმარება	კუბური მეტრი	805,423	818,231	697,461	798,881	595,433	447,479	626,243	595,359	445,020
ელექტროენერჯის სამომხმარებლო ტარიფი	აშშ. ცენტ/კვტ. სთ დღე-ნათევით	8.12	8.12	8.12	7.97	7.97	7.58	7.58	8.20	8.62
საშუალო წლიური გაცვლითი კურსი	აშშ. დოლარი/ლარი	1.6707	1.4902	1.6705	1.7826	1.6860	1.6513	1.6634	1.7659	2.2750
მშპ-ს რეალური ზრდა	პროცენტი ცვლილება, %	12.58	2.61	-3.74	6.2	7.19	6.4	3.32	4.62	2.8
ბუნებრივი საყოფაცხოვრებო მოხმარება	მლნ. კუბური მეტრი	980.8	1078.5	886.8	889.2	1086.4	1189.8	1370.7	1579.2	1689.4
ურბანიზაციის დონე	%	53%	53%	53%	53%	53%	53%	54%	54%	57%
ბუნებრივი სამომხმარებლო ტარიფი	აშშ ცენტ/მ <sup>3</sup> დღის ნათევით	30.38	30.38	30.38	28.25	30.55	30.55	26.59	26.34	27.01
ავტომანქანების რაოდენობა	1000 ავტომანქანა	517	603	647	693	751	810	880	965	1,043
აირზე მომუშავე ავტომანქანების რაოდენობა	1000 ავტომანქანა	-	-	-	-	32	41	53	61	76
ბენზინის ფასი	ლარი/ლიტრი	1.86	1.65	1.57	2.05	2.15	1.68	1.59	1.60	1.43
დოზელის ფასი	ლარი/ლიტრი	2.25	2.06	1.52	2.08	2.27	2.34	2.16	2.18	1.91
მოსახლეობის რაოდენობა	კაცი	4,394,700	4,382,100	4,385,400	4,436,400	4,469,200	4,497,600	4,483,800	4,490,500	3,713,700
ტურისტების რაოდენობა	კაცი	1,051,749	1,290,108	1,500,049	2,031,717	2,822,363	4,428,221	5,392,303	5,515,559	5,901,094

კორელაციური ანალიზის შედეგები ასახულია მე-3–6 ცხრილებში.

ელექტროენერჯის მოხმარებაზე მოქმედი ფაქტორების კორელაციური მატრიცა

	ელექტროენერჯის მოხმარება	მშპ-ს რეალური ზრდა	ელექტროენერჯის სამომხმარებლო ტარიფი	საშუალო წლიური გაცვლითი კურსი	შეშის მოხმარება	ბუნებრივი აირის საყოფაცხოვრებო მოხმარება	მოსახლეობის რაოდენობა	ტურისტების რაოდენობა	ურბანიზაციის დონე	ელექტროენერჯის ექსპორტი	ბუნებრივი აირის სამომხმარებლო ტარიფი
ელექტროენერჯის მოხმარება	1.000										
მშპ-ს რეალური ზრდა	0.053	1.000				ფაქტორები					
ელექტროენერჯის სამომხმარებლო ტარიფი	0.137	-0.157	1.000								
საშუალო წლიური გაცვლითი კურსი	0.646	-0.075	0.650	1.000							
შეშის მოხმარება	-0.698	0.127	-0.002	-0.551	1.000						
ბუნებრივი აირის საყოფაცხოვრებო მოხმარება	0.794	-0.077	0.332	0.630	-0.690	1.000					
მოსახლეობის რაოდენობა	-0.353	0.193	-0.762	-0.876	0.387	-0.522	1.000				
ტურისტების რაოდენობა	0.873	-0.107	0.004	0.564	-0.816	0.908	-0.330	1.000			
ურბანიზაციის დონე	0.652	-0.190	0.614	0.910	-0.580	0.822	-0.894	0.693	1.000		
ელექტროენერჯის ექსპორტი	0.016	0.090	0.101	0.072	0.413	-0.499	0.070	-0.410	-0.238	1.000	
ბუნებრივი აირის სამომხმარებლო ტარიფი	-0.724	0.137	-0.192	-0.536	0.284	-0.747	0.292	-0.759	-0.640	0.079	1.000

ნავთობის მოხმარებაზე მოქმედი ფაქტორების კორელაციური მატრიცა

ფაქტორები	ნავთობის მოხმარება	ავტომანქანების რაოდენობა	აირზე მომუშავე ავტომანქანების რაოდენობა	საშუალო წლიური გაცვლითი კურსი	მშპ-ს რეალური ზრდა	ბენზინის ფასი	დიზელის ფასი
ნავთობის მოხმარება	1.000						
ავტომანქანების რაოდენობა	0.998	1.000					
აირზე მომუშავე ავტომანქანების რ-ობა	0.959	0.958	1.000				
საშუალო წლიური გაცვლითი კურსი	0.678	0.681	0.630	1.000			
მშპ-ს რეალური ზრდა	-0.234	-0.228	-0.060	-0.075	1.000		
ბენზინის ფასი	-0.478	-0.475	-0.466	-0.327	0.566	1.000	
დიზელის ფასი	0.052	0.052	0.210	-0.222	0.829	0.437	1.000

ბუნებრივი აირის მოხმარებაზე მოქმედი ფაქტორების კორელაციური მატრიცა

ფაქტორები	ბუნებრივი აირის მოხმარება	ბუნებრივი აირის საყოფაცხოვრებო მოხმარება	ურბანიზაციის დონე	ბუნებრივი აირის სამომხმარებლო ტარიფი	ელექტროენერჯის სამომხმარებლო ტარიფი	აირზე მომუშავე ავტომანქანების რაოდენობა	საშუალო წლიური გაცვლითი კურსი	მშპ-ს რეალური ზრდა
ბუნებრივი აირის მოხმარება	1.000							
ბუნებრივი აირის საყოფაცხ. მოხმარება	0.903	1.000						
ურბანიზაციის დონე	0.679	0.822	1.000					
ბუნებრივი აირის სამომხმარებლო ტარიფი	-0.482	-0.747	-0.640	1.000				
ელექტროენერჯის სამომხმარებლო ტარიფი	0.173	0.332	0.614	-0.192	1.000			
აირზე მომუშავე ა/მ რაოდენობა	0.906	0.944	0.760	-0.689	0.143	1.000		
საშუალო წლიური გაცვლითი კურსი	0.509	0.630	0.910	-0.536	0.650	0.630	1.000	
მშპ-ს რეალური ზრდა	0.205	-0.077	-0.190	0.137	-0.157	-0.060	-0.075	1.000

შეშის მოხმარებაზე მოქმედი ფაქტორების კორელაციური მატრიცა

ფაქტორები	შეშის მოხმარება	ბუნებრივი აირის საყოფაცხოვრებო მოხმარება	ურბანიზაციის დონე
შეშის მოხმარება	1.000		
ბუნებრივი აირის საყოფაცხ. მოხმარება	-0.690	1.000	
ურბანიზაციის დონე	-0.580	0.134	1.000

როგორც ცხრილებიდან ჩანს, ენერგორესურსების მოხმარებაზე მოქმედი ფაქტორების ექსპერტული შეფასება ძირითადად ემთხვევა კორელაციური ანალიზის შედეგებს.

იქიდან გამომდინარე, რომ საქართველოში მოხმარებული ენერგორესურსებიდან ნახშირის მოხმარებას უმნიშვნელო წილი უკავია ენერგორესურსების მთლიან მოხმარებაში, ამ რესურ-

სის მოხმარების საშუალოვადიანი პროგნოზირება ჩატარებულია ავტორეგრესული მეთოდით [13], მე-2 ცხრილში მოცემული მონაცემების საფუძველზე. ამავე მეთოდით არის ჩატარებული ელექტროენერჯის, ნავთობის, შეშისა და ბუნებრივი აირის მოხმარებაზე მოქმედი ფაქტორების საშუალოვადიანი პროგნოზირება. შედეგები შეტანილია მე-7 და მე-8 ცხრილებში.



**ნახშირის მოხმარების პროგნოზირების ავტორეგრესული მოდელი**

ენერგორესურსი	პროგნოზირების ავტორეგრესული მოდელი
ნახშირი	$Y_t = 147465.095403193 + 0.461323460809249Y_{t-1} + 0.311721484159898Y_{t-2}$

**ენერგეტიკული რესურსების მოხმარებაზე მოქმედი ფაქტორების პროგნოზირების ავტორეგრესული მოდელები**

ფაქტორი	პროგნოზირების ავტორეგრესული მოდელი
ელექტროენერჯიის ექსპორტი	$Y_t = 789.975193574696 + 0.378938100723352Y_{t-1} - 0.392634997479875Y_{t-2}$
შეშის მოხმარება	გამოყენებულია ხელოვნური ნეირონული ქსელების მეთოდი
ელექტროენერჯიის სამომხმარებლო ტარიფი	$Y_t = 9.73086896037924 + 0.891712900237678Y_{t-1} - 1.11067047743373Y_{t-2}$
საშუალო წლიური გაცვლითი კურსი	$Y_t = 0.804334990959998 + 1.04338625746767Y_{t-1} - 0.460932583109392Y_{t-2}$
მშპ-ს რეალური ზრდა	$Y_t = 6.56345784436357 + 0.0347220665215313Y_{t-1} - 0.580955204861623Y_{t-2}$
ბუნებრივი აირის საყოფაცხოვ. მოხმარება	$Y_t = -23.7375866716233 + 1.20956961320583Y_{t-1} - 0.122475356147879Y_{t-2}$
ურბანიზაციის დონე	$Y_t = 0.108 + 0.8Y_{t-1} + 0Y_{t-2}$
ბუნებრივი აირის სამომხმარებლო ტარიფი	$Y_t = 19.124207773482 + 0.513965074407091Y_{t-1} + 0.186183712198135Y_{t-2}$
ავტომანქანების რაოდენობა	$Y_t = -21.3995441876303 + 1.05163132764533Y_{t-1} + 0.0639911931725296Y_{t-2}$
აირზე მომუშავე ავტომანქანების რაოდენობა	$Y_t = 18.7977483490377 - 0.322027391059717Y_{t-1} + 1.45679747898556Y_{t-2}$
ბენზინის ფასი	$Y_t = 1.78625332584591 + 0.532743499034168Y_{t-1} - 0.556270189964245Y_{t-2}$
დიზელის ფასი	$Y_t = 2.43917870404202 + 0.252937596929435Y_{t-1} - 0.429813979525421Y_{t-2}$
მოსახლეობის რაოდენობა	$Y_t = 1379340.50066834 + 1.06025543856476Y_{t-1} - 0.367911704368631Y_{t-2}$
ტურისტების რაოდენობა	$Y_t = 671809.205185267 + 1.40698878111247Y_{t-1} - 0.510053506987617Y_{t-2}$

პროგნოზირების ავტორეგრესულ მოდელებში დეველების გამოყენებით გამოთვლილია შესაბამისი ენერგორესურსის მოხმარების და ფაქტორების საპროგნოზო მაჩვენებლები. მე-7 და მე-8 ცხრილებში რეგრესიის საპროგნოზო მაჩვენებლები. შედეგები შედგენილია პროგნოზირების ავტორეგრესული მოდელების საპროგნოზო მაჩვენებლები. შედეგები შედგენილია მე-9 და მე-10 ცხრილებში.

**ნახშირის მოხმარების პროგნოზული მაჩვენებლები 2016–2020 წწ.**

ენერგორესურსი	ზომის ერთეული	2016	2017	2018	2019	2020
ნახშირი	ტონა	545,982	561,852	576,855	588,723	598,875

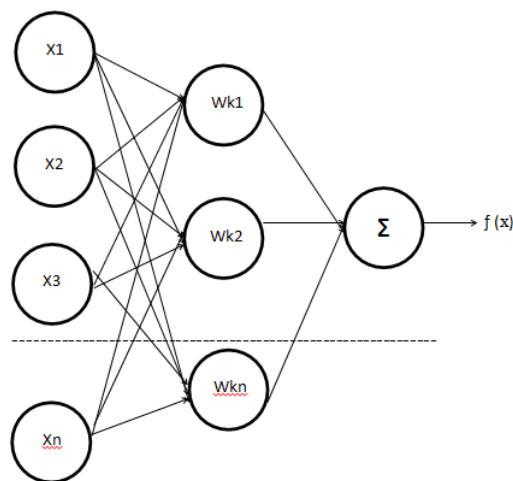
ელექტროენერჯის, ნავთობის, შეშისა და ბუნებრივი აირის მოხმარებაზე მოქმედი ფაქტორების საპროგნოზო მაჩვენებლები 2016–2020წწ.

ფაქტორი	ზომის ერთეული	2016	2017	2018	2019	2020
ელექტროენერჯის ექსპორტი	მლნ.კვტ.სთ	803	835	791	762	768
შეშის მოხმარება	კუბური მეტრი	437,871	425,101	412,706	400,699	389,048
ელექტროენერჯის სამომხმარებლო ტარიფი	აშშ. ცენტი/ კვტ.სთ დღვ-ს ჩათვლით	8.31	7.57	7.24	7.79	8.63
საშუალო წლიური გაცვლითი კურსი	აშშდოლარი/ლარი	2.3641	2.2224	2.0334	1.9016	1.8512
მშპ-ს რეალური ზრდა	პროცენტული ცვლილება (%)	4	5.1	4.4	3.8	4.1
ბუნებრივი აირის საყოფაცხ. მოხმარება	მლნ. კუბური მეტრი	1,826	2,003	2,199	2,415	2,652
ურბანიზაციის დონე	%	56%	56%	56%	55%	55%
ბუნებრივი აირის სამომხმარებლო ტარიფი	აშშ ცენტი/მ³ დღვ-ის ჩათვლით	28.10	28.54	28.56	28.49	28.45
ავტომანქანების რაოდენობა	1000 ავტომანქანა	1,137	1,241	1,357	1,485	1,627
აირზე მომუშავე ავტომანქანების რაოდენობა	1000 ავტომანქანა	83	103	106	135	130
ბენზინის ფასი	ლარი/ლიტრი	1.66	1.87	1.86	1.74	1.68
დიზელის ფასი	ლარი/ლიტრი	1.99	2.12	2.12	2.06	2.05
მოსახლეობის რაოდენობა	კაცი	3,664,704	3,898,549	4,164,511	4,360,464	4,470,374
ტურისტების რაოდენობა	კაცი	6,161,352	6,330,889	6,436,679	6,499,053	6,532,853

ელექტროენერჯის, ნავთობის, შეშისა და ბუნებრივი აირის მოხმარებაზე მოქმედი ფაქტორების პროგნოზული მაჩვენებლების დადგენის შემდეგ შესაძლებელი გახდა ელექტროენერჯის, ნავთობის, შეშისა და ბუნებრივი აირზე მოთხოვნის პროგნოზირება ხელოვნური ნეირონული ქსელების მეთოდის საშუალებით [9,14]. მე-10 ცხრილში შეტანილი მონაცემების საფუძველზე, PredictorXL პროგრამული პაკეტის მეშვეობით, სხვადასხვა აქტივაციის ფუნქციის, ნეირონების არაფარული და ფარული შრეების სხვადასხვა რაოდენობის მიხედვით ექსპერიმენტით დადგინდა პროგნოზული მაჩვენებლები. კვლევამ აჩვენა, რომ პროგნოზირების ყველაზე მაღალი სიზუსტით განხორციელება შესაძლებელია ნეირონების ფარული შრეების – 1 და აქტივაციის ლოგისტიკურ-სიგმოიდური ფუნქციით. შესაბამისად, საშუალოვადიან პერიოდში ელექტროენერჯიაზე, ნავთობზე, შეშისა და ბუნებრივი აირზე მოთხოვნის პროგნოზირების ხელოვნური

ნეირონული ქსელების მოდელი მიიღებს სურათზე მოცემულ სახეს. ენერგორესურსებზე მოთხოვნის პროგნოზული პარამეტრები ასახულია მე-11 ცხრილში.

საშუალოვადიან პერიოდში ელექტროენერჯიაზე, ნავთობზე, შეშისა და ბუნებრივი აირზე მოთხოვნის მაჩვენებლების პროგნოზირების მოდელი



**ენერგორესურსებზე მოთხოვნის პროგნოზული პარამეტრები**

ენერგორესურსი	ზომის ერთეული	2016	2017	2018	2019	2020
ელექტროენერჯია	მლნ.კვტ.სთ	11,642	12,026	12,375	12,684	13,078
შეშა	მ <sup>3</sup>	437,871	425,101	412,706	400,699	389,048
ნავთობი	ტონა	1,300,780	1,410,838	1,520,654	1,642,598	1,771,509
ბუნებრივი აირი	მლნ. მ <sup>3</sup>	2,473	2,681	2,922	3,202	3,526
ნახშირი	ტონა	545,982	561,852	576,855	588,723	598,875

საშუალოვადიანი პერიოდის საქართველოში ტუელი ანალიზი, დადგინდა ელექტროენერჯიის, ენერგეტიკულ რესურსებზე მოთხოვნის გეგმის შეშის, ბუნებრივი აირის, ნავთობისა და ქვანახ- ჩამოსაყალიბებლად აღნიშნული რესურსების შირის მოხმარების ზრდის ტემპი. კვლევის შე- შესახებ მე-11 ცხრილში მოცემული პროგნოზუ- დგები მოცემულია მე-12 ცხრილში.

ლი მაჩვენებლების მიხედვით ჩატარდა ექსპერ-

**ელექტროენერჯიის, შეშის, ბუნებრივი აირის, ნავთობისა და ქვანახშირის მოხმარების ზრდის ტემპი**

ენერგორესურსი	2016	2017	2018	2019	2020
ელექტროენერჯია	3.1%	3.3%	2.9%	2.5%	3.1%
შეშა	-1.6%	-2.9%	-2.9%	-2.9%	-2.9%
ნავთობი	7.1%	8.5%	7.8%	8.0%	7.8%
ბუნებრივი აირი	8.1%	8.4%	9.0%	9.6%	10.1%
ნახშირი	4.7%	2.9%	2.7%	2.1%	1.7%

ზემთ მოყვანილი კვლევის შედეგების კომპ- გათვალისწინებით, დადგინდა ენერგორესურსე- ლექსურად შეფასების, მოსახლეობის აირიფიკა- ბის მოხმარების ზედა და ქვედა ზღვრები. შესა- ციის შემდგომი გაფართოების ეფექტის გათვა- ბამისად, საშუალოვადიან პერიოდში საქართვე- ლისწინებით, რეგულირებადი ტრენდით, ექსპო- ლოში ენერგორესურსებზე მოთხოვნის გეგმა მი- ნენციალური გამოთანაბრების [14] მეთოდის იღებს მე-13 ცხრილში მოცემულ სახეს.

**საშუალოვადიან პერიოდში საქართველოში ენერგორესურსებზე მოთხოვნის გეგმა**

ენერგორესურსი	ზომის ერთეული	ზღვარი	2016	2017	2018	2019	2020
ელექტროენერჯია	მლნ.კვტ.სთ	ზედა	12,224	12,627	12,994	13,318	13,732
		საბაზისო	11,642	12,026	12,375	12,684	13,078
		ქვედა	11,060	11,425	11,756	12,050	12,424
შეშა	მ <sup>3</sup>	ზედა	459,765	446,356	433,341	420,734	408,500
		საბაზისო	437,871	425,101	412,706	400,699	389,048
		ქვედა	415,977	403,846	392,071	380,664	369,596
ნავთობი	ტონა	ზედა	1,365,819	1,481,380	1,596,687	1,724,728	1,860,084
		საბაზისო	1,300,780	1,410,838	1,520,654	1,642,598	1,771,509
		ქვედა	1,235,741	1,340,296	1,444,621	1,560,468	1,682,934
ბუნებრივი აირი	მლნ. მ <sup>3</sup>	ზედა	2,597	2,815	3,068	3,362	3,702
		საბაზისო	2,473	2,681	2,922	3,202	3,526
		ქვედა	2,349	2,547	2,776	3,042	3,350
ნახშირი	ტონა	ზედა	573,281	589,945	605,698	618,159	628,819
		საბაზისო	545,982	561,852	576,855	588,723	598,875
		ქვედა	518,683	533,759	548,012	559,287	568,931

## დასკვნა

კორელაციური ანალიზით დადგენილია საქართველოში ენერგორესურსების მოხმარებაზე მოქმედი ფაქტორები; პროგნოზირების ავტორეგრესული მოდელების გამოყენებით განსაზღვრულია საშუალოვადიან პერიოდში ამ ფაქტორების პროგნოზული სიდიდეები.

პროგნოზირების მაღალი სიზუსტით განხორციელების მიზნით რეგრესული ანალიზისა და ხელოვნური ნეირონული ქსელების მეშვეობით შესრულებულია საქართველოში ელექტროენერჯიაზე, შეშაზე, ნახშირზე, ნავთობსა და ბუნებრივ აირზე მოთხოვნის საშუალოვადიანი პროგნოზირება, ექსპონენციალური გამოთანაბრების მეთოდით დაზუსტებულია მოხმარების პარამეტრები, შესაბამისად განსაზღვრულია პროგნოზული მაჩვენებლები.

საშუალოვადიან პერიოდში საქართველოში ენერგორესურსებზე მოთხოვნის დაგეგმვის უზრუნველსაყოფად, ენერგორესურსებზე მოთხოვნის

შესახებ, მეცნიერული კვლევებით მიღებული პროგნოზული პარამეტრების, ქვეყანაში ენერგორესურსების მოხმარების განვითარების პერსპექტივების ანალიზისა და ზემოთ ჩამოყალიბებული დაგეგმვის ოპტიმალურობის კრიტერიუმით განსაზღვრული მოთხოვნების საფუძველზე ჩამოყალიბებულია საშუალოვადიან პერიოდში ენერგორესურსებზე მოთხოვნის ოპტიმალურად დაგეგმვის მრავალფაქტორიანი მათემატიკური მოდელი.

პრობლემების გადაწყვეტისადმი კომპლექსური მიდგომით შემუშავებულია საქართველოში საშუალოვადიან პერიოდში ენერგორესურსებზე მოთხოვნის დაგეგმვის ერთიანი მეთოდოლოგია, რომელიც უნივერსალურ ხასიათს ატარებს და მისი გამოყენება შესაძლებელია ნებისმიერი დარგის პროდუქციაზე მოთხოვნის ოპტიმალურად დაგეგმვაში. აღნიშნული მეთოდოლოგია აპრობირებულია საქართველოს მაგალითზე და განსაზღვრულია ენერგორესურსებზე მოთხოვნის ოპტიმალური გეგმური პარამეტრები.

## ლიტერატურა

1. Ministry of energy of Georgia. <http://www.energy.gov.ge/> (in Georgian).
2. Electricity market operator. [http://esco.ge/index.php?article\\_id=8&clang=0](http://esco.ge/index.php?article_id=8&clang=0) (in Georgian).
3. National statistics office of Georgia. <http://www.geostat.ge/>(in Georgian).
4. Georgian national energy and water supply regulatory commission. Annual reports. <http://gnerc.org/ge/public-information/reports/tsliuri-angarishi>. (in Georgian).
5. Japaridze D., Giorgishvili N., Bichiashvili I. Optimal mid-term planning of energy resources consumption in Georgia. GTU works. #3(501). 2016. (in Georgian).
6. Japaridze D., Giorgishvili N., Bichiashvili I. Forecasting of energy independence of Georgia and its development. Technical journal "Energia". #4(80). 2016. (in Georgian).
7. The world bank. <http://data.worldbank.org/country/georgia>. (in English).
8. World and Russia energy forecast until 2040. The Energy research institute of the Russian academy of sciences, Analytical center of the Russian government. 2013. (in Russian).
9. Braspennig P. J., Thuijsman F., Weijters A.J.M.M. (Eds). Artificial neural networks: An introduction to ANN theory and practice. Springer-Verlag. 1995. (in English).
10. Energy strategy of Russia for the period up to 2035. Ministry of energy of Russian federation. 2013 (in Russian).
11. International energy outlook 2013. DOE/EIA-0484. 2013. (in English).
12. Isotalo J. Basics of statistics. 2014, 79 p. (in English).

13. Penny W., Harrison L. "Multivariate autoregressive models" In Penny W, Friston K, Ashburner J, Kiebel S, Nichols T. Statistical parametric mapping: The analysis of functional brain images. Elsevier. London. 2006. (in English).
14. Hassoun M. Fundamentals of artificial neural networks (MIT Press). 1995. (in English).
15. Turevski I. S. Economy of an industry (road transport). INFRA-M. Moscow. 2011. (in Russian).

UDC 620.9

SCOPUS CODE 2102

## MID-TERM FORECASTING OF ENERGY RESOURCES CONSUMPTION IN GEORGIAN

- D. Japaridze** Department of Electrical Power Engineering and Electromechanics, 75 M. Kostava str, 0175 Tbilisi, Georgia  
E-mail: d.japaridze@gtu.ge
- I. Bichiashvili** Department of Electrical Power Engineering and Electromechanics, 75 M. Kostava str, 0175 Tbilisi, Georgia  
E-mail: irakli.bichiashvili@yahoo.com
- N. Giorgishvili** Department of Electrical Power Engineering and Electromechanics, 75 M. Kostava str, 0175 Tbilisi, Georgia  
E-mail: nino-niniaa@mail.ru

### Reviewers:

**L. Bochorishvili**, Professor, Department of Electrical Power Engineering and Electromechanics, Faculty of Power Engineering and Telecommunication, GTU  
E-mail: lalibochorishvili@yahoo.com

**G. Amkoladze**, Professor, Department of Electrical Power Engineering and Electromechanics, Faculty of Power Engineering and Telecommunication, GTU  
E-mail: g2008@boom.ge

**ABSTRACT.** The actuality of the modern solution of the problems indicated in the article is considered on the analysis of the international experience related to optimal planning of energy resources consumption. Correlation analysis has revealed factors influencing consumption level of energy resources in Georgia. Mid-term forecasting of the factors has been done using auto regression model and mid-term planning of electricity, fuel, coal, natural gas and firewood consumption in Georgia has been estimated by means of regression and artificial neural networks as well.

Consumption parameters have been verified using trend-adjusted exponential smoothing method. Based on obtained data there has been developed a mid-term forecasting methodology for local energy resources consumption and relevant mathematical model and accordingly was defined mid-term planning parameters for local energy resources as well.

**KEY WORDS:** Artificial neural network; energy resources consumption; factor; forecasting; mathematical model; regression.

UDC 620.9

SCOPUS CODE 2102

## СРЕДНЕСРОЧНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ПОТРЕБНОСТИ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ В ГРУЗИИ

<b>Джафаридзе Д.А.</b>	Департамент электроэнергетики и электромеханики, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава, 75 E-mail: d.japaridze@gtu.ge
<b>Бичиашвили И.Дж.</b>	Департамент электроэнергетики и электромеханики, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава, 75 E-mail: irakli.bichiashvili@yahoo.com
<b>Гиоргишвили Н.И.</b>	Департамент электроэнергетики и электромеханики, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава, 75 E-mail: nino-niniaa@mail.ru

### Рецензенты:

**Л. Бочоришвили**, профессор Департамента электроэнергетики и электромеханики факультета энергетики и телекоммуникаций ГТУ

E-mail: lalibochorishvili@yahoo.com

**Г. Амколадзе**, профессор Департамента электроэнергетики и электромеханики факультета энергетики и телекоммуникаций ГТУ

E-mail: g2008@boom.ge

**АННОТАЦИЯ.** На основе анализа международного опыта планирования потребления энергетических ресурсов в среднесрочном периоде обоснована актуальность решения возникших проблем на уровне современных требований. На примере Грузии с помощью корреляционного анализа установлены факторы, влияющие на потребление энергетических ресурсов. Прогнозирование этих факторов в среднесрочном периоде выполнено с помощью авторегрессивных моделей. Использование регрессионного анализа и искусственных нейронных сетей сделано прогнозирование потребления электроэнергии, древесины, угля, нефти и природного газа в Грузии в среднесрочном периоде. Методом экспоненциального сглаживания регулируемым трендом уточнены параметры потребления, соответственно определены прогнозируемые показатели. В статье разработана многофакторная математическая модель и единая методика оптимального планирования спроса на энергетические ресурсы в Грузии в среднесрочной перспективе. Упомянутая методика апробирована на примере Грузии и определены оптимальные плановые параметры потребления энергетических ресурсов в среднесрочном периоде.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** искусственные нейронные сети; математическая модель; потребление энергетических ресурсов; прогнозирование; регрессия; фактор.

UDC 691.32

SCOPUS CODE 2205

**მხურვალე მემბრიანი ბეტონი ადგილობრივი რესურსების საფუძველზე  
მაღალტემპერატურული ღუმლებისათვის**

- ხ. ლეჟავა** სამოქალაქო და სამრეწველო მშენებლობის ტექნოლოგიისა და საშენი მასალების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 68<sup>ბ</sup>  
E-mail: kh.lejava@gtu.ge
- თ. ესაძე** სამოქალაქო და სამრეწველო მშენებლობის ტექნოლოგიისა და საშენი მასალების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 68<sup>ბ</sup>  
E-mail: e.tamar@mail.ru

**რეცენზენტები:**

- ზ. ჯარუმიძე**, სტუ-ის სამშენებლო ფაკულტეტის სამოქალაქო და სამრეწველო მშენებლობის ტექნოლოგიისა და საშენი მასალების დეპარტამენტის პროფესორი  
E-mail: zkarumidze@yahoo.com
- მ. ჭანტურია**, სტუ-ის სამშენებლო ფაკულტეტის აგული სოხაძის სახელობის სამოქალაქო და სამრეწველო მშენებლობის დეპარტამენტის ასოც. პროფესორი  
E-mail: chant62@mail.ru

**ანოტაცია.** თეორიულად და ექსპერიმენტულად დასაბუთებულია შემკვრელისა და მხურვალემდეგი ბეტონის მიღების შესაძლებლობა წვრილად დაფქული სილიკატლოდის, სადამოს საბადოს ვულკანური წილის – კარატეპესა და ელექტროდნობადი კორუნდის საფუძველზე. საცდელი ნიმუშების შედეგებით დადგინდა ბეტონის ოპტიმალური შედგენილობა მაღალტემპერატურული ღუმლების ამონაგისათვის. მხურვალემდეგი ბეტონის მისაღებად გამოყენებულ იქნა იგივე ნედლეული, რაც კომპოზიციური შემკვრელისათვის. ეს განაპირობებს ბეტონის მცირეკომპონენტინობას, ამარტივებს ტექნოლოგიას, ტექნიკას,

ამცირებს საწარმოს სამრეწველო ფართობს, საწარმოს ტექნიკურ-ეკონომიკურ მაჩვენებლებსა და, შესაბამისად, აიაფებს მიღებულ პროდუქტს. გარდა ამისა, გახურებისას მარტივდება ბეტონში მიმდინარე ფიზიკურ-ქიმიური პროცესები და გახურებულ ზონაში მიიღწევა მასალების ერთგვაროვნება. ეს დადებით გავლენას ახდენს ბეტონის თერმომდგრადობაზე, რომელიც დასტურდება მიღებული მხურვალემდეგი ბეტონის ფიზიკურ-მექანიკური და თბოფიზიკური მაჩვენებლებით: სიმტკიცე კუმშვაზე სხვადასხვა ტემპერატურულ ინტერვალში, თერმული მდგრადობა, ცეცხლგამძლეობა, დეფორმაციის საწყისი ტემპერატურა მიტვირთვის დროს, წრფივი ჯდენა, თერმული

წრფივი გაფართოების კოეფიციენტი და თბო- გამტარობა. ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, შემუშავებულია მხურვალმედვე ბეტონის ტექნოლოგიური სქემა მაღალტემპერატურული ღუმ- ლებისათვის.

**საკვანძო სიტყვები:** ელექტროდნობადი კო- რუნდი; მაღალტემპერატურული; მხურვალმედვე ბეტონი; სილიკატლოდი.

### შესავალი

სახელმწიფოს სამრეწველო დამოუკიდებლობის ხელშეწყობის მიზნით უაღრესად მნიშვნელოვანია ისეთი ტექნოლოგიური პროცესის შექმნა, რომელსაც პროდუქციის წარმოებისას უზრუნველყოფს დეფიციტურ მასალათა მინიმალურ ხარჯს, ენერ- გეტიკული რესურსების მაქსიმალურ ეკონომიას და სატრანსპორტო ხარჯების მკვეთრ შემცირე- ბას. ბოლო წლებში მსოფლიო პრაქტიკაში ფარ- თო გამოყენება პოვა სხვადასხვა სახის მხურვალ- მედვე ბეტონებმა.

ცეცხლგამძლე და მხურვალმედვე მასალებისა და ნაკეთობების გამოყენებას გადამწყვეტი მნიშე- ნელობა აქვს მეტალურგიული, ცემენტის, მინის, კერამიკის მრეწველობისათვის, ასევე მრავალი სხვა პროფილის ქარხნისა და კომუნალური სამ- სახურის თბური აგრეგატების მუშაობისათვის. თითქმის ყველა დანადგარს, რომელშიც სათბობი იწვის, ესაჭიროება აღნიშნული მასალები. უმეტე- სად გავრცელებულია მცირე ზომის მზა ცეცხლ- გამძლე ნაკეთობები, მაგრამ ბოლო ათეულ წლებ- ში თანდათანობით მეტ გამოყენებას პოულობს მხურვალმედვე ბეტონი, რომელიც საშუალებას იძლევა, მსუბუქი და მძიმე ცეცხლგამძლე შემსე- ბების გამოყენებით, დამზადდეს დიდი ზომის,

თბოსაიზოლაციო და კონსტრუქციული დანიშნუ- ლების ნებისმიერი ფორმის ნაკეთობა.

ცეცხლგამძლე მასალებისა და ნაკეთობების გარედან შემოტანა საკმაოდ ძვირი ჯდება. ამი- ტომ, მეტად აქტუალურია, ადგილობრივი რესურ- სების საფუძველზე, ენერგეტიკული დანახარჯების მკვეთრი შემცირებით, მოცემული ხარისხის მხურ- ვალმედვე ბეტონის მიღება. ტექნოლოგიური, ეკო- ნომიკური, სანიტარიულ-ჰიგიენური და დეფიციტურ- რობის პოზიციიდან გამომდინარე, დიდ ინტერესს იჩენენ მხურვალმედვე ბეტონებისადმი, რომლე- ბიც დამზადებულია სილიკონატრიუმის სისტე- მებზე. თხევადი მინა შეცვლილია წვრილად დაფ- ქული სილიკატლოდით, რაც აუმჯობესებს ბეტო- ნის ნარევის ერთგვაროვნებას; გამორიცხავს სი- ლიკატლოდიდან თხევადი მინის მიღების ენერგო- ტეკად ოპერაციას; შემცირებულია სადუღაბე წყლის რაოდენობა, რაც უზრუნველყოფს სიმტ- კიცის მომატებას; ნაკლებია სილიკატლოდის ხარჯი, რის გამოც მაღალია ბეტონის გამოყენე- ბის ტემპერატურა. ბეტონის მშრალი ნარევი მზად- დება ცენტრალიზებულად, რომლის ტრანსპორტი- რება ნებისმიერ მანძილზეა შესაძლებელი, ბეტონი კი უშუალოდ მომხმარებელთან დამზადდება.

ასეთ ბეტონებს უპირატესობა აქვს ცალკეობით გამომწვარ ნაკეთობებთან შედარებით: მათი ტექ- ნოლოგია არ საჭიროებს ყველაზე ძვირად ღირე- ბულ და რთულ პროცესს – გამოწვას; საექსპლუ- ატაციო თვისებებს იძენს მუშაობის პროცესში მა- ლალი ტემპერატურის ზემოქმედებით; მისგან შეიძ- ლება დამზადდეს დიდგაბარიტიანი ფასონური ნაკეთობა, რომელსაც ექნება ნაკერების მინიმ- ალური რაოდენობა; შესაძლებელია მიღებულ იქ- ნეს ბეტონები, წინასწარ დაგეგმილი თვისებებით, ყველა სახის თბური აგრეგატისა და ცალკეული ნაწილებისათვის, აგრესიული გარემოს მახასია- თებლებისა და მუშაობის პირობების გათვალის- წინებით.



**ძირითადი ნაწილი**

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტისა და საშენი მასალების კვლევით ინსტიტუტში ჩატარებული ექსპერიმენტების საფუძველზე შეირჩა მაღალტემპერატურული მხურვალმედვეი ბეტონის შედგენილობა და მის სიმტკიცეზე მოქმედი ფაქტორები:

– მხურვალმედვეი ბეტონის მისაღებად გამოყენებულ იქნა იგივე ნედლეული, რაც კომპოზიციურ შემკვრელში, რომელიც განაპირობებს ბეტონის მცირეკომპონენტანობას, ამარტივებს ტექნოლოგიას, ტექნიკას, ამცირებს საწარმოს სამრეწველოს ფართობს, საწარმოს ტექნიკურ-ეკონომიკურ მაჩვენებლებსა და, შესაბამისად, აიაფებს მიღებულ პროდუქტს;

– მხურვალმედვეი ბეტონის თვისებების ფორმირება ხდება შემკვრელში მიმდინარე ფიზიკურ-ქიმიური პროცესების ზემოქმედებით როგორც შემკვრელის გამყარების პროცესში, ისე ბეტონის საექსპლუატაციო ტემპერატურაზე გახურებისას. შემკვრელი შემკვრელთან მაღალ ტემპერატურაზე ურთიერთქმედებისას წარმოქმნის ბეტონის საბოლოო სტრუქტურას და მოცემულ პირობებში განიხილება როგორც ქიმიურად აქტიური კომპონენტები;

– გრანულომეტრიული შედგენილობა არსებით გავლენას ახდენს ცეცხლგამძლე მასალების თვისებებზე. არეგულირებს არა მარტო ჯდენას, არამედ ნაკეთობის ისეთ მნიშვნელოვან თვისებებსაც, როგორცაა სიმტკიცე და თერმომდგრადობა. მხურვალმედვეი ბეტონის მინიმალური ფორიანობა მიიღწევა შემკვრელის რაციონალური მარცვლოვანი შედგენილობის შერჩევით. დადგენილია, რომ ერთი ფრაქციის მარცვლები არ იძლევა საკმარისად მკვრივად ჩაწყობის საშუალებას, ამიტომ, რო-

გორც წესი, იყენებენ მრავალფუნქციურ ნარეგებს სხვადასხვა ზომის მარცვლებით. ასეთ ნარეგებს თეორიული შესაძლებლობა აქვს მიღწეულ იქნეს ბეტონის მინიმალური ფორიანობა, რადგან მსხვილი ზომის მარცვლებს შორის სივრცეს შეავსებს უფრო პატარა ზომის მარცვლები. გამოყენებულ იქნა შემკვრელის შემდეგი გრანულომეტრიული შედგენილობა: მსხვილი ფრაქცია – 3–5 მმ; საშუალო ფრაქცია – 1–1,25 მმ; წვრილი ფრაქცია – 0,14–0,315 მმ.

შეირჩა ბეტონის შემდეგი ოპტიმალური შედგენილობა:

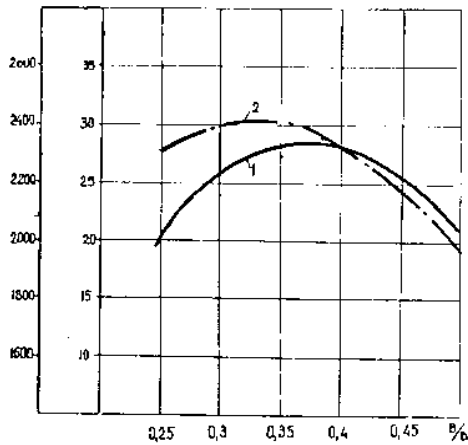
1. სილიკატლოდი ხვედრითი ზედაპირით  $S_{\Sigma} = 3000 \text{ სმ}^2 - 3\%$ ;
2. ვულკანური წიდა – „კარატეპე“ – 12%;
3. კორუნდი – 5%;
4. შემკვრელი (კარატეპე, კორუნდი) – 80%.

სადულაბე წყლის რაოდენობა ძირითადი ფაქტორია ნარეგის ადვილჩაწყობადობის უზრუნველსაყოფად. სასურველია ბეტონში იყოს იმდენი წყალი, რამდენიც უზრუნველყოფს საუკეთესო პირობებს სილიკატლოდის გასახსნელოდ.

სადულაბე წყლის რაოდენობის გაზრდას, როგორც სხვა ტიპის ბეტონებში, ამ შემთხვევაშიც ახლავს ჯდენითი დეფორმაციებისა და ფორიანობის მომატება, შესაბამისად სიმტკიცის კლება.

სადულაბე წყლის ოპტიმალური რაოდენობის დასადგენად წყლისა და შემკვრელის სხვადასხვა თანაფარდობით დამზადდა 10x10x10სმ ზომის ბეტონის ნიმუშები, მოხდა მათი ვიბროდაყალიბება მიტვირთვით, თერმული დამუშავება და შემდგომ გამოცდა სიმტკიცის ზღვრის დასადგენად კუმშვაზე.

ნახაზზე ნაჩვენებია წყლისა და შემკვრელის თანაფარდობების გავლენა ბეტონის თვისებებზე.



წყალ/შემკვრელის დამოკიდებულება ბეტონის სიმტკიცესა და ზოგად სიმკვრივეზე (1–სიმტკიცე კუმშვაზე; 2–ზოგადი სიმკვრივე)

საუკეთესო მაჩვენებელი ჰქონდა ნიმუშებს, როცა წყლისა და შემკვრელის თანაფარდობა იყო 0,32–0,35, რაც ოპტიმალურად იქნა მიჩნეული. ბეტონის სიმტკიცეზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს არევის რეჟიმი და ხანგრძლივობა. ბეტონის ერთგვაროვნება უარესდება თუ სწორად არ იქნა დადგენილი მორევის ხანგრძლივობა. აქედან გამომდინარე, მცირდება მისი სიმტკიცეც. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია მივალწიოთ მასის ერთგვაროვნებას მსურვალმედვე ბეტონში, რადგან სტრუქტურის არაერთგვაროვნება არსებითად მოქმედებს ცეცხლგამძლეობასა და თერმომექანიკურ თვისებებზე. შემესების მარცვლებისა და კომპოზიციური შემკვრელის თანაბარი გადანაწილება ხელს უწყობს მწვავე კონტაქტების მაქსიმალური რიცხვის წარმოქმნას.

ბეტონის არევის რეჟიმის შესარჩევად შესწავლილ იქნა ოთხი სხვადასხვა რეჟიმი. განსხვავე-

ბული რეჟიმით დამზადდა 10x10x10სმ ზომის ნიმუშები, მოხდა მათი თერმოდამუშავება, რის შემდეგაც განისაზღვრა ნიმუშების სიმტკიცის ზღვარი კუმშვაზე (ცხრილი 1).

ცხრილი 1

**ბეტონის ნარევის დამზადების რეჟიმის გავლენა საკონტროლო ნიმუშების სიმტკიცეზე, 200 C<sup>0</sup> ტემპერატურაზე თბური დამუშავების შემდეგ**

კომპონენტების არევის რეჟიმი	საკონტროლო ნიმუშების სიმტკიცე 200C <sup>0</sup> თერმოდამუშავების შემდეგ(მგპა)
რეჟიმი I	არანაკლებ 25
რეჟიმი II	არანაკლებ 28
რეჟიმი III	არანაკლებ 30
რეჟიმი IV	არანაკლებ 35

მიღებულმა შედეგებმა აჩვენა, რომ აუცილებელია შემკვრელი გულდასმით გადანაწილდეს ჯერ წვრილ ფრაქციაში და შემდეგ წვრილი ფრაქცია გადანაწილდეს საშუალო ფრაქციაში, ბოლოს კი აირიოს წყალთან ერთად. ამიტომ, საკონტროლო ნიმუშების სიმტკიცის მაჩვენებლების მიხედვით ყველაზე მისაღებია ბეტონის ნარევის მომზადების IV რეჟიმი.

ბეტონის სიმტკიცის მაჩვენებლებზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ბეტონის ნარევის შემკვრელების მეთოდი და დაყალიბების პარამეტრები. სიმტკიცის დასადგენად გამოიყენა ერთნაირი შედგენილობის, მაგრამ განსხვავებული მეთოდებით დაყალიბებული ნიმუშები. კვლევების შედეგები მოცემულია მე-2 ცხრილში.

ბეტონის ნიმუშების სიმტკიცის დამოკიდებულება  
ვიბროდაყალიბების პარამეტრებზე

დაყალიბების მეთოდი	ვიბრირების პარამეტრები	მიტვირთვის დადების დრო	სიმტკიცე მგპა (200 C <sup>0</sup> ) გამოშრობის შემდეგ	სიმტკიცე მგპა (1850 C <sup>0</sup> ) გამოწვის შემდეგ
ვიბროდაყალიბება მიტვირთვის გარეშე	n=50 ჰც A=0,25 მმ t=120 წმ	–	18	20,2
ვიბროდაყალიბება მიტვირთვით	n=50 ჰც A=0,25 მმ t=60 წმ P=0,0015მგპა	ვიბრაციის დაწყებისთანავე	25	28,6
ვიბროდაყალიბება მიტვირთვით	n=50ჰც A=0,25მმ t=90 წმ P=0,0015მგპა	ვიბრაციის დაწყებისთანავე	27,5	33
ვიბროდაყალიბება მიტვირთვით	n=50 ჰც A=0,25 მმ t= 90 წმ P=0,0015მგპა	ვიბრაციის დაწყებისთანავე	31,2	36,5
ვიბროდაყალიბება მიტვირთვით	n=50 ჰც A=0,25 მმ t = 120 წმ P=0,0015მგპა	20 წმ-ის შემდეგ ვიბრაციის დაწყებიდან	35	40
ვიბროდაყალიბება მიტვირთვით	n=50 ჰც A=0,25 მმ t = 120 წმ P=0,0015მგპა	30 წმ-ის შემდეგ ვიბრაციის დაწყებიდან	34,5	39

ოპტიმალურადაა მიხნეული რეჟიმი, რომლის მიხედვით მიიღება სიმტკიცის მაღალი მაჩვენებელი. მოცემულ შემთხვევაში 20 წმ-იანი თავისუფალი ვიბრირებისას კარგად იშლება ბეტონში შემთხვევით წარმოქმნილი სტრუქტურები და თავისუფლად ამოდის მასში არსებული ჰაერი, ხოლო შემდგომი მიტვირთვა ხელს უწყობს დასაყალიბებელი ნარევის ეფექტურ შემკვრივებას, ამასთან უმჯობესდება კონტაქტი შემესებსა და სილიკატლოდის მარცვლებს შორის.

კიდევ უფრო იზრდება და მყარდება ეს კონტაქტები თბური დამუშავების დროს. შერჩეულ იქნა შრობის ოპტიმალურად რაციონალური რეჟიმი: ტემპერატურის აწევა 90–95C<sup>0</sup>-მდე.....1სთ დაყოვნება.....1სთ ტემპერატურის აწევა 200 C<sup>0</sup>-მდე.....1სთ დაყოვნება.....1სთ მიღებული მხურვალმედვე ბეტონის თერმომექანიკური და თბოფიზიკური თვისებების დასადგენად გამოყენებულია სახელმწიფო სტანდარტით რეგლამენტირებული მეთოდები.

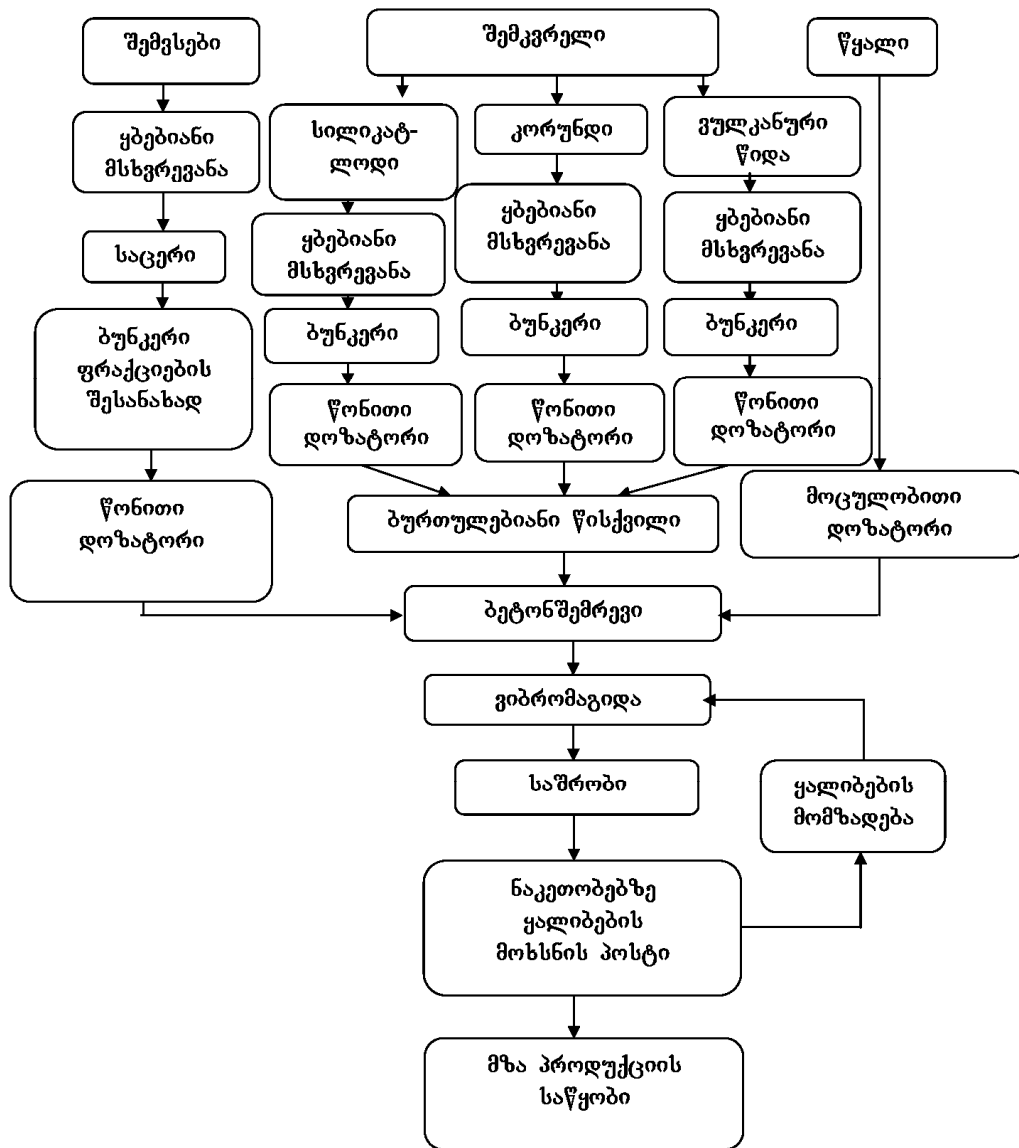
მაღალტემპერატურული მსურველმდეგი ბეტონის ტექნოლოგიური სქემა მარტივია და მოიცავს შემდეგ ოპერაციებს:

1. ნედლეული მასალების მომზადება:

- დამსხვრევა;
- შემკვრელის ყველა კომპონენტის ერთობლივი დაფქვა ხვედრითი ზედაპირის მისაღებად,  $S_{ხვ} = 3000 \text{ სმ}^2/\text{გ}$ ;

- შემგვსების გაცრა ფრაქციების მიხედვით: 5–3 მმ; 1,25–1,0 მმ; 0,315 მმ და ნაკლები;
- 2. ნედლეული მასალების დოზირება წონითი დოზატორით;
- 3. ბეტონის ნარევის მომზადება;
- 4. ბეტონის ნარევის დაყალიბება ვიბრირებით მიტვირთვისას;
- 5. განყალიბებული ნაკეთობების დაბალტემპერატურული თბური დამუშავება  $200 \text{ C}^{\circ}$ -მდე.

საწარმოს ტექნოლოგიური სქემა



## დასკვნა

შერჩეულია მაღალცეცხლგამძლე ბეტონის შედგენილობა. ნედლეულად გამოყენებულია ადგილობრივი სადამოს საბადოს ანდეზიტ-ბაზალტის სახესხვაობის ვულკანური წილა „კარატეპე“, მინის წარმოების ნარჩენი – სილიკატლოდი და ცეცხლგამძლე ადვილდნობადი კორუნდი. დადგენილია დამოკიდებულება შემესების გრანულომეტრიულ შედგენილობასა და ბეტონის ისეთ თვისებებს შორის, როგორცაა სიმკვრივე, სიმტკიცე, თერმომდგრადობა და სხვა. შერჩეულია შემესებების გრანულომეტრიული შედგენილობა – მსხვილი ფრაქცია 3–5 მმ; საშუალო ფრაქცია 1–1,25 მმ; წვრილი ფრაქცია 0,14–0,315 მმ. ბეტონის სიმტკიცე და მაღალი თერმომექანიკური მახვენებლები მიიღწევა, როდესაც ბეტონში 20% შემკვრელია. შემკვრელის რაოდენობის გაზრდით ბეტონში მცირდება როგორც დეფორმაციის საწყისი ტემპერატურა, ისე დეფორმაციის ტემპერატურული ინტერვალი. შემკვრელის რაოდენობის გაზრდით ბეტონში მატულობს ისეთი ნაერთების რაოდენობა, რომელსაც აქვს დაბალი დნობის ტემპე-

რატურა, შესაბამისად იმატებს თხევადი ფაზის რაოდენობა მარცვლების ზედაპირზე, რაც ნაკეთობის რღვევას უწყობს ხელს.

ბეტონის სიმტკიცესა და სიმკვრივეზე გავლენას ახდენს არევის რეჟიმი და დაყალიბების მეთოდი. საუკეთესო მახვენებლები შეესაბამება ბეტონის ნარევის, როდესაც წყალ-შემკვრელის თანაფარდობაა – 0,32, დადგენილია ასევე დაყალიბების პარამეტრები.

შესწავლილია მიღებული ბეტონის ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები: სიმკვრივე, სიმტკიცე კუმშვაზე 200C<sup>0</sup>-ზე გამოსრობის და 1850C<sup>0</sup>-ზე გამოწვის შემდეგ, ცეცხლგამძლეობა, თერმომდგრადობა, თერმული წრფივი გაფართოების კოეფიციენტი და დეფორმაციის საწყისი ტემპერატურა 0,2 მგპა დატვირთვის დროს; ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, კომპოზიციურ შემკვრელზე მიღებულია მხურვალმდევი ბეტონი მაღალტემპერატურული ღუმლების ამონაგისათვის, რომლის გამოყენების ტემპერატურა 1950C<sup>0</sup>-ია. შემუშავებულია ასევე ბეტონის მარტივი ტექნოლოგიური სქემა.

## ლიტერატურა

1. Budnikov P. P. and others. Technology of ceramics and refractory materials. Ganatleba. Tbilisi. 1975. (in Georgian).
2. Bazhenov Yu. M. Technology of concrete. ASV Publ., Moscow. 2011, 528 p. (in Russian).
3. Gorlov Yu. P., Merkin A. P., Zeifmann M. I. and others. Properties and user tests of new types of refractory concretes. Refractories. №4. 1981, 47-48 pp. (in Russian).
4. Gorlov Yu. P., Merkin A. P., Burov V. Yu. and others. Concrete mixture. Stroyizdat publ. №26. 1984, 57 p. (in Russian).
5. Gorlov Yu.P., Merkin A.P., Ziyfman M.I., Toturbiev B.D. Heat resistant concretes based on natural and man-made compositions of glass. Stroyizdat publ. Moscow. 1986, 145 p. (in Russian).
6. Inamura Y. Refractories and their applications. Metallurgy. Moscow. 1984, 290 p. (in Russian).
7. Tarasova A. P. Heat-resistant binding on liquid glass and concrete on their basis. Stroyizdat. Moscow. 1982. (in Russian).
8. Toturbiyev B.D. Building materials based on sodium silicate compositions. Stroyizdat. Moscow. 1988, 208 p. (in Russian).
9. Toturbiyev B. D., Porsukov A. A. Concrete and reinforced concrete. №4. 2006, 13-15 pp. (in Russian).
10. Toturbiyev B. D., Porsukov A. A. Concrete and reinforced concrete. №3. 2006, 12-16 pp. (in Russian).
11. Khlystov A. I., Korenkova S. F., Sheina T. V. Concrete and reinforced concrete. No. 9. 1992, 17-19 pp. (in Russian).
12. Khlystov A. I., Bozhko A. V., Sokolova S. V., Riyazov R. T. Refractories and Technical Ceramics. No. 3. 2004, 26-31 pp. (in Russian).

UDC 691.32

SCOPUS CODE 2205

## HEAT-RESISTANT CONCRETE OBTAINED ON LOCAL RAW MATERIALS FOR HIGH-TEMPERATURE FURNACE

**Kh. Lezhava** Department of Civil and Industrial Engineering and Building Materials, Georgian Technical University, 68b M. Kostava str, 0175 Tbilisi, Georgia  
E-mail: kh.lejava@gtu.ge

**T. Esadze** Department of Civil and Industrial Engineering and Building Materials, Georgian Technical University, 68b M. Kostava str, 0175 Tbilisi, Georgia  
E-mail: e.tamar@mail.ru

### Reviewers:

**Z. Karumidze**, Professor, Department of Civil and Industrial Engineering and Building Materials, Faculty of Civil Engineering, GTU  
E-mail: zkarumidze@yahoo.com

**M. Chanturia**, Associate Professor, Aguli Sokhadze Department of Civil and Industrial Engineering, Faculty of Civil Engineering, GTU  
E-mail: chant62@mail.ru

**ABSTRACT.** Theoretically and experimentally it's proved that the mortar and heat-resistant concrete may be received from finely ground silicate rock, scoria – Karatepe and electromelted corundum. Test results of samples showed an optimal composition of concrete.

For the lining of the high temperature furnace, in which the heat-resistant concrete is received, was used the same material, as it was used for composite binder. It provides the low number of components in concrete, simplifies the technology, decreases the manufacturing area and respectively reduces the price of the received product.

Moreover heating simplifies the physical and chemical processes in concrete and physical-chemical homogeneity of the material is reached in the heating zone, positively influencing on the thermostability of material. It's proved by physical and mechanical properties of received material as well: compression resistance in different temperature intervals, thermal stability, heat resistance, initial temperature of deformation, linear shrinkage, linear coefficient of thermal enlargement and heat conductivity.

Based on above mentioned procedures it is obtained heat-resistant concrete manufacturing scheme for high-temperature furnace.

**KEY WORDS:** Electromelted corundum; heat-resistant concrete; high-temperature; silicate rock.

UDC 691.32

SCOPUS CODE 2205

## ЖАРОСТОЙКИЙ БЕТОН НА ОСНОВЕ МЕСТНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ПЕЧЕЙ

**Лежава Х.Д.** Департамент технологий гражданского и промышленного строительства и строительных материалов, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава, 68<sup>б</sup>  
E-mail: kh.lejava@gtu.ge

**Эсадзе Т.И.** Департамент технологий гражданского и промышленного строительства и строительных материалов, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава, 68<sup>б</sup>  
E-mail: e.tamar@mail.ru

### Рецензенты:

**З. Карумидзе**, профессор Департамента технологий гражданского и промышленного строительства и строительных материалов строительного факультета ГТУ  
E-mail: zkarumidze@yahoo.com

**М. Чантурия**, асоц. профессор Департамента технологий гражданского и промышленного строительства им. Агули Сохадзе строительного факультета ГТУ  
E-mail: chant62@mail.ru

**АННОТАЦИЯ.** Теоретически и экспериментально обоснована возможность получения вяжущего и жаростойкого бетона на основе тонко молотой силикат-глыбы, на вулканическом шлаке - «Каратепе» (местного происхождения) и на электроплавленном корунде. Оптимальный состав бетона определен на основе результатов испытанных образцов. Для жаростойкого бетона, который используют для футеровки в высокотемпературных печах, выбрано то же сырье, что и для вяжущего. Состав бетона получается малокомпонентным, а это упрощает технологию, технику, уменьшает промышленную площадь производства, его технические и экономические показатели и соответственно снижает себестоимость полученного продукта.

Кроме этого, упрощаются физико-химические процессы, протекающие в бетоне при нагреве, и достигается однородность материалов в зоне нагрева, а это, в свою очередь, положительно влияет на термостойкость бетона, что и доказывают такие физико-механические показатели полученного бетона как: прочность при сжатии в разных температурных интервалах, термостойкость, жаростойкость, начальная температура деформации при нагрузке, линейная усадка, коэффициент линейного термического расширения и теплопроводность. Исходя из вышеуказанного, разработана технологическая схема жаростойкого бетона для высокотемпературных печей.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** высокотемпературный; жаростойкий бетон; силикат-глыба; электроплавленый корунд.

UDC 691.32

SCOPUS CODE 2205

**სილიკონატრიუმის კომპოზიციური შემკვრელი მაღალტემპერატურული მხურვალეებში ბეტონისათვის**

- ხ. ლეჟავა** სამოქალაქო და სამრეწველო მშენებლობის ტექნოლოგიებისა და საშენი მასალების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 68<sup>ბ</sup>  
E-mail: kh.lejava@gtu.ge
- თ. ესაძე** სამოქალაქო და სამრეწველო მშენებლობის ტექნოლოგიებისა და საშენი მასალების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 68<sup>ბ</sup>  
E-mail: e.tamar@mail.ru

**რეცენზენტები:**

- მ. ჭანტურია**, სტუ-ის სამშენებლო ფაკულტეტის აგული სოხაძის სახელობის სამოქალაქო და სამრეწველო მშენებლობის დეპარტამენტის ასოც. პროფესორი  
E-mail: Chant62@mail.ru
- ზ. ჯარუმიძე**, სტუ-ის სამშენებლო ფაკულტეტის სამოქალაქო და სამრეწველო მშენებლობის ტექნოლოგიისა და საშენი მასალების დეპარტამენტის პროფესორი  
E-mail: zkarumidze@yahoo.com

**ანოტაცია.** ტექნოლოგიური, ეკონომიკური, სანიტარიულ-ჰიგიენური და დეფიციტურობის პოზიციიდან გამომდინარე, დიდ ინტერესს იჩენენ მხურვალმედვე ბეტონებისადმი, რომლებიც დამზადებულია სილიკონატრიუმის სისტემებზე.

ცეცხლგამძლე მასალებისა და ნაკეთობების გარედან შემოტანა საკმაოდ ძვირი ჯდება, ამიტომ მეტად აქტუალურია ადგილობრივი რესურსებით, ენერგეტიკული დანახარჯების მკვეთრი შემცირებით მოცემული ხარისხის მხურვალმედვე ბეტონის მიღება. მაღალტემპერატურული მხურვალმედვე ბეტონისათვის ცეცხლგამძლე კომპოზიციური შემკვრელის მიღების მიზნით შეიქმნა სილიკონატრიუმის კომპოზიციის შედგენილობა „სილიკატლოდი-გულკანური წიდა (კა-

რატეპე) – ელექტროდნობადი კორუნდი“. ჩატარებული კვლევებით შემკვრელის სიმტკიცეზე შესწავლილ იქნა სხვადასხვა ფაქტორის – დაფქვის სიწმინდის, წყალ-შემკვრელის დამოკიდებულებისა და თბური დამუშავების რეჟიმის გავლენა. შემკვრელი შესწავლილია ქიმიური, მიკროსკოპული და რენტგენოსტრუქტურული ანალიზის მეთოდით. მიღებული შემკვრელის სიმტკიცე, ცეცხლგამძლეობა და სხვა ფიზიკურ-ქიმიური თვისებები საშუალებას იძლევა ამ შემკვრელის საფუძველზე მივიღოთ მაღალტემპერატურული მხურვალმედვე ბეტონი, რომლის გამოყენების ტემპერატურული ინტერვალია 1900C<sup>0</sup>–1950 C<sup>0</sup>.



**საკვანძო სიტყვები:** ელექტროდნობადი კორუნდი; ვულკანური წიდა; მსურვალმედეგი; სილიკატლოდი.

**შესავალი**

ბოლო წლებში მსოფლიოს წამყვანი ქვეყნების სამრეწველო პრაქტიკაში ფართო გამოყენება პოვა სხვადასხვა სახის მსურვალმედეგმა ბეტონებმა. მათ ჩაანაცვლეს ძვირად ღირებული ცეცხლგამძლე მასალები, რომლებიც ინტენსიურად ინერგება მეტალურგიაში, ნავთობგადამამუშავებელ და ნავთობქიმიურ მრეწველობაში. მსურვალმედეგ ბეტონებს იყენებენ პრაქტიკულად ყველა სახის ღუმლების ამონაგისათვის.

სილიკონატრუმთან კომპოზიციურ შემკვრელზე დამზადებული მსურვალმედეგი ბეტონების შემდგომი გაუმჯობესების მიზნით, ვ. კუიბიშევის სახელობის სამეცნიერო კონსტრუქციებისა და მოსკოვის რკინაბეტონის სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტების მონაწილეობით ჩატარებულმა კომპლექსურმა სამეცნიერო სამუშაოებმა საფუძველი დაუდო თხევადი მინის შეცვლის შესაძლებლობის ჰიპოთეზას დისპერსიული სილიკატლოდით. სილიკატლოდი აუმჯობესებს ბეტონის ნარევის ერთგვაროვნებას; გამორიცხავს სილიკატლოდიდან თხევადი მინის მიღების ენერგოტეკვადობერაციას; საშუალებას იძლევა შემცირდეს სადულაბე წყლის რაოდენობა, რაც უზრუნველყოფს სიმტკიცის ზრდას; მცირდება სილიკატლოდის ხარჯი, შესაბამისად იზრდება ბეტონის გამოყენების ტემპერატურა. ბეტონის მშრალი ნარევი მზადდება ცენტრალიზებულად და ტრანსპორტირდება ნებისმიერ მანძილზე, ბეტონი კი მზადდება უშუალოდ მომხმარებელთან.

აქტუალურია, ადგილობრივი რესურსების საფუძველზე, ენერგეტიკული დანახარჯების მკვეთრი შემცირებით, მოცემული ხარისხის მსურ-

ვალმედეგი ბეტონის მიღება, ტექნოლოგიური, ეკონომიკური, სანიტარიულ-ჰიგიენური და დეფიციტურობის პოზიციიდან გამომდინარე.

**ძირითადი ნაწილი**

საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტსა და საშენი მასალების კვლევით ინსტიტუტში ჩატარებული ექსპერიმენტების საფუძველზე მოხდა კომპოზიციური შემკვრელის შედგენილობის ოპტიმიზაცია და განისაზღვრა მის სიმტკიცეზე მოქმედი შემდეგი ფაქტორები: დაფქვის სიწმინდე, წყალ-შემკვრელის დამოკიდებულება და თბური დამუშავების რეჟიმი, რაც უზრუნველყოფს სილიკატლოდის გადნობას, გაუწყლოებას და სისტემის გამყარებას. სილიკატლოდისა და ვულკანური წილისაგან (კარატეპე) დამზადებულმა ნიმუშებმა თერმოდამუშავების შემდეგ აჩვენა მაღალი სიმტკიცე, მაგრამ მაღალ ტემპერატურაზე შეინიშნებოდა მათი გადნობა და ჩაჯდომა, რაც გამოწვეული იყო მასალაში მომატებული ტუტის რაოდენობით, რომელიც ნარევაში შეჰქონდა სილიკატლოდს და ნაწილობრივ ვულკანურ წიდას. ცეცხლგამძლეობის გაზრდის მიზნით საჭირო გახდა კორუნდის დამატება, რომელიც დადებით გავლენას ახდენს მსურვალმედეგი ბეტონის საექსპლუატაციო მაჩვენებლებზე, რაც აღნიშნულია ბევრი ავტორის ნაშრომში. კორუნდი ზრდის სიმტკიცეს, ცეცხლგამძლეობას და ამცირებს ჯდენას. იგი წარმოდგენილია მულიტის კრისტალური ფაზით და კრისტობალიტით. კორუნდის შედგენილობაში არსებული ალუმინსილიკატური მინა ქიმიურად არამდგრად მდგომარეობაშია. იგი ტუტე გარემოში აქტიურდება და მონაწილეობს ძალიან მდგრადი ალუმინსილიკატური ნაერთების წარმოქმნაში, რაც განაპირობებს სისტემის ცეცხლგამძლეობის მატებას. აღსანიშნავია სადამოს საბადოს ვულკანური წილის – კარატეპეს მაღალფორიანობა, რაც, თავის მხრივ, აუმჯობესებს მასალის თბოფიზიკურ თვისებებს, ხოლო კომპონენტები (CaO; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; MgO და სხვა),

რომლებიც შედის წიდაში, მაღალ ტემპერატურებზე სილიკატლოდის აქტიურ კაემიწასთან წარმოქმნის ისეთ ცეცხლგამძლე ნაერთებს, როგორებიცაა:  $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ ;  $CaO \cdot SiO_2$ ;  $MgO \cdot SiO_2$ .

ამიტომ, ცეცხლგამძლე შემკვრელის მისაღებად შეირჩა შემდეგი ნედლეული მასალები: ვულკანური წიდა-კარატეპე (მისი საბადოები ნინოწმინდიდან 21 კმ-ზეა), სილიკატლოდი (მინის წარმოების ნარჩენი), ცეცხლგამძლე დანამატად კი გამოყენებულია ელექტროდნობადი კორუნდი.

მრეწველობა სილიკატლოდს უშვებს 2,6–3,0 სილიკატური მოდულით.

სილიკატლოდის ხსნადობა მნიშვნელოვნად დამოკიდებულია მის სილიკატურ მოდულზე,  $SiO_2 : Na_2O$  პროცენტულ თანაფარდობაზე. სილიკატლოდის დაბალმოდულური სახეები (სილიკატური მოდული არაუმეტეს 2-ისა) ადვილად იხსნება წყალში და წარმოქმნის არამდგრად მწებავ კონტაქტებს. გარდა ამისა, მათში ტუტე კომპონენტის მაღალი შემცველობა განაპირობებს დაბალ ცეცხლმდგრადობას მასალებში, ხოლო სილიკატლოდის მაღალმოდულურ სახეებს (სილიკატური მოდული 3-ზე მეტი) ახასიათებს დაბალი ხსნადობა მაღალი ტემპერატურისა და წნევის პირობებშიც კი.

ამიტომ, სილიკონატრიუმის კომპოზიციური შემკვრელის მისაღებად, აქტიური კომპონენტის სახით, გამოვიყენეთ სილიკატლოდი 2,85 სილიკატური მოდულით.

კომპოზიციური შემკვრელის დამუშავება ეფუძნება შემდეგ გარემოებებს:

- კომპოზიციური შემკვრელის თვისებები ძირითადად ვლინდება მწებავი კონტაქტების წარმოქმნის ხარჯზე სილიკატლოდის ზედაპირული ფენის გახსნისას, რომელთა სიმტკიცე დამოკიდებულია მათი წარმოქმნის პირობებზე;

- კომპოზიციური შემკვრელის ძირითადი თვისებები დამოკიდებულია სილიკატლოდის რაოდენობაზე, ცეცხლგამძლე კომპონენტის სახეზე, დაფქვის სიწმინდესა და „წყალ-შემკვრელის“ თანაფარდობაზე;

- კომპოზიციურ შემკვრელზე მაღალი საექსპლუატაციო თვისებების მქონე მხურვალმდევი ბეტონის მიღება შესაძლებელია იმ შემთხვევაში, როცა სამუშაო ტემპერატურაზე პირველადი გახურებისას მასში წარმართება სისტემის ისეთი გამამარტივებელი პროცესები – ფიზიკურ-ქიმიური მოვლენები, რომლებიც კონტაქტურ ზონებში თან ახლავს ცეცხლგამძლე წარმონაქმნებს მასალის მოცულობის არსებითი ცვლილების გარეშე.

სისტემაში „სილიკატლოდი და წვრილად დაფქული კომპონენტი“ მტკიცე მწებავი კონტაქტების წარმოსაქმნელად დაცული უნდა იქნეს შემდეგი საყოველთაოდ ცნობილი პირობები: წვრილად დაფქული სილიკატლოდის ნაწილაკები თანაბრად უნდა გადანაწილდეს ასევე წვრილად დაფქულ ცეცხლგამძლე კომპონენტში; უნდა მოხდეს სილიკატლოდის ნაწილაკების დასველება მათ ზედაპირებზე თხელი აპკის წარმოსაქმნელად, რათა შეიქმნას პირობები ადჰეზიისათვის; ნარევის შემკვრივების შემდეგ სილიკატლოდის ნაწილაკების შემდგომი გახსნის, მწებავი კონტაქტების გაზრდისა და სისტემის საბოლოო გაუწყლოების მიზნით უნდა მოხდეს მისი თბური დამუშავება.

შემკვრელის ოპტიმალური შედგენლობის განსაზღვრისათვის სხვადასხვა თანაფარდობის ნედლეულით დამზადდა  $5 \times 5 \times 5$  სმ ზომის კუბები. სიმტკიცე კუმშვაზე (R კუმ.) განისაზღვრა  $200C^0$  ტემპერატურაზე გამოშრობის და  $1650C^0$ -ზე გამოწვის შემდეგ. ამასთან განისაზღვრა მათი ცეცხლგამძლეობაც. მიღებული შედეგების საფუძველზე ოპტიმალურია შემდეგი პროცენტული შედგენილობა – სილიკატლოდი: კორუნდი: კარატეპე – 15:25:60;  $200C^0$ -ზე გამოშრობის შემდეგ ნიმუშების სამონტაჟო სიმტკიცე R კუმ. = 40 მგპა, ხოლო  $1650C^0$ -ზე გამოწვის შემდეგ R კუმ. = 43 მგპა; ცეცხლგამძლეობა –  $1850C^0$ , რაც საკმარისია იმისათვის, რომ ამ შემკვრელის საფუძველზე მივიღოთ მაღალტემპერატურული მხურვალმდევი

ბეტონი, რომლის გამოყენების ტემპერატურა 1950C<sup>0</sup> იქნება.

შემკვრელის სიმტკიცეზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს დაფქვის ხარისხი. შემკვრელის კომპონენტებს შორის ურთიერთქმედების ინტენსიურობის ასამაღლებლად საჭიროა გაიზარდოს რეაგირებადი ფაზების საკონტაქტო ზედაპირების ფართობები. ამ პროცესის დასაჩქარებლად საჭიროა მასალების მარცვლების ზედაპირების ზომების შემცირება. ხვედრითი ზედაპირების გაზრდით მატულობს ნიმუშების სიმტკიცე. კვლევისას სიმტკიცის ინტენსიური ზრდა შეინიშნებოდა, როცა მასალების  $S_{\Sigma}=3000$  სმ<sup>2</sup>/გ-ს, შემდგომი დაწვრილმანება უმნიშვნელოდ ზრდიდა სიმტკიცეს, დაფქვის ხანგრძლივობის გაზრდა კი იწვევდა ზედმეტი ელექტროენერჯის ხარჯს, ამიტომ

მარცვლების ხვედრითი ზედაპირი  $S_{\Sigma}=3000$  სმ<sup>2</sup>/გ შეირჩა.

სილიკატლოდის ხსნადობის ინტენსიურობაზე დამოკიდებულია წებვადი კონტაქტების წარმოქმნა, რაზეც მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს „წყალ-შემკვრელის“ დამოკიდებულება. სიმტკიცის მაქსიმუმი მიიღება, როცა ეს თანაფარდობა 0,2 იყო. „წყალ-შემკვრელის“ თანაფარდობის შემცირება იწვევს შემადგენელი კომპონენტების გაუწყლოებას და არასაკმარისი წებვადი კონტაქტების წარმოქმნას.

სილიკატლოდის წყალში ხსნადობაზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ტემპერატურა და წყალთან ურთიერთქმედების დრო, არსებითი მნიშვნელობა აქვს შრობის რეჟიმსაც. 1-ელ ცხრილში მოცემულია თერმოდამუშავების სხვადასხვა რეჟიმის გავლენა ნიმუშების სიმტკიცეზე.

ცხრილი 1

თერმოდამუშავების რეჟიმების გავლენა შემკვრელის ნიმუშების სიმტკიცეზე

N	თერმოდამუშავების რეჟიმი	დრო (სთ)	სიმტკიცე მგაა	კუმშვაზე
1	ტემპერატურის აწევა 90C <sup>0</sup> დაყოვნება ტემპერატურის აწევა 200C <sup>0</sup> დაყოვნება	1სთ 0,5სთ 1სთ 0,5სთ	30	
2	ტემპერატურის აწევა 90C <sup>0</sup> დაყოვნება ტემპერატურის აწევა 200C <sup>0</sup> დაყოვნება	1სთ 1სთ 1სთ 1სთ	34,5	
3	ტემპერატურის აწევა 90C <sup>0</sup> დაყოვნება ტემპერატურის აწევა 200C <sup>0</sup> დაყოვნება	1სთ 1,5სთ 1სთ 2სთ	37,7	
4	ტემპერატურის აწევა 90C <sup>0</sup> დაყოვნება ტემპერატურის აწევა 200C <sup>0</sup> დაყოვნება	1,5სთ 2სთ 1,5სთ 2სთ	40	
5	ტემპერატურის აწევა 90C <sup>0</sup> დაყოვნება ტემპერატურის აწევა 200C <sup>0</sup> დაყოვნება	1,5სთ 2,5სთ 2სთ 2,5სთ	43,5	
6	ტემპერატურის აწევა 90C <sup>0</sup> დაყოვნება ტემპერატურის აწევა 200C <sup>0</sup> დაყოვნება	1,5სთ 3სთ 2სთ 3სთ	43,8	

უნდა აღინიშნოს, რომ 90–95 C°-ზე დაყოვნების ხანგრძლივობის გაზრდა (2,5სთ-ზე მეტი) პრაქტიკულად არ იძლევა სიმტკიცის მატებას, ამიტომ მიღებული შედეგების მიხედვით შეირჩა მე-5 რეჟიმი. 200 C°-მდე ტემპერატურის აწევით და ამ ტემპერატურაზე დაყოვნებით მიიღწევა სილიკატლოდის პრაქტიკულად მთლიანად გაუწყლოება, წებვადი კონტაქტები იღებს კოჰეზიურ სიმტკიცეს და ხდება მთელი სისტემის დამონოლითება.

ნაკეთობის სიმტკიცეზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ნარევის გამკვრივების მეთოდი და დაყალიბების რეჟიმი. მე-2 ცხრილში მოცემულია დაყალიბების მეთოდები და რეჟიმები. მიღებული შედეგების საფუძველზე არჩეულ იქნა მე-3 რეჟიმი.

ცხრილი 2

**დაყალიბების მეთოდები და რეჟიმი**

დაყალიბების მეთოდი	დაყალიბების რეჟიმი	სიმტკიცე კუმულაზე მგპა
ვიბრირება მიტვირთვის გარეშე	f=50ჰც A=0,2-0,25მმ t=60წმ	36
ვიბრირება მიტვირვით	f=50ჰც A=0,2-0,25მმ P=0,0015მგპა t=60წმ	40,5
ვიბრირება მიტვირვით	f=50ჰც A=0,2-0,25მმ P=0,0015მგპა t=120წმ	44

იმისათვის, რომ გაგვერკვია ტემპერატურის ცვლილების პირობებში შემკვრელში მიმდინარე პროცესები, ჩატარდა შემკვრელის ფიზიკურ-ქიმიური კვლევა.

ჩატარებულმა ფიზიკურ-ქიმიურმა კვლევებმა აჩვენა, რომ შემკვრელი არათუ კარგავს პირველსაწყის სიმტკიცეს, როგორც ამას ადგილი აქვს ჰიდრაგლიკურ შემკვრელებში, არამედ, პირიქით, 20–30 %-ით იმატებს.

**დასკვნა**

ჩატარებულმა კვლევებმა აჩვენა, რომ სილიკონატრიუმის კომპოზიტის „სილიკატლოდი – ვულკანური წიდა (კარატეპე)–კორუნდი“ სიმტკიცეზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს შემდეგი ფაქტორები: დაფქვის სიწმინდე, წყალ-შემკვრელის დამოკიდებულება და თბური დამუშავების რეჟიმი, რომელიც, თავის მხრივ, უზრუნველყოფს სილიკატლოდის გადნობას, გაუწყლოებას და სისტემის გამყარებას.

შემკვრელის ფიზიკურ-ქიმიურმა, რენტგენოგრაფიულმა და მიკროსკოპულმა კვლევებმა დაადასტურა, რომ მიღებული შემკვრელის საფუძველზე შესაძლებელია მსურვალმდეგი ბეტონის მიღება მაღალტემპერატურული ღუმლების ამონაგისათვის.

**ლიტერატურა**

1. Budnikov P. P. and others. Technology of ceramics and refractory materials. Ganatleba. Tbilisi. 1975. (in Georgian).
2. Gorlov Yu.P., Merkin A.P., Ziyfman M.I., Toturbiev B.D. Heat resistant concretes based on natural and man-made compositions of glass. Stroyizdat publ. Moscow. 1986, 145 p. (in Russian).
3. Korneev V.I., Danilov V.V. Liquid and water glass. Stroyizdat publ. Moscow. 1996, 25 p. (in Russian).
4. Nekrasov K. D., Tarasova A.P. Heat-resistant concrete. Stroyizdat publ. Moscow. 1964. (in Russian).
5. Tarasova A. P. Concrete and reinforced concrete. №2. 1972, 12-15 pp. (in Russian).
6. Tarasova A. P. Heat-resistant binder liquid glass and concrete on their basis. Stroyizdat publ. Moscow. 1982. (in Russian).
7. Toturbiyev B.D. Building materials based on sodium silicate compositions. Stroyizdat publ. Moscow. 1988, 208 p. (in Russian).
8. Toturbiyev B. D., Porsukov A. A. Concrete and reinforced concrete. №4. 2006, 13-15 pp. (in Russian).

UDC 691.32

SCOPUS CODE 2205

## SODIUM SILICATE COMPOSITION BINDER FOR HIGH TEMPERATURE RESISTANT CONCRETE

**Kh. Lezhava** Department of Civil and Industrial Engineering and Building Materials, Georgian Technical University, 68<sup>b</sup> M. Kostava str, 0175 Tbilisi, Georgia  
E-mail: kh.lejava@gtu.ge

**T. Esadze** Department of Civil and Industrial Engineering and Building Materials, Georgian Technical University, 68<sup>b</sup> M. Kostava str, 0175 Tbilisi, Georgia  
E-mail: e.tamar@mail.ru

### Reviewers:

**M. Chanturia**, Associate Professor, Aguli Sokhadze Department of Civil and Industrial Engineering, Faculty of Civil Engineering, GTU  
E-mail: chant62@mail.ru

**Z. Karumidze**, Professor, Department of Civil and Industrial Engineering and building materials, Faculty of Civil Engineering, GTU  
E-mail: zkarumidze@yahoo.com

**ABSTRACT.** From technological, economic, sanitary and critical point of view the industry indicates much interest about heat-resistant concrete on silicate sodium systems.

Refractory materials and products imported from the outside the country are quite expensive. That's why it becomes so important to get the resistant concrete using the local resources - raw materials with considerable reduction of energy cost. Composite structure of silicate-rock-scoria (Karatepe)-electromelted corundum was selected in order to obtain refractory composite binder for high-temperature heat resistant concrete. The optimization of the binder composition was reached during the experiment, and also was established the following factors influencing on the strength: fineness of grinding, water-binder ratio and influence of thermal treatment mode.

The binder is studied by the chemical, microscopic and X-ray analysis methods. The binder hardness, resistance to fire and other physical and mechanical properties make it available to get a high-temperature heat resistant concrete (the use of temperature interval 1900 C<sup>0</sup> -1950 C<sup>0</sup>) on the basis of this binder.

**KEY WORDS:** Electromelted corundum; heat resistant, scoria; silicate rock.

UDC 691.32

SCOPUS CODE 2205

## СИЛИКАТНАТРИЕВОЕ КОМПОЗИЦИОННОЕ ВЯЖУЩЕЕ ДЛЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ЖАРОСТОЙКОГО БЕТОНА

**Лежава Х.Д.** Департамент технологий гражданского и промышленного строительства и строительных материалов, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава, 68<sup>б</sup>

E-mail: kh.lejava@gtu.ge

**Эсадзе Т.И.** Департамент технологий гражданского и промышленного строительства и строительных материалов, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава, 68<sup>б</sup>

E-mail: e.tamar@mail.ru

### Рецензенты:

**М. Чантурия**, ассоц. профессор Департамента технологий гражданского и промышленного строительства им. Агули Сохадзе строительного факультета ГТУ

E-mail: Chant62@mail.ru

**З. Карумидзе**, профессор Департамента технологий гражданского и промышленного строительства и строительных материалов строительного факультета ГТУ

E-mail: zkarumidze@yahoo.com

**АННОТАЦИЯ.** Исходя из технологических, экономических, санитарно-гигиенических и дефицитных позиций большой интерес проявляют к жаростойким бетонам на силикатнатриевых системах.

Импорт жаростойких материалов и изделий стоит дорого, поэтому очень актуально на основе местных ресурсов, со значительным уменьшением энергетических затрат, получить жаростойкий бетон.

С целью получения огнеупорного композиционного вяжущего для высокотемпературного жаростойкого бетона выбран состав композита: «силикат-глыба-вулканический шлак (Каратепе) – электроплавленный корунд». Проведенными исследованиями изучено воздействие разных факторов на прочность вяжущего. Такими факторами являются: тонкость помола, соотношение вода/вяжущее и воздействие режима тепловой обработки; вяжущее, исследованное химическими, электромикроскопическими и рентгеноструктурными методами анализов. Приготовленные образцы из полученного композита после сушки показали монтажную прочность на 200 С<sup>0</sup> 40 мПа, а после обжига на 1650 С<sup>0</sup> Рсж = 43 мПа; при этом огнеупорность образцов 1850 С<sup>0</sup>, что вполне достаточно для того, чтобы на основе данного вяжущего изготовить высокотемпературный жаростойкий бетон с температурой применения 1950 С<sup>0</sup>.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** вулканический шлак; жаростойкий; силикат-глыба; электроплавленный корунд.

UDC 621.311

SCOPUS CODE 2208

**ნაწილობრივი განმუხტვების მეთოდით ელექტრული მოწყობილობების დიაგნოსტიკის შესახებ**

**შ. ნემსაძე** ელექტროტექნიკისა და ელექტრონიკის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 75  
E-mail: sh-nemsadze@mail.ru

**რეცენზენტები:**

**რ. ჩიხლაძე**, სტუ-ის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის ელექტროენერგეტიკისა და ელექტრომექანიკის დეპარტამენტის ასოცირებული პროფესორი  
E-mail: r.chixladze@gtu.ge

**მ. ცეცხლაძე**, სტუ-ის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის ელექტროენერგეტიკისა და ელექტრომექანიკის დეპარტამენტის ასოცირებული პროფესორი  
E-mail: merabi.tsetskhladze@mail.ru

**ანოტაცია.** განხილულია თანამედროვე ელექტროენერგეტიკული დანადგარების ტექნიკური დიაგნოსტიკის მნიშვნელობა და განვითარების თანამედროვე ტენდენციები. ელექტროენერგეტიკული მოწყობილობები ძვირად ღირებული ხანგრძლივი ექსპლუატაციისათვის განკუთვნილი მაღალი ძაბვის დანადგარებია და მათი საიმედო ექსპლუატაცია უზრუნველყოფს მომხმარებელთა მაღალი ხარისხის ელექტრული ენერგიით საიმედო, უწყვეტ მომარაგებას დაბალი საექსპლუატაციო დანახარჯებით. ენერგეტიკული დანადგარები ხასიათდება მაღალი მუშა ძაბვით და, შესაბამისად, იზოლაციაში მნიშვნელოვანი ელექტრული ველის დაძაბულობით, რაც აგრეთვე განპირობებულია მოწყობილობების ენერგოეფექტურობის, მასალატევადობის და ჩადებული კონსტრუქციული მარაგების შემცირების ტენდენციებით. მოცემულია დანადგარების იზოლაციაში

მიმდინარე ნაწილობრივი ელექტროგანმუხტვების პროცესები და შედგენილია იზოლაციის ელექტრული საანგარიშო მოდელი, რომელიც შეიცავს დიელექტრიკისა და საჰაერო ჩანართის შესაბამის ტევადობებს. გამოყენებულია ჩანართზე რკალის ანთებისა და ქრობის ძაბვის ცნებები და აღნიშნულია, რომ ჩანართის განმუხტვის პროცესს აქვს რხევითი ხასიათი, რომლის პერიოდი დამოკიდებულია ჩანართზე ძაბვის ცვლილების დროზე. ნაჩვენებია მოდელის ძირითადი პარამეტრები, ნაწილობრივი განმუხტვების დამახასიათებელი სიდიდეები, შედგენილია მათი გაზომვის სქემები და მოყვანილია დანადგარებისათვის მოწვევებითი მუხტების შესაძლო ვარიანტების დიაპაზონი, ასევე მოწვევებითი მუხტის გაზომვით ელექტრული დანადგარების დიაგნოსტიკისა და მათი საექსპლუატაციო პარამეტრების პროგნოზირების შესაძლებლობა, რაც ჩაწერილია შესაბამის ცხრილში.

**საკვანძო სიტყვები:** გამზომი გარდამსახი; დიაგნოსტიკა; ელექტროენერგეტიკული დანადგარები; ელექტრული იზოლაცია; მოხვევებითი მუხტის გაზომვა; ნაწილობრივი განმუხტვები; საექსპლუატაციო პარამეტრების პროგნოზირება.

**შესავალი**

ელექტროენერგეტიკული მოწყობილობები – გენერატორები, ტრანსფორმატორები, საჰაერო და საკაბელო ხაზები, რეაქტორები, საკომუტაციო საშუალებები ძვირად ღირებული ხანგრძლივი ექსპლუატაციისათვის განკუთვნილი მაღალი ძაბვის დანადგარებია. მათი გამართული, საიმედო, უაფარიო ექსპლუატაცია მაღალი ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლებით, მნიშვნელოვნად განაპირობებს მომხმარებელთა მაღალი ხარისხის ელექტრული ენერჯით საიმედო უწყვეტ მომარაგებას დაბალი საექსპლუატაციო დანახარჯებით.

გასული საუკუნის შუა პერიოდი ხასიათდებოდა ენერგეტიკული დანადგარების სიმძლავრეთა მკვეთრი ზრდით, მუშა ძაბვის ამადლებით და, შესაბამისად, იზოლაციაში ელექტრული ველის დაძაბულობის ზრდით, რაც ასევე განპირობებული იყო მოწყობილობების ენერგოეფექტურობის, მასალატევალობისა და ჩადებული კონსტრუქციული მარაგების შემცირების ტენდენციებით.

**პრობლემის აქტუალურობა**

ნებისმიერ ელექტრომოწყობილობაში არის ელექტროსაიზოლაციო გარემო, წარმოდგენილი ამა თუ იმ სახის დიელექტრიკით, რომლის ტექნიკური კონდიცია განსაზღვრავს მოწყობილობის საიმედო მუშაობას, დარჩენილ საექსპლუატაციო რესურსს. ექსპლუატაციის პროცესში იზოლაციაზე ხანგრძლივად მოქმედებს მუშა ძაბვა, ასევე მრავალჯერადი გადაძაბვები, დატენიანება, თერმული და მექანიკური მოქმედება ვიბრაციის

ან მექანიკური დარტყმების სახით [1]. მნიშვნელოვნად გართულდა მათი ექსპლუატაცია და საჭირო გახდა მოწყობილობათა ტესტირების, დიაგნოსტიკისა და მონიტორინგის ახალი მეთოდებისა და საშუალებების ანუ დიაგნოსტირების თანამედროვე სისტემების შემუშავება. ტექნიკური დიაგნოსტიკის განვითარების თანამედროვე ეტაპზე გამოიკვეთა შემდეგი ტენდენციები:

- დიაგნოსტირების ობიექტის გამოკვლევა ტრადიციული მეთოდებით, მაგალითად, ელექტროიზოლაციის ობიექტის გამოკვლევა გამორთულ მდგომარეობაში (OFF LINE რეჟიმში);
- ელექტრომაგნიტური, ტემპერატურული, ვიბრაციული და აკუსტიკური პარამეტრების მონიტორინგი, შესაძლო მნიშვნელობათა პროგნოზირება და მიღებული შედეგების კომპლექსური გამოყენება უახლესი საინფორმაციო ტექნოლოგიების ბაზაზე;
- ელექტრომოწყობილობების მდგომარეობის შესახებ ინფორმაციის ახალი მატარებლების მოძიება. ამ თვალსაზრისით დიაგნოსტირებისათვის მნიშვნელოვანია მოწყობილობის საკუთარი ელექტრომაგნიტური გამოსხივების გამოყენება, რომლის სპექტრის რეგისტრაცია და ანალიზი საშუალებას იძლევა გამოკვლეულ იქნეს ობიექტი გამოურთავად (ON LINE რეჟიმში) მუშა ძაბვისა და დატვირთვის პირობებში და შეფასდეს მისი ტექნიკური მდგომარეობა.

ძირითადი კითხვა, რომელზეც პასუხი უნდა გასცეს თანამედროვე სადიაგნოსტიკო სისტემამ – შესაძლებელია თუ არა მოწყობილობის შემდგომი უაფარიო ექსპლუატაცია? ერთ-ერთი ასეთი მეთოდია ელექტროიზოლაციის მდგომარეობის კონტროლი ნაწილობრივი განმუხტვის (ნგ) მახასიათებლებით, რომლებიც წარმოიქმნება იზოლაციის სრულ გარღვევამდე გაცილებით ადრე. ეს მეთოდი საშუალებას იძლევა გამოიმუქვანდეს იზოლაციის დეფექტები მათი წარმოშობის ადრეულ სტადიაზე, მოხდეს დაკვირვება მათ გან-



ვითარებაზე, შეფასდეს იზოლაციის არსებული მდგომარეობა და მოწყობილობის შემდგომი ექსპლუატაციის შესაძლებლობა.

**პრობლემის არსი**

მბრუნავი ელექტრული მანქანები, ტრანსფორმატორები და სხვა ელექტრული დანადგარები კონსტრუქციულად დენგამტარი და საიზოლაციო კომპონენტების ერთობლიობაა. აქ სპილენძის (ალუმინი) სადენები (ვუწოდოთ პირობითად ელექტროდები) განმხოლოებულია ხვიათშორისი, კოჭათშორისი და ფაზათშორისი ელექტრული იზოლაციით ან ფოლადისაგან (ელექტროტექნიკური, კონსტრუქციული) ფაზური იზოლაციით.

ცვლადი დენის ელექტროენერგეტიკულ მოწყობილობათა ტესტირების, დიაგნოსტიკის და მონიტორინგის ერთ-ერთი მეთოდი დამოკიდებულია ელექტრულ იზოლაციაში წარმოშობილი ნგ-ით გამოწვეული მოვლენების ანალიზზე. პირველი ცნობები ნგ-ების შესახებ გაჩნდა გასული საუკუნის 60-იანი წლებში [2,3], რაც ელექტრო-იზოლაციაში ელექტრული ველის დამყარებისას წარმოშობილ მცირერკალურ ელექტრულ განმუხტვებს (ნაპერწკლები) ნიშნავდა. ნგ-ს შეიძლება ადგილი ჰქონდეს ელექტროიზოლაციაში მისი დამზადების ან ექსპლუატაციის პროცესში გაჩენილი აირჩანართების დეფექტებში.

პერიოდული ნგ ყოველთვის არის ცვლადი დენის საშუალო და მაღალი ძაბვის მოწყობილობების მყარ იზოლაციაში (ქაღალდი, პოლიმერები და სხვა), მრავალფენიან მყარ საიზოლაციო სისტემაში არსებული ზედაპირების გასწვრივ, თხევადი იზოლაციის საჰაერო ბუშტუკებში ან აირჩანართებსა და ელექტროდების ირგვლივ არსებულ გარემოში (გვირგვინული განმუხტვა). ნგ-ს ადგილი აქვს ექსპლუატაციის ადრეულ სტადიაზე და ხდება ინტენსიური ექსპლუატაციის შემდგომ პერიოდში, იზოლაციის დაბერების შესაბამისად. ადრეულ სტადიაზე გამოვლენილი

ნგ-ები შეიძლება გამოწვეული იყოს მოწყობილობის არასრულყოფილი კონსტრუქციით, შენახვის, ტრანსპორტირების და დაბალი კვალიფიკაციით შესრულებული მონტაჟის დროს წარმოშობილი დეფექტებით, ელექტრული ან თერმული გადაძაბვებით და სხვა.

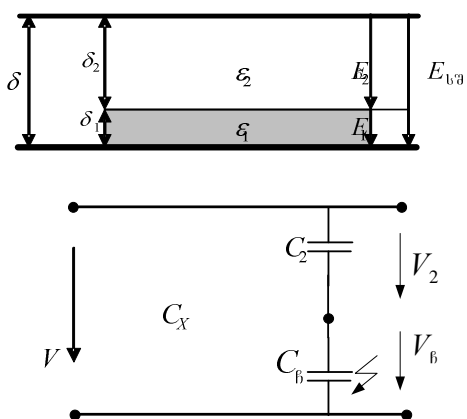
ინიცირების შემდეგ ნგ ვრცელდება ელექტრული იზოლაციის შიგნით თუ ზედაპირზე ძლიერდება და ასუსტებს იზოლაციას, შეიძლება გამოიწვიოს მისი გარღვევა და გადაფარვა მიწაზე ან ფაზებს შორის.

ელექტრული მოწყობილობის იზოლაცია თავისი სტრუქტურით ნაწილობრივ არაერთგვაროვანია და შეიძლება შეიცავდეს სხვა მასალების ჩანართებს, ბზარებს მყარ დიელექტრიკებში, ელექტროგამტარ და აირჩანართებს, გამოწვეულს დამზადების არასრულყოფილი ტექნოლოგიით. მაგალითად, ინდუქციური კოჭების თხევადი საიზოლაციო მასალებით გაუდენთისას და, საერთოდ, საიზოლაციო კონსტრუქციის ჩამოსხმისას ავტოკლავირებაც კი ვერ უზრუნველყოფს საჰაერო ჩანართების (კავერების) წარმოქმნის თავიდან აცილებას. შესაბამისად, არაერთგვაროვანია ელექტრული ველი იზოლაციაში და აქვს განსხვავებული დაძაბულობა ცალკეულ ზონებში. შესაბამისად, ცალკეულ უბნებში ელექტრული ველის დაძაბულობა შეიძლება მეტი აღმოჩნდეს ამ უბნის ელექტრულ სიმტკიცეზე და წარმოიქმნას ლოკალური განმუხტვა მცირე ზომის ელექტრული რკალის სახით. ნგ ასეთი ლოკალური განმუხტვების ერთობლიობაა.

**ძირითადი ნაწილი**

ლითონის ელექტროდებს შორის მოთავსებული საიზოლაციო კონსტრუქცია წარმოვადგინოთ განსხვავებული თვისებების მქონე სხვადასხვა ფენის ერთობლიობად, სიმარტივისათვის ორი საიზოლაციო ფენით – სისქე  $d_1, d_2$  და ელექტრული ველის

დაძაბულობა –  $E_1, E_2$ . აქ მართებულია, რომ  $E_1 \varepsilon_1 = E_2 \varepsilon_2$ , სადაც  $\varepsilon_1, \varepsilon_2$  საიზოლაციო მასალათა ფარდობითი დიელექტრიკული შეღწევალობებია. პირველი ფენა განიხილება როგორც აირჩანართი  $C_f$  ტევალობით. აირჩანართიანი იზოლატორის ეკვივალენტური სქემის მიხედვით (ნახ.1)  $C_f$  ტევალობა მიმდევრობით ჩართულია  $C_2$  ტევალობასთან. ეს უკანასკნელი არის მყარი იზოლაციის იმ ნაწილის ტევალობა, რომელსაც აირჩანართთან საერთო ძაღწირები აქვს.



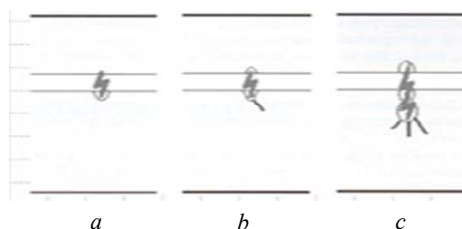
ნახ. 1. ორფენიანი იზოლაციის ელექტრული მოდელი

აირჩანართიანი ტევალობის შემცველი შტოს ეკვივალენტური ტევალობა იქნება:  $\frac{C_2 C_f}{C_2 + C_f}$ . ის ძაბვის გამყოფია, სადაც ძაბვები შემდგენაირად ნაწილდება:

$$V_f = V \frac{C_2}{C_2 + C_f} = Vk, \quad V_2 = V \frac{C_f}{C_2 + C_f}. \quad (1)$$

რადგან იზოლაციის დიელექტრიკული შეღწევალობა გაცილებით მეტია აირის (ჰაერის) დიელექტრიკულ შეღწევალობაზე, ელექტრული ველის დაძაბულობა აირჩანართში მეტია დიელექტრიკის დანარჩენ ნაწილში არსებული ველის დაძაბულობასთან შედარებით. ამის გამო, აირჩანართში წარმოიქმნება ელექტრული ნაპერწკალი, რომელიც იწვევს აირჩანართის შიგა ზე-

დაპირის დანახშირბადიანებას. დროთა განმავლობაში, პროცესის განმეორების გამო (ნახ. 2), აირჩანართის დანახშირბადიანობის ხარისხი მატულობს: a სურათს ენაცვლება b სურათი, შემდეგ c სურათი და ხდება იზოლაციის გარღვევა.



ნახ. 2. იზოლაციის გარღვევის პროცესი

იზოლაციის ბრტყელი კონდენსატორით მოდელირებისას  $C_2$  და  $C_f$  კონდენსატორებისათვის შესაბამისი ფართობები ტოლია ( $S_{C_f} = S_{C_2}$ ) და ჰაერის ფარდობითი დიელექტრიკული შეღწევალობის გათვალისწინებით მივიღებთ:

$$V_f = Vk = \frac{V}{1 + \frac{\delta_2}{\delta_f \varepsilon_2}}, \quad (2)$$

სადაც  $\delta_2$  ჩანართის ზემოთ მყარი დიელექტრიკის სისქეა;  $\delta_f$  – აირჩანართის სისქე.

ამ ფორმულის თანახმად, ელექტრული იზოლაციის რეალური კონსტრუქციისათვის ძაბვა ჩანართზე (0.1 – 0.8)V დიაპაზონში იცვლება.

ქსელის ძაბვა (ელექტროდებზე მოდებული), რომლის დროსაც მოხდება ნაწილობრივი განმუხტვა, იქნება:

$$V = V_{f0} \left[ \frac{\delta_2}{\delta_f \varepsilon_2} + 1 \right]. \quad (3)$$

აირჩანართში განმუხტვისას ძაბვა ვარდება  $V_{f0}$  ძაბვის ქრობის მნიშვნელობამდე. ჩანართში q მუხტის გავლისას გამოსაცდელი ობიექტის შემონაფენებს (ელექტროდებს) შორის ძაბვა იცვლება  $\Delta V_x$  სიდიდით. ნგ-ის (ჩანართის გარღვევის) პროცესის ხანგრძლივობა, უმეტეს შემთხ-

ვევაში, ხანმოკლე პროცესია და (3-10)ნწმ შეადგენს. ნგ-ის პროცესი მაშინ დაიწვება, როდესაც იონიზაციის პროცესში ( $V_{\beta}$ ) დაბვა გადააჭარბებს  $V_{\beta s}$  ანთების დაბვას. ჩანართის გარღვევისას წარმოშობილი იონები მუხტავს ჩანართის ზედაპირს და ქმნის ძირითადი ველის საპირისპირო ველს. ჩანართის ტევადობის განმუხტვის შემდეგ არ წარმოიქმნება მდგრადი განმუხტვისათვის საკმარისი დენი და განმუხტვის პროცესი წყდება (ქრება). ჩანართის ზედაპირზე წარმოშობილი ნახევარგამტარული ფენა ვერ უზრუნველყოფს განმუხტვის მდგრად პროცესს, ჩანართის მცირე ტევადობის გამო. ჩანართის გარღვევისას დაბვა ვარდება არა ნულამდე, არამედ  $V_{\beta j}$  გარკვეულ მნიშვნელობამდე, რომლის დროსაც განმუხტვა ქრება. ქრობის დაბვა 10 – 100 მკმ აირჩანართის დიაპაზონში ნაკლებია შესაბამის გარღვევის დაბვაზე:

$$V_{\beta j} \approx (0.1-0.9)V_{\beta s}. \quad (4)$$

1-ლი ნახაზის მიხედვით, როდესაც  $t=0$  დროის მომენტში აირჩანართზე დაბვა იონიზაციის მნიშვნელობას მიაღწევს  $V_{\beta s}$  რკალის ანთებამდე, საწყისი პირობები შემდეგია:

$$\begin{aligned} V_1(-0) &= V_{\beta}(-0) = V_{\beta s}; \\ V(-0) &= V_1(-0) \frac{C_1 + C_{\beta}}{C_2} = V_{\beta s} \frac{C_1 + C_{\beta}}{C_2}; \\ V_2(-0) &= V_{\beta s} \frac{C_{\beta}}{C_2}. \end{aligned} \quad (5)$$

ჩანართში ნაპერწკლის წარმოქმნისას ( $t=+0$ ), როდესაც დაბვა ვარდება  $V_{\beta j}$  ნაპერწკლის ქრობის მნიშვნელობამდე, დაბვების განაწილება იქნება:

$$\begin{aligned} V_1(+0) &= V_{\beta}(+0) = V_{\beta j}; \\ V(+0) &= V_1(+0) \frac{C_{\beta} + C_2}{C_2} = V_{\beta j} \frac{C_{\beta} + C_2}{C_2}; \\ V_2(+0) &= V_{\beta j} \frac{C_{\beta}}{C_2}. \end{aligned} \quad (6)$$

ნგ-ის წარმოშობის მომენტში შეიძლება ითქვას, რომ დაკვირვების ობიექტის ელექტროდებზე მუხტი პრაქტიკულად არ იცვლება და  $\Delta V_x$  დაბვის ცვლილება ხდება ჩანართის შუნტირებით გამოწვეული განმუხტვის შტოს ეკვივალენტური ტევადობის ზრდის ხარჯზე. ჩანართის შუნტირებისას მისი ტევადობა

$$C_{\beta} = \frac{q}{V_{\beta} \rightarrow 0} \rightarrow \infty \quad (7)$$

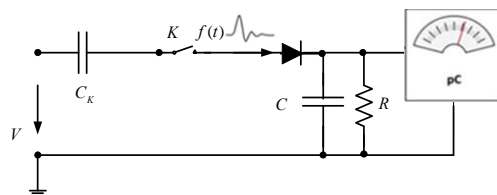
და შტოს ეკვივალენტური ტევადობა იზრდება  $C_2$  მნიშვნელობამდე. მართლაც

$$C_{\beta_2} = \frac{C_2 C_{\beta}}{C_2 + C_{\beta}} \approx \lim_{C_{\beta} \rightarrow \infty} \frac{C_2}{\frac{C_2}{C_{\beta}} + 1} = C_2. \quad (8)$$

უფრო მოხერხებულია ელექტროდებს შორის  $\Delta V_x$  დაბვის ცვლილება წარმოვადგინოთ არა ობიექტის ტევადობის ცვლილებით, არამედ ელექტროდებზე მუხტის ფიქტიური ცვლილებით ე.წ.  $q_{\beta_0} = \Delta V_x C_x$  მოჩვენებითი მუხტის სიდიდით. ამგვარად, მოჩვენებითი ის მუხტია, რომელიც მყისად შეეყვანილი ობიექტის ელექტროდებზე იწვევს დაბვის ისეთივე შემცირებას, როგორსაც რეალური ნაწილობრივი განმუხტვა [3]:

$$q_{\beta_0} = \Delta V_x C_x \approx \Delta V_{\beta} C_2. \quad (9)$$

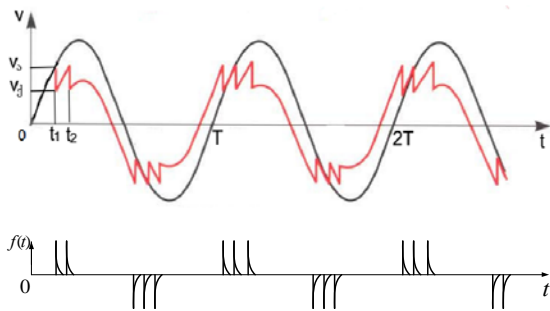
მოჩვენებითი მუხტის გაზომვის პრინციპული სქემა ნაჩვენებია მე-3 ნახ-ზე, სადაც  $V$  გამოსაკვლევ ობიექტზე მოდებული დაბვაა,  $C_K$  – კავშირის კონდენსატორი,  $R, C$  – საზომი არხის პარამეტრები,  $f(t)$  – ნაწილობრივი განმუხტვის იმპულსი,  $pC$  – მუხტის საზომი, პკმ.



ნახ. 3. ელექტრული მუხტის გაზომვის პრინციპული სქემა

ამგვარად, მოჩვენებითი მუხტი  $q_{\text{ფ}}$ , ჩანართში ანთებისა და ქრობის დაბევი  $V_{\text{ფ}}$  და  $V_{\text{ქ}}$  ნგ-ის რაოდენობა, დენის საშუალო მნიშვნელობა, აგრეთვე ელექტროდებზე დაბვის ცვლილება  $\Delta V_x$  ნგ-ის პროცესის დამახასიათებელი ძირითადი ელექტრული სიდიდეებია. მათ შორის  $q_{\text{ფ}}$  და  $\Delta V_x$  იზომება [4], თუმცა საკმაოდ რთულია. როდესაც  $C_x = 1000$  პფ, მოჩვენებითი მუხტი შეიძლება იყოს  $q_{\text{ფ}} = 1$  პკ, გასაზომი დაბვა  $\Delta V_x = 1$  მვ, მაშინ ელექტროდებზე მოდებული დაბვა შეიძლება იყოს ათეული და ასეული კვოლტი.

როდესაც ობიექტის ელექტრული იზოლაცია ელექტრულ ველშია სინუსოიდურად ცვალებადი დაბაულობით, ნგ-მდე ჩანართში ნაპერწკლის განენამდე დაბვაც სინუსოიდურია და, დაბვის გამყოფის ფორმულის (1) თანახმად, მისი ამპლიტუდა  $V_{\text{fm}} = V_m k$ .



ნახ. 4. გამოსაცდელ ობიექტზე და ჩანართში მოქმედი დაბვების გრაფიკები

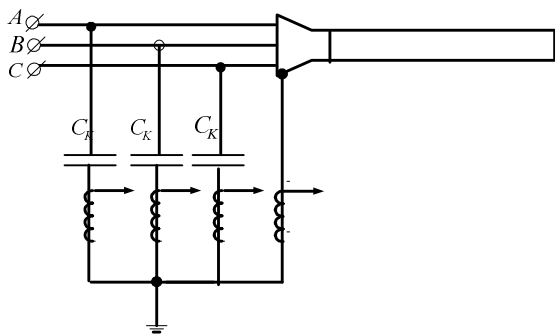
გამოსაცდელ ობიექტზე დაბვის პირველი ნახევარპერიოდის ზემოქმედებისას (ნახ. 4), ჩანართში  $t_1$  დროის მომენტში იწყება განმუხტვა, როდესაც დაბვა მიაღწევს  $V_s = V_{\text{ფ}}$  მნიშვნელობას. გარღვევისას დაბვა ვარდება  $V_{\text{ქ}} = V_{\text{ქ}}$  მნიშვნელობამდე, რომლის დროსაც განმუხტვა ქრება. რკალის ანთება-ქრობის პროცესი აღიწერება  $f(t)$  მადალსისშირული ფუნქციით, რომელსაც პრაქტიკულად დელტა ფუნქციის სახე აქვს. შემ-

დეგ ჩანართში დაბვა კვლავ იზრდება ობიექტზე მოდებული დაბვის მრუდის შესაბამისად, რომელიც წანაცვლებულია პორიზონტალურად. ანთების დაბვის მნიშვნელობის ხელახლა მიღწევისას პროცესი მეორდება, ე.ი. ჩანართში განმუხტვებს აქვს რხევითი ხასიათი, რომელთა პერიოდი (როგორც ყველა არაწრფივი რხევითი სისტემისათვის) დამოკიდებულია  $V_{\text{ფ}} = V_{\text{ფ}} - V_{\text{ქ}}$  დაბვის ცვლილების საჭირო დროზე. ობიექტზე მოდებული სინუსოიდური დაბვის მაქსიმუმზე გავლის შემდეგ ობიექტზე დაბვის ცვლილების სინქარე უარყოფითია ( $dv/dt < 0$ ), რის გამოც იცვლება ჩანართის განმუხტვის დენის მიმართულება (ნახ.

4.  $f(t)$  ფუნქციის გრაფიკები განლაგებულია აბსცისათა დერძის ქვემოთ). როდესაც ჩანართში დაბვა მიაღწევს  $V_s$  მნიშვნელობას, იწყება ობიექტზე მოდებული დაბვის უარყოფითი ნახევარტალის შესაბამისი ანთება-ქრობის პროცესი. უნდა აღინიშნოს, რომ ჩანართში რკალის ანთება-ქრობის დაბვების სიდიდე არ არის დამოკიდებული ობიექტის ელექტროდებზე მოდებული დაბვის პოლარობაზე, ანთება-ქრობის სისშირე კი დამოკიდებულია ობიექტზე მოდებული დაბვის ცვლილების სინქარეზე, კერძოდ  $dv/dt$  შემცირებასთან ერთად ანთება-ქრობის რხევების სისშირე მცირდება.

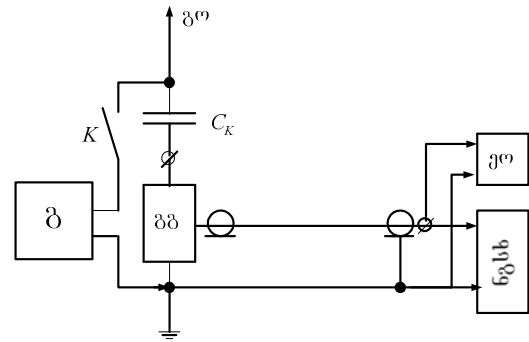
ნაწილობრივი განმუხტვების დროს ადგილი აქვს: იმპულსური დენის გატარებას, იზოლაციის ლოკალურ გახურებას, დიელექტრიკის მოლეკულურ ჯგუფებად დაშლას, გარემოში ელექტრომაგნიტურ, აკუსტიკურ და სხივურ გამოსხივებას, დარტყმითი ტალღების წარმოშობას, ამ გამოვლინებათა აღმოჩენას. გაზომვასა და ანალიზზეა აგებული ელექტრულ მოწყობილობათა ტექნიკური დიაგნოსტიკის მეთოდები და საშუალებები, მათ შორისაა: ელექტრული, აკუსტიკური, ქიმიური, ოპტიკური, თერმული და სხვა.

საზომი გარდამსახი შეიძლება იყოს აკუსტიკური სენსორი, რეზისტორი ან მაღალსიხშირული ტრანსფორმატორი. მაგ., მე-5 ნახ-ზე ნაჩვენებია სამფაზა ძალური კაბელის იზოლაციაში ნგ-ის გაზომვის პრინციპული სქემა, სადაც კაბელის ცალკეული ფაზებისა და ნეიტრალის სიგნალები ვლინდება ოთხი რადიოსიხშირული დენის ტრანსფორმატორით. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ნეიტრალის წრედში გამავალი იმპულსური დენის საზომი ტრანსფორმატორის სიგნალი, რომელსაც გარდამავალი დამიწების ძაბვას უწოდებენ. ეს პარამეტრი იმდენად მნიშვნელოვანია, რომ მის გასაზომად ფირმა ea technology-მა შექმნა ხელსაწყო TEV, რომელიც საზღვარგარეთ გამოიყენება მაღალი ძაბვის დანადგარების დიაგნოსტიკაში.



ნახ. 5. სამფაზა ძალურ კაბელში ნგ-ის გაზომვის სქემა

ნგ-ის საზომი კომპლექსი (ნახ.6) უნდა შეიცავდეს მაგრადუირებელ გენერატორს (გ), რომელიც საზომი გარდამსახის (სგ) შესავალზე უზრუნველყოფს განსაზღვრული სიდიდის სიგნალის მიწოდებას საზომ არხში გატარებით და შემდეგ საზომი სისტემით (ნგსს) გაზომვით ან ელექტრონულ ოსცილოგრაფზე (ეო) დაკვირვებით განისაზღვრება საზომი არხის სიგნალის გადასაანგარიშებელი კოეფიციენტი.



ნახ. 6. ნგ-ის საზომი კომპლექსის სქემა

მაღალი ძაბვის მოწყობილობათა დიაგნოსტიკისათვის გამოიყენება დისპეტჩერული კონტროლისა და მონაცემთა მოპოვების სისტემა (SCADA), რომელიც მოიცავს აღნიშნული მოწყობილობების მართვას და ნგ-ის შესახებ ინფორმაციის დაგროვებას.

ლიტერატურაში [5] აღწერილია ნგ-ის გაზომვით პრაქტიკული ამოცანების გადაწყვეტის მრავალი შემთხვევა. მაგალითად, ექსპლუატაციის პირობებში ზეთიანი ძალური და საზომი ტრანსფორმატორების, რეაქტორების, კონდენსატორებისა და მაღალი ძაბვის შემყვანებისათვის ნგ-ის სახიფათო დონეთა სახესხვაობა დადგენილია ზოგიერთი იზოლაციისათვის (ცხრილი 1). მათ საფუძველზე ხდება დანადგარის დიაგნოსტიკა – ექსპლუატაციიდან გამოყვანა ან ექსპლუატაცია ავარიის დასაშვები ან მაღალი რისკით.

ცხრილი 1

**მოჩვენებითი მუხტის მაქსიმალური მნიშვნელობა**

ნგ-ის სახიფათო დონე	ქალაქდღეითიანი იზოლაციისათვის პკ	ზეთიანი იზოლაციისათვის, პკ
დასაშვები	100	300
მაღალი	1000	3000
კრიტიკული	10000	30000

ცნობილია აგრეთვე ინფორმაცია ძალური სურსი. ნგ გაიზომა 6, 10, 20 და 35 კვ კაბელე-კაბელების ნგ-ის მეთოდით დიაგნოსტირების შე- ბისათვის სხვადასხვა იზოლაციით: გაუღენთილი სახებ. შედეგები მოცემულია მე-2 ცხრილში [6] ქალაქი, შეკერილი პოლიეთილენი, პოლივი- და განსაზღვრულია კაბელების დარჩენილი რე- ნილქლორიდი.

ცხრილი 2

დიაგნოსტირებული კაბელების ნარჩი რესურსები

კაბელის დასახელება	სადიაგნოსტიკო პარამეტრი	ექსპლუატაცია 5 წ	ექსპლუატაცია 1 წ	რემონტი	ექსპლუატაციას არ ექვემდებარება
6 კვ კაბელი, გაუღენთილი ქალაქით	მონვენებითი მუხტი, პკ ნგ-ის რიცხვი, წმ-1 ანთების ძაბვა, კვ	1200	1200-7500	7500-15000	>15000
		0.25	0.25-0.5	0.5-1.5	>1.5
		8.2	5.9-8.2	3.2-5.9	<3.2
10 კვ კაბელი, გაუღენთილი ქალაქით	მონვენებითი მუხტი, პკ ნგ-ის რიცხვი, წმ-1 ანთების ძაბვა, კვ	1200	1200-7500	7500-15000	>15000
		0.25	0.25-0.5	0.5-1.5	>1.5
		12.5	8.5-12.5	4.5-8.5	<4.5
20 კვ კაბელი, გაუღენთილი ქალაქით	მონვენებითი მუხტი, პკ ნგ-ის რიცხვი, წმ-1 ანთების ძაბვა, კვ	1200	1200-7500	7500-15000	>15000
		0.25	0.25-0.5	0.5-1.5	>1.5
		28	17-28	10-17	<10
35 კვ კაბელი, გაუღენთილი ქალაქით	მონვენებითი მუხტი, პკ ნგ-ის რიცხვი, წმ-1 ანთების ძაბვა, კვ	1200	1200-7500	7500-15000	>15000
		0.25	0.25-0.5	0.5-1.5	>1.5
		49	29-49	15-29	<16
10 კვ კაბელი, შეკერილი პოლიეთილენით	მონვენებითი მუხტი, პკ ნგ-ის რიცხვი, წმ-1 ანთების ძაბვა, კვ	1200	1200-5000	5000-10500	>10500
		0066	0066-0.23	0.23-0.7	>0.7
		14	8-14	5-8	<5
20 კვ კაბელი, შეკერილი პოლიეთილენით	მონვენებითი მუხტი, პკ ნგ-ის რიცხვი, წმ-1 ანთების ძაბვა, კვ	1200	1200-5000	5000-10500	>10500
		0066	0.066-0.23	0.23-0.7	>0.7
		28	16-18	10-16	<10

35 კვ კაბელი, შეკერილი პოლიეთილენით	მონვენებითი	1200	1200-5000	5000-	>10500
	მუხტი, პკ	0066	0.066-0.23	10500	>0.7
	ნგ-ის რიცხვი, წმ-1 ანთების ძაბვა, კვ	50	28-49	0.23-0.7 20-28	<20
6 კვ კაბელი, პოლივინილქლორიდით	მონვენებითი	1200	1200-5000	5000-	>10500
	მუხტი, პკ	0066	0.066-0.23	10500	>0.7
	ნგ-ის რიცხვი, წმ-1 ანთების ძაბვა, კვ	8.5	5-8.5	0.23-0.7 3.5-5	<3.5

როგორც მე-2 ცხრილის მონაცემებიდან ჩანს, ნგ-ის გაზომვით შესაძლებელია ძალური სამფაზა კაბელების საექსპლუატაციო რესურსების პროგნოზირება და ელექტრომომარაგების ხარისხის მნიშვნელოვანი ამაღლება.

**დასკვნა**

ელექტრული მოწყობილობების იზოლაციაში წარმოშობილი ნგ-ის ფიზიკური პროცესების მათემატიკური აღწერა, მათი ანალიზი და ინტერპრეტაცია საიმედო საფუძველია ნგ-ის პარამეტრების გაზომვის მეთოდოლოგიის შემუშავებისათვის. ამ პარამეტრებს შორის უმნიშვნელოვანესი ინფორმაციატევადი პარამეტრია მონვენე-

ბითი მუხტი, რომლის გასაზომად ეფექტურია რადიოსიხშირული დენის ტრანსფორმატორებისა და რეზისტორული საზომი გარდამსახის გამოყენება. ელექტრული დანადგარის პარამეტრების მიხედვით განისაზღვრება მონვენებითი მუხტის შესაძლო სიდიდეთა 0.1 – 30 ნანოკ დიაპაზონი.

ნგ-ის გაზომვა ეფექტური ON LINE ტესტირების მეთოდია, რომელიც ექსპლუატაციის პროცესში უზრუნველყოფს მაღალი ძაბვის დანადგარების უწყვეტ მონიტორინგს და დიაგნოსტიკას, მათი საექსპლუატაციო პარამეტრების საიმედო პროგნოზირებას და, შესაბამისად, მიწოდებული ენერჯის მაღალ ხარისხს.

**ლიტერატურა**

1. Chikhladze R. Electrical test of isolation. Publishing house “Technikuri universiteti”. Tbilisi. 2010. (in Georgian).
2. Svi P. M. Diagnostics of insulation of high voltage equipment. Energoatomizdat. 2-nd edition. 1988. (In Russian).
3. Kuchinskiy G. S. Partial discharges in high voltage constructions. Energiya. Leningrad. 1979. (In Russian).
4. Vdoviko V. P. Partial discharges in diagnostics of high-voltage equipment. Nauka. Novosibirsk. 2007. (in Russian).
5. IEC INTERNATIONAL 60270 STANDARD. High-voltage test technique. Partial discharge measurements, 3-rd edition. 2000-12. (in English).
6. Sidelnikov L. G., Sannikov L. G. Methodical basics and standards of technical diagnostics of power cable lines isolation by method of partial discharges. Proceedings of scientific-technical conference “Actual problems of resources and energy-efficiency technology”. Yekaterinburg. 2006. (in Russian).

UDC 621.311

SCOPUS CODE 2208

## ABOUT DIAGNOSTICS OF ELECTRICAL EQUIPMENT BY METHOD OF PARTIAL DISCHARGE

**Sh. Nemsadze** Department of Electrical Engineering and Electronics, Georgian Technical University, 75 M. Kostava str, 0175 Tbilisi, Georgia  
E-mail: sh-nemsadze@mail.ru

### Reviewers:

**R. Chikhladze**, Associate Professor, Department of Electrical Power Engineering and Electromechanics, Faculty of Power Engineering and Telecommunication, GTU  
E-mail: r.chikhladze@gtu.ge

**M. Tsetskhladze**, Associate Professor, Department of Electrical Engineering and Electronics, Faculty of Power Engineering and Telecommunication, GTU  
E-mail: merabi.tsetskhladze@mail.ru

**ABSTRACT.** It is noted the importance and modern trends in the development of electrical power installations represented by the expensive high-voltage equipment of long-term usage. Their reliable operation will continuously provide consumers with high-quality electric energy supply with low operating costs. Electrical power installations are characterized by high operating voltage and considerable electric field intensity in isolation resulted from the tendency of reduction of materials intensity and structural reserves as well as increased energy efficiency of the equipment. The paper considers the processes of partial discharge in isolation of installations and represents developed electrical analog of isolation with corresponding dielectric capacity and trapped air. Concepts of striking voltage and discharge of spark ignition in trapped air are discussed and it's noted that partial discharge process in trapped air has oscillatory nature with the period depending on the duration of voltage change on inclusion. Key parameters of the model and characteristic values of partial discharges are specified, schemes of their measurement are made and the range of possible variations of apparent charge of installation are given. The paper considers the possibility for diagnostics and prognosis of operating parameters of electrical power installations based on relevant tables with experimental data.

**KEY WORDS:** Diagnostics; electrical isolation; electrical power installation; measuring of apparent charge; measuring transducer; partial discharges; prognosis of operating parameters.



UDC 621.311

SCOPUS CODE 2208

## О ДИАГНОСТИКЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ МЕТОДОМ ЧАСТИЧНОГО РАЗРЯДА

**Немсадзе Ш.А.** Департамент электротехники и электроники, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава, 75  
E-mail: sh-nemsadze@mail.ru

### Рецензенты:

**Р.А. Чихладзе**, ассоциированный профессор Департамента электроэнергетики и электромеханики факультета энергетики и телекоммуникации, ГТУ  
E-mail: r.chikhladze@gtu.ge

**М. Цецхладзе**, ассоциированный профессор Департамента электротехники и электроники факультета энергетики и телекоммуникации ГТУ  
E-mail: merab.tsetskhladze@mail.ru

**АННОТАЦИЯ.** Отмечены значимость и современные тенденции развития технической диагностики современных электроэнергетических установок, которые представляют собой дорогостоящее оборудование высокого напряжения, предназначенное для длительной эксплуатации, и их надежная эксплуатация обеспечит надежное, бесперебойное снабжение потребителей высококачественной электрической энергией с низкими эксплуатационными расходами. Энергетические установки характеризуются высоким рабочим напряжением и, следовательно, значительной напряженностью электрического поля в изоляции, что является результатом тенденции снижения материалоемкости и конструктивных запасов, а также повышения энергоэффективности оборудования. Рассмотрены процессы частичного разряда, протекающие в изоляции установок, и составлена электрическая модель изоляции, которая содержит емкость соответствующего диэлектрика и воздушного включения. Используются понятия напряжения зажигания и гашения искры в воздушном включении и отмечено, что в воздушном включении частичный разряд имеет колебательный характер, период которого зависит от длительности изменения напряжения на включении. Указаны основные параметры модели, характеристические величины частичных разрядов, составлены схемы их измерения и приведен диапазон возможного варьирования кажущихся зарядов установок. Показана возможность диагностирования и прогнозирования эксплуатационных параметров электрических установок, что иллюстрировано с помощью соответствующей таблицы, в которой приведены экспериментальные данные.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** диагностика; измерение кажущегося заряда; измерительный преобразователь; прогнозирование эксплуатационных параметров; частичные разряды; электрическая изоляция; электроэнергетические установки.

UDC 669.1

SCOPUS CODE 2209

**სპეცდანიშნულების საკონსტრუქციო ფოლადების მაღალი სიხშირის ინდუქციურ ღუმელში გამოდნობის ტექნოლოგიის დამუშავება და მიღებული ნამუშაუბის კომპლექსური შესწავლა**

- ლ. ანთაშვილი** ფერდინანდ თავაძის მეტალურგიისა და მასალათმცოდნეობის ინსტიტუტი, საქართველო, 0186, თბილისი, ელიზბარ მინდელის 10  
E-mail: antashvili.lev@gtu.ge
- მ. ოქროსაშვილი** მეტალურგიის, მასალათმცოდნეობისა და ლითონების დამუშავების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, კოსტავას 69  
E-mail: mokrosashvili@yahoo.com
- გ. თავაძე** ფერდინანდ თავაძის მეტალურგიისა და მასალათმცოდნეობის ინსტიტუტი, საქართველო, 0186, თბილისი, ელიზბარ მინდელის 10  
E-mail: tavadzeg@gmail.com

**რეცენზენტები:**

- ბ. გოგიჩაიშვილი**, სტუ-ის ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის მეტალურგიის, მასალათმცოდნეობისა და ლითონების დამუშავების დეპარტამენტის ასოც. პროფესორი  
E-mail: gogichaishvili@mail.ru
- ა. გაბისიანი**, ფერდინანდ თავაძის მეტალურგიისა და მასალათმცოდნეობის ინსტიტუტის მთავარი სპეციალისტი, პროფესორი  
E-mail: agabisiani@gmail.com

**ანოტაცია.** აღწერილია მაღალი სიხშირის ინდუქციურ ღუმელში ფოლადის დნობის ტექნოლოგიის ერთ-ერთი უარყოფითი მხარის (ცივი და ნაკლებად აქტიური წიდა) გაუმჯობესების მიზნით ჩატარებული ექსპერიმენტები და შედეგები. მიღებულ იქნა გოგირდისა და ფოსფორის არაუმეტეს 0.01–0.015% შემცველობის სპეცდანიშნულების ფოლადები. ფოლადში გოგირდისა და ფოსფორის რაოდენობის მაქსიმალურად შესამცირებლად გამოყენებულია სინთეზური წიდა, რომელიც ზემოდან ხურდება ფოლადსა და აბაზანაზე დაფარებული თევზისებრი გრაფიტის სარქველით, თავად სარქველი კი – აბაზანაში არსებული მაღალი სიხშირის ცვლადი ელექტრომაგნიტური ველის მოქმედებით. სტატია ასევე მოიცავს მიღებული ფოლადების მეტალოგრაფიული კვლევის შედეგებს ლითონთა თერმული დამუშავების შემდეგ.

დან ხურდება ფოლადსა და აბაზანაზე დაფარებული თევზისებრი გრაფიტის სარქველით, თავად სარქველი კი – აბაზანაში არსებული მაღალი სიხშირის ცვლადი ელექტრომაგნიტური ველის მოქმედებით. სტატია ასევე მოიცავს მიღებული ფოლადების მეტალოგრაფიული კვლევის შედეგებს ლითონთა თერმული დამუშავების შემდეგ.

**საკვანძო სიტყვები:** დნობის ტექნოლოგია; ინდუქციური ღუმელი; სინთეზური წიდა; სპეცდანიშნულების ფოლადები.

**შესავალი**

სპეცდანიშნულების, მაღალი სისუფთავის ფოლადების გამოსადნობად გამოიყენება თანამედროვე, მაღალი წარმადობის ელექტრორკალური ღუმელები მათზე მიბმული ციციხე-ღუმლით, სადაც ხდება თხევადი ფოლადის შემდგომი რაფინირება და სათანადო ქიმიურ შედგენილობამდე დაყვანა.

ცნობილია, რომ ინდუქციურ ღუმელში თხევადი ფოლადი ინტენსიურ ცირკულაციას განიცდის, რაც უდავოდ დადებითად მოქმედებს რაფინირების პროცესზე, თუმცა უარყოფით მხარედ ითვლება ის გარემოება, რომ წიდა ხურდება მხოლოდ ლითონიდან გამოყოფილი სითბური ენერჯის ხარჯზე, რის გამოც მიიღება საკმაოდ დაბალი აქტიურობისა და დაბალი მარაფინირებელი თვისების მქონე წიდა. რაფინირების პროცესს ასევე ართულებს ღუმლის მჟავე ამონაგიც, რადგან რთულდება წილის ფუძიანობის შენარჩუნება.

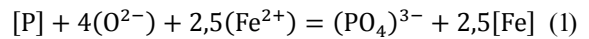
ძალიან ეფექტურია დეფოსფორაციის პროცესი ფუძემონაგიან ტიგელში სინთეზური წილის გამოყენებით [1, 2].

ინდუქციურ ღუმელში ფოლადის დნობის ერთ-ერთი უარყოფითი მხარეა ცივი და ნაკლებად აქტიური წიდა. პრაქტიკაში ამ მოვლენის თავიდან ასაცილებლად იყენებენ გრაფიტისაგან დამზადებულ თევშისებრ სარქველს, რომელიც აბაზანაში არსებული ცვლადი ელექტრომაგნიტური ველის გავლენით ხურდება და ხელს უწყობს წილის გადნობას და რაფინირების პროცესის დაჩქარებას [3].

დნობის ასეთი ტექნოლოგია შესაძლებლობას იძლევა მოვასდინოთ ლითონის როგორც დეფოსფორაცია, ისე დესულფურაცია. აღსანიშნავია, რომ ორივე პროცესი ელექტროქიმიურია და მიმდინარეობს ლითონისა და წილის გამყოფ ზედაპირზე. განსხვავება იმაშია, რომ ფოსფორის მოსაშორებლად საჭიროა დაბალი ტემპე-

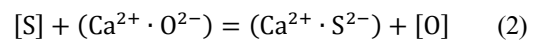
რატურა და რკინის ჟანგეულებით გაჯერებული წიდა, ხოლო გოგირდის მოსაშორებლად – პირიქით, მაღალი ტემპერატურა და წიდაში თავისუფალი CaO-ს არსებობა. აღსანიშნავია, რომ CaO ხელს უწყობს როგორც დეფოსფორაციის, ისე დესულფურაციის პროცესს [4].

ფოლადის დნობის პირველ ეტაპზე თხევადი ლითონის ზედაპირზე წარმოქმნილ წიდაში რკინის ჟანგეულების რაოდენობა დიდია, რაც განაპირობებს ჟანგბადის თავისუფალი ანიონების არსებობას და ფოსფორისათვის ლითონსა და წიდას შორის ელექტროქიმიურ რეაქციას:



წიდაში არსებული თავისუფალი CaO ფოსფორის ანიონებთან ქმნის მყარ კავშირს და ამით ხელს უწყობს დეფოსფორაციის პროცესს.

გოგირდის გადასვლა ლითონიდან წიდაში ასევე შეიძლება წარმოდგენილ იქნეს ელექტროქიმიური გაცვლითი რეაქციით:



ეს რეაქცია სასურველი მიმართულებით რომ წარიმართოს (გოგირდი ლითონიდან წიდაში მაქსიმალური რაოდენობით რომ გადავიდეს) აუცილებელია ფოლადში გახსნილი გოგირდის აქტიურობა იყოს მაღალი, წიდაში – დაბალი; ჟანგბადის აქტიურობა – ლითონში დაბალი, წიდაში – მაღალი. აქედან გამომდინარე, ლითონსა და წიდას შორის გოგირდის გადანაწილების წონასწორული კოეფიციენტი (L) დამოკიდებულია როგორც ლითონის, ისე წილის ქიმიურ შედგენილობაზე. დადგენილია, რომ ლითონში გახსნილი C, Si და Al ზრდის გოგირდის აქტიურობას ლითონში და აუმჯობესებს დესულფურაციის პირობებს; Mn, Ca, Mg, Cs, პირიქით, ამცირებს ლითონში გოგირდის აქტიურობას და ხელს უშლის გოგირდის დიფუზურ გადაადგილებას ლითონიდან წიდაში.

წილის დესულფურაციის უნარზე გავლენას ახდენს აგრეთვე წილის სიბლანტე, ზედაპირული

და ფაზათშორისი დაჭიმულობა. რაც უფრო ნაკლებია წილის სიბლანტე და ფაზათშორისი დაჭიმულობა ლითონსა და წიდას შორის, მით უფრო კარგად მიდის დესულფურაციის პროცესი და ლითონის გაწმენდა არალითონური ჩანართებისგან [2].

მხურვალემდეგი და მაღალი სიმტკიცის საკონსტრუქციო ფოლადის მისაღებად, გარდა სისუფთავისა, ასევე აუცილებელია მისი ლეგირება და მიღებული ნამზადების თერმული დამუშავება. არაერთი სამუშაოა ჩატარებული ლეგირების გზით ფოლადის მაქსიმალურად წვრილმარცვლოვანი სტრუქტურის მისაღებად. ამ მიზნით მეტად ეფექტურია მოლიბდენისა და ნიკელის გამოყენება. ამასთან დადგენილია, რომ მოლიბდენი ნიკელთან ერთად გაცილებით უფრო ეფექტურ გავლენას ახდენს წვრილდისპერსიული მარტენსიტის ფორმირებაზე, ვიდრე ნიკელის გარეშე [5]. გარდა ამისა, მოლიბდენი აუმჯობესებს წერტილოვან კოროზიამდეგობას ფერიტულ უჟანგავ ფოლადში, იმის მიუხედავად, რომ მოლიბდენის შემცველობა შესაძლოა 0,8 %-ს არ აღემატებოდეს [6].

სამუშაოს მიზანა სტანდარტული ფოლად 50-ის ბაზაზე ახალი შედგენილობის ფოლადის გამოღობა ალუმინით, ბორით, მოლიბდენით, ნიკელით და სხვა შესაძლო ელემენტების მიკროლეგირების გზით და დნობების ჩატარება მაღალი სისწორის ინდუქციურ ღუმელში. ჩვენ ჩავატარეთ ოთხი საცდელი დნობა.

ოთხივე საპილოტე ფოლადი განსხვავდება ფოლად 50-ის სტანდარტული ქიმიური შედგენილობისგან ალუმინის დანამატით, რომელიც გამოვიყენეთ როგორც მალეგირებელი ელემენტი. მისი შემცველობა ოთხივე ფოლადში იცვლება 0,03–0,05 %-ის ფარგლებში. ფოლადში მისი მცირე რაოდენობაც კი (0,03–0,1 %) მნიშვნელოვანი ფაქტორია აუსტენიტიზაციის ტემპურატურაზე მარცვლის გამსხვილების დასაბრკო-

ლებლად [7]. ალუმინის მცირე რაოდენობა (0,05 %-მდე) ასევე განაპირობებს წვრილმარცვლოვანი ფერიტის ფორმირებას, რაც უდავოდ დადებითად მოქმედებს ფოლადის მექანიკურ თვისებებზე, რადგან ერთადერთი მეთოდი სიმტკიცისა და პლასტიკურობის ერთდროული ზრდისათვის მარცვლის ზომის შემცირებაა [8, 9].

ალუმინის განაწილება აუსტენიტის მარცვლის ზედაპირზე გავლენას ახდენს ფოლადში მიმდინარე გარდაქმნის ხასიათზე, კერძოდ სეგრეგანტის ფორმირება მარცვლის ზედაპირზე ამცირებს აუსტენიტის მარცვლის საზღვრის ძვრადობას და განაპირობებს წვრილმარცვლოვანი აუსტენიტური სტრუქტურის შენარჩუნებას [8, 9].

დადგენილია, რომ ბორი კარგად იხსნება  $\gamma$  რკინაში და წარმოქმნის მყარ ხსნარს, რომელიც ამცირებს ფერიტის გამოყოფის სინქარეს და ზრდის აუსტენიტის მდგრადობას და განაპირობებს წრთობადობის ზრდას [10].

### ძირითადი ნაწილი

თხევადი ფოლადის რაფინირებისთვის გამოვიყენეთ სინთეზური წიდა, რომლის ძირითადი კომპონენტებია  $CaO$  (40–45 %),  $CaF_2$  (25–30 %) და  $Al_2O_3$  (30–35 %). ასეთი წიდას დნობის ტემპურატურაა 1350–1400°C.

ლითონის დნობის მომენტში ზედაპირზე მცირე რაოდენობით (ლითონის მასის 0,5%) წარმოიქმნება პირველადი წიდა, რომლის ძირითად ნაწილს რკინის უნგეულები წარმოადგენს. ბევრად უფრო მცირეა მასში  $SiO_2$ ,  $MnO$  და ფუძე ამონაგვიდან გადასული  $MgO$ . ასეთი შედგენილობის წიდას ზედაპირზე სინთეზური წიდას დამატებით (ლითონის მასის 2–3 %) მიიღება მაღალრაფინირებული თვისებების მქონე წიდა. გამოთვლებით დადგენილია, რომ თუ ლითონში გოგირდის საწვისი რაოდენობა 0,04 % შეადგენს, მზა პროდუქტში მისი შემცველობა 0,001 %-მდე დაიყვანება.

საკვლევი ფოლადების დნობა ჩავატარეთ 12 კგ მოცულობის, ფუქემონაგიანი (მაგნეზიტი), მაღალი სისწირის ინდუქციურ ღუმელში. საკაზმე მასალებად გამოვიყენეთ არმკო-რკინა, ფოლადები Y-7 და Y-8, ჩვენ მიერ სპეციალურად გამოდნობილი თუჯი (C=3,5 – 4,0 %) გოგირდისა და ფოსფორის მინიმალური (0,01 %) შემცველობით. კვლევის პროცესში გამოვიყენეთ ასევე ფოლადები 45, 50 და 40X.

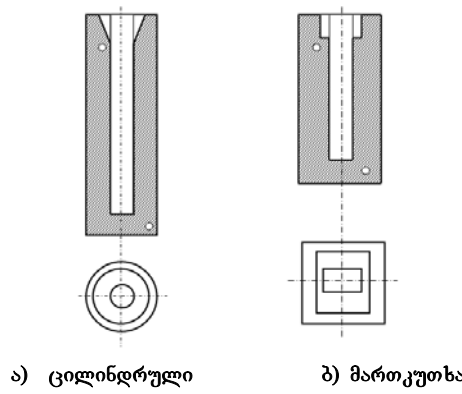
კაზმი გაანგარიშებულ იქნა 10კგ-იან დნობაზე, დნობის პროცესში მალეგირებელი ელემენტების დანაკარგების (ამოწვის) გათვალისწინებით. ლეგირებისათვის გამოვიყენეთ სუფთა ელექტროლიტური ნიკელი (99,9 %), სუფთა ქრომი და ფეროქრომი (65 % Cr), ფერომოლიბდენი (60 % Mo), ფეროსილიციუმი (90 % Si და 75 % Si), სუფთა ელექტროლიტური მანგანუმი და ფერომანგანუმი (76 % Mn), ფეროვანადიუმი (35 % V), ფერობორი (30 % B).

გადნობის შემდეგ თხევადი ლითონის ზედაპირზე დავაყარეთ წინასწარ 800 °C-მდე გახურებული სინთეზური წიდა, სადნობ ტიგელს ზემოდან დავახურეთ გრაფიტისაგან დამზადებული სარქველი და ასეთ მდგომარეობაში დავაყოვნეთ 10–15 წუთი. თხევად ფოლადში მალეგირებელი ელემენტები შევიყვანეთ რკინის ძელაკზე დამაგრებული თხელი თუნუქის პაკეტებით. ლითონის შხეფების თავიდან ასაცილებლად და ტენის მოსაცილებლად პაკეტები წინასწარ გავახურეთ 200–300 °C-მდე. გამონაკლისს წარმოადგენდა FeMo და Ni, რომლებიც ღუმელში კაზმთან ერთად შევიტანეთ, რადგან ეს ელემენტები რკინასთან შედარებით უფრო პასიურია და დანაკარგიც უმნიშვნელო (0,5–1,0 %).

დნობის ბოლო ეტაპზე თხევადი ლითონის ზედაპირი გავათავისუფლეთ მდნარი წილისგან სპეციალური რკინის კოვხით, ლითონის განუხანგვა მოვახდინეთ სუფთა ალუმინით და ამის შემდეგ ლითონი ჩამოვასხით ვერტიკალურად გახსნილ

ცილინდრულ ან მართკუთხა ფორმის ბოყეებში (სურ.1, ა, ბ). ბოყეში ჩამოსხმულ თხევად ლითონს ზემოდან დავაყარეთ თბოსაიზოლაციო ფხვნილი, რომელიც უზრუნველყოფს ჩაჯდომის ნიჟარის ზოდის ზემო ნაწილში განთავსებას და ჯანსაღი სხმულის მიღებას.

ჩამოსხმული ზოდის სრული ჰომოგენიზაცია მოვახდინეთ 850–900 °C-ზე 2-საათიანი დაყოვნებით, გავაცივეთ ღუმელთან ერთად. ზოდების თავური გადაჭრისა და ქიმიური ანალიზისათვის ნიმუშების აღების შემდეგ ზოდები მოვამზადეთ გლინვისთვის. მართკუთხა ზოდები გაიგლინა 20 მმ სისქის ფურცლებად, ხოლო ცილინდრული – 35 მმ დიამეტრის მქონე მრგვალ ძელაკებად. გლინვის შედეგად მიღებული ფურცლოვანი ნაგლინიდან მოვამზადეთ ნიმუშები მექანიკური თვისებების შესასწავლად გრძივი და განივი კვეთის მიმართულებით, ასევე მეტალოგრაფიული კვლევისათვის. მექანიკური თვისებების შესასწავლად და მეტალოგრაფიული კვლევისათვის გამოვიყენეთ ლითონის მრგვალი ნამზადებიდან მიღებული ნიმუშებიც.



სურ. 1. თხევადი ფოლადის ჩამოსასხმელი ბოყეები

**დასკვნა**

ჩვენ მიერ გამოდნობილი ფოლადების ქიმიური შედგენილობები წარმოდგენილია 1-ელ ცხრილში, ხოლო მე-2 ცხრილში მოცემულია მიღებული ნიმუშებისთვის თერმული დამუშავების რეჟიმები და შესაბამისი მექანიკური თვისებები.

სპეცფოლადების ქიმიური შედგენილობა

№	ქიმიური შედგენილობა, %									
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Al	B	Mo	V	S & P
1	0,52	0,27	0,57	0,29	0,22	0,05	-	-	-	0,01
2	0,49	0,27	0,53	0,29	0,25	0,04	0,002	0,19	0,14	0,015
3	0,48	0,28	0,58	0,30	1,6	0,04	-	0,27	0,14	0,01
4	0,50	0,25	0,61	0,27	1,5	0,03	0,001	0,29	0,12	0,01

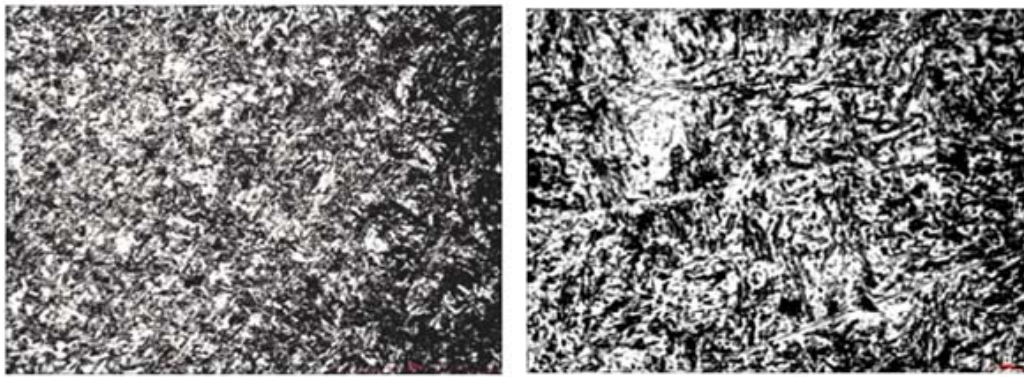
სპეცფოლადების თერმული დამუშავების რეჟიმები და შესაბამისი მექანიკური თვისებები

№	ნორმალიზაცია t°C	წრობა t°C	მოშვება t°C	$\sigma_{0,2}$ მგპა	$\sigma_{დრ}$ მგპა	$\delta$ %	$\varphi(\psi)$ %	KCU ჯ/სმ <sup>2</sup>	HRC
1	850	850/ზეთი	600/2სთ	876	949	17	45	96	24
2	850	850/ზეთი	600/2სთ	909	986	20	49	94	27
3	850	850/ზეთი	450/2სთ	1344	1426	15	46	54	34
4	850	850/ზეთი	450/2სთ	1484	1600	12	25	42	36

სურათებზე (2 და 3) წარმოდგენილია №1 და №2 ფოლადების მიკროსტრუქტურები თერმული დამუშავების შემდეგ. №2 ფოლადის დნობისას მცირე რაოდენობით ამატებენ B, Mo და V, რაც საკმარისია შედარებით წვრილმარცვლოვანი სტრუქტურის ჩამოყალიბებისა და მექანიკური თვისებების ამაღლებისათვის (ცხრილი 2).

სურათებზე (4 და 5) წარმოდგენილია №3 და №4 ფოლადების მიკროსტრუქტურები თერმული დამუშავების შემდეგ. ამ შემთხვევაშიც ორივე ფოლადი გამოდნობილია ერთი და იგივე ფოლადის ფუქზე, მაგრამ №4 ფოლადში, №2-ის მსგავსად, მცირე რაოდენობით დამატებულია B, Mo და V. ლეგირების ეფექტი და გავლენა მიკრო-

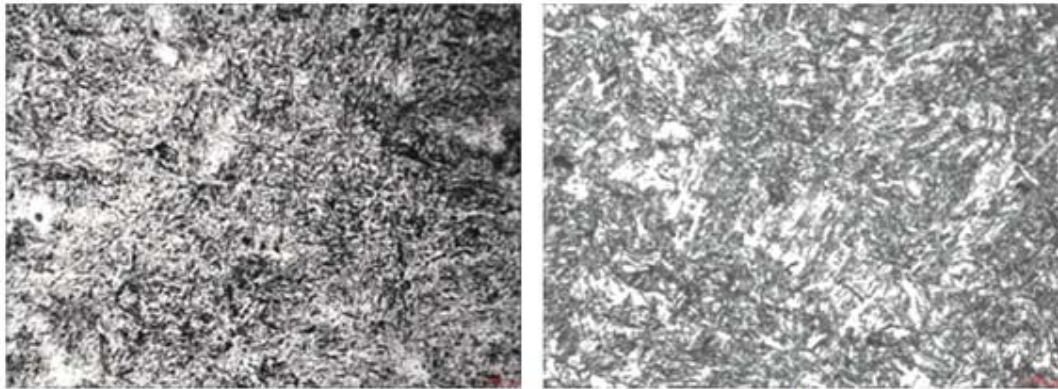
სტრუქტურასა და მექანიკურ თვისებებზე წინა შემთხვევის ანალოგიურია. შევნიშნოთ, რომ №3 და №4 ფოლადებში ნიკელის შემცველობა გაზრდილია პირველ ორ ფოლადთან შედარებით (ცხრ. 1). წარმოდგენილი მიკროსტრუქტურებიდან ჩანს, რომ ნიკელის დანამატი მოლიბდენთან ერთად ხელს უწყობს წვრილდისპერსიული მარტენსიტული სტრუქტურის ჩამოყალიბებას. მიუხედავად იმისა, რომ №3 და №4 ფოლადებმა მოგვცა სიბლანტის დაბალი მაჩვენებელი, შედარებით დაბალ ტემპერატურაზე მოშვების გამო, გაზრდილი სიმტკიცის მაჩვენებლები იძლევა იმის გარანტიას, რომ მოშვების ტემპერატურის მომატებით მივიღოთ სიმტკიცისა და პლასტიკურობის მახასიათებლების ოპტიმალური მნიშვნელობები.



ა

ბ

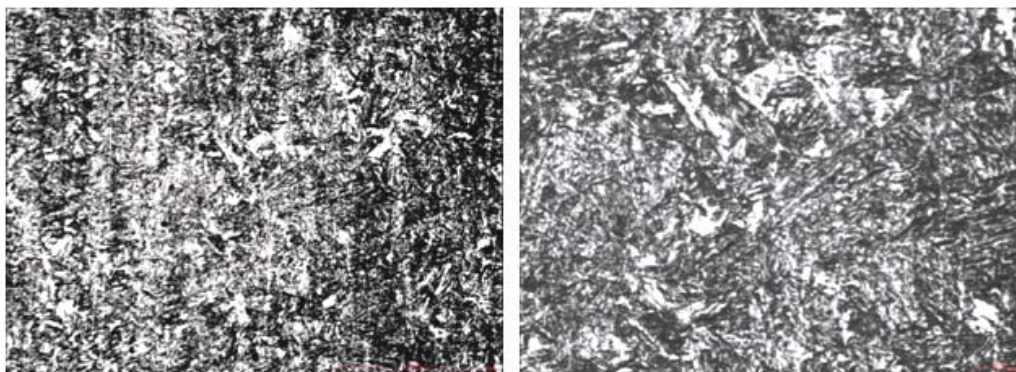
სურ. 2. №1 ფოლადის მიკროსტრუქტურა თერმული დამუშავების შემდეგ. ა- $\times 400$ ; ბ- $\times 1000$



ა

ბ

სურ. 3. №2 ფოლადის მიკროსტრუქტურა თერმული დამუშავების შემდეგ. ა- $\times 400$ ; ბ- $\times 1000$

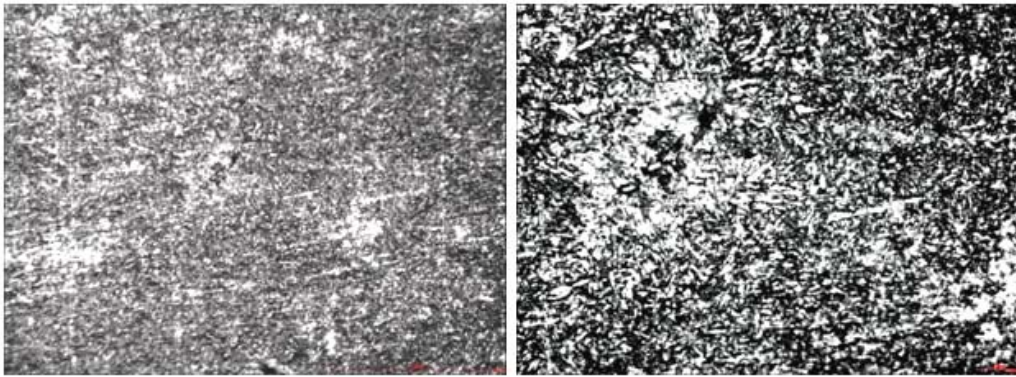


ა

ბ

სურ. 4. №3 ფოლადის მიკროსტრუქტურა თერმული დამუშავების შემდეგ. ა- $\times 400$ ; ბ- $\times 1000$





ა

ბ

სურ. 5. №4 ფოლადის მიკროსტრუქტურა თერმული დამუშავების შემდეგ. ა-x400; ბ-x1000

აღნიშნული მეთოდით გამოდნობილ ფოლადებში გოგირდისა და ფოსფორის შემცველობა, როგორც წესი, მერყეობდა 0,01–0,015 %-ის ფარგლებში და ლითონი თავისუფალი იყო არალითონური ჩანართებისგან – ოქსიდებისა და სულფიდებისაგან.

ფოლადის მიღების ასეთი ტექნოლოგია წარმატებით ჩატარდა აგრეთვე 50კგ-იან ინდუქციურ ღუმელში, რითაც ვასკვნით, რომ სპეცდანიშნულების ფოლადებზე მცირე მასშტაბით მოთხოვნისას სრულიად საკმარისია 10–50კგ-იანი მაღალი სიხშირის ინდუქციური ღუმლების გამოყენება.

#### ლიტერატურა

1. Hiroyuki Katayama, Makoto Inatomi, Hiroyuki Kajioaka, Yasushi Nakamura, Michihisa Ito, Kazuumi Harashima, Takamasa Ohno. Method of dephosphorization of metal or alloy. Patent US 4198229 A, Apr. 15, 1980. (In English).
2. Baratashvili I. B., Gabisiani A.G., Lomtadze G.A., Mirianashvili B. M., Kashakashvili G.V., Kashakashvili I. G. Metallurgy of steel. Metsniereba. Tbilisi. 2002, 792 p. (In Georgian).
3. Edneral F.P. Electrometallurgy of steels and ferroalloys. Metallurgiya. Moscow. 1977, 488 p. (In Russian).
4. Lunev V. V., Averin V. V. Sulphur and phosphorus in steel. Metallurgiya. Moscow. 1988, 256 p. (In Russian).
5. Bepari M. M. A., Shorowordi K. M. Effects of molybdenum and nickel additions on the structure and properties of carburized and hardened low carbon steels. Journal of materials processing technology. 155(1). 2004. (In English).
6. Mesquita Th. J., Chauveau E., Mantel M., Kinsman N., Nogueira Ricardo P. Influence of Mo alloying on pitting corrosion of stainless steels used as concrete reinforcement. Rem: Revista Escola de Minas. Vol.66. no.2. Ouro Preto. 2013. (In English).
7. Maalekian M. The effects of alloying elements on steels. Technische Universität Graz. 2007. (In English).
8. Palizdar Ya. Understanding the effect of aluminium on themicrostructure on low level nitrogen steel. University of Leeds. 2011. (In English).
9. Guliaev A. P. Physical Metallurgy. Metallurgiya. Moscow. 1986, 541 p. (In russian).
10. Digges Th. G. Boron steels. Symposium on production, properties and applications of alloy and special steels. 1956 (In English).



UDC 669.1

SCOPUS CODE 2209

**DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR THE CONSTRUCTIONAL STEEL - MELTING IN HIGH-FREQUENCY INDUCTION FURNACE AND COMPLEX STUDY OF OBTAINED SAMPLES**

- L. Antashvili** Ferdinand Tavadze Institute of Metallurgy and Materials Science, 10 E. Mindeli str, 0186 Tbilisi, Georgia  
E-mail: antashvili.lev@gtu.ge
- M. Okrosashvili** Department of Metallurgy, Materials Science and Metal Working, Georgian Technical University, 69 M. Kostava str, 0175 Tbilisi, Georgia  
E-mail: m.okrosashvili@gtu.ge
- G. Tavadze** Ferdinand Tavadze Institute of Metallurgy and Materials Science, 10 E. Mindeli str, 0186 Tbilisi, Georgia  
E-mail: tavadzeg@gmail.com

**Reviewers:**

**B. Gogichashvili**, Associate Professor, Department of Metallurgy, Materials Science and Metal Working, Faculty of Chemical Technology and Metallurgy, GTU

E-mail: gogichashvili.b@mail.ru

**A. Gabisiani**, Chief specialist, Professor, Ferdinand Tavadze Institute of Metallurgy and Materials Science

E-mail: agabisiani@gmail.com

**ABSTRACT.** Experiments conducted to improve one of the disadvantages of the steel melting process in induction furnace (cool and less active slag) and obtained results are described in this paper. Constructional special steels with 0.01-0.015% content of phosphorus and sulphur are obtained. The amount of phosphorus and sulphur into steel is reduced by using synthetic slag, which is heated by overlaying valve of the plate form that is heated by influence of the alternating electromagnetic field existing into a bath, for its part. The article also contains results of the metallographic investigation of the obtained steels after appropriate heat treatment.

**KEY WORDS:** Heat treatment; induction furnace; steel melting technology; synthetic slag.

UDC 669.1

SCOPUS CODE 2209

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ВЫПЛАВКИ КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ СПЕЦНАЗНАЧЕНИЯ В ИНДУКЦИОННОЙ ПЕЧИ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ И КОМПЛЕКСНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ ЗАГОТОВОК

- Анташвили Л.Д.** Институт металлургии, материаловедения и обработки металлов Ф. Тавадзе, Грузия, 0186, Тбтлиси, ул. Элизбар Миндели 10  
E-mail: antashvili.lev@gtu.ge
- Окросашвили М.Н.** Департамент металлургии, материаловедения и обработки металлов, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. Костава 69  
E-mail: m.okrosashvili@gtu.ge
- Тавадзе Г.Ф.** Институт металлургии, материаловедения и обработки металлов Ф. Тавадзе, Грузия, 0186, Тбтлиси, ул. Элизбар Миндели 10  
E-mail: tavadzeg@gmail.com

### Рецензенты:

**В. Гогичаишвили**, ассоц. профессор Департамента металлургии, материаловедения и обработки металлов факультета химической технологии и металлургии ГТУ

E-mail: gogichashvili.b@mail.ru

**А. Габисиани**, главный специалист, профессор Института металлургии и материаловедения Ф. Тавадзе

E-mail: agabisiani@gmail.com

**АННОТАЦИЯ.** Описаны эксперименты и их результаты, проведенные с целью улучшения одной из отрицательных сторон (холодный и менее активный шлак) технологии выплавки стали в высокочастотной индукционной печи. Получены стали спецназначения с содержанием серы и фосфора не более 0.01-0.015%. Для максимального уменьшения количества серы и фосфора в стали применен синтетический шлак, нагрев которого осуществляется сверху тарелкообразной графитовой крышкой сталеплавильной ванны. Графитовая крышка нагревается под воздействием переменного электромагнитного поля высокой частоты, в зоне которой она находится. Статья также охватывает результаты металлографических исследований полученных сталей после термической обработки.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** индукционная печь; синтетический шлак; сталь спецназначения; термическая обработка; технология выплавки.

UDC 622.647.2

SCOPUS CODE 2210

**ვაკუუმ-დოლის წვის ძალაზე ვაკუუმის ზონის ადგილმდებარეობის ბავშვის კვლევა**

- ნ. მოლოდინი** სამთო ტექნოლოგიების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 75  
E-mail: nor\_mol@mail.ru
- რ. მოლოდინი** „ბიპი“, საქართველო, 0160, თბილისი, ს. ცინცაძის 24  
E-mail: revazmolodini@yahoo.com
- ბ. ჯიქია** ნავთობისა და გაზის ტექნოლოგიების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 75  
E-mail: jikiania@gmail.com

**რეცენზენტები:**

- თ. თბაძე**, სტუ-ის ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის ხელსაწყოთმშენებლობის, ავტომატიზაციისა და მართვის სისტემების დეპარტამენტის პროფესორი  
E-mail: tamaz@mail.ru
- ი. გუჯაბიძე**, სტუ-ის სამთო-გეოლოგიური ფაკულტეტის სამთო ტექნოლოგიების დეპარტამენტის პროფესორი  
E-mail: i.k.gujabidze@gmail.com

**ანოტაცია.** განხილულია ვაკუუმ-დოლური ამძრავის მიერ ლენტთან საკონტაქტო რგოლურ ჭვრიტეში, ვაკუუმ-ქვეზონების ადგილმდებარეობისა და რაოდენობრივი მნიშვნელობის მიხედვით, განვითარებული წვევის ძალების საანგარიშო მათემატიკური გამოსახულებები და გამოყენების მეთოდიკა. დეპარტამენტის ლაბორატორიულ ბაზაზე შექმნილი ვაკუუმ-ამძრავის მოდელის ფიზიკური პარამეტრების მიხედვით, მათემატიკური გამოსახულებების ცალკეული მდგენელებისა და მთლიანად წვევის ძალებისათვის, შევასრუ-

ლეთ კომპიუტერული გათვლები და შევადგინეთ რვა ცხრილი, რომელთა ანალიზმა საშუალება მოგვცა წვევის ძალების მაქსიმალური მნიშვნელობისთვის გაგვესაზღვრა რგოლურ ჭვრიტეში ვაკუუმ-ქვეზონების ხელსაყრელი განლაგება.

**საკვანძო სიტყვები:** დრეკადი სრიალის რკალი; ვაკუუმ-დოლი; ვაკუუმ-ქვეზონა; კუთხური ბიჯი; ლენტის სწრაფობის წერტილი; რგოლური ჭვრიტე; შედარებითი სიმშვიდის რკალი; ჩამოქანების წერტილი; ჩაჭიდების კოეფიციენტი; წვევის ფაქტორი; წვევის ძალა.

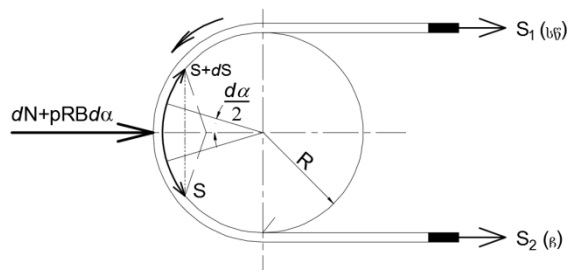
### შესავალი

მკვლევართა [1,2] მიერ შესრულებული სამუშაოების მიხედვით, მაქსიმალური წვევის ძალა მიიღება ვაკუუმის ზონის განლაგებით შედარებით სიმშვიდის რეჟიმზე. დრეკადი სრიალის რეჟიმის განლაგებას უარყოფენ იმის გამო, რომ “ამ საკონტროლო ზონაში მიმდინარე დრეკადი სრიალის შედეგად ისედაც დიდია ლენტის ცვეთა”. პეტროვ-ჟუკოვსკის ამოცანის თანახმად, წვევის ძალების რეალიზაცია ხახუნის ამძრავებში დრეკადი სრიალის ხარჯზე მიმდინარეობს. ეს ანალიზი მიუთითებს იმაზე, რომ ვაკუუმის ზონის ადგილმდებარეობის ასეთი პირობით შეცვლა ვერ შეამცირებს დრეკად სრიალსა და, შესაბამისად, ლენტის ცვეთას. ამიტომ, ამჯერად კვლევას ვაწარმოებთ მხოლოდ მაღალი წვევის ძალის მისაღებად. კოლექტორიანი ვაკუუმ-დოლის შემთხვევაში ამ ამოცანის ექსპერიმენტით შემოწმებას და ასევე ანალიზური წესით განსაზღვრას აზრი არა აქვს, ვინაიდან კოლექტორის ვაკუუმური საკანი ვაკუუმ-დოლის საკონტაქტო ვაკუუმურ ზედაპირს უერთდება დიდი წინააღობის რეციპიენტებით. ამდენად მართებულია კვლევები შევასრულოთ ისეთი კონსტრუქციის ვაკუუმ-დოლისათვის, სადაც მთელი საკონტაქტო ზედაპირის ვაკუუმური ზონა დაყოფილი იქნება ცალკე მომუშავე ვაკუუმ-ქვეზონებად. ამ მიზნისათვის მიზანშეწონილია აშშ (ავტონომიურ ვაკუუმურმექანიზმებიანი) ვაკუუმ-დოლის კვლევა შემდეგ დაშვებითა გათვალისწინებით:

### ძირითადი ნაწილი

1. ამძრავი დოლი – R-რადიუსიანი იდეალურად წრიული ცილინდრი;
2. ამძრავის ყველა ელემენტი განიხილება როგორც აბსოლუტურად ხისტი;
3. ჩამოქანების შტოს ლენტის მონაკვეთის წინააღობას გამოვიყენებთ;

4. ამძრავზე ლენტის შემოსხვევის კუთხის საწინააღმდეგოა იდეალური ჩამოქანების წერტილი (წერტილი A. ნახ. 1).



ნახ. 1

მოქნილი ძაფის ელემენტარული უბნისათვის, როდესაც საკონტაქტო ზედაპირზე ვაკუუმში არ იქმნება, წონასწორობის განტოლებას აქვს სახე:

$$dS = \mu S d\alpha + pRB d\alpha,$$

საიდანაც

$$dS/d\alpha = S\mu + pRB\mu, \quad (1)$$

სადაც S არის საკონვეიერო ლენტის დაჭიმულობა;  $\mu$  – ჩაჭიდულობის (ხახუნის) კოეფიციენტი; p – ვაკუუმის სიდიდე; B – საკონვეიერო ლენტის სიგანე.

(1) განტოლება S-ის მიმართ პირველი რიგის წრფივი არაერთგვაროვანი დიფერენციალური განტოლებაა, რომელიც ზოგადად შეგვიძლია ჩავწეროთ:

$$S' = A(\alpha)S + Q(\alpha). \quad (2)$$

შესაბამის ერთგვაროვან დიფერენციალურ განტოლებას ექნება სახე:

$$S' = A(\alpha)S \quad \text{ანუ} \quad S'/S = A(\alpha).$$

იმის გათვალისწინებით, რომ  $dS/S = S'$  ანუ  $S'd\alpha = dS$ , შეგვიძლია დავწეროთ:

$$\int \frac{dS}{S} = \int A(\alpha) d\alpha; \quad \text{ანუ} \quad \ln S = \int A(\alpha) d\alpha + c;$$

საიდანაც  $S = e^{\int A(\alpha) d\alpha} \cdot e^c = e^{\int A(\alpha) d\alpha} \cdot c_1,$

სადაც  $c_1 = f(\alpha)$ , რომელსაც ისე ვირჩევთ, რომ დაკმაყოფილდეს (2) განტოლება.

$$S = e^{\int A(\alpha) d\alpha} \cdot c_1(\alpha) \quad (3)$$

ანუ  $S' = A(\alpha)e^{\int A(\alpha) d\alpha} \cdot c_1(\alpha) + e^{\int A(\alpha) d\alpha} \cdot c_1'(\alpha)$ . (4)

(3) და (4) მნიშვნელობები შევიტანოთ (2) განტოლებაში, მივიღებთ:

$$A(\alpha)e^{\int A(\alpha) d\alpha} \cdot c_1(\alpha) + e^{\int A(\alpha) d\alpha} \cdot c_1'(\alpha) = A(\alpha)e^{\int A(\alpha) d\alpha} \cdot c_1(\alpha) + Q(\alpha)$$

აქედან

$$c_1'(\alpha)e^{\int A(\alpha) d\alpha} = Q(\alpha)$$

ანუ

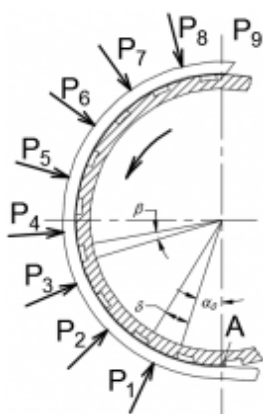
$$c_1'(\alpha) = Q(\alpha)e^{-\int A(\alpha) d\alpha},$$

ხოლო

$$c_1(\alpha) = Q(\alpha)e^{-\int A(\alpha) d\alpha} \cdot d\alpha + c. \quad (5)$$

თუ შევიტანოთ (5) გამოსახულებას (3)-ში მივიღებთ:

$$S = e^{\int A(\alpha) d\alpha} \left[ \int Q(\alpha)e^{-\int A(\alpha) d\alpha} d\alpha + c \right]. \quad (6)$$



ნახ. 1

თუ (6) გამოსახულებას ჩავწერთ ჩვენ მიერ მიღებული აღნიშვნებით:

$$\mu = A(\alpha) \text{ და } pRB\mu = Q(\alpha),$$

მაშინ მივიღებთ (1) განტოლების ამონახსნს, რომელიც შემდეგნაირად ჩაიწერება:

$$S = e^{\int_0^\alpha \mu d\alpha} \left( \int_0^\alpha pRB\mu e^{-\int_0^\alpha \mu d\alpha} d\alpha + c \right). \quad (7)$$

ჩავთვალოთ, რომ  $\mu = \text{const}$ , მაშინ (7) განტოლება მიიღებს სახეს:

$$S = e^{\mu\alpha} \left( RB\mu \int_0^\alpha p(\alpha) e^{-\mu\alpha} d\alpha + c \right). \quad (8)$$

როდესაც  $\alpha = 0$ ;  $S_1 = c = S_B$ ; როდესაც  $\alpha = \alpha_{\text{max}}$ ;  $S = S_{\text{სწ}}$ ; მაშინ (8) განტოლება ჩაიწერება შემდეგი სახით:

$$S_{\text{სწ}} = e^{\mu\alpha_{\text{max}}} \left( RB\mu \int_0^{\alpha_{\text{max}}} p(\alpha) e^{-\mu\alpha} d\alpha + S_B \right).$$
 აქედან

ვაკუუმ-დოლის წვევის ძალა

$$F_{\text{max}} = e^{\mu\alpha_{\text{max}}} RB\mu \int_0^{\alpha_{\text{max}}} p(\alpha) e^{-\mu\alpha} d\alpha + S_B (e^{\mu\alpha_{\text{max}}} - 1). \quad (9)$$

მიღებული (9) განტოლება, საკონტროლო რგოლურ ჭვრიტეში ნულოვანი ( $P=0$ ) ვაკუუმის შემთხვევაში, გვაძლევს ეილერის ცნობილ განტოლებას:

$$F_{\text{max}} = S_B (e^{\mu\alpha_{\text{max}}} - 1).$$

თუ მივიღებთ, რომ საკონვეიერო ღენტისა და ამძრავი ვაკუუმ-დოლის საკონტაქტო ზედაპირების მიერ შექმნილ რგოლურ ჭვრიტეში თანაბრად განაწილებული ( $P(\alpha) = \text{const}$ ) და მაქსიმალური მნიშვნელობის ვაკუუმი იქმნება, მაშინ (9) განტოლება ჩაიწერება შემდეგნაირად:

$$F_{\text{max}} = e^{\mu\alpha_{\text{max}}} pRB\mu \int_0^{\alpha_{\text{max}}} e^{-\mu\alpha} d\alpha + S_B (e^{\mu\alpha_{\text{max}}} - 1). \quad (10)$$

ეს შედეგი შეიძლება წარმოვადგინოთ შემდეგნაირადაც:

$$F_{\text{max}} = P (e^{\mu\alpha_{\text{max}}} - 1) + S_B (e^{\mu\alpha_{\text{max}}} - 1), \quad (11)$$

სადაც  $P = pRB$  (12)

ვაკუუმ-ამძრავის საკონტაქტო ზედაპირზე საკონვეიერო ლენტის ერთეულოვანი კუთხის შესაბამის რკალზე შექმნილი ვაკუუმით მიღებული დამატებითი მიჭერის ძალაა.

ხოლო (11) გამოსახულება, რომელშიც გათვალისწინებულია (12) იქნება:

$$F_{\max} = pRB(e^{\mu\alpha_{\max}} - 1) + S_{\beta}(e^{\mu\alpha} - 1),$$

რომელიც შეესატყვისება ა.ვ. ვენვეიჩის [3] ფორმულას.

თუ ვაკუუმ-დოლის განხილვისას, რომლის მთელი საკონტაქტო ზედაპირის ვაკუუმური ზონა დაყოფილია ცალკეულად მომუშავე ვაკუუმ-ქვე-ზონებად, დავუშვებთ, რომ: ა) p სიდიდის ვაკუუმით იქნება და ვრცელდება მხოლოდ  $\delta$  ცენტრალური კუთხით მოჭიმულ ვაკუუმ-ქვეზონაზე (ნახ. 2), ხოლო სახდერებს გარეთ  $p = 0$ ; ბ) ვაკუუმ-ქვეზონაში ვაკუუმით წყდება ამძრავიდან ტვირთშიდი ლენტის ჩამოქანების წერტილიდან მისი  $\alpha_0$  კუთხურ მანძილზე განლაგებისას. (10) გამოსახულება შეიძლება გადავწეროთ შემდეგი სახით:

$$F_{\max} = e^{\mu\alpha_{\max}} pRB\mu \int_{\alpha_0}^{\alpha_0+\delta} e^{-\mu\alpha} d\alpha + S_{\beta}(e^{\mu\alpha_{\max}} - 1)$$

ან

$$F = e^{\mu\alpha_{\max}} P(e^{-\mu\alpha_0} - e^{-\mu(\alpha_0+\delta)}) + S_{\beta}(e^{\mu\alpha_{\max}} - 1). \quad (13)$$

ხოლო  $n_{\beta}$  მუშა ქვეზონებში ვაკუუმის შექმნისას წვევის ძალების საანგარიშო ფორმულა მიიღებს სახეს:

$$F = e^{\mu\alpha_{\max}} \sum_{k=1}^{n_{\beta}} P \left[ e^{-\mu[\alpha_0+(k-1)(\beta+\delta)} - e^{-\mu[\alpha_0+(k-1)(\beta+\delta)+\delta]} \right] + S_{\beta}(e^{\mu\alpha_{\max}} - 1), \quad (14)$$

სადაც k ვაკუუმური ქვეზონის ნომერია (ნახ. 2);  $\beta$  – ვაკუუმ-ქვეზონებს შორისი რკალის მოჭიმვა კუთხე.

თუ ვაკუუმ-ქვეზონების კუთხურ ბიჯს აღვნიშნავთ  $t = \beta + \delta$ , მაშინ

$$F = e^{\mu\alpha_{\max}} (1 - e^{-\mu\delta}) \sum_{k=1}^{n_{\beta}} P e^{-\mu[\alpha_0+t(k-1)]} + S_{\beta}(e^{\mu\alpha_{\max}} - 1). \quad (15)$$

(15) გამოსახულება საშუალებას გვაძლევს ვაკუუმის ზონის ნებისმიერ ქვეზონაში შექმნილი ვაკუუმისას განვსაზღვროთ განვითარებული წვევის ძალა.

ამ გამოსახულების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ვაკუუმ-ქვეზონის ადგილმდებარეობა ვაკუუმ-დოლის მთელ საკონტაქტო ზედაპირზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს მის მიერ განვითარებულ წვევის ძალაზე; კერძოდ, რაც უფრო ახლოსაა განლაგებული ვაკუუმ-ქვეზონა ლენტის ვაკუუმ-დოლის ჩამოქანების წერტილიდან (წერტილი A, ნახ.1), მით მეტია წვევის ძალის ზრდის ეფექტი.

### დასკვნა

ამგვარად, ვაკუუმ-დოლის საკონტაქტო ზედაპირზე განლაგებული ერთნაირი რაოდენობის ვაკუუმ-ქვეზონები, იმის მიხედვით თუ საით არის განლაგებული – ჩამოქანების თუ სწრაფობის წერტილისაკენ, იძლევა მნიშვნელოვნად განსხვავებულ წვევის ძალებს. წვევის ძალების ეს განსხვავება შეიძლება გამოითვალოს ფორმულით:

$$\Delta F = e^{\mu\alpha_{\max}} (1 - e^{-\mu\delta}) \times P \left[ \sum_{k=n}^{n+n_{\beta}-1} e^{-\mu[\alpha_0+t](k-1)} - \sum_{k=\xi}^{\xi-n_{\beta}+1} e^{-\mu[\alpha_0+t](k-1)} \right], \quad (16)$$

სადაც  $\xi$  ვაკუუმ-დოლზე ლენტის სწრაფობის წერტილში განლაგებული პირველი მუშა ვაკუუმ-ქვეზონის ნომერია და ჩაწერილია ზოგადი სახით:

$$\xi = n_{\beta} - n + 1;$$

სადაც  $n_{\beta}$  ვაკუუმ-დოლის საკონტაქტო ზედაპირზე ლენტის ქვემოთ განლაგებული ვაკუუმ-ქვეზონების რაოდენობაა; n – დოლიდან ლენტის

ჩამოქანების მხარეს პირველი მუშა ვაკუუმ-ქვე-  
ზონის ნომერი;  $n_0$  – თანამიმდევრულად განლა-  
გებული ვაკუუმ-ქვეზონების რაოდენობა.

აღნიშნული ეფექტის რაოდენობრივი შეფა-  
სებით განვსაზღვრავთ ავმ ვაკუუმ-დოლის ოპ-  
ტიმალურ პარამეტრებს.

(15) და (16) განტოლებები ამოიხსნა კომპიუტერული პროგრამის შემდეგი მონაცემებით (ლაბორატორიული ვაკუუმ-დოლის დიამეტრი, სიგანე და ა.შ. შეიჩა [3,4] სამუშაოების შესაბამისად):

- ვაკუუმ-დოლზე საკონვეიერო ლენტის შემოხვევის კუთხე –  $\alpha_{max} = \pi$ ;
- დოლის საკონტაქტო ზედაპირზე ლენტის ჩაჭიდების (ხახუნის) კოეფიციენტი –  $\mu = (0,1-1,2)$ ;
- ვაკუუმ-ქვეზონების კუთხური ბიჯი –  $t = \beta + \delta = 0,33$  რად;
- ვაკუუმ-ქვეზონის მომჭიმავი ცენტრალური კუთხე –  $\beta = 0,11$  რად;
- ვაკუუმ-ქვეზონებს შორის სეგმენტის მომჭიმავი ცენტრალური კუთხე –  $\delta = 0,22$  რად;
- ვაკუუმ-დოლზე ლენტის დამატებითი მიჭერის ძალა –  $P = pRB$ ;
- ვაკუუმ-დოლის რადიუსი –  $R = 0,18$  მ;
- საკონვეიერო ლენტის სიგანე –  $B = 0,50$  მ.

გაანგარიშება შესრულდა 1-დან 9-მდე ცალკეული ვაკუუმური ქვეზონების და მათი ერთობლივი მუშაობისას როგორც რაოდენობრივი, ისე ვაკუუმის ზონაში მათი სხვადასხვა ადგილას განლაგებისათვის.

(15) ფორმულით შესრულებული გაანგარიშების მონაცემები წარმოდგენილია (1-8) ცხრილებში, რომელთა ანალიზი გვიჩვენებს:

ცხრილი 1. ვაკუუმის დოლისა და ლენტის ჩაჭიდების (ხახუნის) კოეფიციენტის ზრდით იზრდება  $e^{\mu\alpha_{max}}$  და  $(1 - e^{-\mu\delta})$  თანამამრავლები;

ცხრილი 2. ვაკუუმ-ქვეზონის რაოდენობა – ერთი;  $\alpha_0 = 0$ ;  $e^{-\mu(k-1)}$  თანამამრავლის სიდიდე მცირდება როგორც ჩაჭიდების კოეფიციენტის ზრდით, ისე ვაკუუმ-ქვეზონის გადაადგილებით ამძრავის საკონვეიერო ლენტის ჩამოქანების წერტილიდან სწრაფობის წერტილისაკენ; აქვე აღვნიშნავთ, რომ მიღებული დაშვება  $\alpha_0 = 0$  მიზანშეწონილია დავიცვათ, როდესაც  $K \geq 2$ .

ვაკუუმ-დოლის წვეის ძალაზე ვაკუუმ-ქვე-  
ზონის ადგილმდებარეობისა და ჩაჭიდების კოე-  
ფიციენტის მნიშვნელობის კომპლექსური ანალი-  
ზი გვიჩვენებს, რომ  $\mu = 0,9$  შემთხვევაში №9 ვაკუუმ-ქვეზონისათვის  $e^{-\mu(k-1)} = 0,092$ ; როდესაც  $\mu = 0,1$ , №2 ვაკუუმ-ქვეზონისათვის  $e^{-\mu(k-1)} = 0,968$  ანუ თანამამრავლის სიდიდე იზრდება  $\frac{0,968}{0,092} \approx 11$ , რაც საფუძველს გვაძლევს დავასკვნათ, რომ თუ მთელი შემოხვევის კუთხის რგოლურ ჭვრიტეში არ იქმნება ვაკუუმი, მაშინ მაქსიმალური წვეის ძალების მიღების მიზნით უმჯობესია ვაკუუმ-ზონა განვაღვათ ვაკუუმ-დოლიდან საკონვეიერო ლენტის ჩამოქანების მხარეს.

ცხრილი 3. ვაკუუმ-ქვეზონების რაოდენობა იზრდება თანამიმდევრულად ერთიდან ცხრამდე, სწრაფობის წერტილიდან ლენტის ჩამოქანების წერტილისაკენ;

ცხრილი 4. ვაკუუმის ქვეზონების რაოდენობა იზრდება თანამიმდევრულად ერთიდან ცხრამდე, ლენტის ჩამოქანების წერტილიდან სწრაფობის წერტილისაკენ.

მე-3 და მე-4 ცხრილების მონაცემების შედარება გვიჩვენებს, რომ როდესაც  $\mu = 0,1$ , ვაკუუმის-ქვეზონების ორიდან ცხრამდე გაზრდისას ცხრილების მონაცემები იცვლება  $1,97/1,56=1,26$ -დან  $7,92/7,92=1$ -მდე, ხოლო  $\mu = 0,9$ , იცვლება  $1,74/0,22=7,91$ -დან  $3,62/3,62=1$ -მდე ზღვრებში.

მიღებული შედეგების მიხედვით შეგვიძლია გადავკეთოთ დასკვნა, რაც მეტია ჩაჭიდების კოეფიციენტის სიდიდე ან მცირეა მუშა ვაკუუმ-ქვეზონების რაოდენობა, მით უფრო აუცილებელია ვაკუუმის ზონის განლაგება ვაკუუმ-დოლიდან ლენტის ჩამოქანების წერტილის მახლობლობაში. გარდა აღნიშნულისა, ყოველ კონკრეტულ შემთხვევაში, მიღებულ შედეგებზე დაყრდნობით შეიძლება ვაკუუმ-ქვეზონების ოპტიმალური რაოდენობის, მათი განლაგებისა და სხვა ტექნიკური მაჩვენებლების ოპტიმალური პარამეტრების განსაზღვრა მაღალი წვეისფაქტორიანი ვაკუუმ-დოლის მიღების მიზნით.

ცხრილი 5. მოცემულია (15) ფორმულის გაანგარიშებით მიღებული ვაკუუმ-დოლის წვეის ძალები, სხვადასხვა საწყისი დაჭიმულობისა და სხვადასხვა რაოდენობის ვაკუუმ-ქვეზონებისას, რომლებიც განლაგებულია ვაკუუმ-დოლზე საკონვეიერო ლენტის შემოხვევის კუთხის სხვადასხვა მხარეს: ჭვრიტეში მუდმივი მნიშვნელობის – ვაკუუმისას  $p=0,94$  ბარ. და ჩაჭიდების კოეფიციენტისას –  $\mu = 0,63$  (განისაზღვრება ცდების შედეგებით).

ამ ცხრილის მონაცემებით შეიძლება ვიმსჯელოთ საკონვეიერო ლენტით ვაკუუმ-დოლზე შემოხვევის კუთხეზე რგოლურ ჭვრიტეში ვაკუუმ-ქვეზონების მუშა რაოდენობებისა და განლაგების შესახებ.

(15) ფორმულითვე განისაზღვრება ვაკუუმ-დოლის წვეის ფაქტორი.

გამოსახულებას, როდესაც  $S_{\text{სწ}}/P = S_{\text{სწ}}/pRB$ , ვუწოდებთ ვაკუუმ-დოლის საკუთარი წვეის ფაქტორს.

(15) განტოლების მიხედვით საკუთარი წვეის ფაქტორი

$$\frac{S_{\text{სწ}}}{P} = \frac{S_{\text{სწ}}}{pRB} = \left( e^{\mu\alpha} - \frac{e^{\mu\alpha}}{e^{\mu\delta}} \right) \sum_{n=1}^{n_0} e^{-\mu\alpha(k-1)}; \quad (17)$$

ხოლო ვაკუუმ-დოლის საერთო (ზოგადი) წვეის ფაქტორი, როდესაც კონვეიერის კონტურში, ამა თუ იმ პირობებიდან გამომდინარე, ლენტის საწყისი დაჭიმულობა იქმნება, მაშინ

$$\frac{S_{\text{სწ}}}{S_{\text{წ}}} = e^{\mu\alpha} \left[ \frac{pRB}{S_C} (1 - e^{-\mu\delta}) \sum_{k=1}^{n_0} e^{-\mu\alpha(k-1)} + 1 \right]. \quad (18)$$

ამ გამოსახულებაში მოცემული კონკრეტული ამძრავისათვის ცვლადი სიდიდეები შეიძლება იყოს ლენტის საწყისი  $S_{\text{სწ}}=S_{\text{წ}}$  დაჭიმულობა და ლენტის ქვემოთ, რგოლურ ჭვრიტეში ვაკუუმის მნიშვნელობა  $p$ .

(18) ფორმულის ამონახსნი, როდესაც  $p=0,94$  ბარ.,  $\mu = 0,63$  (განისაზღვრება ცდის შედეგებით) და  $S_{\text{წ}} = 10-3400$  დენ დაფიქსირებულია მე-9 ცხრილში, რომელიც საშუალებას იძლევა დავასკვნათ, რომ ვაკუუმ-დოლის მოცემული ტიპ-ზომის გამოყენების არე მიზანშეწონილია განისაზღვროს აუცილებელი საწყისი დაჭიმულობის  $S_{\text{წ}}$  მნიშვნელობისა და ამძრავის საკონტაქტო ზედაპირზე საკონვეიერო ლენტის დამატებითი მიჭერით შექმნილი ძალის მიხედვით.

აშშ ვაკუუმ-დოლის რაციონალური გამოყენების არე განისაზღვრება  $S_{\text{წ}} = pRB$  გამოსახულებიდან; უფრო მეტი საწყისი დაჭიმულობისას ვაკუუმის შექმნით მიღებული საკონვეიერო ლენტის ამძრავ დოლზე დამატებითი მიჭერის ძალის ეფექტი მცირდება, თუმცა ვაკუუმ-დოლის ეფექტურად გამოყენების ზონად შეიძლება მივიღოთ  $S_{\text{წ}} \leq 2pRB$ .

მე-7 და მე-8 ცხრილებში მოცემულია (17) ფორმულით გამოთვლილი ვაკუუმ-დოლის საკუთარი წვეის ფაქტორი ლენტისა და დოლის საკონტაქტო ზედაპირების სხვადასხვა ჩაჭიდების კოეფიციენტისას, ვაკუუმ-ქვეზონის რაოდენობისა და მათი საკონტაქტო ზედაპირზე შემოხვევის კუთხის სხვადასხვა მხარეს განლაგებისას.



მოცემული ცხრილების ანალიზით შეიძლება დაგვასკვნათ, რომ ვაკუუმ-დოლის საკუთარი წევის ფაქტორის სიდიდის მინიმალურად შემცირებისა და ერთდოლიანი კომპაქტური ამპრავი ვაკუუმ-დოლის დაპროექტების მიზნით, ლენტის

სწრაფობის მხარეს, მთელი შემოსევის კუთხის 1/5 ნაწილზე შესაძლებელია ვაკუუმ-ქვეზონების შემცირება. სწორედ ეს ზონაა საკონტაქტო ზედაპირის შედარებითი სიმშვიდის ზონა ანუ ამპრავი ვაკუუმ-დოლის წევის ძალების მარაგი.

ცხრილი 1

ჩაჭიდების (ხახუნის) კოეფიციენტი, $\mu$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
წევის ფაქტორი $e^{-\mu\alpha_{max}}$	1,369	1,87	2,56	3,51	4,81	6,586	9,01	12,34	16,9
$e^{-\mu\delta}$	0,977	0,955	0,933	0,912	0,893	0,872	0,861	0,838	0,813
$\alpha_{max}=\pi$	$\delta = 0,22$ რად								
$1-e^{-\mu\delta}$	0,023	0,045	0,067	0,088	0,117	0,128	0,139	0,170	0,187

ცხრილი 2

$e^{-\mu[\alpha_0+(K-1)(\beta+\delta)]}$	$t=\beta+\delta=0,33$ ; $\alpha_0=0$ ; $\beta=0,11$ ; $\delta=0,22$ რად								
გრძივი ღარის ნომერი K	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ჩაჭიდების კოეფიციენტი $\mu$									
0,1	1,0	0,968	0,936	0,905	0,876	0,848	0,820	0,793	0,768
0,2	1,0	0,936	0,876	0,820	0,768	0,719	0,673	0,630	0,590
0,3	1,0	0,905	0,820	0,743	0,673	0,609	0,552	0,500	0,453
0,4	1,0	0,876	0,768	0,673	0,590	0,516	0,453	0,396	0,347
0,5	1,0	0,848	0,719	0,609	0,516	0,438	0,371	0,315	0,267
0,6	1,0	0,820	0,673	0,552	0,453	0,371	0,304	0,250	0,205
0,7	1,0	0,793	0,630	0,500	0,396	0,315	0,250	0,198	0,157
0,8	1,0	0,768	0,590	0,453	0,347	0,267	0,205	0,157	0,121
0,9	1,0	0,743	0,552	0,410	0,304	0,226	0,168	0,125	0,092

$\sum_{K=9}^1 e^{-\mu[\alpha_0+(K-1)(\beta+\delta)]}$	$\alpha_0=0; \quad \beta=0,11; \quad \delta=0,22; \quad t=0,33$ რად								
გრძობის ღარის $\Sigma$ ნომერი ჩაჭიდების კოეფიციენტი $\mu$	$n=1$ 9	$n=2$ 9, 8	$n=3$ 9, 8, 7	$n=4$ 9÷6	$n=5$ 9÷5	$n=6$ 9÷4	$n=7$ 9÷3	$n=8$ 9÷2	$n=9$ 9÷1
0,1	0,7679	1,5617	2,3820	3,2299	4,1063	5,0120	5,9481	6,9157	7,9157
0,2	0,5897	1,2198	1,8928	2,6117	3,3797	4,2000	5,0764	6,0125	7,0125
0,3	0,4529	0,9530	1,5051	2,1146	2,7877	3,5307	4,3511	5,2563	6,2568
0,4	0,3478	0,7447	1,1977	1,7145	2,3043	2,9773	3,7453	4,6216	5,6216
0,5	0,2671	0,5821	0,9537	1,3920	1,9088	2,5184	3,2373	4,0852	5,0852
0,6	0,2051	0,4552	0,7600	1,1316	1,5845	2,1366	2,8096	3,6300	4,6300
0,03	0,0143	0,0298	0,0462	0,0631	0,0799	0,0955	0,1084	0,1164	0,1164
0,7	0,1575	0,3560	0,6061	0,9211	1,3181	1,8181	2,4482	3,2419	4,2419
0,8	0,1209	0,2785	0,4837	0,7508	1,0986	1,5516	2,1414	2,9093	3,9093
0,9	0,0929	0,2129	0,3862	0,6127	0,9176	1,3276	1,8799	2,6230	3,6230

ცხრილი 4

$\sum_{K=1}^9 e^{-\mu[\alpha_0+(K-1)(\beta+\delta)]}$	$\alpha_0=0; \quad \beta=0,11; \quad \delta=0,22; \quad t=0,33$ რად								
გრძობის ღარის $\Sigma$ ნომერი ჩაჭიდების კოეფიციენტი $\mu$	$n=1$ 1	$n=2$ 1, 2	$n=3$ 1, 2, 3	$n=4$ 1÷4	$n=5$ 1÷5	$n=6$ 1÷6	$n=7$ 1÷7	$n=8$ 1÷8	$n=9$ 1÷9
0,1	1,000	1,9675	2,9036	3,8094	4,6857	5,5336	6,3540	7,1477	7,9157
0,2	1,000	1,9361	2,8124	3,6328	4,4008	5,1197	5,7927	6,4227	7,0125
0,3	1,000	1,9057	2,7261	3,4691	4,1421	4,7517	5,3038	5,8039	6,2568
0,4	1,000	1,8763	2,6443	3,3173	3,9071	4,4239	4,8768	5,2738	5,6216
0,5	1,000	1,8478	2,5668	3,1763	3,6932	4,1314	4,5030	4,8181	5,0852
0,6	1,000	1,8203	2,4933	3,0454	3,4984	3,8700	4,1748	4,4249	4,6300
0,03	1,000	0,00825	0,0208	0,0365	0,0533	0,0702	0,0867	0,1022	0,1164
0,7	1,000	1,7937	2,4237	2,9238	3,3207	3,6358	3,8858	4,0843	4,2419
0,8	1,000	1,7679	2,3577	2,8106	3,1585	3,4256	3,6308	3,7883	3,9093
0,9	1,000	1,7430	2,2951	2,7054	3,0102	3,2367	3,4050	3,5300	3,6230

ვაკუუმ-დოლის თეორიული წვეის ძალა, დკნ (სველი ხახუნის პირობებში)									
გრძივი ღარის Σ ნომერი ლეტის დაჭიმ. S <sub>ბ</sub> , დკნ	n=1	n=2	n=3	n=4	n=5	n=6	n=7	n=8	n=9
	$\frac{1}{9}$	$\frac{1-2}{9-8}$	$\frac{1-3}{9-7}$	$\frac{1-4}{9-6}$	$\frac{1-5}{9-5}$	$\frac{1-6}{9-4}$	$\frac{1-7}{9-3}$	$\frac{1-8}{9-2}$	$\frac{1-9}{9-1}$
50	$\frac{1114}{465}$	$\frac{1756}{653}$	$\frac{2292}{885}$	$\frac{2719}{1168}$	$\frac{3076}{1519}$	$\frac{3361}{1950}$	$\frac{3586}{2479}$	$\frac{3778}{3131}$	$\frac{3930}{3930}$
200	$\frac{2050}{1401}$	$\frac{2692}{1589}$	$\frac{3228}{1821}$	$\frac{3655}{2105}$	$\frac{4012}{2455}$	$\frac{4297}{2886}$	$\frac{4522}{3415}$	$\frac{4714}{4067}$	$\frac{4866}{4866}$
400	$\frac{3298}{2649}$	$\frac{3940}{2837}$	$\frac{4476}{3069}$	$\frac{4903}{3353}$	$\frac{5260}{3703}$	$\frac{5545}{4134}$	$\frac{5770}{4663}$	$\frac{5962}{5315}$	$\frac{6114}{6114}$
500	$\frac{3927}{3278}$	$\frac{4569}{3466}$	$\frac{5105}{3698}$	$\frac{5532}{3982}$	$\frac{5889}{4332}$	$\frac{6174}{4763}$	$\frac{6399}{5292}$	$\frac{6591}{5944}$	$\frac{6743}{6743}$

ცხრილი 6

N	S <sub>ბ</sub> , დკნ	$\frac{S_c}{S_{sw}}$	N	S <sub>ბ</sub> , დკნ	$\frac{S_c}{S_{sw}}$
1	10	326,7	16	1000	9,80
2	20	166,65	17	1200	9,27
3	30	113,3	18	1300	9,06
4	40	86,63	19	1400	8,88
5	50	78,6	20	1500	8,74
6	100	38,61	21	1600	8,60
7	150	27,94	22	1800	9,37
8	200	24,33	23	2000	8,20
9	300	17,27	24	2200	8,05
10	400	15,28	25	2400	7,93
11	500	13,49	26	2600	7,83
12	600	11,93	27	2800	7,74
13	700	11,12	28	3000	7,67
14	800	10,60	29	3200	7,60
15	900	10,16	30	3400	7,54

*ვაკუუმ-დღლის საკუთარი წვევის ფაქტორი,  $\alpha_0=0; \alpha_{max}=\pi$*

$$F'/P_K = \left( e^{\mu\alpha} - \frac{e^{\mu\alpha}}{e^{\mu\delta}} \right) \sum_{K=9}^1 e^{-\mu[\alpha_0+(K-1)(\beta+\delta)]}$$

გრძივი ღარის წაჭიდ. კოეფ-ტი $\mu$	$n=1$ 9	$n=2$ 9, 8	$n=3$ 9, 8, 7	$n=4$ 9÷6	$n=5$ 9÷5	$n=6$ 9÷4	$n=7$ 9÷3	$n=8$ 9÷2	$n=9$ 9÷1
0,1	0,0242	0,0492	0,0750	0,1017	0,1293	0,1578	0,1873	0,2177	0,2492
0,2	0,0496	0,1026	0,1593	0,2198	0,2844	0,3534	0,4272	0,5059	0,5901
0,3	0,0777	0,1638	0,2581	0,3627	0,4781	0,6056	0,7465	0,9016	1,0732
0,4	0,1074	0,2300	0,3699	0,5296	0,7117	0,9196	1,1568	1,4275	1,7364
0,5	0,1503	0,3276	0,5367	0,7834	1,0742	1,4173	1,8218	2,2990	2,8618
0,6	0,1729	0,3837	0,6406	0,9539	1,3357	1,8012	2,3685	3,0601	3,9031
0,7	0,1972	0,4458	0,7591	1,5381	1,6508	2,2770	3,0661	4,0601	5,3125
0,8	0,2536	0,5342	1,0147	1,5750	2,3046	3,2549	4,4922	6,1031	8,2009
0,9	0,2936	0,6886	1,2205	1,9363	2,8999	4,1962	5,9410	8,2895	11,4497

ცხრილი 8

*ვაკუუმ-დღლის საკუთარი წვევის ფაქტორი,  $\alpha_0=0; \alpha_{max}=\pi$*

$$F'/P_K = \left( e^{\mu\alpha} - \frac{e^{\mu\alpha}}{e^{\mu\delta}} \right) \sum_{K=1}^9 e^{-\mu[\alpha_0+(K-1)(\beta+\delta)]}$$

გრძივი ღარის წაჭიდ. კოეფ-ტი $\mu$	$n=1$ 1	$n=2$ 1, 2	$n=3$ 1, 2, 3	$n=4$ 1÷4	$n=5$ 1÷5	$n=6$ 1÷6	$n=7$ 1÷7	$n=8$ 1÷8	$n=9$ 1÷9
0,1	0,031487	0,0619	0,0914	0,0199	0,1475	0,1742	0,2000	0,2250	0,2492
0,2	0,08415	0,1629	0,2366	0,3057	0,3703	0,4308	0,4874	0,5404	0,5901
0,3	0,17520	0,3263	0,4676	0,5950	0,7104	0,8150	0,9097	0,9955	1,0732
0,4	0,30888	0,5795	0,8168	1,0240	1,2068	1,3664	1,5063	1,6290	1,7364
0,5	0,56277	1,0399	1,4445	1,7875	2,0784	2,3250	2,5341	2,7115	2,8618
0,6	0,843008	1,5345	1,1018	2,5673	2,9492	3,2624	3,5194	3,7302	3,9031
0,7	1,25239	2,2464	3,0354	3,6617	4,1588	4,5534	4,8665	5,1151	5,3123
0,8	2,0278	3,7087	4,9460	5,8960	6,6259	7,1862	7,8167	7,9471	8,2009
0,9	3,1603	5,5084	7,2532	8,5499	9,5131	10,2289	10,7608	11,1558	11,4497

ლიტერატურა

1. Vasiliev K. Vacuum belt conveyor drives. Tyazhmash. №38. 1980, 50 p. (in Russian).
  2. Andreev A.V. Transmission by friction. Mashinostroenie. Moscow. 1978, 175 p. (in Russian).
  3. Evnevich A.V. Transporting machines and systems. Nedra. Moscow. 1975, 415 p. (in Russian).
  4. Vasiliev K. Using the vacuum drum drive for increased traction ability of single-drum conveyor drive belt. USSR journal "Mechanization and automation of production." №4.1980, 29-31 pp. (in Russian).
- 

UDC 622.647.2

SCOPUS CODE 2210

**ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF VACUUM ZONE ON TRACTIVE EFFORT OF VACUUM DRUM**

- N. Molodini** Department of Mining Technology, Georgian Technical University, 75 M. Kostava str, 0175 Tbilisi, Georgia  
E-mail: nor\_mol@mail.ru
- R. Molodini** BP Georgia, 24 S. Tsintsadze str, 0160 Tbilisi, Georgia  
E-mail: revazmolodini@yahoo.com
- N. Jikia** Department of Mining Technology, Georgian Technical University, 75 M. Kostava str, 0175 Tbilisi, Georgia  
E-mail: jikiania@gmail.com

**Reviewers:**

- T. Obgadze**, Professor, Department of Tool Engineering, Automation and Control Systems, Faculty of Informatics and Control Systems, GTU  
E-mail: tamaz@mail.ru
- I. Gujabidze**, Professor, Department of Mining Technology, Faculty of Mining and Geology, GTU  
E-mail: i.k.gujabidze@gmail.com

**ABSTRACT.** We give a mathematical expression and methods of their application to determine tractive effort of vacuum drum on conveyor belt, depending on the number and location of the vacuum zones.

Computer calculations for specific math expressions and tractive efforts were provided on the basis of the physical parameters of the vacuum drive model developed at the laboratory of department and obtained data are presented in eight tables. Appropriate analysis based on these data enables to define most efficient location of vacuum zones for maximum value of tractive efforts.

**KEY WORDS:** Angular increment (angular pitch); arc of elastic slip; arc of relative rest; ring slit; run-on point of the belt; run-off point of the belt; traction coefficient; tractive factor; tractive effort; vacuum drum; vacuum subzone.

UDC 622.647.2

SCOPUS CODE 2210

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ МЕСТОРАСПОЛОЖЕНИЯ ВАКУУМНОЙ ЗОНЫ НА ТЯГОВОЕ УСИЛИЕ ВАКУУМ-БАРАБАНА

- Молодини Н.Ш.** Департамент горных технологий, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава, 75  
E-mail: nor\_mol@mail.ru
- Молодини Р.Н.** «Вірі», Грузия 0160, Тбилиси, ул. Цинцадзе 24  
E-mail: revazmolodini@yahoo.com
- Джикия Н.Э.** Департамент нефти и газа, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава, 75  
E-mail: jikiania@gmail.com

### Рецензенты:

**Т. Обгадзе**, профессор Департамента приборостроения, автоматизации и систем управления факультета информатики и систем управления ГТУ

E-mail: tamaz@mail.ru

**И. Гуджабидзе**, профессор Департамента горных технологий горно-геологического факультета ГТУ

E-mail: i.k.gujabidze@gmail.com

**АННОТАЦИЯ.** Даются математические выражения и методика их применения для определения тягового усилия, развиваемого вакуум-барабанным приводом на конвейерной ленте в зависимости от количества и местоположения в кольцевой щели вакуум-подзон. Предусмотрением физических параметров модели вакуум-барабана, созданного на лабораторной базе департамента, совершены компьютерные расчеты для отдельных составляющих частей математических выражений и тягового усилия в целом и представлены восемь таблиц, анализ которых дает возможность определить наилучшее расположение модели вакуум-подзон в кольцевой щели для получения максимального тягового усилия.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** вакуум-барабан; вакуум-подзоны; дуга упругого скольжения; дуга относительного покоя; кольцевая щель; коэффициент сцепления; точка набегания ленты; точка сбегания ленты; тяговое усилие; тяговый фактор; угловые приращения (угловой шаг).

UDC 631.312.62

SCOPUS CODE 2210

## კარტოფილის ამღები მანქანების საველე ბამოცდების შედეგები

**ო. თედორაძე** აგრარული დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0192, თბილისი, გურამიშვილის 17

E-mail: omar.tedoradze@moa.gov.ge

**დ. თავხელიძე** აგრარული დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0192, თბილისი, გურამიშვილის 17

E-mail: d.tavkhelidze@gtu.ge

### რეკენზენტები:

**ო. ქარჩავა**, საქართველოს სოფლის მეურნეობის სამეცნიერო-კვლევითი ცენტრის მთავარი სპეციალისტი, ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი

E-mail: o.karchava@mail.ru

**ხ. გოჭოშვილი**, საქართველოს სოფლის მეურნეობის სამინისტროს დარგობრივი სამმართველოს მთავარი სპეციალისტი, ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი

E-mail: khvicha.gochoshvili@moa.gov.ge

**ანოტაცია.** განხილულია დღეისათვის საქართველოში შემოტანილი და პრაქტიკაში დანერგილი კარტოფილის ამღები მანქანების სხვადასხვა მოდელის შედარებითი საველე საქსპლუატაციო გამოცდის მეთოდოლოგია და გამოცდის შედეგები. მიღებული შედეგების ანალიზის საფუძველზე, საქართველოს ნიადაგობრივი პირობების გათვალისწინებით, ბელორუსის ქარხანა „ГОМСЕЛМАШ“-ის სპეციალისტებთან ერთად შედგენილია ახალი უნივერსალური ტიპის კარტოფილის ამომყრელი - დამტვირთველი მანქანის პრინციპული სქემა, რის საფუძველზეც ამავე ქარხანაში დამზადდა მანქანის საგამოცდო ნიმუში, რომლის საწარმოო გამოცდა მიმდინარე სეზონში დაიგეგმა.

**საკვანძო სიტყვები:** ამომყრელი; გამოცდა; დაზიანება; დანაკარგები; ექსპლუატაცია; კომბაინი; ტუბერები.

### შესავალი

საქსტატის 2015 წლის მონაცემებით, საქართველოში კარტოფილის ნათესების ფართობი 25 ათას ჰექტარს შეადგენს. აღნიშნულ ფართობზე კარტოფილის მოსავლის ასაღებად გამოიყენება ორი სახის ტექნიკა – კარტოფილის ამომყრელი და კარტოფილის ამღები კომბაინები. სოფლის მეურნეობის სამინისტროს მონაცემებით, ქვეყანაში ფიქსირდება 150 ერთეულამდე სხვადასხვა მოდელის კარტოფილის ამომყრელი მანქანა და 10 ერთეულამდე კარტოფილის ამღები კომბაინი. როგორც არსებული მდგომარეობის შესწავლამ აჩვენა, რეალურად კარტოფილის მო-

საავლის ადების ოპერაცია სრულდება ამომთხრელებით ანუ მხოლოდ ამოყრა, დანარჩენი ოპერაციები (აკრეფა, ტომრებში ჩაყრა, დატვირთვა) სრულდება ხელით. რაც შეეხება კომბაინების გამოყენებას, ფაქტობრივად მათი გამოყენება სხვადასხვა მიზეზის გამო (რომელზედაც ქვემოთ ვისაუბრებთ) ვერ ხერხდება, რაც საკმაოდ აძვირებს კარტოფილის თვითღირებულებას და დაბალკონკურენტუნარიანს ხდის ექსპორტის თვალსაზრისით. თუ კარტოფილის წარმოების ტექნოლოგიურ რუკას გავაანალიზებთ, ირკვევა, რომ მოვლა-მოყვანის სამუშაოებზე დახარჯული თანხებიდან 40–45 % იხარჯება მოსავლის ადების ოპერაციებზე. როგორც პრაქტიკა აჩვენებს, 1 ჰექტარზე ამომყრელის გამოყენებით მოსავლის ადება 400–500 ლარი ჯდება, ხოლო კომბაინებით ადებისას – ორჯერ მცირდება.

კარტოფილის ამღები კომბაინების არაეფექტურობის ერთ-ერთი გამომწვევი მიზეზია ისიც, რომ ქვეყანაში შემოტანილია 10-მდე ქვეყნის სხვადასხვა მოდელისა და კონსტრუქციის ამომყრელები, რაც ართულებს მათ სერვისულ მომსახურებას და მარაგნაწილებით მომარაგებას, ასევე სერიოზული ფაქტორია ისიც, რომ ყველა ეს ტექნიკა გათვლილია მსუბუქ და საშუალო ტიპის ნიადაგებზე, განსაკუთრებით უნდა აღინიშნოს ის გარემოება, რომ საქართველოში კარტოფილის მოყვანის ზონებში ძირითადად მძიმე

და ჭარბტენიანი ნიადაგებია, რის გამოც ტექნიკა ხშირად გამოდის მწყობრიდან, რაც აისახება ტექნიკის დაბალმწარმოებლურობაში, მაღალდანიკარგებსა და ტუბერების დაზიანების მაღალპროცენტულ მაჩვენებლებში.

შესაბამისად, კარტოფილის მწარმოებლები სერიოზული პრობლემების წინაშე დგანან და მოითხოვენ მაღალეფექტურ ტექნიკას, რომელიც შეასრულებს ადების ყველა ოპერაციას, ექნება მცირე დანაკარგი და საიმედოდ იმუშავებს მცირეკონტურიან ფართობებსა და მძიმე ნიადაგებში.

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, კვლევის მიზანს შეადგენდა გამოცდა-ტესტირებით შეგვესწავლა არსებული კარტოფილის ამღები კომბაინების ნაკლოვანი მხარეები და მიღებული შედეგების მიხედვით შეგვემუშავებინა არსებული ტექნიკის მოდერნიზაციისა და რაციონალურად გამოყენების ეფექტური ღონისძიებები.

**ძირითადი ნაწილი**

როგორც აღვნიშნეთ, კარტოფილის მოსავლის ასაღებად ფერმერები იყენებენ 10 სხვადასხვა მოდელის სხვადასხვა ქვეყანაში წარმოებულ კარტოფილის ამღებ კომბაინებს, რომელთა ტექნიკური მახასიათებლები მოცემულია 1-ლ ცხრილში.

ცხრილი 1

**კარტოფილის მოსავლის ასაღებად გამოყენებული კომბაინების ტექნიკური მახასიათებლები**

მაჩვენებლები	GRIMM-SE-140, (გერმანია)	GRIMME_SE-170 (გერმანია)	BOLKO (პოლონეთი)	KKY-1 (ბელორუსი)
ტიპი	მისაბმელი	მისაბმელი	მისაბმელი	მისაბმელი
მწარმოებლურობა ჰა/სთ	0,5-0,7	1,2-1,7	0,15	0,35
ადებული რიგების რა-ობა	1	2	1	1
სამუშაო სიჩქარე კმ/სთ	5-7	5-7	1,5-5	4-5



გაბარიტული ზომები, მმ:				
სიგრძე	8300	8300	5950	6400
სიგანე	3000	4500	2420	2700
სიმაღლე	3160	3260	2690	2700
წონა, კგ	5000	9000	2970	2750

ცხრილებში (1 და 2) მოცემული მანქანების მუშაობაზე მრავალწლიანი დაკვირვება გვიჩვენებს, რომ ისინი პრინციპული სქემით და ტექნოლოგიური პროცესის შესრულებით ძალიან ჰგავს ერთმანეთს, განსხვავება მათ დიზაინში,

ზოგიერთი კვანძის კონსტრუქციასა და დამატებით ოფციებშია. რაც შეეხება კომბაინებს, აქაც იგივე სურათია (იხ.ცხ.1). როგორც პრაქტიკა აჩვენებს, ეს კომბაინები საქართველოს პირობებში ფაქტობრივად ვერ მუშაობს.

ცხრილი 2

**კარტოფილის ამომყრელი მანქანების ტექნიკური მახასიათებლები**

მაჩვენებლები	KST-1,4 (რუსეთი)	KTH-2B (ბელორუსი)	AKPIL-BULAVA-2 (პოლონეთი)	SPEDO-CPP-BD130 (იტალია)	AGROMASTE R-ORS-2 (თურქეთი)	GIMME-RL-1700 (გერმანია)
შწარმოებლურობა კ/სთ	0.27-0.86	0.25-0.47	0.3-0.6	0.15-0.35	0.2-0.5	0.25-0.7
აღებული რიგების რაობა	2	2	2	2	2	2
სამუშაო სიჩქარე კმ/სთ	1.93-6.5	1.8-3.4	2- 4	1.7-3.5	2-3	2.5-5
გაბარიტული ზომები, მმ:						
სიგრძე	5000	3220	5000	4300	2500	2400
სიგანე	1830	1785	1660	1420	1375	2060
სიმაღლე	1200	1250	1200	1200	1120	1500
წონა, კგ	1090	810	890	720	616	900

ზემოაღნიშნული კარტოფილის მოსავლის ამღები მანქანების ეფექტური გამოყენების მიზნით, 2014–2015 წლებში ჩავატარეთ მათ მუშაობაზე დაკვირვება, ანალიზი და ტესტირება-გამოცდა ახალქალაქის, წალკის, ნინოწმინდის, მარნეულის მუნიციპალიტეტებში სპეციალურად შერჩეულ ნაკვეთებზე, სხვადასხვა ნიადაგობრივი პირობების გათვალისწინებით. ტესტირება-გამოცდის მიზანს შეადგენდა იმ მიზეზების დად-

გენა, რომელთა გამო დღემდე ვერ ხერხდება ქვეყანაში არსებული კარტოფილის ამღები კომბაინებისა და ამომყრელების ეფექტური გამოყენება და, შესაბამისად, შეგვემუშავებინა საქართველოს ნიადაგობრივ-კლიმატურ პირობებში კომბაინების ეფექტური გამოყენებისთვის საჭირო კონკრეტული წინადადებები.

კარტოფილის ამღები კომბაინისა და ამომყრელი მანქანის ტესტირება-გამოცდა ჩატარდა 5

მუნიციპალიტეტის კარტოფილის ნათეს ფართობზე (1,5 ჰა-ზე) სხვადასხვა ნიადაგობრივ პირობებში, სადაც კარტოფილი ჩათესილი იყო ბაზოებზე მოყვანის ტექნოლოგიის გამოყენებით.

**შეფასების ძირითადი პარამეტრები**

გამოცდა-ტესტირებისათვის კარტოფილის ამღები კომბაინებისა და სათხრელის შესაფასება ხდებოდა შემდეგი ძირითადი პარამეტრების მიხედვით:

- ა) ამოღებული მასის სისუფთავე პროცენტებში (მიწის კოშტებისა და სხვა მინარევების შემცველობის მიხედვით);
- ბ) ამოღებული კარტოფილის დაზიანებისა (დაჭრილ-დაუქეილი) და დანაკარგების (ნიადაგში დარჩენილი) პროცენტულობა;

გ) კომბაინის მართვისა და რეგულირების სიმარტივე;

დ) სამუშაო დროის დანაკარგების კოეფიციენტი;

ე) ოპტიმალური სამუშაო სიჩქარე, კმ/სთ;

ვ) კომბაინის (ამომყრელის) წარმადობა, ჰა/სთ;

ზ) საწვავის ხარჯი, ლ/ჰა;

ი) კომბაინის სავალი ნაწილის გაეღენა ნიადაგზე (იგულისხმება ნიადაგის დატკეპნა და შედეგად ნიადაგის ტექნიკური ეროზია).

ჩატარებული გამოცდების შედეგები და ტესტირების წინაპირობები მოცემულია ქვემოთ (ცხრილი 3).

ცხრილი 3

ფართობი – 1,5 ჰა; მოსავლიანობა – 17 ტ/ჰა; ნიადაგის ტენიანობა – 18–20%;

საქცევის სიგრძე 100 მ; მოსაბრუნი ზოლის სიგანე – 5 მ

კომბაინი + ტრაქტორი ტესტირების მაჩვენებლები	GRIMME SE-140 MTZ-1221			GRIMME SE-170 MTZ-1221			KKU-1(ბელოროსი) MTZ-90			BOLKO(პოლანდია) MTZ-90		
	მძ.	საშ.	მს.	მძ.	საშ.	მს.	მძ.	საშ.	მს.	მძ.	საშ.	მს.
ნიადაგის ტიპი												
აღებული რიგების რა-ობა	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1
სამუშაო სიჩქარე, კმ/სთ	4	5,5-6	7	4	6	7	5	5	5	3,5	5	5
მწარმოებლურობა, ჰა/სთ	0,15	0,4	0,5	0,2	0,4	0,5	0,1	0,15	0,35	0,08	0,1	0,15
საწვავის ხარჯი, ლ/ჰა	40	35	30	50	45	40	20	15	15	20	13	13
აღებული მოსავლის სისუფთავე, %	17	15	13	17	15	13	14	13	12	14	13	12
დაზიანება, %	2	1,5	1	2	1,5	1,2	2	1,5	1	2	1,5	1
დანაკარგები ნიადაგში, %	0,8	0,5	0,4	0,8	0,5	0,4	1,5	1,2	1	1,5	1,2	1
დროის გამოყენების კოეფიციენტი	0,6	0,7	0,7	0,6	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8
ნიადაგის დატკეპნა, მ/სმ												

ცხრილში მოცემული მონაცემების ანალიზის საფუძველზე შეიძლება ჩამოვაყალიბოთ შემდეგი დასკვნები:

- კომბაინის ბუნკერში გადატანილი კარტოფილის მასაში აღმოჩნდა 15–20 %-მდე სხვადასხვა მინარევი. ასეთი მოცულობის მინარევების არსებობის გამო, დამხმარე მუშები ვერ ასწრებდნენ მათ მოცილებას და კარტოფილის მასას მაინც მიჰყვებოდა მინარევი, რომლის რაოდენობა საგრძნობლად აჭარბებდა დადგენილ ნორმას.

- მაღალია დაზიანებული (დაუქეილი) ტუბერების რაოდენობა (1,5–2 %), თუმცა ტუბერების დაზიანების ძირითადი მიზეზია კომბაინის საცვევის მოკლე სიგრძე (100–120 მეტრი). ასეთია კარტოფილის მწარმოებელთა საკუთრებაში/სარგებლობაში არსებული ნაკვეთების უმრავლესობა და შესაბამისად კომბაინი ვერ ავითარებს გამართული მუშაობისათვის საჭირო სამუშაო სიჩქარეს, რის გამოც ტუბერები თამასებიან დახრილ ტრანსპორტიორზე ვერ მოძრაობს სწრაფად (უკან გორდება) და შედეგად ხდება ტუბერების ზედაპირის დაზიანება. კომბაინის გადაადგილების დაბალი სიჩქარის გამო, ასევე ვერ ხერხდება მიწის მსხვილი კოშტების დაშლა და გაცხავენა.

- კომბაინების საექსპლუატაციო სიგრძე ტრაქტორთან ერთად 15 მეტრს შეადგენს (10+5), რის გამოც მობრუნებისას საკმაოდ დიდი დრო იკარგება. იმის გათვალისწინებით, რომ მეკარტოფილეობის ზონაში არსებული ფართობების უმრავლესობას ფაქტიურად არ გააჩნია ან გააჩნია ძალიან მცირე ზომის მოსაბრუნე ზოლი (კომბაინის სჭირდება არანაკლებ 20–25 მეტრი სიგრძის მოსაბრუნე ზოლი), კომბაინი იძულებულია მობრუნდეს მეზობელი ნაკვეთის ტერიტორიაზე. ეს გარემოება კი ფაქტობრივად ზღუდავს აღნიშნული ზომის ფართობებში ამ კომბაინების გამოყენებას.

- კომბაინის სამუშაო სიჩქარე ინსტრუქციის მიხედვით 8–9 კმ/სთ-ს შეადგენს, თუმცა რეალურად, არსებულ შეზღუდულ პირობებში, ავითარებს 4–5 კმ/სთ-ს, რაც საგრძნობლად ამცირებს მის წარმადობას – 1.8–2ჰა/ცვლა (ცვლაში იგულისხმება 8 საათი). გარდა ამისა, დაბალი სიჩქარისა და დიდი წონის (ერთრიგიანი მანქანის წონაა 9.5 ტონა, ხოლო ორრიგიანის – 13 ტონამდე) გამო, ესაჭიროება შედარებით მაღალი სიმძლავრის (110–120 ცხ.ძ.) ტრაქტორი, რადროსაც საწვავის ხარჯი მეტად მაღალია და აღწევს 50–60 ლ/ჰა-ზე. აღწერილი რეჟიმებით მუშაობა საგრძნობლად ამცირებს კომბაინის გამოყენების ეფექტურობას და, შესაბამისად, აძვირებს აღებული მოსავლის თვითღირებულებას.

- ასევე საყურადღებოა შემდეგი გარემოება. კარტოფილის მოვლა-მოყვანის დროს აუცილებელია თესვების გათვალისწინება, რაც გულისხმობს იმას, რომ მომდევნო წელს კარტოფილის ნათეს ფართობზე უნდა დაითესოს სხვა კულტურა, მარცვლეული ან სხვადასხვა ბალახი. გამომდინარე იქიდან, რომ ნაკარტოფილარი ნიადაგი კარგად არის დამუშავებული, მეორე წელს არ საჭიროებს მოხენას და საკმარისია მხოლოდ მსუბუქი კულტივაცია 10–15 სმ სიღრმეზე.

- როდესაც კარტოფილის ასაღებად საჭიროა მძიმე კომბაინების გამოყენება, როგორც გამოცვლა-ტესტირების შედეგები გვიჩვენებს, კარტოფილის აღების პერიოდში ნიადაგი განიცდის ძლიერ დატკეპნას, რასაც ხელს უწყობს ნიადაგის მაღალი ტენიანობაც, ეს კი ტექნიკური ეროზიის წინაპირობაა. გარდა აღნიშნულისა, დატკეპნილი ნიადაგის დამუშავებას სჭირდება მოხენა და სხვა თანამდევე ოპერაციები, რაც საგრძნობლად ურთულებს და უძვირებს ფერმერებს საშემოდგომო სამუშაოებს.

- დაბალია კომბაინის საექსპლუატაციო დროის გამოყენების კოეფიციენტი, რაც გამოწვეულია იმით, რომ ფერმერების კუთვნილი ფართობები

მცირე ზომისაა (0,025-1 ჰა), ასევე მცირეა მოსაბრუნე ზოლების სიგანე (5-6 მ), ზუსტად არ არის დაცული კარტოფილის ბაზოებზე დარგვის ტექნოლოგია ანუ დარღვეულია რიგების სისწორე და დაბალია ბაზოების სიმაღლე, ამიტომ (დახლოებით ყოველ 5-10 წუთში) სახნისები გადადის რიგიდან ან ახდენს ბაზოების ქვეშ დაუმუშავებელი მიწის კოშტების ამოღებას, რის გამოც ადგილი აქვს ტუბერების დაზიანებას (დაჭრას), საჭირო ხდება კომბაინის გაჩერება და ამოსაღებ რიგზე გასწორება, რაც შესაბამისად ზრდის როგორც საექსპლუატაციო დროს, ასევე კარტოფილის დანაკარგებს. ეს ფაქტორი მიგვაჩინებდა, რომ აღნიშნული კომბაინების მუშაობა გათვალისწინებულია მხოლოდ კარტოფილის ბაზოებზე დარგვის ზუსტად შესრულებულ ტექნოლოგიაზე, როდესაც დაცულია რიგების სისწორე და ბაზოს სიმაღლე (30-35 სმ) და მობრუნების ზოლი (არის არანაკლებ 10 მ), რაც საქართველოს მეკარტოფილეობის ზონებში ფაქტიურად არ ხდება.

- კომბაინების გამოუყენებლობის ერთ-ერთი მიზეზიც ის არის, რომ წინასწარ არ ჩატარდა კომბაინების ტესტირება ადგილზე, შესაბამისად არ მოხდა დარგულირება და სამუშაო რეჟიმების შერჩევა ადგილობრივი ტექნოლოგიით დათესილი ფართობებისა და ნიადაგობრივი პირობების გათვალისწინებით. ასევე წინასწარ არ იქნა მომზადებული კომბაინის ოპერატორები, რომლებსაც კარგად ეცოდინებოდათ ამ მეტად რთული კონსტრუქციის ელექტრონული და ავტომატური მართვის აპარატურით აღჭურვილი კომბაინების მართვისა და ექსპლუატაციის წესები.

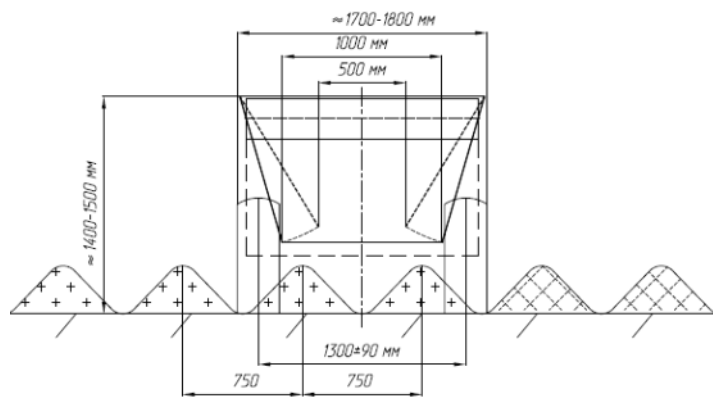
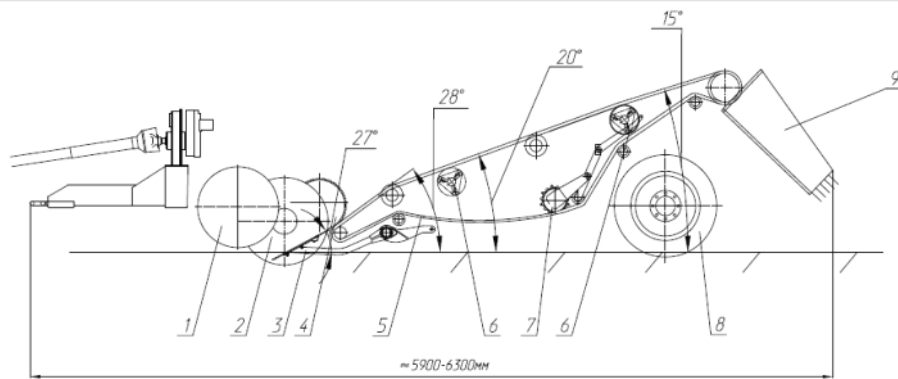
- თუ გავითვალისწინებთ ზემოთ აღნიშნული კომბაინების გამოცდა-ტესტირების შედეგებს და

ღირებულებას (50-120 ათასი ევრო), რაც ჩვენი ფერმერებისათვის ფაქტობრივად მიუწვდომელია და ასევე მეკარტოფილეობის ზონის მძიმე და ჭარბტენიან ნიადაგობრივ და არასტაბილურ კლიმატურ პირობებს, კარტოფილის საწარმოო ფართობების მცირე ზომას, ვიწროკონტურიანობას და ფერდობებზე განლაგებას (ასეთი ფართობი მთლიანი ფართობის 60-70%-ს შეადგენს), შესაძლებელია დავასკვნათ, რომ აღნიშნული კომბაინების გამოყენება საქართველოს პირობებში არაეფექტურია.

### პრობლემის გადაჭრის გზები

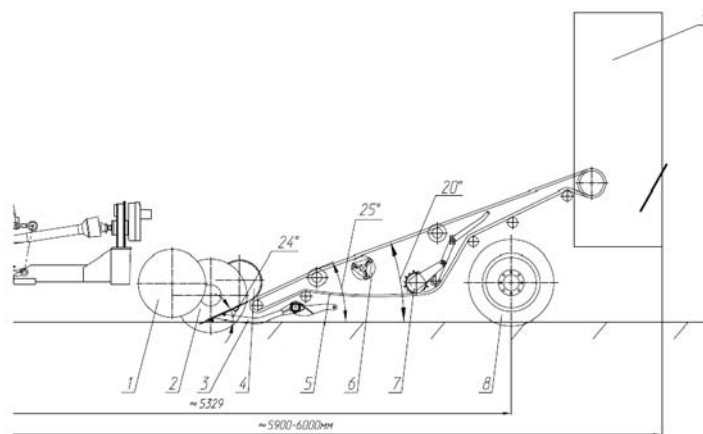
კომბაინების გამოცდა-ტესტირების შედეგებისა და არსებული პირობების გათვალისწინებით, ქარხანა “ТОМСЕЛЬМАШ“-ის მთავარი სპეციალისტების მიერ შემოთავაზებულია ამ ქარხანაში წარმოებული კარტოფილის ამღებ-დამტვირთველის მოდერნიზაცია, საქართველოში ჩამოტანისა და გამოცდის წინადადება. აღნიშნული მანქანის საერთო ხედი მოცემულია მე-4 ნახ-ზე.

ადგილობრივ სპეციალისტებსა და ფერმერთან ერთად განვიხილოთ შემოთავაზებული მანქანის ვარიანტი და გამოვიკეთა შემდეგი მოსაზრება: შემოთავაზებულ ვარიანტს (მანქანას) აქვს დადებითი მხარეები: არის კონსტრუქციულად მარტივი, მისი მართვა არ მოითხოვს განსაკუთრებულ ცოდნას, შეუძლია აიღოს ნებისმიერი ტექნოლოგიით მოყვანილი კარტოფილის მოსავალი, ხოლო უარყოფითი მხარეებიდან გამოიკვეთა: დიდი წონა, დიდი გაბარიტული ზომები, საწმენდი ელევატორის დახრის მაღალი კუთხე, რაც ამცირებს მის ხარისხობრივ მაჩვენებლებს მძიმე ნიადაგობრივ პირობებში მუშაობისას.



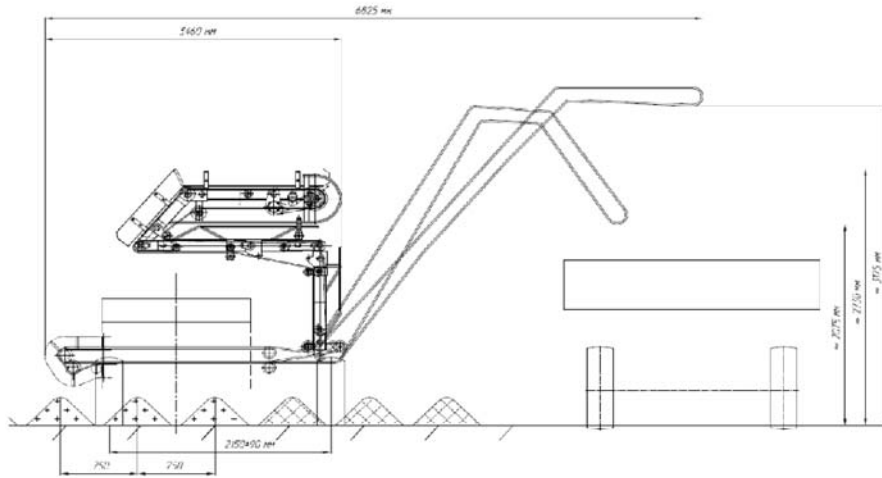
ნახ. 1. მოდერნიზებული კარტოფილის ამომყრელის პრინციპული სქემა

1. საყრდენი საგორავეები, 2. პასიური ვერტიკალურად მჭრელი დისკები, 3. ორსექციიანი ბრტყელი სახნისები, 4. ფორების დამჭიმი თვლები, 5. საწმენდი ცხავი, 6. შემრხვეი მექანიზმი, 7. დამჭიმ-დამაწყნარებელი, 8. საყრდენი თვლები, 9. მიმმართველი ღარი



ნახ. 2. მოდერნიზებული კარტოფილის ამომყრელ-დამტვირთველის სქემა (გვერდხედი)

1. საყრდენი საგორავეები, 2. პასიური ვერტიკალურად მჭრელი დისკები, 3. ორსექციიანი ბრტყელი სახნისები, 4. ფორების დამჭიმი თვლები, 5. საწმენდი ცხავი, 6. შემრხვეი მექანიზმი, 7. დამჭიმ-დამაწყნარებელი, 8. საყრდენი თვლები, 9. ამოყრილი კარტოფილის სატრანსპორტო საშუალებაში გადამტვირთველი ტრანსპორტიორი



ნახ. 3. მოდერნიზებული კარტოფილის ამომყრელ-დამტვირთველის სქემა (უკანა ხედი)



ნახ. 4. ქარხნის მიერ წარმოებული მანქანის საერთო ხედი

აღნიშნული მანქანის უფრო ეფექტური მუშაობისათვის სტატიის ავტორებმა შემოგვთავაზეს ამომყრელი მანქანის მოდერნიზაციის წინადადება (შესაბამისი პარამეტრებით ვიწროკონტურიან, მცირე ფართობის მქონე და მიიძე ნიადაგებში სამუშაოდ), რის შემდეგაც მანქანა გახდება უნივერსალური და, საჭიროების შემთხვევაში, შეიძლება იმუშაოს მეორე ვარიანტით: როგორც კარტოფილის ამომყრელი და როგორც კარტო-

ფილის ამომყრელ-დამტვირთველი.

ასეთი მოდელი საშუალებას მოგვცემს სრულად გამოვიყენოთ მანქანა როგორც მცირე ზომის ნაკვეთებზე, ასევე დიდ ფართობზე სამუშაოდ. ერთობლივად შემუშავებული მოდერნიზებული უნივერსალური კარტოფილის ამღები მანქანის ტექნოლოგიური სქემა და ტექნიკური პარამეტრები წარმოდგენილია 1-ელ – მე-2 ნახაზებსა და მე-4 ცხრილში.

უნივერსალური კარტოფილის ამომყრელ-დამტვირთველის ტექნიკური მახასიათებლები

ტექნიკური მახასიათებლები	მოდერნიზებული კარტოფილის ამომყრელი	მოდერნიზებული კარტოფილის ამომყრელ-დამტვირთველი	შენიშვნა
მოდელის განი	1.4-1.6	1.4-1.6	
აღებული რიგების რაობა	2	2	70x70, 90x90
სამუშაო სიჩქარე, კმ/სთ	2-6	1.9-6.5	
სატრანსპორტო სიჩქარე კმ/სთ	არანაკლებ 15	14-15	
მწარმოებლურობა, ჰა/სთ	0.25-0.86	0.2-0.6	
საჭირო სიმძლავრე, ცხ.ძ.	80-90	82-100	1,4 ტონა კლასის ტრაქტორი
გაბარიტული ზომები, მმ			
სატრანსპორტო მდგომარეობაში:			
სიგრძე	6300	6000	
სიგანე	2500	4000	
სიმაღლე	1500	3000	
სამუშაო მდგომარეობაში:			
სიგრძე	6300	6000	
სიგანე	2500	7300	
სიმაღლე	1500	4000	
გადმოტვირთვის სიმაღლე, მმ	400	2200-3190	რეგულირებადი
წონა, კგ			
თვლებს შორის მანძილი, მმ	1300 +_ 90	2150 +_ 90	რეგულირებადი
მომსახურე პერსონალი	1	2	1-ტრაქტორის ოპერატორი 1-გვერდზე მიმავალი ტრაქტორის ოპერატორი

**დასკვნა**

ქვეყანაში არსებული კარტოფილის ამღები კომბაინების მუშაობაზე დაკვირვებისა და ტესტირება-გამოცდების შედეგების ანალიზის საფუძველზე დადგინდა კომბაინების არაეფექტური გამოყენების ძირითადი ნაკლოვანი მხარეები, რომელთა გათვალისწინებით ბელორუსიის ქარხანა „ромсельмаш“-ის სპეციალისტებთან ერთად მოდერნიზებულ იქნა ამავე ქარხნის მიერ წარმო-

ბული კარტოფილის ამომყრელ-დამტვირთველი (საბაზო მოდელი) კომბაინები საქართველოში არსებულ მიწზე და ჭარბტენიან ნიადაგობრივ პირობებში სამუშაოდ, შესაბამისად შედგა უნივერსალური ტიპის კარტოფილის ამომყრელ-დამტვირთველის პრინციპული და კონსტრუქციული სქემები, რის საფუძველზეც ამავე ქარხანაში დამზადდა მანქანის საგამოცდო ნიმუში, რომლის საწარმოო გამოცდა 2016 წლის სეზონზე ჩატარდა.

### ლიტერატურა

1. Tedoradze O., Nadiradze K. Analysis of working process of root and tuber crops cleaning technology. Transport and mechanical engineering. GTU. N1 (29). Tbilisi. 2014. (in Georgian) .
  2. Tubolev S. and others. Machine technology and equipment for the production of potatoes. Agrosplas. Moscow. 2010. (in Russian).
  3. Product catalog „Gomselmash“. Gomel. 2016. (in Russian).
  4. Machine test standard „ISO-9001“. Moscow. 2012. (in Russian).
- 

UDC 631.312.62

SCOPUS CODE 2210

### RESULTS OF THE FIELD EXAMINATION OF POTATO HARVESTING MACHINE

- O. Tedoradze** Department of Agriculture, Georgian Technical University, 17 D. Guramishvili str, 0192 Tbilisi, Georgia  
E-mail: omar.tedoradze@moa.gov.ge
- D. Tavkhelidze** Department of Agriculture, Georgian Technical University, 17 D. Guramishvili str, 0192 Tbilisi, Georgia  
E-mail: d.tavkhelidze@gtu.ge

#### Reviewers:

**O. Karchava**, Chief Specialist at Scientific-research Center Department of the Ministry of Agriculture of Georgia  
E-mail: o.karchava@mail.ru

**Kh. Gochoshvili**, Doctor Oif Technical Sciences, Chief Specialist at Branch Administration of the Ministry of Agriculture of Georgia  
E-mail: khvicha.gochoshvili@moa.gov.gr

**ABSTRACT.** The given article is devoted to the field examination and comparison analysis of different types of the potato harvester machines imported in Georgia. Based on analysis of received results, with taking into account the soil conditions of Georgia together with specialists of Belorussian enterprise “Gomselmash” has been elaborated the principal scheme of new type of potato harvesting machine, based on which the pilot sample of aforesaid machine has been produced. Examination of the above mentioned machine is planned in current session of potato harvest.

**KEY WORDS:** Bruise; examination; exploitation; harvesting machine; loses; potato harvesting; potato tubers.



UDC 631.312.62  
SCOPUS CODE 2210

## РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛЕВЫХ ИСПЫТАНИЙ УБОРОЧНЫХ МАШИН КАРТОФЕЛЯ

**Тевдорадзе О.М.** Аграрный департамент, Грузинский технический университет, Грузия, 0192, Тбилиси, ул. Гурамишвили 17  
E-mail: omar.tedoradze@moa.gov.ge

**Тавхелидзе Д.Д.** Аграрный департамент, Грузинский технический университет, Грузия, 0192, Тбилиси, ул. Гурамишвили 17  
E-mail: d.tavkheldize@gtu.ge

### Рецензенты:

**О. Карчава**, главный специалист Научно-исследовательского центра сельского хозяйства Грузии, доктор технических наук, профессор ГТУ

E-mail: o.karchava@mail.ru

**Х. Гочошвили**, главный специалист Отраслевого управления Министерства сельского хозяйства Грузии, доктор технических наук

E-mail: khvicha.gochoshvili@moa.gov.gr

**АННОТАЦИЯ.** Рассмотрены методика и результаты испытания уборочных машин картофеля различных моделей, полученных в Грузии, которые внедрены в практике полевых условий эксплуатации.

На основе анализа результатов, с учетом почвенных условий Грузии белорусским заводом «ГОМСЕЛЬМАШ» вместе со специалистами создана новая, универсального типа принципиальная схема уборочно-погрузочной машины картофеля и на ее основе на этом же заводе был создан опытный образец, производственное испытание которого запланировано на текущий сезон.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** испытание; комбайн; повреждение; потери; клубни; эксплуатация.

UDC 681.3

SCOPUS CODE 2215

**რბოლისებრი განივგვეთის მქონე ცილინდრული ძეღის ოპტიმალური პარამეტრების განსაზღვრა**

- ბ. გვასაღლია** მშენებლობის კომპიუტერული დაპროექტების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 68<sup>ბ</sup>  
E-mail: gvasabadal@posta.ge
- თ. კვაჭაძე** მშენებლობის კომპიუტერული დაპროექტების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 68<sup>ბ</sup>  
E-mail: tamuna kvachadze@mail.ru
- ი. სუხიაშვილი** მშენებლობის კომპიუტერული დაპროექტების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 68<sup>ბ</sup>  
E-mail: Iraklisukhiashvili@gmail.com

**რეცენზენტები:**

**მ. ზაქარაძე**, სტუ-ის ნ. მუსხელიშვილის სახელობის გამოთვლითი მათემატიკის ინსტიტუტის მთავარი მეცნიერი თანამშრომელი

E-mail: mamuliz@yahoo.com

**დ. ჯანყარაშვილი**, სტუ-ის სამშენებლო ფაკულტეტის საინჟინრო მექანიკისა და მშენებლობის ტექნიკური ექსპერტიზის დეპარტამენტის ასოც. პროფესორი

E-mail: d.jaankarashvili@gtu.ge

**ანოტაცია.** ბოლო წლებში, განსაკუთრებით საინჟინრო საქმეებში მუდმივად და თანამიმდევრულად შეიმჩნევა დასაშვები ტექნიკური ამოხსნებიდან ოპტიმალურ გადაწყვეტამდე გადასვლის ტენდენციები.

ძეღის წონის მინიმიზაციის ამოცანა განხილულია, როგორც არაწრფივი მათემატიკური დაპროგრამების ამოცანა. არაწრფივი, მრავალპარამეტრიანი და მრავალექსტრემუმიანი მიზნის ფუნქციის გლობალური ექსტრემუმის გამოსათვლელად გამოყენებულია ექსტრემუმის შემთხვევითი ძებნის მეთოდი.

დამუშავებულია ამოცანის ამოხსნის ალგორითმი. ძეღის ოპტიმალური პარამეტრების განსაზღვრისათვის შედგენილია კომპიუტერული პროგრამა VB ენაზე, აგრეთვე დამუშავებულია ალგორითმი და პროგრამა ძეღის ანიმაციური მოდელის შესაქმნელად. ამოცანა დაყვანილია რიცხვით მაგალითამდე.

**საკვანძო სიტყვები:** ოპტიმალური დაპროექტება; შემთხვევითი ძებნა; ცილინდრული ძეღი.

**შესავალი**

მშენებლობაში ოპტიმიზაციის მეთოდების გამოყენებამ სწრაფი და მნიშვნელოვანი განვითარება დაიწყო გასული საუკუნის 60-იანი წლებიდან. ეს განპირობებული იყო, ერთი მხრივ, კომპიუტერული ტექნიკისა და პროგრამირების მეთოდების განვითარებით და, მეორე მხრივ, მშენებლობაში გაჩნდა მსუბუქი და ეკონომიური კონსტრუქციების დიდი რაოდენობით გამოყენების საჭიროება.

ისტორიას ჩაბარდა ისეთი კონსტრუქციების გამოყენება, სადაც მთავარი ყურადღება კონსტრუქციის საიმედოობას ექცეოდა, ხოლო მეორეხარისხიანი – კონსტრუქციის ეკონომიურობას.

თანამედროვე მათემატიკური მეთოდები, კომპიუტერულ ტექნიკასთან ერთად, საშუალებას იძლევა ამოცანები ისე დაიგეგმოს, რომ მინიმიზაცია გააკეთდეს ერთი რომელიმე უპირატესი კრიტერიუმის მიხედვით და ამავდროულად დააკმაყოფილოს სხვა კრიტერიუმებიც, კერძოდ სხვა კრიტერიუმში დარჩეს დასაშვებ ფარგლებში. ასეთი ტიპის ამოცანების ამოსახსნელად ყველაზე მიზანშეწონილია არაწრფივი მათემატიკური დაპროგრამების მეთოდების გამოყენება. მოცემული ნაშრომი სწორედ ასეთი ტიპის ამოცანების ამოსხნას ისახავს მიზნად.

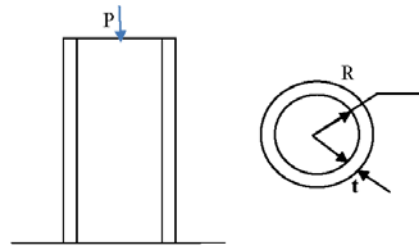
**ძირითადი ნაწილი**

**1. ამოცანა**

1-ელ ნახ-ზე გამოსახულია ძელი, რომელსაც რგოლისებრი განიგვეთის ფორმა აქვს. მოითხოვება, რომ ძელმა გაუძლოს მასზე მოქმედ P დატვირთვას.

ოპტიმიზაციის მიზანია R და t მნიშვნელობების განსაზღვრა, რომელიც უზრუნველყოფს ძელის მინიმალურ წონას G<sub>min</sub> დაძაბულობაზე, მდგრადობაზე, მდგრადობის დაკარგვის ეილერის

რის ძალაზე, ასევე ადგილობრივ ამობურცვაზე შეზღუდვების არსებობისას [1].



ნახ. 1

განიგვეთის გეომეტრიული პარამეტრებია:

ფუძის ფართობი

$$A = \pi(R + t)^2 - \pi R^2 = \pi(2Rt + t^2),$$

სადაც A ძელის ფუძის ფართობია, R – ცილინდრის შიგა დიამეტრი, t – ცილინდრის კედლის სისქე.

ინერციის მომენტი I

$$I = \pi R^3 t,$$

ხოლო მდგრადობის დაკარგვის ეილერის კრიტიკული ძალა P<sub>k</sub>

$$P_k = \frac{\pi^2 E I}{4L^2} = \frac{\pi^3 E R^3 t}{4L^3},$$

სადაც L კოჭის სიმაღლეა, E – იანგის მოდული. ძელის წონა

$$G_{min} = \pi(2Rt + t^2)L\rho g,$$

სადაც ρg მასალის კუთრი წონის კოეფიციენტი. ღერძული დაძაბულობა σ<sub>c</sub>

$$\sigma_c = \frac{P}{A} = \frac{P}{\pi(2R + t^2)}.$$

მდგრადობის დაკარგვის ღერძული კრიტიკული დაძაბულობა σ<sub>ck</sub> ფოლადის ცილინდრულ გარსაცმში ტოლია:

$$\sigma_{ck} = kEt / R,$$

სადაც  $k$  კოეფიციენტი ფოლადებისათვის მიხედვით 0,6-ის ტოლია. ადგილობრივ მდგრადობაზე შეზღუდვა ჩაიწერება შემდეგი უტოლობის სახით:

$$\sigma_c \leq \sigma_{ck} \text{ ან } P - 2\pi kEt^2 \leq 0.$$

ამგვარად, მოცემული ოპტიმიზაციის ამოცანა ფორმირდება როგორც მრავალპარამეტრიანი, ერთკრიტერიუმიანი, არაწრფივი მათემატიკური დაპროგრამების ამოცანა, რომელიც საბოლოოდ შეიძლება ჩამოყვალბოთ შემდეგნაირად: ძელზე მოდებულია  $P$  დატვირთვა. საჭიროა შევარჩიოთ  $R$  და  $t$  ისე, რომ ძელის წონა

$$G_{min} = \pi(2Rt + t^2)L\rho g$$

იყოს მინიმალური და შესრულდეს ქვემოთ მოყვანილი შეზღუდვები:

$$R_1 \leq R \leq R_2,$$

$$t_1 \leq t \leq t_2,$$

$$\sigma_{ck} = kEt / R,$$

$$P - 2\pi kEt^2 \leq 0,$$

სადაც  $R_1$  და  $R_2$  ცილინდრის შიგა და გარე დიამეტრის ქვედა და ზედა ზღვრებია, ხოლო  $t_1$  და  $t_2$  - ცილინდრის კედლის სისქის ქვედა და ზედა ზღვრები.

### ამოცანის ამოხსნა

დაპროექტების პროცედურა მიზანშეწონილია ისე წარმართოს, რომ ყოველი ჩატარებული ცდის თითოეულ ეტაპზე ინფორმაცია კონსტრუქციის შესახებ ნათელი იყოს ანუ იზრდებოდეს. ამავე დროს აუცილებელია გამოვრიცხოთ არაღმაკმაყოფილებელი ვარიანტები, რომელიც დაპროექტებისას გამოვლინდება [2].

ამგვარად, საჭიროა შეთანხმება, ორი ტენდენციის მრავალრიცხოვანი ვარიანტის გენერაცია და გამოვლენილი არასასურველი სიმრავლეების მოკვეთა.

დაპროექტების შემოთავაზებული პროცედურა თანაფარდობაში მოდის არაწრფივი მათემატიკური დაპროგრამების ამოცანასთან, სადაც რთული მიზნის ფუნქციის გლობალური ექსტრემუმის გამოსათვლელად გამოყენებულია შემთხვევითი ძებნის მეთოდი.

ამოცანის ამოხსნის ალგორითმი შემდეგნაირად მუშაობს:

1. დასაწყისშივე განისაზღვრება ყველა საწყისი მონაცემი. აქ იგულისხმება არა მარტო ის მონაცემი, რასაც ითვალისწინებს ტექნიკური დავალება კონსტრუქციის გაანგარიშებისას, არამედ ისიც, რაც საჭიროა კომპიუტერული გამოთვლების ჩასატარებლად. მაგალითად,  $S$  - სტატისტიკური ცდების რაოდენობა,  $M$  - შეზღუდვათა და  $N$  - ცვლადების რაოდენობა,  $R_{min}$  - საწყის მომენტში მიზნის ფუნქციის მნიშვნელობის შესაღარებელი თეორიულად შესაძლო დიდი რიცხვი;

2. დაიწყება სტატისტიკური ცდების ჩატარების პროცესი, რომლის დროსაც შემთხვევითი რიცხვების გენერატორი გამოიმუშავებს რიცხვებს, რომლებიც შემდეგ შესაბამის შეზღუდვათა გათვალისწინებით ფორმირდება, როგორც საპროექტო პარამეტრების მნიშვნელობები;

3. მოხდება წინასწარ მოცემული პირობის შესაბამისად ყველა შეზღუდვის შემოწმება. თუ ყველა პირობა ერთდროულად შესრულდება, მაშინ მართვა გადაეცემა მომდევნო, მე-4 პუნქტის შესრულებას, წინააღმდეგ შემთხვევაში - მე-2 პუნქტის შესრულებას და აირჩევა საპროექტო პარამეტრების ახალი - განსხვავებული მნიშვნელობები;

4. გამოითვლება მიზნის ფუნქციის მნიშვნელობა და შედარდება წინასწარ არჩეულ დიდ რიცხვს. თუ მიზნის ფუნქციის მნიშვნელობა ნაკლები იქნება ამ რიცხვზე, მაშინ მას მიენიჭება მიზნის ფუნქციის მიმდინარე მნიშვნელობა და შეინახება სათანადო პარამეტრებთან ერთად, რათა გამოყენებულ იქნეს შემდეგი გამოთვლებისათვის, წინააღმდეგ შემთხვევაში მართვა გადაეცემა

მე-2 პუნქტის შესრულებას და გაგრძელებას ციკლური პროცესი. ეს ციკლური გამოთვლები გაგრძელება მანამ, სანამ არ ჩატარდება ყველა S ცდა. შედეგად მივიღებთ მიზნის ფუნქციის მინიმალურ და პარამეტრების იმ მნიშვნელობებს, რომლებიც უზრუნველყოფს მიზნის ფუნქციის ოპტიმალურ მნიშვნელობას.

**შენიშვნა.** გამონაკლისია, როდესაც მიზნის ფუნქციას აქვს ერთზე მეტი გლობალური ექსტრემუმი. ასეთ დროს ვიყენებთ Rnd შემთხვევითი რიცხვების გენერატორის თვისებას, რომლის თანახმად ფუნქციის შემდგომი გამოყენებისას გენერატორი გამოიმუშავებს იგივე რიცხვებს, რასაც მისი პირველი გამოყენებისას. შესაბამისად გლობალური ექსტრემუმი იგივე იქნება. პროგრამის საწყის მნიშვნელობად, ე.ი.  $G_{min}$ -ის დიდი რიცხვის ნაცვლად ვიღებთ იმ მნიშვნელობას, რომელიც

მიიღება პროგრამის პირველი შესრულების შემდეგ. პროგრამის ხელახალი გაშვებისას (უკვე ახალი პირობებით) დავითვლით  $G_{min}$ -ის რაოდენობას, თუ ასეთი არსებობს. მათ შორის უფრო მისაღები ოპტიმალური მნიშვნელობის ამორჩევა დამპროექტებლის პრეროგატივაა.

## 2. მაგალითი ρ

$\sigma_y = 36 \cdot 10^3$  ფუნტი/ღიუმი<sup>2</sup>,  $E = 3 \cdot 10^7$  ფუნტი/ღიუმი<sup>2</sup>,  
კუთრი წონის კოეფიციენტი  $\rho_g = 0.283$  ფუნტი/ღიუმი<sup>3</sup>,  
ფოლადისათვის კოეფიციენტი –  $k = 0.6$ ,  
 $L = 144$  ღიუმი,  $P = 25 \cdot 10^3$  ფუნტი.

მეთოდის რეალიზაცია **Visual Basic** ალგორითმულ ენაზე წარმოდგენილია ქვემოთ:

```
Private Sub Command1_Click()
Dim L As Single, N As Single, M As Single, c As Single, _
Gmin As Single, R1 As Single, R2 As Single, t1 As Single, _
t2 As Single, scg1 As Single, scg As Single, E As Single, _
q As Single, P As Single, AA(2) As Single, BB(2) As Single, _
x(2) As Single, g(6) As Single, scg2 As Single, XM(2) As Single, _
k1 As Single, k As Integer, rog As Single, PP As Single
rog = 0.283
L = 144
N = 2
M = 4
c = 32000
Gmin = 30000
E = 30000000
k1 = 0.6
R1 = 4
R2 = 5
t1 = 2
t2 = 3
scg1 = 36000
pi = 3.14
```

```

q1 = 25000
Open "c:\cilindri.txt" For Output As #2
AA(1) = R1
BB(1) = R2
AA(2) = t1
BB(2) = t2
For J = 1 To c
For i = 1 To N
x(i) = AA(i) + (BB(i) - AA(i)) * Rnd
Next i
g(1) = x(1) - R1
g(2) = R2 - x(1)
g(3) = x(2) - t1
g(4) = t2 - x(2)
scg = k1 * E * x(2) / x(1) ^ 2
g(5) = scg - scg1
q = 2 * 3.14 * k1 * E * x(2) ^ 2
g(6) = q - q1
ii = 0
For k = 1 To M
If g(k) >= 0 Then ii = ii + 1
Next k
If ii = M Then
PP = 2 * 3.14 * x(1) * x(2) + x(2) ^ 2 * L * rog
If PP < Gmin Then
Gmin = PP
For i = 1 To N
XM(i) = x(i)
Next
Print "Gmin="; Gmin; "R="; x(1); "t="; x(2)
Gmin = Gmin: R = x(1): t = x(2)
Write #2, Gmin, R, t
Else
End If
End If
Next J
Print "option"
Print "Gmin="; Gmin; "R="; R; "t="; t
End Sub

```

## პროგრამის მუშაობისას მიღებული შედეგები

```

Gmin= 336.4208 R= 4.705547 t= 2.533424
Gmin= 279.4723 R= 4.579519 t= 2.289562
Gmin= 235.2097 R= 4.871446 t= 2.056237
Gmin= 224.7719 R= 4.676176 t= 2.015704
Gmin= 221.4102 R= 4.401605 t= 2.016298
Gmin= 218.0829 R= 4.346957 t= 2.002506
Gmin= 216.6493 R= 4.065829 t= 2.013615
Gmin= 215.3511 R= 4.13171 t= 2.002374
Gmin= 215.222 R= 4.104478 t= 2.003503
Gmin= 214.5803 R= 4.075924 t= 2.002007
Gmin= 214.1183 R= 4.06906 t= 2.000015
Gmin= 213.8113 R= 4.005903 t= 2.002598
Gmin= 213.524 R= 4.008587 t= 2.000893
Gmin= 213.4343 R= 4.006377 t= 2.000565
option
Gmin= 213.4343 R= 4.006377 t= 2.000565

```

ძელის ანიმაციური მოდელის ალგორითმი

**Line (m, n)-(m + t, n - L), vbBlue, B**

**Line (m + t + 2 \* R, n)-(m + 2 \* (t + R), n - L), vbBlue, B**

**Line (m + t, n)-(m + t + 2 \* R, n)**

**Line (m + t, n - L)-(m + t + 2 \* R, n - L)**

ძელის ანიმაციური მოდელის პროგრამა

Private Sub Command1\_Click()

Dim m As Single, n As Single, t As Single, R As Single, L As Single, \_

G As Single, Gopt As Single

Scale (-144, 30)-(-144, -30)

DrawWidth = 2

m = 0

n = 25

t = 2.533424

R = 4.705547

G = 336.4208

L = 20

FillStyle = 4

Line (m, n)-(m + t, n - L), vbBlue, B

Line (m + t + 2 \* R, n)-(m + 2 \* (t + R), n - L), vbBlue, B

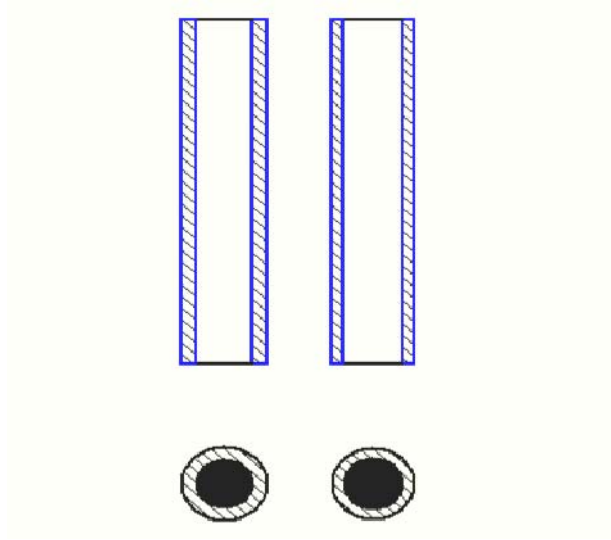
```

Line (m + t, n)-(m + t + 2 * R, n)
Line (m + t, n - L)-(m + t + 2 * R, n - L)
FillStyle = 0
Circle (m + t + R, -2), R
FillStyle = 4
Circle (m + t + R, -2), R + t
Print " "
Print " "
Print " "
Print " "
Print " "
Print "G="; G; "R="; R; "t="; t
DrawWidth = 2
m = 25
n = 25
t = 2.000565
R = 4.886845
Gmin = 213.4343
L = 20
FillStyle = 4
Line (m, n)-(m + t, n - L), vbBlue, B
Line (m + t + 2 * R, n)-(m + 2 * (t + R), n - L), vbBlue, B
Line (m + t, n)-(m + t + 2 * R, n)
Line (m + t, n - L)-(m + t + 2 * R, n - L)
FillStyle = 0
Circle (m + t + R, -2), R
FillStyle = 4
Circle (m + t + R, -2), R + t
Print " "
Print " "
Print " "
Print " "
Print " "
Print " "
Print " "
Print " "
Print "Gmin="; Gmin; "Ropt="; R; "topt="; t
End Sub

```



ქელის ანიმაციური მოდელი



ნახ. 2

$G=336.4208, R=4.705547, R=4.886845, t=2.533424$

$G_{\min}=213.4343, R_{\min}=4.006377, t_{\min}=2.000565$

**დასკვნა**

ქელის ოპტიმალური პარამეტრების გაანგარიშების ამოცანა წარმოდგენილია როგორც მრავალპარამეტრიანი, ერთკრიტერიუმიანი, არაწრფივი მათემატიკური დაპროგრამების ამოცანა. ნაშ-

რომში აღწერილი მეთოდის გამოყენება განხილულია კონკრეტულ მაგალითზე. დამუშავებულია კომპიუტერული პროგრამები და მიღებულია კონკრეტული შედეგები.

**ლიტერატურა**

1. Haug E. J. Applied optimal design: mechanical and structural systems. John Wiley & Sons Inc. 1979, 428 p. (in English).
2. Chichinadze, V.K., Solution of non-convex nonlinear optimization problems. Nauka. Moscow. 1983, 256 p. (in Russian).

UDC 681.3

SCOPUS CODE 2215

## DETERMINING THE OPTIMAL PARAMETERS OF CYLINDER COLUMN WITH A RING SHAPED CROSS-SECTION

- B. Gvasalia** Department of Computer-aided Design in Civil Engineering, Georgian Technical University, 68<sup>b</sup> M. Kostava str, 0175 Tbilisi, Georgia  
E-mail: gvasbadal@posta.ge
- T. Kvachadze** Department of Computer-aided Design in Civil Engineering, Georgian Technical University, 68<sup>b</sup> M. Kostava str, 0175 Tbilisi, Georgia  
E-mail: tamuna.Kvachadze@mail.ru
- I. Sukhiashvili** Department of Computer-aided Design in Civil Engineering, Georgian Technical University, 68<sup>b</sup> M. Kostava str, 0175 Tbilisi, Georgia  
E-mail: iraklisukhiashvili@gmail.com

### Reviewers:

**D. Jankarashvili**, Associate Professor, Department of Engineering Mechanics and Civil Engineering Technical Expertise, Faculty of Civil Engineering, GTU

E-mail: d.jankarashvili@gtu.ge

**M. Zakradze**, Chief Scientific Worker at Niko Muskhelishvili Institute of Computational Mathematics, GTU

E-mail: mamuliz@yahoo.com

**ABSTRACT.** The tendency from the satisfactory solution to optimal resolution has become obvious lately, especially in engineering field.

The problem of minimizing the weight of the column is considered as a problem of nonlinear mathematical programming. Random-search method of extremum is used to find global minimum of the multi-parameter and multi-extremum objective function and relevant parameters.

Appropriate problem algorithm has been developed and the computer program for the specification of optimal parameters of column is created in Visual Basic as well. Herewith relevant algorithm and animation software is provided. Specific results are obtained based on appropriate calculations.

**KEY WORDS:** Cylinder column; optimal design; random searching;

UDC 681.3

SCOPUS CODE 2215

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОЛОННЫ, ИМЕЮЩЕЙ КОЛЬЦЕОБРАЗНОЕ ПОПЕРЕЧНОЕ СЕЧЕНИЕ

- Гвасалия Б.А.** Департамент компьютерного проектирования строительства, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава, 68<sup>ა</sup>  
E-mail: gvasbadal@posta.ge
- Квачадзе Т.Д.** Департамент компьютерного проектирования строительства, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава, 68<sup>ა</sup>  
E-mail: tamuna.Kvachadze@mail.ru
- Сухиашвили И.** Департамент компьютерного проектирования строительства, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава, 68<sup>ა</sup>  
E-mail: iraklisukhiashvili@gmail.com

### Рецензенты:

**Закрадзе М.**, главный научный сотрудник Института вычислительной техники им. Н. Мухелишвили

E-mail: guliko-dvali@gmail.com

**Джанкаршвили Д.Г.**, ассоц. профессор Департамента технической экспертизы инженерной механики и строительства строительного факультета ГТУ

E-mail: d.Jankarashvili@gtu.ge

**АННОТАЦИЯ.** В последние годы, особенно в инженерных делах, постоянно и последовательно наблюдаются тенденции перехода от приемлемых решений к оптимальному решению.

Вопрос о минимизации веса колонны рассматривается как задача нелинейного математического программирования. Для определения глобального минимума нелинейной, многопараметрической и многоэкстремальной целевой функции и соответствующих параметров используется метод случайного поиска экстремума.

Разработан алгоритм решения задачи. Составлена компьютерная программа на алгоритмическом языке VB. Для определения оптимальных параметров колонны разработаны алгоритм и программа построения анимационной модели колонны. Произведены численные расчеты.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** оптимальное проектирование; случайный поиск; цилиндрические колонны.

UDC 72

SCOPUS CODE 2216

**სოლოლაკში ინტერვენციის საპროექტის**

**(საცხოვრებელი სახლები ამაღლებისა და კოჯრის ქუჩების შეყრის ადგილას)**

- მ. ძიძიგური** არქიტექტურის საფუძვლების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 68<sup>ა</sup>  
E-mail: maia.dzidziguri@yahoo.com
- მ. მესხი** არქიტექტურის საფუძვლების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 68<sup>ა</sup>  
E-mail: maia412009@gmail.com

**რეცენზენტები:**

- ნ. ქოჩლაძე**, სტუ-ის არქიტექტურის, ურბანისტიკისა და დიზაინის ფაკულტეტის ინტერიერისა და დიზაინის დეპარტამენტის ასისტენტ-პროფესორი  
E-mail: natiakochladze@yahoo.com
- ნ. ასათიანი**, სტუ-ის არქიტექტურის, ურბანისტიკისა და დიზაინის ფაკულტეტის არქიტექტურის საფუძვლების დეპარტამენტის ასოც. პროფესორი  
E-mail: natia57natia@gmail.com

**ანოტაცია.** თბილისის ისტორიულ უბნებში ბოლო წლებში მომრავლებული ახალმშენებლობებისა თუ ჩატარებული სარეკონსტრუქციო სამუშაოების ფონზე სხვადასხვა მასშტაბის ინტერვენცია განხორციელდა. ამ თვალსაზრისით, აქტუალური გახდა ძველი უბნების თვითმყოფადობის, ისტორიულად ჩამოყალიბებული განაშენიანების დაცვის საკითხი.

სტატიაში განხილულია სოლოლაკის ტერიტორიაზე ინტერვენციის ერთ-ერთი მაგალითი – მიმდინარე საუკუნეში აგებული მონუმენტურ ნაგებობათა კომპლექსი.

კომპლექსში შემავალი შერეული ფუნქციის ერთი შენობის (ამაღლების ქ. 12) ფსევდოკლასიკური ხასიათის ფასადები ერთგვარად ეხმიანება

მეზობელი შენობების მხატვრულ გადაწყვეტას, რაც ისტორიული სტილების ეკლექტიკურ ნაზავს ემყარება, ზოგან ქართული საცხოვრისისთვის დამახასიათებელი არქიტექტურული ელემენტებით. „ფსევდორენესანსული“ და „ფსევდოკლასიციზტი“ ფასადები ერთმანეთს მოდერნისტული მოცულობით უკავშირდება, ასევე გამოყენებულია ქართული საცხოვრისისთვის დამახასიათებელი არქიტექტურული თემა: გრძივი საკომუნიკაციო აივნები და შიგა ეზო. მისი მომიჯნავე მონუმენტური შენობა (კოჯრის ქ. 1) კი არტ-ნუვოს ფორმებით და დეკორითაა წარმოდგენილი.

განალიზებულია ზემოსენებული შენობების „ფსევდოისტორიული“ სტილის პოსტმოდერნისტული განაშენიანების მასშტაბის შესაბამისობა გარემოსთან, მისი დადებითი და უარყოფითი გავ-

ლენა ისტორიული უბნის სივრცით-მოცულობით და არქიტექტურულ-მხატვრულ ღირებულებებზე.

**საკვანძო სიტყვები:** არქიტექტურა; ეკლექტიკა; ინტერვენცია; სოლოლაკი; სტილი.

**შესავალი**

თბილისის ერთ-ერთი ისტორიული უბანი სოლოლაკი დღემდე მეცნიერულად სათანადოდ არ არის შესწავლილი. სოლოლაკი და მისი მიმდებარე შუასაუკუნეობრივი ბირთვი ქვემო კალა (რომელიც ICOMOS-ის მიერ შემუშავებული პროექტის ფარგლებში იქნა გამოკვლეული და დაიდო დოკუმენტური მასალა ამ უბნის დღევანდელი მდგომარეობის შესახებ) საჭიროებს ამგვარ ფუნდამენტურ კვლევას (სურ.1). სოლოლაკზე ყურადღება შევანერეთ შემდეგი მიზეზების გამო:

- 1) სოლოლაკი ესაზღვრება შუასაუკუნეობრივი ბირთვის ნაწილს – ქვემო კალას, სადაც ქუჩების ირეგულარული ქსელია შენარჩუნებული;
- 2) სოლოლაკი სათავეს იღებს თბილისის ცენტრალური მოედნიდან (თავისუფლების მოედანი);
- 3) სოლოლაკი პირველი უბანია თბილისში, რომელიც წარმოიშვა წინასწარ გააზრებული გეგმის საფუძველზე და სადაც ურბანული ქსელი რეგულარულ ხასიათს ატარებს;
- 4) თბილისის ისტორიულ უბნებში უკანასკნელ 20 წელიწადში მრავალი მცირე თუ მსხვილი მასშტაბის ინტერვენცია განხორციელდა, რაც, ხშირ შემთხვევაში, არღვევს უბნების ისტორიულად ჩამოყალიბებულ არქიტექტურულ-მხატვრულ სახეს თუ სივრცით-მოცულობით სტრუქტურას. ამ თვალსაზრისით საინტერესოდ ჩავთვალეთ სოლოლაკის ანალიზი (ვიზუალური დათვალიერებით ჩარევები სხვადასხვა დოზით შეგვხვდა, რომელიც ანალიზს მოითხოვდა);

5) აუცილებელია თანამედროვე ქალაქის „ცოცხალ ორგანიზმში“ სოლოლაკის სიცოცხლისუნარიანობის, მისი ინტეგრაციის ანალიზი და მნიშვნელობის განსაზღვრა ქალაქის შემდგომი განვითარებისათვის.

ჩამოთვლილი საკითხებიდან განვიხილავთ ინტერვენციის ზოგიერთ მაგალითს სოლოლაკის უბნის რეტროსპექტული დახასიათების ფონზე.

**ძირითადი ნაწილი**

რუსეთის ხელისუფლების საქართველოში შემოსვლას თბილისის ურბანული თუ სტილისტური ცვლილება მოჰყვა (სურ. 4). მტკვრის მარჯვენა სანაპიროზე დედაქალაქმა ზრდა შუა საუკუნეების ქალაქის მიმდებარე, ჩრდილოეთ (რუსეთის გზის გასწვრივ) ტერიტორიებზე დაიწყო და ადმინისტრაციულმა ცენტრმაც სწორედ იქით გადაინაცვლა. ახალი ცენტრის ჩამოყალიბება კოჯრის კარის წინ (თავისუფლების მოედანი) დაიწყო.

ახალი ეტაპის დაწყებით ქალაქის არქიტექტურა ახალ შინაარსს იძენს, ახალ ფორმებს გამოიმუშავებს, რაც ახალი ცხოვრების სტილს პასუხობს. ამჟამინდელი თავისუფლების მოედანი (ყოფ. ერევანსკის მოედანი) და დღევანდელი თბილისის მთავარი არტერია – რუსთაველის გამზირი (ყოფ. გოლოვინის გამზირი) საბოლოოდ ყალიბდება როგორც ქალაქის ადმინისტრაციული, ფინანსური და კულტურული ცენტრი. შენდება ადმინისტრაციული შენობები მმართველი აპარატისთვის, ახალი ტიპის დაწესებულებები და სასწავლებლები, სპეცდანიშნულების შენობები. ახალი ოფიციალური მშენებლობის სფეროდან განიღვენა ქართული ეროვნული არქიტექტურის ტრადიციები. საცხოვრებელი სახლის არქიტექტურამ კი შეინარჩუნა ძველი ტრადიციები და ახალ ფორმებთან შერწყმული ინდივიდუალური ხასიათი შეიძინა.

სწორედ ადმინისტრაციული ცენტრის მიმდებარედ, შუასაუკუნეობრივი ქალაქის მოსაზღვრედ ყალიბდება იმ დროის თბილისის პრესტიჟული საცხოვრებელი უბანი სოლოლაკი, რომლის განაშენიანება თბილისის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ქედის – სოლოლაკის ჩრდილოეთ ფერდობზე მე-19 საუკუნეში დაიწყო ბატონიშვილ ვახუშტის მიერ ინსტრუმენტების გარეშე შედგენილი გეგმის მიხედვით (სურ. 2). აქ ადრე არსებული სამეფო ბაღები კალას ტერიტორიას და დღევანდელი თავისუფლების მოედანს ესაზღვრებოდა. მათ გასწვრივ (დღევანდელი გ. ლეონიძის ქუჩის საზოგადოებრივი ნაწილის ჩამოედინებოდა სოლოლაკის წყალი, რომელიც კვეთდა დღევანდელ თავისუფლების მოედანს და პუშკინისა და ბარათაშვილის ქუჩების გავლით მტკვარში ჩაედინებოდა. სოლოლაკის ურბანული დაგეგმარების პირველი გეგმა 1828 წელს შედგა (სურ. 3). მნიშვნელოვანია, რომ ეს იყო თბილისის ისტორიაში პირველი წინასწარ გააზრებული გეგმა (ლოკალური ხასიათის), პირველი რეგულარული ხასიათის ქუჩათა ქსელით. რეალურად კი სოლოლაკის გაშენება და მისი ტერიტორიის ინტენსიური ათვისება, სოლოლაკის ხევის გადახურვის შემდეგ, მოხდა მე-19 საუკუნის მანძილზე და მე-20 ს-ის დასაწყისშიც გრძელდებოდა, თუმცა განაშენიანების ხასიათი ძირითადად მე-19 ს-ში უკვე განსაზღვრული იყო.

აქ, მსხვილი ბურჟუაზიის ციტადელად ქცეულ უბანში, თავს იყრის მე-19 საუკუნის თბილისისთვის დამახასიათებელი ფსევდოსტილების ერთობლიობა – ძირითადად რენესანსულ-ბაროკოული, კლასიციზტური, აქა-იქ გოთიკური, ისლამური, მავრიტანული, გვხვდება მე-19 საუკუნის ბოლოსა და მე-20 საუკუნის 10-იანი წლებისთვის მოდური ევროპული სტილი – მოდერნი, იგივე არტ-ნუვო, ასევე ქართული არქიტექტურული ელემენტებისა (თბილისური ხის დაკიდე-

ბული აივნების) და ზემოსხენებული სტილების ფასადების სინთეზი.

თუმცა შექმნილ ეკლექტიკურ, მრავალფეროვან სურათში არის ისეთი საერთო ნიშნები, რაც გარკვეულ ჰომოგენურობას ანიჭებს უბნის ცალკეული ქუჩების განაშენიანებას. ეს არის მასშტაბი, რომელიც ადამიანურს შეესაბამება, შენობები ძირითადად ორ-სამსართულიანია, ქუჩათა განაშენიანება – გრძივი ხასიათის. შენობები მიჯრითაა განლაგებული. საცხოვრებელ სახლებს უკანა მხარეს საერთო ეზო აქვს. მთავარი საცხოვრებელი ფლიგელი ქუჩას გრძივად მიუყვება, ხოლო პერპენდიკულარული ფლიგელი, უმრავლეს შემთხვევაში, დამხმარე სათავსებს შეიცავს. თითქმის ყოველთვის ფლიგელებს აერთიანებს თბილისური საცხოვრებლისთვის დამახასიათებელი საკომუნიკაციო ხის აივნები ან შუშაბანდები, ხშირია ქუჩიდან ეზოში გამავალი შენობის ფარგლებში მოწყობილი გვირაბები. ამავე დროს, ყოველი სახლი ინდივიდუალურია სხვადასხვა მახასიათებლით, რაც ყველაზე მეტად დამოკიდებულია მფლობელთა სოციალურ სტატუსზე.

როგორც აღვნიშნეთ, სტილისტურად უბნის განაშენიანება ეკლექტიკურია, ისევე როგორც ამ პერიოდის სხვა ევროპულ ქალაქებში, თუმცა თბილისმა ინდივიდუალური ხასიათი გამოიმუშავა. სამწუხაროდ, დღეს თბილისში მომრავლდა, ზოგ შემთხვევაში, არქიტექტურული თვალსაზრისით საინტერესო, მაგრამ გარემოსა და ისტორიულ განაშენიანებასთან შეუთავსებელი ნაგებობები. ამდენად, აქტუალური გახდა ქალაქის ძველი უბნების თვითმყოფადობის, მათი ისტორიულად ჩამოყალიბებული სახის შენარჩუნების საკითხი.

საქართველოს კულტურის, ძეგლთა დაცვისა და სპორტის მინისტრის 2007 წლის 01.X.№3/181 ბრძანების №1 დანართის საფუძველზე, სოლოლაკის შენობათა უმრავლესობა კულტურული

მემკვიდრეობის ძეგლის სტატუსს ატარებს, ხოლო ტერიტორია, 2007 წლის მდგომარეობით, თბილისის ისტორიულ-კულტურული საყრდენი გეგმის მიხედვით (საქართველოს კულტურის, ძეგლთა დაცვისა და სპორტის სამინისტრო) ისტორიული განაშენიანების დაცვის ზონაშია. “ქ. თბილისის ისტორიული ნაწილის სახელმწიფო დაცვის ღონისძიებათა შემდგომი გაუმჯობესების შესახებ” კანონის შესაბამისად (საქართველოს მინისტრთა საბჭოს 1985 წლის 29 იანვრის №76 დადგენილება) დადგინდა, რომ თბილისისათვის დაცული იქნებოდა კულტურული მემკვიდრეობის დამცავი სამი ზოგადი ზონა:

- ა. ისტორიული განაშენიანების დაცვის;
- ბ. განაშენიანების რეგულირების;
- გ. ისტორიული ლანდშაფტის დაცვის.

თუმცა, ამ სტატუსმა მაინც ვერ დაიცვა ისტორიული უბნები მეტ-ნაკლებად უხეში ჩარევისგან, რისი მაგალითებიც საკმაოდაა თბილისში ბოლო 20 წელიწადში. ინტერვენცია ყოველთვის უარყოფით ჩარევას არ გულისხმობს, თუმცა მიგვაჩნია, რომ აუცილებელია გაანალიზდეს ისტორიულად უკვე ჩამოყალიბებულ განაშენიანებაში არქიტექტურული სახეცვლილების შესაბამისობა გარემოსთან, დადებითი თუ უარყოფითი გავლენა უბნის არქიტექტურულ-მხატვრულ ღირებულებაზე, გამოვლინდეს ის კრიტერიუმები, რასაც უნდა დაეყრდნოს პროფესიონალი ყოველ კონკრეტულ განაშენიანებასთან დაკავშირებით, რათა თავიდან იქნეს აცილებული არასასურველი შედეგები პერსპექტივაში.

ვიზუალური დათვალიერებით, სოლოლაკში განსხვავებული მასშტაბის ინტერვენციის მაგალითები ვნახეთ. ამჯერად შევჩერდებით ამადლებისა და კოჯრის (ამადლების 12, კოჯრის 1) ქუჩების შესაყარზე არსებულ ბოლო ათწლეულების საცხოვრებელ განაშენიანებაზე.

შევეცადეთ ინფორმაცია მოგვეპოვებინა ამ ტერიტორიაზე საცხოვრებელი სახლების აგებამ-

დე არსებული სიტუაციის შესახებ. სამწუხაროდ, ფოტომასალას ვერ მივაკვლიეთ. როგორც კოჯრის 1 მდებარე საცხოვრებელი სახლის არქიტექტორ დ. ბაირამაშვილისგან შევიტყვეთ, ახალმშენებლობამდე საპროექტო ტერიტორიაზე ავტოფარეხის ტიპის უსახური ნაგებობა მდგარა. სოლოლაკის და კერძოდ ამ ადგილის მიმდებარე ტერიტორიის ინტენსიური განაშენიანებიდან გამომდინარე ჩავთვალეთ, რომ ასეთი დიდი ტერიტორია მე-19 საუკუნეშივე ათვისებული უნდა ყოფილიყო. მართლაც, საქართველოს ეროვნული არქივში მოვიძიეთ აღნიშნულ ტერიტორიაზე მე-19 საუკუნის დროინდელი პროექტი.

როგორც ამ მასალიდან ირკვევა, მე-19 საუკუნეში ეს ტერიტორია ეკუთვნოდა ერთ მფლობელს – გერასიმე ზურაბოვს. არქივში აღმოჩნდა ორი პროექტი:

1) ერთი პროექტი თარიღდება 1865 წლით (ამჟამინდელი კოჯრის ქ. 1). გენგეგმაზე ნაჩვენებია ამჟამინდელი კოჯრისა და ამადლების ქუჩების გადაკვეთა ლ. ასათიანის ქუჩასთან (სურ. 5).

2) მეორე პროექტი, ამჟამინდელი ამადლების ქუჩაზე აგებული სახლი, მე-19 საუკუნეში არსებული საცხოვრებელი სახლის მიშენებისა (სურ. 6).

1865 წლის პროექტში შენობის ერთი ფლიგელი მიუყვება ამჟ. კოჯრის ქუჩას, ხოლო ამადლების ქუჩაზე არსებული ტერიტორია ბაღს უკავია, სადაც მხოლოდ მცირე ზომის ნაგებობა ჩანს. ორსართულიან შენობას იმ დროისთვის დამახასიათებელი დაგეგმარების სახე აქვს. ოთახების განლაგება ანფილადურია. სახლის კუთხე ბაღის ქუჩისკენ 45<sup>0</sup> წაკვეთილი, ნაკვეთის ფორმის შესაბამისად. ქუჩის მხარეს მოგრობო ზომის ლითონის აივანია, ხოლო ეზოს მხარეს ხის საკომუნიკაციო აივანი პერიმეტრულად მიუყვება ფასადს. დამხმარე სადგომები კოჯრის ქუჩის მხარეს განთავსებულ ფლიგელშია და აივნით უკავშირდება დანარჩენ სათავსებს. აივ-

ნის ბოლოს ეზოდან შესასვლელი კიბუა დამსმარე სადგომების წინ.

შენობა ორი საცხოვრებელი და სარდაფის სართულისგან შედგება. ქუჩის მხარის ფასადი სარკმლებით (II სართულზე რენესანსული თალოვანი შეწყვილებული სარკმელი და I სართულზე ბრტყელთალოვანი), პილასტრისებრი შევრილებით მე-19 ს-ის 50–60-იანი წლების ტიპური ნიმუშია.

მეორე პროექტი დათარიღებულია 1902 წლით. ეს მიშენების ნებართვაა ამაღლების ქუჩაზე მდებარე შენობაზე, რომლის პროექტი არქივში არ არის დაცული. ამაღლების ქუჩის საცხოვრებელი სახლი 1865 წლის პროექტის გენგეგმაზე არ იყო დატანილი. ამ ორი პროექტის დათარიღებიდან და გენგეგმიდან გამომდინარე უნდა ვივარაუდოთ, რომ ამაღლების ქუჩისკენ მიმართული ძირითადი ნაგებობა 1865 წ-დან 1900 წ-მდეა აშენებული. პროექტზე არქიტექტორის გვარის მხოლოდ ხელმოწერაა და არ იკითხება. ამ ტიპის საცხოვრებლები ახლაც არის აღნიშნული ტერიტორიის მიმდებარედ.

ჩვენთვის არ არის ცნობილი როდემდე იარსება ამ შენობებმა, თუმცა, როგორც აღნიშნეთ, აღნიშნულ ტერიტორიაზე ამჟამინდელი საცხოვრებელი სახლების აგებამდე ავტოფარეხის ტიპის ნაგებობა ყოფილა.

ამაღლების ქუჩაზე გამავალი საცხოვრებელი სახლი რამდენიმე ბლოკისგან შედგება (არქ. მ. ჩხაიძე, 2011–2012წწ.). სოლოლაკის ვიწრო ქუჩებთან შედარებით, საკმაოდ ფართო გაბარიტის ამაღლების ქუჩაზე ის ორი ბლოკის ფასადით გამოდის: ერთი ფსევდორენესანსული ხასიათისაა, ხოლო მეორე – ფსევდოკლასიციზტური. ისინი ერთმანეთს მოდერნისტული ხასიათის შემინული მოცულობით უკავშირდება (სურ.7; 8; 9).

ეს ფსევდოკლასიკური ხასიათის ფასადები ერთგვარად ეხმიანება მეზობელი შენობების მხატვრულ გადაწყვეტას, რაც კლასიკური სტი-

ლის ეკლექტიკურ ნაზავს ემყარება. მოცულობები შეიდი სართულის სიმადლისაა, თუმცა აშკარაა ავტორის მიერ რეალური სართულიანობის არქიტექტურული ხერხებით დაფარვის მცდელობა – ოთხი სართულის შემდეგ ზედა სართულები ტერასულად შეწყველია საფასადო სიბრტყიდან, დიდი ნაწილი შემინული მსუბუქი კონსტრუქციებითაა გადაწყვეტილი და ბლოკებს შორის არსებული მოდერნისტული ჩანართის ნაწილია. ამავე დროს ოთხი სართული კლასიკურად კარნიზითაა დასრულებული, რაც შენობის ჰორიზონტალით დასრულების ილუზიას ქმნის და ერთგვარად ამცირებს მის მონუმენტურ მასშტაბს. ასათიანის მეორე შესახვევის მხარეს გამომავალი ბლოკის სართულები ფასადის მთელ სიგრძეზე არსებული გრძივი საკომუნიკაციო აივნებითაა შეკრული. ეს მე-19 ს-ის ქართული საცხოვრისის დამახასიათებელი არქიტექტურული თემაა. კიდევ ერთი, რაც ქართული საცხოვრისიდანაა ნასესხები შიგა ეზოა, რომლის ნაწილი საერთოა ამაღლების 12 და კოჯრის 1 სახლებისთვის.

კოჯრის ქუჩის მხრიდან ამ ეკლექტიკურ ნაგებობას ემიჯნება კიდევ ერთი მონუმენტური ნაგებობა (კოჯრის ქ. 1, არქ. დ. ბაირამაშვილი, 2011–2012), (სურ. 10), რომლის ფასადი სოლოლაკში არსებული კიდევ ერთი სტილის – არტ-ნუვოს სახასიათო არქიტექტურული ფორმებითა და დეკორითაა დამუშავებული. ამდენად, თითქოს ამ საცხოვრებელ კომპლექსში გაერთიანებულია სოლოლაკის უბნისთვის დამახასიათებელი სტილების ერთობლიობა. ამაღლებისა და კოჯრის ქუჩებს შორის არსებულ ნაკვეთზე ავტორებმა სოლოლაკის ისტორიული შენობების სტილთა ერთობლიობა წარმოადგინეს, თუმცა, მიუხედავად მასშტაბის მონუმენტურობის შემცირების მცდელობისა სხვადასხვა არქიტექტურული ხერხით, მაინც აშკარაა ირგვლივ არსებულ შენობათა ფონზე ამ ბლოკების მონუმენტურობა. ანუ



მივიღეთ გაცილებით მსხვილი მასშტაბის, „ფსევდოისტორიული“ სტილების პოსტმოდერნისტული განაშენიანება, ვიდრე გარემოცვაა.

აქვე არ შეიძლება არ აღვნიშნოთ, რომ ამჟღავნების ქუჩის გაბარიტი იტანს აქ გამოძვალა საცხოვრებელი სახლის სიმაღლეს. ორივე საცხოვრებელი სახლის შემთხვევაში ისტორიული სტილები შედარებით თავშეკავებულადაა გამოყენებული, რაც აისახა ფასადთა კომპოზიციურ გადაწყვეტაში, ღიობთა კონფიგურაციასა და პროპორციებში, კლასიკური თუ მოდერნის არქიტექტურული ელემენტების გამოყენებაში და არა უხვ დეკორში. ამდენად, უფრო რაციონალურ პოსტმოდერნისტულ გადაწყვეტასთან გვაქვს საქმე. რაც შეეხება ქართული საცხოვრისისთვის ორგანულ შიგა ეზოს და აივნებს, რომლებიც ამჟღავნების ქუჩის საცხოვრებელ სახლს გასდევს, შინაარსობრივად მათი არსებობა უდავოდ გამართლებულია. აივნებს ორმაგი კოდირება აქვს – მინიშნება ეროვნულობაზე და გასხნილობა გა-

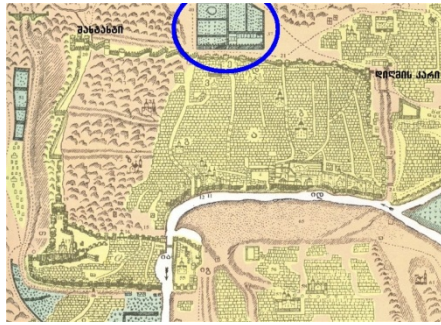
რემოზე, რაც თბილისური საცხოვრებელი სახლისთვის შინაარსობრივად, ფუნქციურად გამართლებულია. თუმცა, ჩვენი აზრით, სადა, უფრო დროისთვის შესაფერისი უდევრო მოდერნისტული გადაწყვეტა ამ განწყობას შეინარჩუნებდა თეატრალური დეკორატიულობის გარეშე.

### დასკვნა

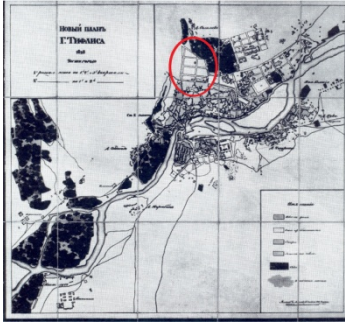
ზემოთქმულიდან გამომდინარე, ისმის კითხვა - რამდენად არის საჭირო თანამედროვე შენობაში სტილისტური მიმსგავსება ისტორიულ განაშენიანებასთან, როცა საქმე გვაქვს არა რეკონსტრუქციასთან, არამედ სრულიად ახალ თანამედროვე კომფორტით აღჭურვილ შენობებთან. ჩვენი აზრით, გაცილებით მნიშვნელოვანია დაცულ იქნეს ისტორიული განაშენიანებისთვის დამახასიათებელი საერთო პარამეტრები – მასშტაბი, პროპორციები, რიტმი, ხოლო გარეგნული მიმსგავსება არ უნდა გახდეს თვითმიზანი.



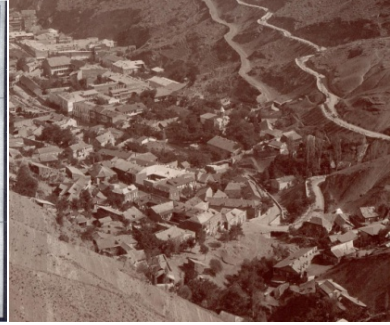
სურ. 1



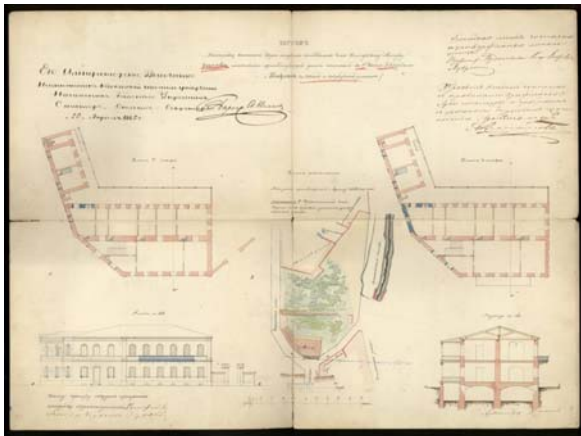
სურ. 2



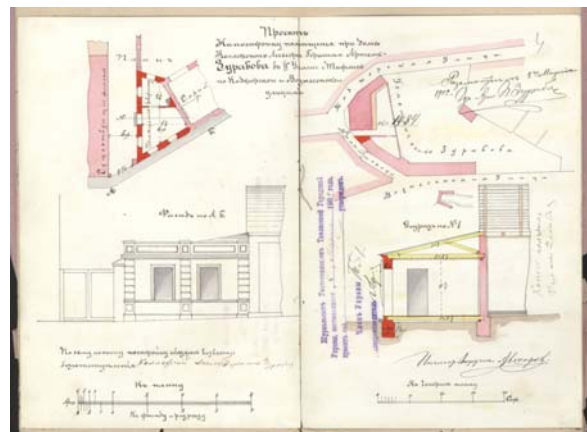
სურ. 3



სურ. 4



სურ. 5



სურ. 6



სურ. 7



სურ. 8



სურ. 9



სურ. 10

მე-19 ს. ამაღლებისა და კოჯრის ქუჩების გადაკვეთაზე  
მდებარე შენობის პროექტი

**ლიტერატურა**

1. Beridze V. Architecture of Tbilisi 1801-1917. Publishing house "Sabchota Sakartvelo". Tbilisi. 1960. (in Georgian).
2. Gersamia T. Old Tbilisi. Publishing house "Sabchota Sakartvelo". Tbilisi. 1984. (in Georgian).
3. Kvirkvelia T. Names of old Tbilisi. Sabchota khelovneba. Tbilisi. 1985. (in Georgian).
4. Kvirkvelia T. About Eclecticism and Art Nouveau. Sabchota Khelovneba. Tbilisi, 1982. (in Georgian).
5. Dzidziguri M. The comparative analysis of two historical districts in Lisbon and Tbilisi. 2015. (in English).

UDC 72

SCOPUS CODE 2216

**FOR THE STUDY OF INTERVENTION ISSUE IN SOLOLAKI  
(Houses located at the intersection of Kojori and Amagleba streets)**

**M. Dzidziguri** Department of Basics of Architecture, Georgian Technical University, 68<sup>a</sup> M. Kostava str,  
0175 Tbilisi, Georgia  
E-mail: maia.dzidziguri@yahoo.com

**M. Meskhi** Department of Basics of Architecture, Georgian Technical University, 68<sup>a</sup> M. Kostava str,  
0175 Tbilisi, Georgia  
E-mail: maia412009@gmail.com

**Reviewers:**

**N. Kochladze**, Assistant Professor, Department of Interior and Design, Faculty of Architecture, Urban Planning and Design, GTU

E-mail: natiakochladze@yahoo.com

**N. Asatiani**, Associate professor, Department of Basics of Architecture, Faculty of Architecture, Urban Planning and Design, GTU

E-mail: natia57natia@gmail.com

**ABSTRACT.** Recently, interventions at different scales have been implemented in Tbilisi historic districts within building of new houses and reconstruction of the old ones. From this point of view the issue of provision of old quarters and historically formed settlements identity became of great importance and actual.

The article considers an example of intervention in Sololaki – complex of monumental architectural developments.

The pseudo-classical facades of the multifunctional building, which is a constituent part of the complex, somehow echoes with the architectural-eclectic mix of historical styles and architectural elements which are characteristic for typical Georgian houses. “Pseudo Renaissance” and “Pseudo Classic” facades are connected with the modernistic style of the building. The characteristic themes of the Georgian houses are greatly used, including both long balconies and courtyards as well. As for the adjoining monumental building (Kojori st.1), it is decorated with Art Nouveau’s elements and ornaments.

The paper analyzes the compliance of post modernistic developments scale with the environment, its positive or negative impact on spatial and architectural values of the historic district as well.

**KEY WORDS:** Architecture; eclecticism; intervention; Sololaki; style.

UDC 72

SCOPUS CODE 2216

## კ ვიკრუსი ინტერვენციის ვ სოლოაკი

(ჟილყე დომა ნა პერესეჩენი ულ. ამაღლება ი კოდჯორი)

**დზიდზიგური მ.ა.** დეპარტამენტი ოსნოვ არქიტექტურყ, გურიზინსკი ტექნიკური უნივერსიტეტი, გურიზიყ, 0175, ტბილისი, ულ. მ. კოსტავა, 68<sup>ა</sup>  
E-mail: maia.dzidziguri@yahoo.com

**მესხი მ.ო.** დეპარტამენტი ოსნოვ არქიტექტურყ, გურიზინსკი ტექნიკური უნივერსიტეტი, გურიზიყ, 0175, ტბილისი, ულ. მ. კოსტავა, 68<sup>ა</sup>  
E-mail: maia412009@gmail.com

### რეცენზენტიყ:

**ნ. კოჩლადზე**, ასსიტი.- პროფესორი დეპარტამენტი ინტერიერა ი დიზაინა ფაკულტეტი არქიტექტურყ, ურბანიტიკი ი დიზაინა, გტუ

E-mail: natiakochladze@yahoo.com

**ნ. ასატიანი**, ასოცი. პროფესორი, დეპარტამენტი ოსნოვ არქიტექტურყ ფაკულტეტი არქიტექტურყ, ურბანიტიკი ი დიზაინა გტუ

E-mail: natia57natia@gmail.com

**ანნოტაციყ.** ვ უსლდეზე ვრეყა ვ ისტორიკისკი რაიონაყ ტბილისი, ნა ფონე მნოჟესტვა ნოვოსტროეკ ი პრევენენიყ რეკონსტრუქციონიყ რაბოტ, ოსუესტვლყეყა ინტერვენციყ რაზნოე მასშაბა. ს ეთი ტოკი ვრენიყ სტალი აქტუალური ვოპროსი ვაჟიტი სანოყბიტიყ სტარიყ კვარტალოვ ი ისტორიკისკი სფორმირენიყ ვასტროეკ.

ვ სტარყე რასმარირეყა ოდინ იჟ პრემეროვ ინტერვენციი ნა ტერიტორიი სოლოაკი - მონუმენალური კომპლექსი, პოსტროენიყ ვ ტეკუესემ სოლენიყ.

პსევდოკლასიკისკი ფასადიყ ოდნოე ვდანიყ (ამაღლება №1), ვოდიყეყი ვ კომპლექსი, ოდნოვანიკო პერეკლიაკოყსა ს ჟოდეჟესტვენური რეშენიყ სოსედნიყ დომოვ, ჟო ოსნოვყეყა ნა ეკლექტიკისკი სმესი ისტორიკისკი სტილეყ, ა ტაჟე ვ ნეკოტორიყ მესტაყ ისპოლზოენიყ ტიპიკურიყ ელემენტიყ, ჟარაქტერიზოყიყი ჟილიშა გურიზინსკი არქიტექტურყ.

„პსევდორენესანსურიყ“ ი „პსევდოკლასიკისკიყ“ ფასადიყ ვსყავანი მოდერნიტიკისკი ობჟემოვ, ტაჟე ისპოლზოენიყ ტემეყ, ჟარაქტერიურიყ დღეა გურიზინსკი არქიტექტურყ– პროდოლურიყ ბალკონიყ ი ვნუტრენურიყ დვორეყ.

ა პრელეგაოყეყი კ ნემუ მონუმენალურიყ ვდანიყ (კოდჯორი №1) პრევენალენიყ ფორმაყ ი დეკოროვ არტ-ნუვო.

პროანალიზირენიყ სოოტვესტვიყ მასშაბა ვყეყეუპოყნუტყ ვდანიყ ს ოკრუჟაოყეყი სრედოყ, ა ტაჟე პოლოჟიტიკურიყ ი ოტრიცატიკურიყ ვლიყნიყ ნა ობჟემო-პროსტრანსვენურიყ ი არქიტექტურო-ჟოდეჟესტვენურიყ ცენნოსტა დანიყ რაიონა.

**კლიუევიყ სოვაყ:** არქიტექტურყ; ინტერვენციყ; სოლოაკიყ; სტილიყ; ეკლექტიკა.

UDC 517

SCOPUS CODE 2603

ON THE SUMMABILITY OF HAAR SERIES

**V. Khocholava** Department of Mathematics, Georgian Technical University, 77 M. Kostava str, 0175 Tbilisi, Georgia  
E-mail: lado54@mail.ru

**N. Macharashvili** Department of Mathematics, Georgian Technical University, 77 M. Kostava str, 0175 Tbilisi, Georgia  
E-mail: nodar54@yahoo.com

Reviewers:

**A. Kirtadze**, Professor, Department of Mathematics, Faculty of informatics and Control Systems, GTU  
E-mail: kirtadze2@yahoo.com

**Z. Tsiklauri**, Associate Professor, Department of Mathematics, Faculty of informatics and Control Systems, GTU  
E-mail: zviadtsiklauri@yahoo.com

**ABSTRACT.** The theory of orthogonal series represents the important part of mathematical analysis. Many well-known scientists have published their works on the issues of convergence and summability of series and amongst them especially would be mentioned works of Aleksich, Steinhouse, Menshov, Ulyanov and others.

Let’s say that numbers  $C_n, n \in N$  are the coefficients of Haar series. It is well known that  $\sum_{n=1}^{\infty} C_n^2 < \infty$

represents the sufficient condition of convergence of Haar series. Thus considering the summability of Haar series by any method, actually the coefficients of series satisfy the condition

$$\sum_{n=1}^{\infty} C_n^2 = +\infty. \tag{1.1}$$

Some sets of coefficients are derived from the set of coefficients that satisfies the condition (1.1), and the summability of Haar series for them is considered by different methods.

The paper defines the set of coefficients  $A^*$  and method of summability of orthogonal series  $T^*$  as well as several sufficient conditions of summability are proved

by the  $T^*$  method. Herewith consequences derived from the proof of theorem are represented in the article.

**KEY WORDS:** Fourier series; Haar series; Rademacher function; summability.

INTRODUCTION

The summability theory of orthogonal series has been developed quite completely and has found numerous applications in modern mathematical analysis.

The aim of the present study is to obtain some properties of the summability of Haar series..

MAIN PART

NOTATIONS, DEFINITIONS AND WELL-KNOWN RESULTS

Let  $N$  be the set of all natural numbers, and  $\bar{N}$  be the set of all non-negative integer numbers.

Denote by  $A^*$  the set of all sequences  $\{c_k\}$  ( $k = 1, 2, \dots$ ) such that for each  $\{c_k\}$  there exists  $C \geq 1$  such that

$$\max_{2^{m-1} < k \leq 2^m} \{c_k\} \leq C \cdot \min_{2^{m-1} < k \leq 2^m} |c_k| \quad (m = 0, 1, \dots).$$

$M^*$  is the set of all sequences  $\{R_{mk}\}_{m,k=0}^\infty$  such that

$$\lim_{m \rightarrow \infty} R_{mk} = 1 \quad (k = 0, 1, \dots).$$

Let  $\psi(m)$  map  $\bar{N}$  onto  $N$ . If  $R_{mk} = 0$  when  $k > \psi(m)$ , we say that a sequence  $\{R_{mk}\}_{m,k=0}^\infty$  is  $\psi$ -finite.

$M^*(\psi)$  is the set of  $\psi$ -finite sequences from  $M^*$ .

Since  $\lim_{m \rightarrow \infty} R_{mk} = 1$ , the set  $M^*(\psi)$  is nonempty if and only if  $\lim_{m \rightarrow \infty} \psi(m) = \infty$ .

Let us consider the series

$$\sum_{k=1}^\infty u_k, \quad (2.1)$$

and for a sequence  $\{R_{mk}\} \in M^*$  define the  $T^*$  means for series (2.1) as follows:

$$\tau_m = \sum_{k=1}^\infty R_{mk} u_k.$$

If  $\lim_{m \rightarrow \infty} \tau_m = S$ , we say that series (2.1) is summable by the method  $T^*$  to the number  $S$ .

$\chi_i(t)$  ( $i = 1, 2, \dots$ ) is a complete orthonormal system on  $[0; 1]$  ([1], p. 54), and  $r_n(t)$  is a system of Rademacher functions ([1], p. 59). We know that ([1], p. 59)

$$r_n(t) = \frac{1}{\sqrt{2^n}} \sum_{k=1}^{2^n} \chi_n^{(k)}(t) = \frac{1}{\sqrt{2^n}} \sum_{m=2^{n-1}+1}^{2^n} \chi_m(t).$$

For Haar series we have the following Marcinkiewicz theorem ([1]).

**Theorem M.** For each  $p \in (1, +\infty)$ , for any sequence  $\{a_k\}$  and each  $m = 0, 1, \dots$ , the inequality

$$A_p \int_0^1 \left\{ \sum_{i=1}^m a_i^2 \chi_i^2(t) \right\}^{p/2} dt \leq \int_0^1 \left| \sum_{i=1}^m a_i \chi_i(t) \right|^p dt \leq \int_0^1 \left\{ \sum_{i=1}^m a_i^2 \chi_i^2(t) \right\}^{p/2} dt$$

is fulfilled, where  $A_p$  and  $B_p$  are positive constants depending only on  $p$ .

## CONCLUSION

### BASIC RESULTS

Let  $\varphi(s)$  be the bijection  $\bar{N} \rightarrow \bar{N}$  and for the Haar series

$$\sum_{k=1}^\infty c_k \chi_k(t) \quad (3.1)$$

consider means of the form

$$\tau_m(t) = \sum_{s=0}^\infty R_{ms} \sum_{2^{\varphi(s)-1} < k \leq 2^{\varphi(s)}} c_k \chi_k(t) = \sum_{s=0}^\infty R_{ms} g_s(t) \quad (m = 0, 1, \dots),$$

where

$$g_s(t) = \sum_{2^{\varphi(s)-1} < k \leq 2^{\varphi(s)}} c_k \chi_k(t).$$

**Lemma 1.** Let  $\{c_k\} \in A^*$ ,

$$\sum_{k=1}^\infty c_k^2 = \infty, \quad \{R_{ms}\} \in M^*(\psi)$$

and

$$\tau_{im}(t) = \sum_{s=1}^{\psi(m)} R_{ms} g_s(t) \quad (i, m = 0, 1, \dots, i \leq \psi(m)),$$

then for the set of positive measure  $E$  there exist natural numbers  $n_0$  and  $q_0$ , a measurable set  $p^* \subset E$ ,

$\frac{1}{2^{n_0+1}} \leq \text{mes } p^* \leq \frac{1}{2^{n_0}}$ , a mapping  $f: N \rightarrow N$ , such that

for each  $n_1 \geq q_0$  and  $m \geq f(n_1)$  the inequalities

$$\int_{p^*} \tau_{n_1 m}^2(t) dt \geq \gamma \cdot \Gamma_m^2 \cdot \text{mes } p^*,$$

$$\int_{p^*} \tau_{n_1 m}^4(t) dt \leq \gamma_1 \cdot \Gamma_m^2 \cdot \text{mes } p^*,$$

are fulfilled, where

$$\Gamma_m = \left( \sum_{s=0}^{\psi(m)} R_{ms}^2 \sum_{2^{\varphi(s)-1} < k \leq 2^{\varphi(s)}} c_k^2 \right)^{1/2}$$

and  $\gamma_1, \gamma$  are positive constants depending only on  $\{c_k\}$  and  $\{R_{mk}\}$ .

**Proof.** Let  $\{c_k\} \in A^*$ , then

$$\max_{2^n < k \leq 2^{n+1}} c_k^2 \leq C \cdot \min_{2^n < k \leq 2^{n+1}} c_k^2.$$

Since  $\lim_{m \rightarrow \infty} \psi(m) = +\infty$ , for each fixed  $j$ , there exists

$N_1(j)$  such that  $\psi(m) \geq j+2$  when  $m \geq N_1(j)$ .

Let  $j$  be fixed and  $m > N_1(j)$ . Since



$$\sum_{k=1}^{\infty} c_k^2 = +\infty,$$

we have

$$\sum_{s=0}^{\infty} \sum_{2^{\varphi(s)-1} < k \leq 2^{\varphi(s)}} c_k^2 = +\infty.$$

It is clear that

$$\sum_{s=0}^i R_{ms}^2 \sum_{2^{\varphi(s)-1} < k \leq 2^{\varphi(s)}} c_k^2$$

is bounded, and  $\sum_{s=j+1}^{\psi(m)} R_{ms}^2 \sum_{2^{\varphi(s)-1} < k \leq 2^{\varphi(s)}} c_k^2 \rightarrow +\infty$  as

$m \rightarrow +\infty$ .

Hence

$$\lim_{m \rightarrow \infty} \frac{\sum_{s=0}^{\psi(m)} R_{ms}^2 \sum_{2^{\varphi(s)-1} < k \leq 2^{\varphi(s)}} c_k^2}{\sum_{s=j+1}^{\psi(m)} R_{ms}^2 \sum_{2^{\varphi(s)-1} < k \leq 2^{\varphi(s)}} c_k^2} = 1 + \frac{\sum_{s=0}^j R_{ms}^2 \sum_{2^{\varphi(s)-1} < k \leq 2^{\varphi(s)}} c_k^2}{\sum_{s=j+1}^{\psi(m)} R_{ms}^2 \sum_{2^{\varphi(s)-1} < k \leq 2^{\varphi(s)}} c_k^2} = 1$$

Therefore there exists a function  $f : N \rightarrow N$  such that for  $m \geq f(j)$  we have  $\psi(m) \geq j+2$  and

$$\sum_{s=0}^{\psi(m)} R_{ms}^2 \sum_{2^{\varphi(s)-1} < k \leq 2^{\varphi(s)}} c_k^2 \leq 2 \cdot \sum_{s=j+1}^{\psi(m)} R_{ms}^2 \sum_{2^{\varphi(s)-1} < k \leq 2^{\varphi(s)}} c_k^2.$$

Let  $E \subset [0;1]$  and  $mesE > 0$ . There exists an irrational number  $r_0 \in E$  which is the density point of the set  $E$ , i.e. for  $\varepsilon = \frac{1}{4B_4c^8}$  there exist natural numbers  $n_0$  and  $k_0$  such that

$$\frac{mes \left\{ E \cap \left[ \frac{k_0-1}{2^{n_0}}, \frac{k_0}{2^{n_0}} \right] \right\}}{mes \left[ \frac{k_0-1}{2^{n_0}}, \frac{k_0}{2^{n_0}} \right]} > 1 - \varepsilon.$$

Let us assume  $\Delta = \left[ \frac{k_0-1}{2^{n_0}}, \frac{k_0}{2^{n_0}} \right]$  and  $p^* = \Delta \cap E$ . It is

obvious that  $p^* \subset \Delta$ ,  $p^* \subset E$  and  $\frac{mes(\Delta - p^*)}{mes\Delta} < \varepsilon$ ,

$1 - \varepsilon > \frac{1}{2}$ . Therefore we have

$$mes\Delta \geq mesp^* \geq \frac{1}{2} mes\Delta,$$

i.e.

$$\frac{1}{2^{n_0}} \geq mesp^* \geq \frac{1}{2^{n_0+1}}.$$

Since  $\varphi(s)$  is the bijection of  $\bar{N}$  onto  $\bar{N}$ , there exists  $q_0$  such that  $\varphi(s) \geq n_0 + 1$  when  $s \geq q_0$ .

Let us assume  $n_1 \geq q_0$  and  $m \geq f(n_1)$  and consider the function

$$\tau_{n_1 m}^1(t) = \tau_{n_1 m}(t) \cdot X_{\Delta}(t),$$

where  $X_{\Delta}$  is the characteristic function of the set  $\Delta$ .

We define the sequence  $\{c_k^1\}$  as follows

$$c_k^1 = \begin{cases} c_k & \text{if } k \in (2^{(n_1)-1}, 2^{\varphi(\psi(m))}] \text{ и } \chi_k(t) \cdot X_{\Delta}(t) \neq 0 \\ 0 & \text{for other } k. \end{cases}$$

It is clear that

$$\tau_{n_1 m}'(t) = \sum_{s=n_1}^{\psi(m)} R_{ms} \sum_{2^{\varphi(s)-1} < k \leq 2^{\varphi(s)}} c_k^1 \chi_k(t).$$

We have

$$\int_{\Delta} \tau_{n_1 m}^4(t) dt \leq B_4 \int_0^1 \left\{ \sum_{s=n_1}^{\psi(m)} R_{ms}^2 \sum_{2^{\varphi(s)-1} < k \leq 2^{\varphi(s)}} c_k^2 \chi_k^2(t) \right\} dt =$$

$$B_4 \int_{\Delta} \left\{ \sum_{s=n_1}^{\psi(m)} R_{ms}^2 \sum_{2^{\varphi(s)-1} < k \leq 2^{\varphi(s)}} c_k^2 \chi_k^2(t) \right\} dt \leq$$

$$\leq B_4 \int_{\Delta} \left\{ \sum_{s=n_1}^{\psi(m)} R_{ms}^2 \cdot 2^{\varphi(s)-1} \cdot \max(c_k^2) \right\} dt \leq$$

$$B_4 \cdot c^4 \left\{ \sum_{s=n_1}^{\psi(m)} R_{ms}^2 \cdot 2^{\varphi(s)-1} \cdot \min(c_k^2) \right\} mes\Delta \leq$$

$$\leq B_4 \cdot c^4 \left\{ \sum_{s=n_1}^{\psi(m)} R_{ms}^2 \sum_{2^{\varphi(s)-1} < k \leq 2^{\varphi(s)}} c_k^2 \right\} mes\Delta.$$

Using Parseval's equality we obtain

$$\int_{\Delta} \tau_{n_1 m}^2(t) dt = \int_{\Delta} \tau_{n_1 m}'^2(t) dt = \int_0^1 \tau_{n_1 m}'^2(t) dt = \int_0^1 \left\{ \sum_{s=n_1}^{\psi(m)} R_{ms}^2 \sum_{2^{\varphi(s)-1} < k \leq 2^{\varphi(s)}} c_k^2 \chi_k^2(t) \right\} dt =$$

$$= \int_{\Delta} \left\{ \sum_{s=n_1}^{\psi(m)} R_{ms}^2 \sum_{2^{\varphi(s)-1} < k \leq 2^{\varphi(s)}} c_k^2 \chi_k^2(t) \right\} dt \geq$$

$$\geq \sum_{s=n_1}^{\psi(m)} R_{ms}^2 \cdot 2^{\varphi(s)-1} \cdot \min(c_k^2) \cdot mes\Delta \geq$$

$$\geq \frac{mes\Delta}{c^2} \cdot \sum_{s=n_1}^{\psi(m)} R_{ms}^2 \cdot 2^{\varphi(s)-1} \cdot \max(c_k^2) \geq$$

$$\geq \frac{mes\Delta}{c^2} \cdot \sum_{s=n_1}^{\psi(m)} R_{ms}^2 \cdot \sum_{2^{\varphi(s)-1} < k \leq 2^{\varphi(s)}} c_k^2.$$

By means of these estimates we obtain

$$\begin{aligned} \int_{p^*} \tau_{n_1 m}^2(t) dt &= \int_{\Delta} - \int_{\Delta - p^*} \geq \int_{\Delta} \tau_{n_1 m}^2(t) dt - \\ &- \left\{ \int_{\Delta} \tau_{n_1 m}^2(t) dt \right\}^{1/2} \cdot \sqrt{\text{mes}(\Delta - p^*)} \geq \\ &\geq \frac{\text{mes} \Delta}{c^2} \cdot \sum_{s=n_1}^{\psi(m)} R_{ms}^2 \sum_{2^{\varphi(s)-1} < k \leq 2^{\varphi(s)}} c_k^2 - \\ &- \sqrt{B_4 \text{mes} \Delta \cdot \text{mes}(\Delta - p^*)} \cdot c^2 \left\{ \sum_{s=n_1}^{\psi(m)} R_{ms}^2 \sum_{2^{\varphi(s)-1} < k \leq 2^{\varphi(s)}} c_k^2 \right\} = \\ &\geq \frac{\text{mes} \Delta}{c^2} \left( 1 - c^4 \sqrt{\frac{B_4 \cdot \text{mes}(\Delta - p^*)}{\text{mes} \Delta}} \right) \cdot \sum_{s=n_1}^{\psi(m)} R_{ms}^2 \sum_{2^{\varphi(s)-1} < k \leq 2^{\varphi(s)}} c_k^2 \geq \\ &\geq \left( 1 - c^4 \sqrt{\frac{B_4 \cdot \text{mes}(\Delta - p^*)}{\text{mes} \Delta}} \right) \frac{\text{mes} p^*}{c^2} \cdot \sum_{s=n_1}^{\psi(m)} R_{ms}^2 \sum_{2^{\varphi(s)-1} < k \leq 2^{\varphi(s)}} c_k^2 \geq \\ &\geq \left( 1 - c^4 \sqrt{B_4 \cdot \frac{1}{4B_4 c^8}} \right) \cdot \frac{\text{mes} p^*}{c^2} \cdot \sum_{s=n_1}^{\psi(m)} R_{ms}^2 \sum_{2^{\varphi(s)-1} < k \leq 2^{\varphi(s)}} c_k^2 = \\ &= \frac{1}{2c^2} \left\{ \sum_{s=0}^{\psi(m)} R_{ms}^2 \sum_{2^{\varphi(s)-1} < k \leq 2^{\varphi(s)}} c_k^2 \right\} \cdot \text{mes} p^* = \gamma \cdot \Gamma_m^2 \cdot \text{mes} p^*. \end{aligned}$$

Let us prove the second inequality

$$\begin{aligned} \int_{p^*} \tau_{n_1 m}^4(t) dt &\leq \int_{\Delta} \tau_{n_1 m}^4(t) dt \leq B_4 \cdot c^4 \cdot \Gamma_m^4 \cdot \text{mes} \Delta \leq \\ &\leq \frac{B_4}{2} \cdot c^2 \cdot \Gamma_m^4 \cdot \text{mes} p^* = \gamma_1 \cdot \Gamma_m^4 \cdot \text{mes} p^*. \end{aligned}$$

Lemma 1 is proved.

**Lemma 2.** Let  $\{c_k\} \in A^*$  and  $\sum_{k=1}^{\infty} c_k^2 = +\infty$ . Assume

that  $\{R_{nk}\} \in M^*(\psi)$  and

$$\begin{aligned} \tau_m(t) &= \sum_{s=0}^{\psi(m)} R_{ms}^2 \sum_{2^{\varphi(s)-1} < k \leq 2^{\varphi(s)}} c_k^2 \chi_k^2(t) \\ &(m = 0, 1, 2, \dots). \end{aligned}$$

If  $\tau_m^+(t) = \max\{0, \tau_m(t)\}$ , then

$$\text{mes}\{t : \tau_m^+(t) = o(\Gamma_m); t \in [0; 1]\} = 0,$$

where

$$\Gamma_m = \left\{ \sum_{s=0}^{\psi(m)} R_{ms}^2 \sum_{2^{\varphi(s)-1} < k \leq 2^{\varphi(s)}} c_k^2 \right\}^{1/2}.$$

**Proof.** Suppose that at every point of the set  $E \subset [0; 1]$ ,  $\text{mes} E > 0$ , we have

$$\tau_m^+(t) = o(\Gamma_m) \quad (m = 0, 1, \dots).$$

By virtue of Egorov's theorem there exists a set  $A \subset E$  of positive measure, such that

$$\lim_{m \rightarrow \infty} \frac{\tau_m^+(t)}{\Gamma_m} = 0 \quad (3.2)$$

uniformly with respect to  $t \in E$ .

According to Lemma 1, there are natural numbers  $n_0$  and  $q_0$ , a measurable set  $p^* \subset E$ ,  $\frac{1}{2^{n_0+1}} \leq \text{mes} p^* \leq \frac{1}{2^{n_0}}$ , a function  $f : N \rightarrow N$ , such that for any  $n_1 \geq q_0$  and  $m \geq f(n_1)$  the following inequalities are fulfilled

$$\int_{p^*} \tau_{n_1 m}^2(t) dt \geq \gamma \cdot \Gamma_m^2 \cdot \text{mes} p^*, \quad (3.3)$$

$$\int_{p^*} \tau_{n_1 m}^4(t) dt \leq \gamma_1 \cdot \Gamma_m^4 \cdot \text{mes} p^*. \quad (3.4)$$

Let  $\alpha_k$  ( $k = 0, 1, \dots$ ) be the Fourier-Haar coefficients of the function  $X_{p^*}(t)$  ( $X_{p^*}(t)$  is the characteristic function of the set  $p^*$ ).

It is assumed that  $\varepsilon > 0$  and  $n_1 \geq q_0$  are such that

$$\sum_{s=n_1}^{\infty} \sum_{2^{\varphi(s)-1} < k \leq 2^{\varphi(s)}} \alpha_k^2 < \varepsilon^2.$$

We fix  $n_1$  and consider the function

$$\tau_{n_1 m}(t) = \sum_{s=n_1}^{\psi(m)} R_{ms} \sum_{2^{\varphi(s)-1} < k \leq 2^{\varphi(s)}} c_k \chi_k(t),$$

where  $m \geq f(n_1)$ .

It is easy to see that for fixed  $n_1$  we have

$$\sup_{t \in [0; 1]} \left| \sum_{s=0}^{n_1-1} R_{ms} \sum_{2^{\varphi(s)-1} < k \leq 2^{\varphi(s)}} c_k \chi_k(t) \right| < \infty, \quad m = 0, 1, \dots$$

By virtue of (3.2) we obtain that

$$\lim_{m \rightarrow \infty} \frac{\tau_{n_1 m}^+(t)}{\Gamma_m} = 0$$

uniformly on the set  $p^*$ ; here  $\tau_{n_1 m}^+(t) = \max\{0, \tau_{n_1 m}(t)\}$ . Therefore there exists a natural number  $K(n_1, \varepsilon) \geq f(n_1)$ , such that for each  $t \in p^*$  and any  $m \geq K(n_1, \varepsilon)$  we have



$$\tau_{n,m}^+(t) \leq \varepsilon \cdot \Gamma_m .$$

$$\sum_{k=1}^{\infty} c_k^2 = \infty .$$

Then

$$\begin{aligned} \int_{p^*} |\tau_{n,m}(t) dt| &\leq \int_{p^*} \left| \left\{ \tau_{n,m}(t) - \varepsilon \cdot \Gamma_m \right\} + \varepsilon \cdot \Gamma_m \right| dt = \\ &= \int_{p^*} \left\{ 2\varepsilon \cdot \Gamma_m - \tau_{n,m}(t) \right\} dt = 2\varepsilon \cdot \Gamma_m \cdot mes p^* - \int_{p^*} \tau_{n,m}(t) dt = \\ &= 2\varepsilon \cdot \Gamma_m \cdot mes p^* - \int_0^1 \tau_{n,m}(t) \cdot X_{p^*}(t) dt = 2\varepsilon \cdot \Gamma_m \cdot mes p^* \\ &\quad - \sum_{s=n_1}^{\psi(m)} R_{ms} \sum_{2^{\psi(s)-1} < k \leq 2^{\psi(s)}} c_k \alpha_k \leq 2\varepsilon \cdot \Gamma_m \cdot mes p^* + \\ &\quad + \left\{ \sum_{s=n_1}^{\psi(m)} R_{ms}^2 \sum_{2^{\psi(s)-1} < k \leq 2^{\psi(s)}} c_k^2 \right\}^{1/2} \left\{ \sum_{s=n_1}^{\psi(m)} \sum_{2^{\psi(s)-1} < k \leq 2^{\psi(s)}} \alpha_k^2 \right\}^{1/2} \leq \\ &\leq 2\varepsilon \cdot \Gamma_m \cdot mes p^* + \\ &\quad + \left\{ \sum_{s=0}^{\psi(m)} R_{ms}^2 \sum_{2^{\psi(s)-1} < k \leq 2^{\psi(s)}} c_k^2 \right\}^{1/2} \left\{ \sum_{s=n_1}^{\infty} \sum_{2^{\psi(s)-1} < k \leq 2^{\psi(s)}} \alpha_k^2 \right\}^{1/2} \leq \\ &\leq 2\varepsilon \cdot \Gamma_m \cdot mes p^* + \varepsilon \cdot \Gamma_m = \varepsilon \cdot \Gamma_m (2 \cdot mes p^* + 1) . \end{aligned}$$

i.e. we have obtained that

$$\int_{p^*} |\tau_{n,m}(t)| dt \leq \varepsilon \cdot \Gamma_m (2 \cdot mes p^* + 1) . \quad (3.5)$$

On the other hand, by virtue of Hölder's inequality we have

$$\int_{p^*} \tau_{n,m}^2(t) dt \leq \left\{ \int_{p^*} \tau_{n,m}(t) dt \right\}^{2/3} \left\{ \int_{p^*} \tau_{n,m}^4(t) dt \right\}^{1/3}$$

Hence, using (3.3) and (3.4), we obtain

$$\int_{p^*} |\tau_{n,m}(t)| dt \geq \left( \gamma_1^{-1} \gamma_2^3 \right) \cdot \Gamma_m \cdot mes p^* . \quad (3.6)$$

For sufficiently small  $\varepsilon$ , (3.5) contradicts (3.6).

**Corollary.** Let  $\{c_k\} \in A^*$  and series (3.1) be such that on some set of positive measure

$$\overline{\lim}_{m \rightarrow \infty} S_{2^{q_m}}(t) = \overline{\lim}_{m \rightarrow \infty} \sum_{k=1}^{2^{q_m}} c_k \chi_k(t) < +\infty ,$$

where  $\{q_k\} \rightarrow +\infty$  is some increasing sequence, then we have

$$\sum_{k=1}^{\infty} c_k^2 < \infty .$$

**Theorem 1.** Let  $\{c_k\} \in A^*$  and

Assume that  $T^* = \{R_{mk}\} \in M^*$  and the  $T^*$  means of series (3.1)

$$\tau_m(t) = \sum_{s=0}^{\infty} R_{ms} \sum_{2^{\psi(s)-1} < k \leq 2^{\psi(s)}} c_k \chi_k(t) \quad (m = 0, 1, \dots)$$

exist on the set  $E$ ,  $mes E > 0$ . If  $\tau_m^+(t) = \max\{0, \tau_m(t)\}$ , then

$$mes \{t : \tau_m^+(t) = o(T_m)\}; t \in E\} = 0 ,$$

where

$$T_m = \left\{ \sum_{s=0}^{\infty} R_{ms}^2 \sum_{2^{\psi(s)-1} < k \leq 2^{\psi(s)}} c_k^2 \right\}^{1/2} .$$

**Proof.** Note that on the set  $E \subset [0; 1]$ ,  $mes E > 0$  the series

$$\tau_m(t) = \sum_{s=0}^{\infty} R_{ms} g_s(t) , \quad (m = 0, 1, \dots)$$

converge, where

$$g_s(t) = \sum_{2^{\psi(s)-1} < k \leq 2^{\psi(s)}} c_k \chi_k(t) .$$

Since  $\{R_{ms} c_k\} \in A^*$ , by virtue of the Corollary all numbers  $T_m$  are finite and  $\lim_{m \rightarrow +\infty} T_m = +\infty$ .

Assume that there exists a set  $B \subset E$ ,  $mes B > 0$ , such that for any  $t \in B$  we have

$$\tau_m^+(t) = o(T_m) . \quad (3.7)$$

Then there exist measurable sets  $B_m \subset B$ ,  $mes B_m < \frac{1}{2^{m+1}} \cdot mes B$  and functions  $\psi : \bar{N} \rightarrow N$ ,  $\psi(m) \rightarrow +\infty$ , as  $m \rightarrow +\infty$ , such that the following inequalities are fulfilled:

$$\left| \tau_m^+(t) - \left\{ \sum_{s=0}^{\psi(m)} R_{ms} g_s(t) \right\}^+ \right| < 1 \quad t \in B \setminus B_m \quad (3.8)$$

$$T_m \geq \left\{ \sum_{s=0}^{\psi(m)} R_{ms}^2 \sum_{2^{\psi(s)-1} < k \leq 2^{\psi(s)}} c_k^2 \right\}^{1/2} \geq \left( 1 - \frac{1}{m} \right) \cdot T_m \quad (m = 0, 1, \dots) , \quad (3.9)$$

where

$$\left\{ \sum_{s=0}^{\psi(m)} R_{ms} g_s(t) \right\}^+ = \max \left\{ 0, \sum_{s=0}^{\psi(m)} R_{ms} g_s(t) \right\} .$$

Assume

$$\bar{R}_{ms} = \begin{cases} R_{ms} & \text{if } 0 \leq s \leq \psi(m), \\ 0 & \text{if } s > \psi(m), \end{cases}$$

$$\bar{\tau}_m(t) = \sum_{s=0}^{\psi(m)} \bar{R}_{ms} g_s(t)$$

and

$$\bar{\Gamma}_m = \left\{ \sum_{s=0}^{\psi(m)} \bar{R}_{ms}^2 \sum_{2^{q(s)-1} < k \leq 2^{q(s)}} c_k^2 \right\}^{1/2}.$$

It is clear that  $\{\bar{R}_{ms}\} \in M^*(\psi)$  and  $\bar{\tau}_m(t)$  are the

$\bar{T}^*$  means of the series  $\sum_{s=0}^{\infty} c_s \chi_s(t)$ . By virtue of (3.8)

and (3.9) we obtain

$$|\tau_m^+(t) - \bar{\tau}_m^+(t)| < 1, \quad t \in B \setminus \bigcup_{m=0}^{\infty} B_m, \quad (3.10)$$

$$T_m \geq \bar{\Gamma}_m \geq \left(1 - \frac{1}{m}\right) T_m. \quad (3.11)$$

From (3.7), (3.10) and (3.11) we have  $\bar{\tau}_m^+(t) = o(T_m)$

for any  $t \in B \setminus \bigcup_{m=0}^{\infty} B_m$ , which contradicts Lemma 2.

The proven theorem implies

**Theorem 2.** Let  $\{c_k\} \in A^*$ ,  $\sum_{s=0}^{\infty} c_k^2 = \infty$  and the

$T^* \in M^*$  means

$$\tau_m(t) = \sum_{s=0}^{\infty} R_{ms} g_s(t) \quad (m=0,1,\dots)$$

of series (3.1) exist on the set  $E \subset [0;1]$ ,  $mesE > 0$ ,

then

$$\overline{\lim}_{m \rightarrow +\infty} \tau_m(t) = -\underline{\lim}_{m \rightarrow +\infty} \tau_m(t) = +\infty \text{ for almost all } t \in E,$$

$$\overline{\lim}_{m \rightarrow +\infty} S_{2^{q_m}}(t) = -\underline{\lim}_{m \rightarrow +\infty} S_{2^{q_m}}(t) = +\infty \text{ for almost all } t \in E,$$

where  $q_m \rightarrow +\infty$  is any sequence of natural numbers.

**Theorem 3.** Let  $\{c_k\} \in A^*$ ,  $\{R_{mk}\} \in M^*$  and on the set  $E \subset [0;1]$ ,  $mesE > 0$ , there exist expressions

$$\tau_m(t) = \sum_{s=0}^{\infty} R_{ms} g_s(t) \quad (m=0,1,\dots).$$

If the condition

$$\overline{\lim}_{m \rightarrow +\infty} \tau_m(t) < +\infty$$

is fulfilled for each  $t \in E$ , then series (3.1) is the Fourier-Haar series of some function  $f$ , where  $f \in L^p$  for any  $p \in [1; +\infty)$ .

**Proof.** From Theorem 1 we have

$$\sum_{k=1}^{\infty} c_k^2 < \infty,$$

i.e. series (3.1) is the Fourier-Haar series of a function  $f \in L^2[0;1]$ . By virtue of Haar's theorem ([1], p. 55), for almost all  $t \in [0;1]$  we have

$$\lim_{m \rightarrow \infty} S_{2^m} = \lim_{m \rightarrow \infty} \sum_{k=1}^{2^m} c_k \chi_k(t) = f(t).$$

Applying the Marcinkiewicz theorem, we obtain

$$\int_0^1 \left| \sum_{k=1}^{2^m} c_k \chi_k(t) \right|^p dt \leq B_p \int_0^1 \left( \sum_{k=1}^{2^m} c_k^2 \chi_k^2(t) \right)^{p/2} dt \leq$$

$$\leq B_p \int_0^1 \left( \sum_{n=0}^{m-1} \sum_{2^{n-1} < k \leq 2^n} c_k^2 \chi_k^2(t) \right)^{p/2} dt \leq B_p \int_0^1 \left( \sum_{n=0}^{m-1} 2^{n-1} \max_{2^{n-1} < k \leq 2^n} c_k^2 \right)^{p/2} dt \leq$$

$$\leq B_p \left( c^2 \sum_{n=0}^{m-1} 2^{n-1} \min_{2^{n-1} < k \leq 2^n} c_k^2 \right)^{p/2} \leq B_p \left( c^2 \sum_{n=0}^{m-1} \sum_{2^{n-1} < k \leq 2^n} c_k^2 \right)^{p/2} =$$

$$= B_p \left( c^2 \sum_{k=0}^{2^m-1} c_k^2 \right)^{p/2} \leq B_p \cdot c^p \cdot \left( \sum_{k=1}^{\infty} c_k^2 \right)^{p/2}.$$

By Fatou's theorem, the last relation implies that  $f \in L^p$  for any  $p \in [1; +\infty)$ .

**Remark.** As Ulyanov showed [2], the series

$$\sum_{k=2}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{k \ln k}} \chi_k(t)$$

is the Fourier-Haar series, but its sum is not an essentially bounded function.

It is easy to show that the sequence  $c_k = \frac{1}{\sqrt{k \ln k}}$  ( $k = 2, 3, 4, \dots$ ) belongs to the class  $A^*$ , i.e. Theorem 3 is not valid for  $p = \infty$ .

Steinhouse [3] showed that for any permutations of its members the series  $\sum_{k=1}^{\infty} a_k r_k(t)$  converges almost everywhere on  $[0; 1]$  if  $\sum_{k=1}^{\infty} a_k^2 < \infty$ , and diverges almost everywhere on  $[0, 1]$  if  $\sum_{k=1}^{\infty} a_k^2 = \infty$ .

As it was later shown by Ulyanov [4], the following statements are true.

**Theorem A.** Assume that we are given any  $A^*$  summation method and consider the permutational series

$$\sum_{s=0}^{\infty} a_{\varphi(s)} r_{\varphi(s)}(t). \quad (3.12)$$

If the  $T^*$  means  $\sigma_n(t)$  of series (3.12) are meaningful on the set of positive measure  $E$  and

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sigma_n(t) > -\infty \quad (t \in E),$$

then

$$\sum_{k=1}^{\infty} a_k^2 < \infty.$$

**Corollary A.** If the  $T^*$  means  $\sigma_n(t)$  of series (3.12) are meaningful on the set of positive measure  $E$  and

$$\sum_{k=1}^{\infty} a_k^2 = \infty,$$

then almost everywhere on  $E$

$$-\infty = \lim_{n \rightarrow \infty} \sigma_n(t) < \overline{\lim}_{n \rightarrow \infty} \sigma_n(t) = +\infty$$

**Corollary B.** If  $\lim_{k \rightarrow \infty} a_k = 0$  and

$$\sum_{k=1}^{\infty} a_k^2 = +\infty,$$

then for series (3.12) there exists a set  $A \subset [0; 1]$ ,  $mes A = 1$ , such that for any real number  $\alpha \in [-\infty; +\infty]$  and a point  $t_0 \in A$  there exists a sequence  $\{q_k\}$  such that

$$\lim_{k \rightarrow \infty} S_{2^{q_k}}(t) = \alpha.$$

Let us consider the means  $\sigma_m(t)$  for the Rademacher permutational series

$$\begin{aligned} \sigma_m(t) &= \sum_{s=0}^{\infty} R_{ms} a_{\varphi(s)} r_{\varphi(s)}(t) = \\ &= \sum_{s=0}^{\infty} R_{ms} a_{\varphi(s)} \cdot \frac{1}{\sqrt{2^{\varphi(s)}}} \sum_{k=2^{\varphi(s)+1}}^{2^{\varphi(s)+1}} \chi_k(t) = \\ &= \sum_{s=0}^{\infty} R_{ms} \sum_{k=2^{\varphi(s)+1}}^{2^{\varphi(s)}} \frac{a_{\varphi(s)}}{\sqrt{2^{\varphi(s)}}} \chi_k(t). \end{aligned}$$

Since

$$\sum_{k=1}^{\infty} c_k^2 = \sum_{s=0}^{\infty} \sum_{k=2^{\varphi(s)+1}}^{2^{\varphi(s)+1}} \frac{a_{\varphi(s)}^2}{2^{\varphi(s)}} = \sum_{s=0}^{\infty} a_{\varphi(s)}^2,$$

from the proven results we obtain the validity of Ulyanov's theorem and its corollaries.

## References

1. Alexits G. Convergence problems of orthogonal series. Publishing house "Inostrannaya literatura". Moscow. 1963. (in Russian).
2. Ulyanov P.L. Series with respect to a Haar system with monotone coefficients. Izv. AN SSSR, Mathematics. Vol. 28, No. 4. 1964, 925-950 pp. (in Russian).
3. Steinhaus H. Zur Konvergenzfrage bei dem Rademacherschen orthogonalsystem. Vol. 35. No. 2. 1928, 39-42 pp. (in German).
4. Ulyanov P.L. Strongly unconditionally convergent series. Izv. AN SSSR, Mathematics. Vol. 24. No. 1. 1960, 75-93 pp. (in Russian).

UDC 517

SCOPUS CODE 2603

**ჰაარის მწკრივების შეჯამებადობის შესახებ**

- გ. ხოჭოლავა მათემატიკის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 77  
E-mail: lado54@mail.ru
- ნ. მაჭარაშვილი მათემატიკის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 77  
E-mail: nodar54@yahoo.com

**რეცენზენტები:**

- ა. კირთაძე, ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის მათემატიკის დეპარტამენტის პროფესორი  
E-mail: kirtadze2@yahoo.com
- ზ. წიკლაური, ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის მათემატიკის დეპარტამენტის ასოც. პროფესორი  
E-mail: zviadtsiklauri@yahoo.com

**ანოტაცია.** ორთოგონალურ მწკრივთა თეორია მათემატიკური ანალიზის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი დარგია. ორთოგონალური მწკრივების კრებადობისა და შეჯამებადობის საკითხებზე მრავალ ცნობილ მეცნიერს აქვს შრომები გამოქვეყნებული. მათ შორის განსაკუთრებით აღსანიშნავია ალექსიხის, შტეინჰაუზის, მენშოვის, ულიანოვისა და სხვათა ნაშრომები. ვთქვათ,  $C_n$ ,  $n \in N$  რიცხვები ჰაარის მწკრივის კოეფიციენტებია. კარგადაა ცნობილი, რომ  $\sum_{n=1}^{\infty} C_n^2 < \infty$  არის ჰაარის მწკრივის კრებადობის საკმარისი პირობა. ამიტომ, როდესაც იხილავენ ჰაარის მწკრივის შეჯამებადობას რაიმე მეთოდით, ბუნებრივია მწკრივის კოეფიციენტები უნდა აკმაყოფილებდეს პირობას:

$$\sum_{n=1}^{\infty} C_n^2 = +\infty. \tag{1}$$

იმ კოეფიციენტთა სიმრავლიდან, რომლებიც (1) პირობას აკმაყოფილებს, გამოყოფენ კოეფიციენტთა გარკვეულ სიმრავლეებს და მათთვის შეისწავლიან ჰაარის მწკრივის შეჯამებადობის სხვადასხვა მეთოდით.

მოცემულ ნაშრომში განსაზღვრულია კოეფიციენტთა სიმრავლე  $A^*$  და ორთოგონალური მწკრივების შეჯამებადობის  $T^*$  მეთოდი და ჰაარის მწკრივის  $T^*$  მეთოდით დამტკიცებულია შეჯამებადობის რამდენიმე საკმარისი პირობა, ასევე მოყვანილია დამტკიცებული თეორემებიდან გამომდინარე მნიშვნელოვანი შედეგები.

**საკვანძო სიტყვები:** რადემახერის ფუნქციები; ფურიეს მწკრივები; შეჯამებადობა; ჰაარის მწკრივები.

UDC 517

SCOPUS CODE 2603

## О СУММИРУЕМОСТИ РЯДОВ ХААРА

**Хочолава В.В.** Департамент математики, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава 68<sup>ა</sup>  
E-mail: lado54@mail.ru

**Мачарашвили Н.Д.** Департамент математики, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава 68<sup>ა</sup>  
E-mail: nodar54@yahoo.com

### Рецензенты:

**А. Киртадзе**, профессор Департамента математики факультета информатики и систем управления ГТУ  
E-mail: kirtadze2@yahoo.com

**З. Циклаური**, профессор Департамента математики факультета информатики и систем управления ГТУ  
E-mail: zviadtsiklauri@yahoo.com

**АННОТАЦИЯ.** Теория ортогональных рядов – одно из важнейших направлений математического анализа. По вопросам сходимости и суммируемости ортогональных рядов опубликованы работы многих известных математиков. Среди них можно отметить труды Алексича, Штейнгауза, Меньшова, Уланова и других.

Пусть  $C_n$ ,  $n \in \mathbb{N}$  являются коэффициентами ряда Хаара. Хорошо известно, что  $\sum_{n=1}^{\infty} C_n^2 < \infty$  является достаточным условием сходимости почти всюду рядов Хаара. Поэтому, когда рассматривают суммируемость рядов Хаара, коэффициенты ряда должны удовлетворять условию

$$\sum_{n=1}^{\infty} C_n^2 = +\infty. \quad (1.1)$$

Из множества коэффициентов, удовлетворяющих условию (1.1), выделяют определенное множество коэффициентов и для них изучают вопрос суммируемости рядов Хаара разными методами.

В данной работе определено множество коэффициентов  $A^*$  и методом суммируемости ортогональных рядов  $T^*$  доказаны несколько достаточных условий суммируемости методом  $T^*$ . А также приведены следствия, вытекающие из доказанных теорем.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** ряды Фурье; ряды Хаара; суммируемость; функции Радемахера.

UDC 517

SCOPUS CODE 2603

**ON A BOUNDARY VALUE OF HARMONIC FUNCTIONS IN THE BALL**

**V. Khocholava** Department of Mathematics, Georgian Technical University, 77 M. Kostava str, 0175 Tbilisi, Georgia  
E-mail: lado54@mail.ru

**N. Macharashvili** Department of Mathematics, Georgian Technical University, 77 M. Kostava str, 0175 Tbilisi, Georgia  
E-mail: nodar54@yahoo.com

**Reviewers:**

**A. Kirtadze**, Professor, Department of Mathematics, Faculty of informatics and Control Systems, GTU  
E-mail: kirtadze2@yahoo.com

**Z. Tsiklauri**, Associate Professor, Department of Mathematics, Faculty of informatics and Control Systems, GTU  
E-mail: zviadtsiklauri@yahoo.com

**ABSTRACT.** Determination of properties of spherical harmonics in circle and sphere is an important issue of harmonic analysis. Famous scientists: Privalov, Fatu, Topuria and others should be mentioned in the study of this problem.

It is well known that series of spherical functions considered in a point inside a sphere, represents the harmonic function. Let’s study the limit of this harmonic function when the point inside the sphere tends to the point located on surface of the sphere. Two types of the tends are considered: when the point inside the sphere tends to the point on the surface of the sphere along its radius and when it tends in such miner that the point inside the sphere constantly remains within the certain angle i.e. angular tend.

The paper defines the condition of existence of limiting value of the spherical harmonics in case of angular tend.

**KEY WORDS:** Almost everywhere; Poisson-Stieltjes integral; spherical harmonic; tending along non-tangent paths to a sphere.

**INTRODUCTION**

The aim of the present paper is to prove a theorem on the local boundary properties of a harmonic function in the ball.

**MAIN PART  
NOTATIONS AND DEFINITIONS**

The following notations are used throughout the paper.  $R^k$  is a  $k$ -dimensional Euclidean space ( $k = 1, 2, 3, \dots$ );  $x = (x_1, x_2, \dots, x_k)$ ,  $y = (y_1, y_2, \dots, y_k)$  are points of the space  $R^k$ ;  $(\rho, \varphi_1, \varphi_2, \dots, \theta_{k-2}, \varphi)$ , are the spherical co-

ordinates of the point  $x = (x_1, x_2, \dots, x_k)$ ;  $(x, y) = \sum_{i=1}^k x_i y_i$

is the scalar product of vectors from  $R^k$ ;  $|x| = \sqrt{(x, x)}$  is the length of the vector  $x$ ;  $S^{k-1} = \{x : x \in R^k ; |x| = 1\}$  is the unit sphere and  $|S^{k-1}|$  is its area;  $|S^{k-1}| = \frac{2\pi^{k/2}}{\Gamma(\frac{k}{2})}$ ;

$V^k = \{x : x \in R^k ; |x| \leq 1\}$  is the unit ball and  $|V^k|$  is its

volume;  $|V^k| = \frac{2\pi^{k/2}}{k\Gamma\left(\frac{k}{2}\right)}$ ;  $D^{k-1}(x, h) = \{y : y \in S^{k-1};$

$(x, y) > \cos h, 0 < h \leq \pi\}$ , i.e.  $D^{k-1}(x; y)$  is a spherical segment of the surface  $S^{k-1}$  with center at the point  $x$  and spherical radius  $h$ ;  $|D^{k-1}(x; y)|$  is its surface area;

$|D^{k-1}(x; h)| = S^{k-2} \cdot \int_0^h \sin^{2\lambda} \theta d\theta, 2\lambda = k - 2.$

$V^k(x; h) = \{y : y \in V^k; (x, y) > \cos h, 0 < h < \pi\}$ ,  
i.e.  $V^k(x; h)$  is the central sector in the ball  $V^k$  supported by the segment  $D^{k-1}(x; h)$ .

We will say that the point

$(r, x) = z(r, \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_{k-2}, \theta) \rightarrow x_0(1, \theta_1^0, \theta_2^0, \dots, \theta_{k-2}^0, \varphi^0)$

$(z \in V^k, x_0 \in S^{k-1})$  along the non-tangent paths to

the sphere and write this fact as  $z \xrightarrow{\wedge} x_0$  if the point  $z$  tends to  $x_0$  remaining all the time inside some cone with vertex at  $x_0$  and angle  $2\alpha < \pi$ , with the axis coinciding with  $ox_0$  ( $o$  is the center of the sphere). By geometrical argumentation, here, as in the plane case, it is established that the tending of  $z$  to  $x_0$  along the non-tangent paths to the sphere is equivalent to the condition

$|zx_0| < C(1-r)$ , where  $C = \text{const}$ ;  $r = |oz|$ .

**CONCLUSION  
MAIN RESULT**

The paper proves a theorem which is an analogue of Theorem 1.13 (see [1], p. 306) and proved by the same method as the latter theorem, namely the following statement is true.

**Theorem.** If the function

$U(z) = U(r, x) = \sum_{n=0}^{\infty} Y_n(x)r^n, x \in S^{k-1},$

where  $y_n(x)$  is a spherical harmonic of order  $n$ , is harmonic in the sphere  $V^k$  and on the segment  $D^{k-1}(x_0; h)$  satisfies the condition

$\int_{D^{k-1}(x_0; h)} |U(r; x)| dS^{k-1}(x) \leq L < \infty,$   
 $0 \leq r < 1. \tag{1}$

Then

$U(r, x) = g(r, x) + \psi(r, x), \tag{2}$

where  $g(r, x)$  is the Poisson-Stieltjes integral and  $\psi(r, x)$  tends uniformly to zero on each segment  $D^{k-1}(x_0; h - \varepsilon)$  ( $0 < \varepsilon < h$ ) as  $r \rightarrow 1$ . In particular  $U(r, x)$  has the limit along non-tangent directions almost everywhere on  $D^{k-1}(x_0; h)$ .

**Proof.** Let  $r_n = 1 - \frac{1}{n}, n = 2, 3, \dots$ . Define the functions  $g_n(x)$  and  $\psi_n(x)$  as follows:

$g_n(x) = \begin{cases} U(r_n, x), & \text{if } x \in D^{k-1}(x_0; h), \\ 0, & \text{if } x \in S^{k-1} - D^{k-1}(x_0; h), \end{cases}$   
 $\psi_n(x) = \begin{cases} 0, & \text{if } x \in D^{k-1}(x_0; h), \\ U(r_n, x), & \text{if } x \in S^{k-1} - D^{k-1}(x_0; h). \end{cases}$

Denote by  $g_n(r, x)$  and  $\psi_n(r, x)$  the Poisson-Lebesgue integrals of the functions  $g_n(x)$  and  $\psi_n(x)$ , i.e.

$g_n(r, x) = \frac{\Gamma\left(\frac{k}{2}\right)}{2\pi^{k/2}} \int_{S^{k-1}} P(r, \gamma) g_n(y) dS^{k-1}(y),$

and

$\psi_n(r, x) = \frac{\Gamma\left(\frac{k}{2}\right)}{2\pi^{k/2}} \int_{S^{k-1}} P(r, \gamma) \psi_n(y) dS^{k-1}(y),$

where

$P(r, \gamma) = \frac{1-r^2}{(1-2r \cos \gamma + r^2)^{k/2}},$

and

$\cos \gamma = (x, y). \tag{3}$

Then

$U(r r_n, x) = g_n(r, x) + \psi_n(r, x). \tag{4}$

Since by condition (1),  $\int_{S^{k-1}} |g_n(y)| dS^{k-1}(y) \leq L$ , at

every ball  $V_r^k$  of radius  $r \leq 1 - \varepsilon$  we will have

$|g_n(r, x)| \leq \frac{\Gamma\left(\frac{k}{2}\right)}{2\pi^{k/2}} \int_{S^{k-1}} \frac{1-r^2}{(1-2r \cos \gamma + r^2)^{k/2}} |g_n(y)| dS^{k-1}(y) \leq \frac{\Gamma\left(\frac{k}{2}\right)L}{2\pi^{k/2}\varepsilon^{k-1}}$

Therefore, by virtue of the well-known theorem on the compactness of families of harmonic functions ([2], pp. 4647), from  $g_n(r, x)$  we can pick out a sequence

$\{g_n(r, x)\}$  converging uniformly in each ball  $V_r^k$  of radius  $r \leq 1 - \varepsilon$  to the harmonic function  $g(r, x)$ .

By virtue of equality (4), the sequence  $\{\psi_n(r, x)\}$  also converges to the harmonic function  $\psi(r, x)$ . We have

$$U(r, x) = g_n(r, x) + \psi_n(r, x).$$

Let us show that  $g(r, x)$  and  $\psi(r, x)$  possess the required properties. Due to (1), we have

$$\begin{aligned} \int_{S^{k-1}} |g_n(r, x)| dS^{k-1}(x) &\leq \frac{\Gamma\left(\frac{k}{2}\right)}{2\pi^{k/2}} \int_{S^{k-1}} P(r, \gamma) |g_n(y)| dS^{k-1}(y) = \\ &= \int_{S^{k-1}} |g_n(y)| dS^{k-1}(y) \frac{\Gamma\left(\frac{k}{2}\right)}{2\pi^{k/2}} \int_{S^{k-1}} P(r, \gamma) dS^{k-1}(x) = \\ &= \int_{S^{k-1}} |g_n(y)| dS^{k-1}(y) \leq L, \end{aligned}$$

for  $0 < r < 1$ . Assuming  $n = n_k \rightarrow \infty$  we obtain

$$\int_{S^{k-1}} |g_n(r, x)| dS^{k-1}(x) \leq L, \quad 0 \leq r < 1.$$

From this inequality, by Theorem 11 ([3], p. 25) we assert that  $g(r, x)$  is the Poisson-Stieltjes integral.

Let  $h'' < h' < h$ . In the sectors  $V^k(x_0; h)$ ,  $V^k(x_0; h')$  and  $V^k(x_0; h'')$  we include the extreme radii but exclude the points of the sphere  $S^{k-1}$ . Let  $P(r, \gamma)$  be the Poisson kernel. If we show that for  $(r, x) \in S^{k-1}(x_0; h)$  and sufficiently large  $A$

$$|\psi(r, x)| \leq AP(r, \gamma), \quad (5)$$

where  $\gamma$  is defined from equality (3) and  $x \in \{(x_0, x) = \cos h'\}$ , then (5) will imply that

$$\lim_{r \rightarrow 1} \psi(r, x) = 0$$

for  $(r, x) \in V^k(x_0; h'')$  and thereby the theorem will be proved.

In order to prove (5), it is sufficient to show that (6)

$$|\psi_n(r, x)| \leq AP(r, \gamma) \quad (6)$$

for  $(r, x) \in V^k(x_0; h)$ , where  $A$  does not depend on  $n$ .

First we show that if  $(r, x) \in V^k(x_0; h')$ , then

$$\psi_n(r, x) = O\left[\frac{1}{(1-r)^{k-1}}\right] \quad (7)$$

uniformly with respect to  $n$ .

We have

$$g_n(r, x) = \sum_{v=0}^{\infty} Y_v^\lambda(g_n; x) r^v,$$

where

$$\begin{aligned} Y_v^\lambda(g_n; x) &= \\ &= \frac{(v + \lambda)\Gamma(\lambda)}{2\lambda^{\lambda+1}} \int_{S^{k-1}} g_n(y) P_v^\lambda(\cos \gamma) dS^{k-1}(y) = \\ &= O(v^{2\lambda}), \quad 2\lambda = k - 2. \end{aligned}$$

Therefore

$$g_n(r, x) = O\left[\frac{1}{(1-r)^{k-1}}\right].$$

Now let us show that an analogous relation is fulfilled for the function  $U(r, x)$ , too. For this, we multiply (1) by  $r^{k-1}$  and integrate with respect to  $r$  on the interval  $(1 - 2\delta, 1)$ . We obtain

$$\int_{D^{k-1}(x_0; h)_{1-2\delta}} |U(r, x)| r^{k-1} dS^{k-1}(x) dr \leq 2L\delta. \quad (8)$$

Assume now that  $M_0(r_0, y_0) \in V^k(x_0; h')$  and  $r_0 = 1 - \delta$ . If  $\delta$  is so small that the ball  $V_\delta^k(M_0)$  with center at the point  $M_0$  and radius  $\delta$  lies in  $V^k(x_0; h)$ , then, after denoting by  $dV^k$  an element of the volume and using (8), we obtain

$$\begin{aligned} |U(r_0, y_0)| &\leq \frac{1}{|V_\delta^k(M_0)|} \int_{V_\delta^k(M_0)} |U| dV^k \leq \\ &\leq \frac{k\Gamma\left(\frac{k}{2}\right)L}{\pi^{k/2}\delta^{k-1}} \leq \frac{L'}{(1-r_0)^{k-1}}. \end{aligned}$$

Therefore

$$|U(r_n r_0, y_0)| \leq \frac{L'}{(1-r_0)^{k-1}}$$

for all  $(r_0, y_0) \in V^k(x_0; h')$ . Hence it follows that

$$|U(r_n r_0, y_0)| \leq \frac{L'}{(1-r_0 r_n)^{k-1}} \leq \frac{L'}{(1-r_0)^{k-1}}$$

for all  $(r_0, y_0) \in V^k(x_0; h')$ . Thus condition (7) is proved.

We are now in the position to prove the theorem.

Let  $0 \leq r < 1$  and the point  $(r, x)$  lies on the lateral surface of the domain  $V^k(x_0; h')$ . Then  $\psi(r, x)$  satisfies condition (7) and  $P(r, \gamma)$  does not at least exceed the sum



$$C_\lambda \sum_{v=1}^{\infty} v^{k-2} r^v = O\left[\frac{1}{(1-r)^{k-1}}\right].$$

Hence it follows that (6) keeps valid for  $M(r, x)$  if  $A$  is sufficiently large. Furthermore, since  $\psi_n(x) = 0$  for  $x \in D^{k-1}(x_0; h)$ , if  $M(r, x)$  approaches from  $V^k(x_0; h')$  to any point of the segment  $D^{k-1}(x_0; h')$  that bounds  $V^k(x_0; h')$ , we will have

$$\lim_{(r,x) \rightarrow z} \psi_n(r, x) = 0, \quad z \in D^{k-1}(x_0; h')$$

and

$$\lim P(r, \gamma) \geq 0.$$

Applying the maximum principle of a harmonic function, we obtain the validity of (6).

The theorem is proved.

**Corollary 1.** If  $U(r, x)$ ,  $x \in S^{k-1}$  satisfies the condition

$$\lim_{\substack{r \rightarrow 1 \\ \rho \rightarrow 1}} \int_{D^{k-1}(x_0; h)} |U(r, x) - U(\rho, x)| dS^{k-1}(x) = 0,$$

then the function  $g(r, x)$  is the Poisson-Lebesgue integral of a function  $g(x)$  vanishing on  $S^{k-1} - D^{k-1}(x_0; h)$ .

**Corollary 2.** If  $U(r, x)$  satisfies the condition

$$\int_{D^{k-1}(x_0; h)} |U(r, x)|^p dS^{k-1}(x) = O(1), \quad 0 \leq r < 1, \quad p > 1,$$

then the function  $g(r, x)$  in (2) is the Poisson-Lebesgue integral of a function  $g(x) \in L_p(S^{k-1})$ ,  $p > 1$ , vanishing on  $S^{k-1} - D^{k-1}(x_0; h)$ .

**Corollary 3.** If

$$|U(r, x)| = O(1), \quad 0 \leq r < 1, \quad x \in D^{k-1}(x_0; h)$$

then  $g(r, x)$  is bounded in the ball  $V^k$ .

## References

1. Zygmund A. Trigonometric series. Vol. II. Moscow. 1965. (in Russian).
2. Privalov I. I. Subharmonic functions. Moscow-Leningrad. 1937. (in Russian).
3. Topuria S. B. Classes of functions and Fourier-Laplace series. Trudy Gruz. Polytekh. Inst., No. 5 (133). 1969, 19–32 pp. (in Russian).

UDC 517

SCOPUS CODE 2603

**ბირთვში ჰარმონიული ფუნქციის სასაზღვრო მნიშვნელობის შესახებ**

- ვ. ხოჭოლავა** მათემატიკის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 77  
E-mail: lado54@mail.ru
- ნ. მაჭარაშვილი** მათემატიკის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 77  
E-mail: lado54@mail.ru

**რეცენზენტები:**

- ა. კირთაძე**, ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის მათემატიკის დეპარტამენტის პროფესორი  
E-mail: kirtadze2@yahoo.com
- ზ. წიკლაური**, ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის მათემატიკის დეპარტამენტის ასოც. პროფესორი  
E-mail: zviadtsiklauri@yahoo.com

**ანოტაცია.** წრესა და სფეროში ჰარმონიული ფუნქციების თვისებების დადგენა ჰარმონიული ანალიზის ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი ამოცანაა. ამ საკითხის შესწავლაში დიდი წვლილი მიუძღვით მეცნიერებს: პრივალოვს, ფატუს, თოფურიას და სხვებს.

კარგადაა ცნობილი, რომ სფეროს შიგნით მდებარე წერტილში განხილული სფერული ფუნქციებისაგან შედგენილი მწკრივი ჰარმონიული ფუნქციაა. შევისწავლოთ ამ ჰარმონიული ფუნქციის ზღვარი, როდესაც სფეროს შიგნით მდებარე წერტილი მიისწრაფვის სფეროს ზედაპირზე მდებარე წერტილისკენ. ერთმანეთისგან განასხვავებენ ორი სახის მისწრაფებას: როდესაც სფეროს შიგნით მდებარე წერტილი მიისწრაფვის სფეროს ზედაპირზე მდებარე წერტილისაკენ რადიუსის გასწვრივ და როდესაც ეს მისწრაფება ხდება ისე, რომ სფეროს შიგნით მდებარე წერტილი მუდმივად რჩება რაიმე კუთხის შიგნით. ასეთ შემთხვევაში ამბობენ, რომ განხილულია კუთხური მისწრაფება.

მოცემულ ნაშრომში დადგენილია ბირთვის შიგნით სფერულ ფუნქციათა მწკრივის სასაზღვრო მნიშვნელობის არსებობის პირობა კუთხური მისწრაფების შემთხვევაში.

**საკვანძო სიტყვები:** თითქმის ყველგან; მისწრაფება სფეროს ზედაპირისკენ არამხები მიმართულებით; პუასონ-სტილტესის ინტეგრალი; სფერული ჰარმონიკი.

UDC 517

SCOPUS CODE 2603

## О ГРАНИЧНОМ ЗНАЧЕНИИ ГАРМОНИЧЕСКОЙ ФУНКЦИИ В ЯДРЕ

**Хочолава В.В.** Дкпартамент математики, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава 77

E-mail: lado54@mail.ru

**Мачарашвили Н.Д.** Дкпартамент математики, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава 77

E-mail: lado54@mail.ru

### Рецензенты:

**А. Киртадзе**, профессор Департамента математики факультета информатики и систем управления ГТУ

E-mail: kirtadze2@yahoo.com

**З. Циклаური**, ассоц. профессор Департамента математики факультета информатики и систем управления ГТУ

E-mail: zviadtsiklauri@yahoo.com

**АННОТАЦИЯ.** Установление свойств гармонической функции в круге и в среде—одна из важнейших задач анализа. Вопросами изучения этих задач занимались Привалов, Фату, Топурия и другие.

Хорошо известно, что ряд сферических функций, рассмотренных в точке внутри сферы, являются гармонической функцией. Нужно изучить предел этой гармонической функции, когда точка, лежащая внутри сферы, стремится к точке на поверхности сферы. Рассмотрены два вида стремления: когда точка стремится к точке на поверхности сферы вдоль радиуса этой сферы и когда при стремлении точка всегда остается внутри некоторого угла. В этом случае говорят, что рассмотрено угловое стремление.

В данной работе установлено условие существования предельного значения ряда сферических функций при угловом стремлении.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** интеграл Пуассона-Стилтиеса; почти всюду; стремление по некасательному к сфере пути; сферическая гармоника.

UDC 551.591.81

SCOPUS CODE 2604

## РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ О ФИЛЬТРАЦИИ ВОДЫ В СОВЕРШЕННУЮ ДРЕНУ ТРЕУГОЛЬНОЙ ФОРМЫ

**З.А. Цицкишвили** Департамент технической экспертизы инженерной механики и строительства, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава 68<sup>б</sup>  
E-mail: Cicqishvilizura@yahoo.com

### Рецензенты:

**Д. Горгидзе**, профессор Департамента технической экспертизы инженерной механики и строительства строительного факультета ГТУ

E-mail: dgorgidze@yahoo.com

**Б. Цуцкиридзе**, ассоц. профессор Департамента математики факультета информатики и систем управления ГТУ

E-mail: b.tsutskiridze@mail.ru

**АННОТАЦИЯ.** При искусственном восполнении запасов подземных вод часто пользуются инфильтрационными сооружениями. Почти все имеющиеся теоретические задачи о фильтрации воды из инфильтрационных бассейнов в водозаборы подземных вод не учитывают множества факторов (например, формы и размеры дрен и др.) и поэтому они нуждаются в уточнении. В связи с этим в работе решена задача фильтрации воды в совершенную дрену треугольной формы. При решении этой задачи используются методы теории функций комплексной переменной, в частности, методы конформного отображения. Для определения расхода воды и других физико-механических параметров фильтрационного потока получены аналитические зависимости, интерпретация некоторых осуществлена с помощью программ MathCAD.

Полученные в работе аналитические решения и данные соответствующих расчетов позволяют точно определить физико-механические параметры фильтрационного потока и провести гидравлический расчет водозаборов подземных вод при их искусственном восполнении.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** водозабор; грунтовые воды; дренаж; инфильтрация; конформные отображения; расход воды; “MathCAD”; фильтрация.

### ВВЕДЕНИЕ

С целью охраны от истощения и загрязнения пресных подземных вод строят водозаборные сооружения (инфильтрационные бассейны и им соответствующие водоприемники) различного типа для перевода поверхностных вод в подземные. Одним из основных вопросов при проектировании этих сооружений является их фильтрационный расчет, кроме этого, он должен отличаться простотой осуществления, экономичностью и гарантировать получение высокого качества подземных вод для целей водоснабжения [1]. Почти все имеющиеся теоретические задачи о фильтрации воды из бассейнов в водозаборы не учитывают некоторые факторы, которые существенно влияют на окончательные выводы и заключение. Например, размеры дрен, высоту воды в водозаборах и другие. Поэтому некоторые заключения нуждаются в уточнении.

Дрена треугольной формы редко встречается на практике, но, несмотря на это, ее следует теоретически рассмотреть и исследовать. Некоторые заключения можно использовать на практике. В этой связи рассмотрим задачу теории фильтрации, тесно связанную с вышеизложенным предсказанием. Рассмотрим случай, когда дрена полностью заполняется водой.

**ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ**

Плоскость фильтрации отнесена к комплексной плоскости  $z = x + iy$ . Вводится приведенный комплексный потенциал  $\omega(z) = \varphi(x, y) + i\psi(x, y)$ , где  $\varphi$  и  $\psi$  – соответственно потенциал скорости и функция тока, деленные на коэффициент фильтрации [2, 3, 4, 5, 6]. Соответствующие граничные условия для  $\varphi$  и  $\psi$  и другие обозначения указаны на рис. 1.

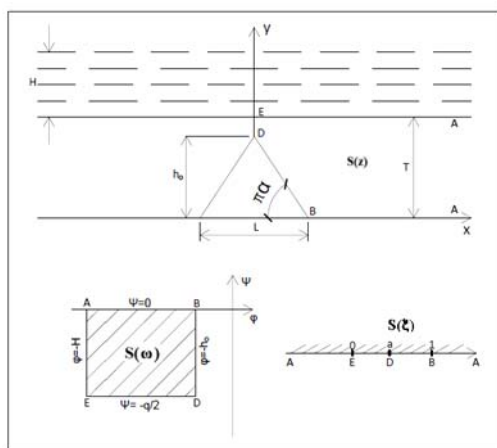


Рис. 1

Для краткости вводятся обозначения: область фильтрации –  $S(z)$ , область комплексного потенциала –  $S(\omega)$ . В этом случае область  $S(\omega)$  известна и она изображена на рис. 1. Отобразим конформно полуплоскость  $Im(\xi) > 0$  на область  $S(z)$  и  $S(\omega)$  и  $\omega = \omega(\xi)$ . Они определяются с помощью формулы Кристоффеля-Шварца [2, 7].

Функция  $z(\xi)$  определяется формулой

$$z(\xi) = iM_0 \int_0^\xi \xi^{-1/2} (a - \xi)^{\alpha - \frac{1}{2}} (1 - \xi)^{-\alpha} d\xi + Ti, \tag{1}$$

где

$$M_0 = (h_0 - T) / I_1(a, \alpha),$$

$$I_1(a, \alpha) = \int_0^a \xi^{-1/2} (a - \xi)^{\alpha - \frac{1}{2}} (1 - \xi)^{-\alpha} d\xi. \tag{2}$$

Функция  $z(\xi)$  для отрезка  $DB$  имеет вид

$$z(\xi) = ih_0 - M_0 \exp[-i\pi\alpha] \int_a^\xi \xi^{-1/2} (a - \xi)^{\alpha - \frac{1}{2}} (1 - \xi)^{-\alpha} d\xi. \tag{3}$$

Из равенства (3), с учетом условия  $z(1) = L/2$ , следует

$$\frac{L}{2} = ih_0 - M_0 \exp[-i\pi\alpha] I_2(a, \alpha), \tag{4}$$

где

$$I_2(a, \alpha) = \int_a^1 \xi^{-1/2} (\xi - a)^{\alpha - \frac{1}{2}} (1 - \xi)^{-\alpha} d\xi. \tag{5}$$

В равенстве (4) отделим действительную часть от мнимой, получим

$$\begin{aligned} \frac{h_0}{T} &= \sin(\pi\alpha) I_2(a, \alpha) / [I_1(a, \alpha) + \\ &+ I_2(a, \alpha) \sin(\pi\alpha)], \tag{6} \\ L &= 2h_0 \operatorname{ctg}(\pi\alpha). \tag{7} \end{aligned}$$

Зависимость (6) можно использовать для определения параметра  $a$ .

Функция  $z(\xi)$  в интервалах  $(1, \infty)$  и  $(-\infty, 0)$  соответственно определяется следующим образом:

$$z(\xi) = \frac{L}{2} - M_0 \int_1^\xi \xi^{-1/2} (\xi - a)^{\alpha - \frac{1}{2}} (\xi - 1)^{-\alpha} d\xi, \tag{8}$$

$\xi > 1,$

$$z(\xi) = M_0 \int_1^\xi (-\xi)^{-\frac{1}{2}} (a - \xi)^{\alpha - \frac{1}{2}} (1 - \xi)^{-\alpha} d\xi + Ti. \tag{9}$$

После этого найдем функцию  $\omega = \omega(\xi)$  для интервала  $(0, a)$ , она имеет вид

$$\omega(\xi) = M_1 \int_0^\xi \xi^{-\frac{1}{2}} (a - \xi)^{-\frac{1}{2}} (1 - \xi)^{-\frac{1}{2}} d\xi - H - iq/2, \tag{10}$$

где

$$\begin{aligned} M_1 &= (H - h_0) / I_3(a, \alpha), \\ I_3(a, \alpha) &= \int_0^a [\xi(a - \xi)(1 - \xi)]^{-\frac{1}{2}} d\xi. \tag{11} \end{aligned}$$

Для интервала  $(a, \xi)$ ,  $\omega(\xi)$  определяется так

$$\omega(\xi) = iM_1 \int_a^\xi [\xi(\xi - a)(1 - \xi)]^{-\frac{1}{2}} d\xi -$$

$$-h_0 - iq/2. \quad (12)$$

Из равенства (12), с учетом условия  $\omega(1) = -h_0$ , получим

$$q = 2(H - h_0) I_4(a, \alpha) / I_3(a, \alpha), \quad (13)$$

где

$$I_4(a, \alpha) = \int_a^1 I(\xi(\xi - a)(1 - \xi))^{\frac{1}{2}} d\xi. \quad (14)$$

Для интервалов  $(1, \infty)$  и  $(-\infty, 0)$  функция  $\omega(\xi)$  соответственно, принимает вид

$$\omega(\xi) = -h_0 - M_1 \int_1^\xi I(\xi(\xi - a)(\xi - 1))^{\frac{1}{2}} d\xi, \quad \xi > 1, \quad (15)$$

$$\omega(\xi) = iM_1 \int_0^\xi I(-\xi)(a - \xi)(1 - \xi))^{\frac{1}{2}} d\xi - H - iq/2, \quad \xi < 0. \quad (16)$$

Следовательно, функции  $z(\xi)$ ,  $\omega(\xi)$  определены для всех значений  $\xi$ .

Уравнения (6) и (13) дают возможность определить неизвестные параметры  $a$  и  $q$ .

Исходя из формулы (6), по оси абсцисс отложим  $a$  ( $0 < a < 1$ ), а по оси ординат  $h_0/T$ , вычисленное по формуле (6) для различных  $\alpha$  (рис. 2). Пользуясь этим графиком, при заданном  $\alpha$ ,  $h_0/T$ , можно определить  $a$ , а затем, зная  $a$ , по формуле (13) можно определить  $q$ .

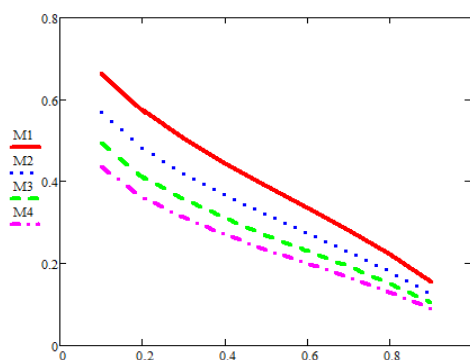


Рис. 2

$$M1 = \frac{h_0}{T}, (\alpha = 1/3);$$

$$M2 = \frac{h_0}{T}, (\alpha = 1/4);$$

$$M3 = \frac{h_0}{T}, (\alpha = 1/5);$$

$$M4 = \frac{h_0}{T}, (\alpha = 1/6).$$

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из-за редкости применения дренажа треугольной формы нельзя отказаться от решения такой интересной фильтрационной задачи с математической точки зрения. Результаты вычисления показали правильность теоретического алгоритма решения, использование которого в инженерной практике покажет будущее.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Burchak T.V. Infiltration basins. Publishing house «Budivelnyk». Kyiv. 1978, 152 p. (in Russian).
2. Polubarinova-Kochina P.Ya. Theory of motion of ground water. Publishing house “Nauka”. Moscow. 1977, 664 p. (in Russian).
3. Aravin V.I., Numerov S.N. Theory of liquid and gas motion in nondeformable porous medium. Gosudarstvennoe izdatelstvo tekhniko-teoreticheskoy literatury. Moscow. 1953, 616 p. (in Russian).
4. Ber Ya, Zaslavski D., Irmei S. Physical-mathematical principles of water filtration. Publishing house “Mir”. Moscow. 1971, 451 p. (in Russian).
5. Tsitsikshvili Z.A. On filtration of underground waters in triangular shape gallery. Transactions of Tbilisi State University “Mathematics, Mechanics, Astronomy”. № 264. 1986, 226-236 pp. (in Georgian).
6. Manual on the hydraulic calculations. Energoatomizdat. Moscow. 1988. 624 p. (in Russian).
7. Lavrentiev M.A., Shabat B.V. Methods of the theory of functions of complex variable. Publishing house “Nauka”. Moscow. 1973, 736 p. (in Russian).
8. Ronald W. Larsen. Introduction to Mathcad 15 (3rd Edition). Publisher: Pearson. 2010, 408 p. (in English).

UDC 551.591.81  
SCOPUS CODE 2604

**წყლის ფილტრაციის ამოცანის ამოხსნა სამკუთხედის ფორმის სრულყოფილი დრენაჟისათვის**

**ზ. ციციშვილი** საინჟინრო მექანიკისა და მშენებლობის ტექნიკური ექსპერტიზის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 68<sup>ბ</sup>  
E-mail: Cicqishvilizura@yahoo.com

**რეცენზენტები:**

**დ. გორგიძე**, სტუ-ის სამშენებლო ფაკულტეტის საინჟინრო მექანიკისა და მშენებლობის ტექნიკური ექსპერტიზის დეპარტამენტის პროფესორი  
E-mail: dgorgidze@yahoo.com

**ბ. ცუცქირიძე**, სტუ-ის ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის მათემატიკის დეპარტამენტის ასოც. პროფესორი  
E-mail: b.tsutskiridze@mail.ru

**ანოტაცია.** მიწისქვეშა წყლების ხელოვნური გამდიდრებისთვის ეწყობა საინფილტრაციო მოედნები. ასეთი ტიპის მოედნებზე არსებული აუზებიდან წყლის ფილტრაციის საანგარიშო სქემებში გამოიყენება სხვადასხვა ფორმისა და ტიპის სადრენაჟო მოწყობილობები, რომელთათვისაც ფილტრაციული ნაკადის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლების შესწავლა და დაზუსტება საკმარისად რთული მათემატიკური მეთოდების გამოყენებას მოითხოვს. ამ მიზნით ნაშრომში შესწავლილია ფილტრაციის ამოცანა სამკუთხედის ფორმის სრულყოფილი დრენაჟისათვის, როდესაც ის მთლიანად სავსეა წყლით. გრუნტი ითვლება ერთგვაროვნად და იზოტროპულად. წყლის მოძრაობა გრუნტში დარსის კანონს ემორჩილება. ამ ამოცანის ამოსახსნელად გამოიყენება კომპლექსური ცვლადის ფუნქციათა თეორია, კერძოდ კონფორმული გადასახვის მეთოდები. ფილტრაციული ნაკადის ხარჯისა და სხვა ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლების გაანგარიშებისათვის მიღებულია ანალიზური გამოსახულებები, რომელთა რიცხვითი ალგორითმი გაანგარიშებულ იქნა პროგრამა „MathCAD“-ის საშუალებით.

ნაშრომში მიღებული ანალიზური ამოხსნები და შესაბამისი რიცხვითი შედეგები საშუალებას იძლევა ზუსტად განისაზღვროს ფილტრაციული ნაკადის ფიზიკურ-მექანიკური მახასიათებლები.

**საკვანძო სიტყვები:** გრუნტის წყლები; დრენაჟი; ინფილტრაცია; კონფორმული გადასახვა; “MathCAD”; ფილტრაცია; წყალშემკრები; წყლის ხარჯი.

UDC 551.591.81

SCOPUS CODE 2604

## WATER FILTRATION SOLUTIONS IN PERFECT TRIANGULAR DRAIN

**Z. Tsitskishvili** Department of Engineering Mechanics and Civil Engineering Technical Expertise, Georgian Technical University, 68<sup>6</sup> M. Kostava str., 0175 Tbilisi, Georgia  
E-mail: cicqishvilizura@yahoo.com

### Reviewers:

**D. Gorgidze**, Professor, Department of Engineering Mechanics and Civil Engineering Technical Expertise, Faculty of Civil Engineering, GTU

E-mail: dgorgidze@yahoo.com

**B. Tsutskiridze**, Associate Professor, Department of Mathematics, Faculty of Informatics and Control Systems, GTU

E-mail: b.tsutskiridze@mail.ru

**ABSTRACT.** The infiltration facilities are often used at artificial groundwater recharge. Nearly all theoretical tasks of water filtration from groundwater intake don't consider a set of factors (e.g. shape and size of drains, etc) and therefore they are to be specified. In this regard the article considers the issue of water filtration solutions in perfect triangular drain using the methods of the theory of functions of a complex variable, in particular, methods of conformal mapping. For determination of water discharge and other physical and mechanical parameters of the filtration flow are obtained the analytic dependences and some of them are interpreted by "MathCAD" program.

The analytical solutions and data obtained from the corresponding calculations allow to determine precisely the physical and mechanical parameters of the filtration flow and provide hydraulic calculations of groundwater intake at artificial groundwater recharge.

**KEY WORDS:** Conformal mapping; drain; filtration; infiltration; groundwater; groundwater intake; MathCAD; water discharge.



UDC 008

SCOPUS CODE 2604

## НЕСТАЦИОНАРНОЕ ТЕЧЕНИЕ ПРОВОДЯЩЕЙ ЖИДКОСТИ ВБЛИЗИ ВРАЩАЮЩЕГОСЯ ПОРИСТОГО ДИСКА С УЧЕТОМ МАГНИТНОГО ПОЛЯ И ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ

**Л.А. Джикидзе** Департамент инженерной механики и технической экспертизы строительства, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава 68<sup>б</sup>  
E-mail: z\_sabashvili@gtu.ge

**В.Н. Цуцкиридзе** Департамент математики, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава 77  
E-mail: t.loladze@gtu.ge

### Рецензенты:

**З.Цицкишвили**, профессор Департамента инженерной механики и технической экспертизы строительства строительного факультета ГТУ

E-mail: cicqishvilizura@yahoo.com

**Э.Элердашвили**, ассоц. профессор Департамента математики факультета информатики и систем управления ГТУ

E-mail: ek.elerdashvili@yahoo.com

**АННОТАЦИЯ.** В работе методом осреднения нелинейных членов изучена задача о нестационарном течении вязкой несжимаемой жидкости вблизи вращающегося пористого диска с учетом однородного магнитного поля и теплопередачи.

При решении задачи в соответствующих начальных и граничных условиях в системе уравнений Навье-Стокса нестационарного движения жидкости в однородном магнитном поле и в уравнении энергии пользуемся подстановками Кармана.

Полученная система уравнений методом осреднения нелинейных членов дает возможность получить систему уравнений для определения толщин динамического и теплового пограничных слоев  $\delta(t)$  и  $\delta_T(t)$ , возникших при вращении диска. Вместо асимптотических слоев рассматриваются слои конечных

толщин, которые меняются с течением времени и удовлетворяют соответствующим начальным и граничным условиям.

Выражения пограничных слоев ищем в виде бесконечных рядов по времени  $t$ . Ограничиваясь четырьмя членами в каждом разложении, получены явные выражения для  $\delta(t)$  и  $\delta_T(t)$ , которые справедливы в малом промежутке времени. С помощью этих величин определены все физические характеристики течения: компоненты скорости течения, давление, температура диска, момент сопротивления и коэффициент момента сопротивления вращению диска, а также коэффициент теплопередачи.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** магнитное поле; метод осреднения; пограничный слой; пористость; проводимость; скорость отсоса; теплопередача; течение.

## ВВЕДЕНИЕ

Решение задач теории пограничного слоя сводится к определению закона распределения скоростей в слое, удовлетворяющего соответствующим граничным и начальным условиям. Проблема эта достаточно сложна, так как названные уравнения нелинейны.

Математические трудности, с которыми приходится сталкиваться при попытках непосредственно интегрировать уравнения течения жидкости в пограничном слое, побуждают применить какие-нибудь другие, пусть менее точные, но более простые методы решения этой задачи.

Отметим, что классическая задача о нестационарном течении вблизи вращающегося в безграничной жидкости диска, впервые была сформулирована и решена Карманом [1]. Позже Тириот [2] рассмотрел нестационарное течение над бесконечным диском, который в некоторый момент времени начинает вращаться с постоянной угловой скоростью, и получил решение задачи, которое справедливо при малом интервале времени. Дальнейшие обобщения решения этой задачи изложены в статье [3], а также в работах различных авторов.

В работе [4] задача о нестационарном течении вязкой жидкости вблизи вращающегося диска решается с помощью приближенного метода осреднения слагаемых от ускорения. В работе [5] аналогичная задача решается методом Швеца [6] с учетом пористости пластины, действующего магнитного поля и теплопередачи.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В настоящей работе методом осреднения нелинейных членов изучена задача о нестационарном течении вязкой несжимаемой жидкости вблизи пористого диска радиуса  $R$ , с учетом однородного магнитного поля и теплопередачи.

Допустим, что диск вращается с постоянной угловой скоростью  $\omega$  и через диск происходит отсос той же жидкости со скоростью  $v_w$ . Отметим, что отсос жидкости через диск используется для уменьшения роста неустойчивых возмущений в пограничном слое и затягивания его отрыва. Он может

также служить эффективным средством интенсификации процесса теплообмена.

Пусть влияние диссипативных эффектов на течение жидкости и на теплообмен пренебрежимо мало, интенсивный отсос жидкости приводит к значительному уменьшению радиальной скорости жидкости вблизи диска и различие температуры в основном потоке и на диске относительно невелико.

С учетом этого для решения задачи воспользуемся системой уравнений Навье-Стокса нестационарного движения жидкости в однородном магнитном поле и уравнением энергии:

$$\begin{cases} \frac{\partial v_r}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_r}{\partial r} + v_z \frac{\partial v_r}{\partial z} - \frac{v_\varphi^2}{r} = \\ = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} + \nu \left( \Delta v_r - \frac{v_r}{r^2} \right) - \frac{\sigma}{\rho} \frac{B_0^2}{\rho} v_r, \\ \frac{\partial v_\varphi}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_\varphi}{\partial r} + v_z \frac{\partial v_\varphi}{\partial z} + \frac{v_r v_\varphi}{r} = \\ = \nu \left( \Delta v_\varphi - \frac{v_\varphi}{r^2} \right) - \frac{\sigma}{\rho} \frac{B_0^2}{\rho} v_\varphi, \\ \frac{\partial v_z}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_z}{\partial r} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \Delta v_z, \\ \frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{v_r}{r} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0, \\ \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \rho c_p \left( \frac{\partial T}{\partial t} + v_r \frac{\partial T}{\partial r} + v_z \frac{\partial T}{\partial z} \right), \end{cases} \quad (1)$$

Здесь  $v_r(r, z, t)$ ,  $v_\varphi(r, z, t)$ ,  $v_z(r, z, t)$  - компоненты скорости жидкости,  $t$  - время,  $\nu$  - вязкость,  $p$  - давление,  $\sigma$  - коэффициент электропроводности,  $\rho$  - плотность,  $B_0$  - магнитное поле,  $T$  - температура,  $c_p$  - теплоемкость при постоянном давлении,  $\lambda$  - коэффициент теплопроводности а  $\Delta = \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$  - оператор Лапласа.

Для интегрирования системы (1) будем иметь следующие начальные и граничные условия:

$$\begin{cases} t = 0, & v_r = v_\varphi = v_z = 0, & T = T_w(z, 0), \\ t > 0, & z = 0, & v_r = 0, & v_\varphi = s\omega r, & v_z = -v_w, & T = T_w(0, t), \\ & z = \infty, & v_r = 0, & v_\varphi = 0, & & T = T_\infty, \end{cases} \quad (2)$$

где  $\omega = const$  есть угловая скорость вращения диска,  $v_w = const$  - скорость отсоса жидкости через диск,  $s$  - параметр вращения,  $T_w$  - температура диска и  $T_\infty$  - температура жидкости вдали от диска.

Введем следующие безразмерные величины

$$\eta = \sqrt{\frac{\omega}{\nu}} z, \quad t' = \omega t, \quad v_w = \sqrt{\nu \omega} v'_w \quad (3)$$

и, следуя Карману, для компонентов скоростей жидкости и давления примем следующие зависимости:

$$\begin{cases} v_r(r, z, t) = \omega r f(\eta, t'), \\ v_\phi(r, z, t) = \omega r q(\eta, t'), \\ v_z(r, z, t) = \sqrt{\nu \omega} g(\eta, t'), \\ p(z, t) = -\rho \nu \omega p'(\eta, t'). \end{cases} \quad (4)$$

Подставим (3) и (4) в (1) и для простоты воспользуемся величинами без штрихов, получим следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 f}{\partial \eta^2} = \frac{\partial f}{\partial t} + m^2 f + g \frac{\partial f}{\partial \eta} + f^2 - q^2, \\ \frac{\partial^2 q}{\partial \eta^2} = \frac{\partial q}{\partial t} + m^2 q + 2fq + g \frac{\partial q}{\partial \eta}, \\ \frac{\partial^2 g}{\partial \eta^2} = \frac{\partial g}{\partial t} + g \frac{\partial g}{\partial \eta} - \frac{\partial p}{\partial \eta}, \\ \frac{\partial g}{\partial \eta} = -2f, \\ \frac{\partial^2 T}{\partial \eta^2} = P_r \left( \frac{\partial T}{\partial t} + g \frac{\partial T}{\partial \eta} \right), \end{cases} \quad (5)$$

где  $m^2 = \frac{\sigma_0 B_0^2}{\rho \omega_0}$  и  $P_r = \frac{\mu c_p}{\lambda}$  - число Прандтля.

Для определения толщин динамического и теплового пограничных слоев, возникших при вращении диска, вместо асимптотических слоев рассмотрим слои конечных толщин, которые будут меняться с течением времени. Для их определения имеем следующие условия:

$$\eta = \delta(t), \quad \frac{\partial q}{\partial \eta} = 0, \quad \eta = \delta_T(t), \quad \frac{\partial T}{\partial \eta} = 0. \quad (6)$$

Таким образом, систему (5) нужно решать при следующих начальных и граничных условиях:

$$\begin{cases} t=0, \quad f=q=g=0, \quad T=T_w(\eta, 0), \quad \delta(0)=0, \quad \delta_T(0)=0, \\ t>0, \quad \eta=0, \quad f=0, \quad q=s, \quad g=-v_w, \quad p=p_0, \quad T=T_w(0, t), \\ \eta=\delta(t), \quad f=0, \quad q=0, \quad \frac{\partial q}{\partial \eta}=0, \\ \eta=\delta_T(t), \quad T=T_\infty, \quad \frac{\partial T}{\partial \eta}=0. \end{cases} \quad (7)$$

Для решения системы (5) используем метод осреднения [7] нелинейных членов:

$$\frac{1}{\delta} \int_0^\delta \left( \frac{\partial f}{\partial t} + m^2 f + g \frac{\partial f}{\partial \eta} + f^2 - q^2 \right) d\eta = A(t),$$

$$\frac{1}{\delta} \int_0^\delta \left( \frac{\partial q}{\partial t} + m^2 q + g \frac{\partial q}{\partial \eta} + 2fq \right) d\eta = C(t), \quad (8)$$

$$\frac{1}{\delta_T} \int_0^{\delta_T} P_r \left( \frac{\partial T}{\partial t} + g \frac{\partial T}{\partial \eta} \right) d\eta = D(t).$$

Тогда получим

$$\frac{\partial^2 f}{\partial \eta^2} = A(t), \quad \frac{\partial^2 q}{\partial \eta^2} = C(t), \quad \frac{\partial^2 T}{\partial \eta^2} = D(t). \quad (9)$$

Разрешив уравнение (9) и использовав условия (7), находим

$$\begin{cases} f(\eta, t) = \frac{1}{2} A(t) [\eta^2 - \eta \delta(t)], \\ q(\eta, t) = \frac{s}{\delta^2(t)} [\eta - \delta(t)]^2, \\ g(\eta, t) = -A(t) \left[ \frac{\eta^3}{3} - \frac{\eta^2}{2} \delta(t) \right] - v_w, \\ T(\eta, t) = -\frac{\theta}{\delta_T^2} [\eta - \delta_T(t)]^2 + T_\infty, \\ p(\eta, t) = p_0 + A^2(t) \frac{\eta^4}{72} [2\eta - 3\delta(t)]^2 - \\ - A'(t) \frac{\eta^3}{12} [\eta + 2\delta(t)] + A(t) \frac{\eta}{6} \{ [\delta'(t) - 2v_w] \eta^2 + \\ + 3[v_w \delta(t) - 2] \eta + 6 \delta(t) \}, \end{cases} \quad (10)$$

где  $\theta = T_\infty - T_w$ . Подставив в (8) значения  $f$ ,  $q$ ,  $g$  и  $T$  из (10) и проведя интегрирование, получим уравнения для определения  $\delta(t)$ ,  $\delta_T(t)$  и  $A(t)$ :

$$\begin{cases} \frac{A^2}{40} \delta^4 - \frac{A' + m^2 A}{12} \delta^2 - \frac{A}{4} \delta' \delta - A = \frac{s^2}{5}, \\ \frac{A}{10} \delta^4 - \frac{1}{3} \delta' \delta - \frac{m^2}{3} \delta^2 - v_w \delta = -2, \\ \frac{A}{10} \delta_T^4 - \frac{A}{4} \delta \delta_T^3 + (l - n\theta)' \delta_T^2 + \frac{1}{2} (\delta_T^2)' + \\ + 3v_w \delta_T = \frac{6}{P_r}. \end{cases} \quad (11)$$

Будем искать решение системы (11) в виде рядов по времени  $t$ :

$$\begin{aligned} A(t) &= \sum_{k=0}^{\infty} a_k t^k, & \delta(t) &= \sum_{k=0}^{\infty} c_k t^{\frac{k+1}{2}}, \\ \delta_T(t) &= \sum_{k=0}^{\infty} d_k t^{\frac{k+1}{2}}, \end{aligned} \quad (12)$$

где  $a_k$ ,  $c_k$  и  $d_k$  - постоянные. Подставляя ряды (12) в систему (11) и приравнявая коэффициенты при одинаковых степенях  $t$ , получим бесконечную систему алгебраических уравнений для определения коэффициентов в разложении (12). Если ограничимся четырьмя членами, то выражения для  $\delta(t)$ ,  $\delta_T(t)$  и  $A(t)$  окончательно запишем в следующем виде:

$$\begin{aligned} \delta(t) &= 2\sqrt{3}t^{\frac{1}{2}} - 2v_w t + \frac{\sqrt{3}(v_w^2 - 6m^2)}{6} t^{\frac{3}{2}} + \\ &+ \frac{v_w(v_w^2 + 18m^2)}{15} t^2, \\ \delta_T(t) &= 2\sqrt{\frac{3}{P_r}} t^{\frac{1}{2}} - 2v_w t + \\ &+ \sqrt{3P_r} \left[ \frac{v_w^2}{6} - \frac{(l - n\theta)'}{P_r} \right] t^{\frac{3}{2}} + \\ &+ \frac{v_w}{5} \left[ 6(l - n\theta)' + \frac{v_w^2 P_r}{3} \right] t^2, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A(t) &= -\frac{2s^2}{25} \left\{ 1 - \frac{1}{7} (3v_w^2 - 4m^2) t + \right. \\ &+ \left[ \frac{16s^2}{125} + \frac{1}{630} (127v_w^4 - 34v_w^2 m^2 - 40m^4) \right] t^2 + \\ &+ \left[ \frac{6s^2}{3500} (103v_w^2 - 28m^2) - \right. \\ &\left. - \frac{1}{6720} (671v_w^6 - 108v_w^4 m^2 - 1380v_w^2 m^4 + 560m^6) \right] t^3 \left. \right\}. \end{aligned}$$

Если по полученным выражениям  $\delta(t)$  и  $\delta_T(t)$  вычислим окружную составляющую касательного напряжения  $\tau_{z\varphi}$ , момент сопротивления вращению диска  $M$ , коэффициент момента сопротивления  $C_M$  и коэффициент теплоотдачи  $N$ , будем иметь:

а) для окружной составляющей касательного напряжения

$$\begin{aligned} \tau_{z\varphi} &= -\frac{2rs\rho v^2 \sqrt{R_e^3}}{R^3} \left[ 2\sqrt{3}t^{\frac{1}{2}} - 2v_w t + \right. \\ &+ \left. \frac{\sqrt{3}(v_w^2 - 6m^2)}{6} t^{\frac{3}{2}} + \frac{v_w(v_w^2 + 18m^2)}{15} t^2 \right]^{-1}, \end{aligned}$$

б) для момента сопротивления вращению диска

$$\begin{aligned} M &= \pi r s R v^2 \sqrt{R_e^3} \left[ 2\sqrt{3}t^{\frac{1}{2}} - 2v_w t + \right. \\ &+ \left. \frac{\sqrt{3}(v_w^2 - 6m^2)}{6} t^{\frac{3}{2}} + \frac{v_w(v_w^2 + 18m^2)}{15} t^2 \right]^{-1}, \end{aligned}$$

в) для коэффициента момента сопротивления

$$\begin{aligned} C_M &= \frac{4\pi s}{\sqrt{R_e}} \left[ 2\sqrt{3}t^{\frac{1}{2}} - 2v_w t + \right. \\ &+ \left. \frac{\sqrt{3}(v_w^2 - 6m^2)}{6} t^{\frac{3}{2}} + \frac{v_w(v_w^2 + 18m^2)}{15} t^2 \right]^{-1}, \end{aligned}$$

г) для коэффициента теплоотдачи

$$N = -\frac{2r\theta}{T_w} \left\{ 2\sqrt{\frac{3}{P_r}} t^{\frac{1}{2}} - 2v_w t + \right. \\ \left. + \sqrt{3P_r} \left[ \frac{v_w^2}{6} - \frac{(l \ n\theta)'}{P_r} \right] t^{\frac{3}{2}} + \frac{v_w}{5} \left[ 6(l \ n\theta)' + \frac{v_w^2 P_r}{3} \right] t^2 \right\}^{-1} .$$

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из полученных выше формул, которые справедливы в малом промежутке времени, легко усмотреть влияние магнитного поля, скорости отсоса жидкости и угловой скорости вращения диска, на физические характеристики течения и на теплопередачу.

### Литература

1. Karman T. Uber laminare und turbulente Reibung. ZAMM. 1, Nr.4. 1921, 233-252 pp. (in German).
2. Thiriot K.H. Uber die laminare Anlaufstromung einer Flussigkeit uber einem rotierenden Boden bei plotzlicher Angerung des drehungszustandes. ZAMM. 20, Nr. 1, 1940, 1-12pp. (in German).
3. Benton E.R. On the flow due to a rotating disk. Journal of fluid mechanics. Vol. 24, No. 4. 1966, 781-800 pp. (in English).
4. Elshin V. Nonstationary flow near a rotating disk. Bulletin of Moscow University. №6. 1970, 105-109 pp. (in Russian).
5. Jikidze L. Approximate method of the non-stationary rotation problem of the porous plate in the weak conduction fluid. Proceedings of Tbilisi University. Mathematics, mechanics, astronomy. vol. 320(30). 1995, 65-77 pp. (in Russian).
6. Shvets M. Ye. Approximate solution of certain problems of the hydrodynamics of the boundary layer. Applied mathematics and mechanics. 13, №3. 1949, 257-266 pp. (in Russian).
7. Slezkin N.A., Targ S. M. The generalized equations of Reynolds. Reports of Academy of Sciences of the USSR. 54, №3. 1946, 205-208 pp. (in Russian).
8. Targ S. M. Basic problems of the theory of laminar flows. Moscow-Leningrad. 1951. (in Russian).
9. Dorfman L. A. Pressure drop and heat transfer of rotating bodies. Fizmatgiz. Moscow. 1960. (in Russian).

UDC 008

SCOPUS CODE 2604

**გამტარი სითხის არასტაციონარული დინება ფოროვანი დისკოს მახლობლობაში მაგნიტური ველისა და სითბოგადაცემის გათვალისწინებით**

**ლ. ჯიქიძე** საინჟინრო მექანიკისა და მშენებლობის ტექნიკური ექსპერტიზის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 68<sup>ბ</sup>

E-mail: levanjikidze@yahoo.com

**ვ. ცუცქირიძე** მათემატიკის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 77

E-mail: b.tsutskiridze@mail.ru

**რეცენზენტები:**

**ზ. ციციშვილი**, სტუ-ის სამშენებლო ფაკულტეტის საინჟინრო მექანიკისა და მშენებლობის ტექნიკური ექსპერტიზის დეპარტამენტის პროფესორი

E-mail: cicqishvilizura@yahoo.com

**ე. ელერდაშვილი**, სტუ-ის ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის მათემატიკის დეპარტამენტის ასოცირებული პროფესორი

E-mail: ek.elerdashvili@yahoo.com

**ანოტაცია.** ნაშრომში, არაწრფივი წვევრების გასაშუალებების მეთოდით, შესწავლილია ბლანტი უკუმშველი სითხის არასტაციონარული მოძრაობა ფოროვანი ფირფიტის მახლობლობაში, ერთგვაროვანი მაგნიტური ველისა და სითბოგადაცემის გათვალისწინებით.

ამოცანის ამოხსნისას, შესაბამის საწყის და სასაზღვრო პირობებში, ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში სითხის არასტაციონარული მოძრაობის – ნავიე-სტოქსის განტოლებათა სისტემასა და ენერგიის განტოლებაში ვსარგებლობთ კარმანის ჩასმებით.

მიღებული განტოლებათა სისტემა, არაწრფივ წვევრთა გასაშუალებების მეთოდით, საშუალებას გვაძლევს მივიღოთ განტოლებათა სისტემა დისკოს ბრუნვისას წარმოქმნილი  $\delta(t)$  და  $\delta_T(t)$  დინამიკური და სითბური სასაზღვრო ფენების სისქეთა განსაზღვრავად. ასიმპტოტურ ფენათა ნაცვლად განიხილება სასრული სისქის ფენები, რომლებიც იცვლება დროის მიხედვით და აკმაყოფილებს შესაბამის საწყის და სასაზღვრო პირობებს.

სასაზღვრო ფენათა გამოსახულებებს ვეძებთ  $t$  დროში უსასრულო მწკრივების სახით. შემოვიფარგლებით რა თითოეულ გაშლაში პირველი ოთხი წევრით, მივიღებთ  $\delta(t)$  და  $\delta_T(t)$  გამოსახულებებს, რომლებიც მართებულია დროის მცირე შუალედში. მათი მეშვეობით განისაზღვრება დინების ყველა ფიზიკური მახასიათებელი: დინების სიჩქარის კომპონენტები, წნევა, დისკოს ტემპერატურა, დისკოს ბრუნვის წინაღობის მომენტი და წინაღობის მომენტის კოეფიციენტი, აგრეთვე სითბოგადაცემის კოეფიციენტი.

**საკვანძო სიტყვები:** გამოთვნის სიჩქარე; გამტარობა; გასაშუალებების მეთოდი; დინება; თბოგადაცემა; მაგნიტური ველი; სასაზღვრო ფენა; ფორიანობა.

UDC 008

SCOPUS CODE 2604

**NONSTATIONARY FLOW OF THE CONDUCTING FLUID NEAR THE ROTATING POROUS DISK WITH REGARD TO MAGNETIC FIELD AND THE HEAT TRANSFER**

- L. Jikidze** Department of Engineering Mechanics and Civil Engineering Technical Expertise, Georgian Technical University, 68<sup>b</sup> M. Kostava str., 0175 Tbilisi, Georgia  
E-mail: levanjikidze@yahoo.com
- V. Tsutskiridze** Department of Mathemati, Georgian Technical University, 77 M. Kostava str., 0175 Tbilisi, Georgia  
E-mail: b.tsutskiridze@mail.ru

**Reviewers:**

- Z. Tsitskishvili**, Professor, Department of Engineering Mechanics and Civil Engineering Technical Expertise, Faculty of Civil Engineering, GTU  
E-mail: cicqishvilizura@yahoo.com
- E. Elerdashvili**, Associate Professor, Department of Mathematics, Faculty of Informatics and Control Systems, GTU  
E-mail: ek.elerdashvili@yahoo.com

**ABSTRACT.** The paper considers the problem of nonstationary flow of viscous incompressible fluid near a rotating porous disk taking into account uniform magnetic field and heat transfer by averaging method of nonlinear members.

Karman substitutions are used for solving the problem within appropriate initial and boundary conditions in the Navier-Stokes equations of nonstationary flow of fluid in the uniform magnetic field and energy equation.

By averaging method of nonlinear members the received system of the equations makes it possible to obtain a system of equations for determining the thickness of the dynamic and thermal boundary layers- $\delta(t)$  and  $\delta_T(t)$  occurred at rotation of a disk. Instead of the asymptotic layers are considered the layers of finite thicknesses, which vary over the time and meet appropriate initial and boundary conditions.

Expressions of boundary layers are found in the form of infinite series of time -  $t$  . Being limited to four members in each decomposition, we obtained explicit expressions for  $\delta(t)$  and  $\delta_T(t)$  which are valid in a small period of time. Using these values are determined all physical characteristics of the flow: components of the flow velocity, pressure, temperature of the disk, moment resistance and coefficient of moment resistance to rotation of the disk and heat transfer coefficient as well.

**KEY WORDS:** Averaging method; boundary layer; conductivity; exhaust velocity; flow; heat transfer; magnetic field; porosity.

UDC 677.055

SCOPUS CODE 2606

**აბრეშუმის ძაფის კონუსურ თითისტარზე დახვევისას წარმოქმნილი დაჭიმულობის მათემატიკური მოდელირება და ანბარიში**

**დ. კიკნაძე** კომპიუტერული ინჟინერიის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 77  
E-mail: dimitrikiknadze@gmail.com

**რეცენზენტები:**

**კ. კამკამიძე**, სტუ-ის ემერიტუსი, პროფესორი  
E-mail: kkamkamidze@yahoo.com

**აღ. ბენაშვილი**, სტუ-ის ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის კომპიუტერული ინჟინერიის დეპარტამენტის ასოც. პროფესორი  
E-mail: SBenaSvili@yahoo.com

**ანოტაცია.** სტატიაში განხილულია აბრეშუმის ძაფით ქსოვის პროცესი. ძაფი უნდა იყოს ელასტიკური ანუ უნდა ჰქონდეს ჭიმვადობის საკმარისი რესურსი, რათა ქსოვა უწყვეტად მიმდინარეობდეს.

თუ თითისტარის დიამეტრი თანაბარია, მაშინ დაჭიმულობის გადანაწილება არ ხდება და ძაფი ელასტიკურობას დაკარგავს.

ნაწვენებია, რომ გორგოლაჭისა და მბრუნავი რგოლის სათანადო მოძრაობით ვღებულობთ თითისტარზე ოვალური ფორმით დახვეულ ძაფს. მბრუნავი რგოლი დამაგრებულია სპეციალურ მავთულზე, რომლის მეშვეობით იგი ტრიალებს თითისტარის გარშემო, მის ზემოთ და ქვემოთ.

სტატიაში ავტომატური მართვის თეორიიდან გამოყენებულია ფარდობითი წონასწორობის განტოლება და აგებულია შესაბამისი მათემატიკური მოდელი. მისი მეშვეობით აღწერილია ძაფის დაჭიმულობის ძალა, განსაზღვრულია ფორმა, რომელიც უზრუნველყოფს არათანაბარი დაჭი-

მულობის თანაბარ გადანაწილებას. კონუსურ თითისტარზე ოვალურად დახვეული აბრეშუმის ძაფი შუაში ამობურცულია. ძაფის ასეთი დახვევისას ხდება ძაფის ჭიმვადობის გადანაწილება სხვადასხვა ადგილას თანაბრად და ძაფი აღარ წყდება. ქსოვის პროცესი უწყვეტად წარმოებს.

**საკვანძო სიტყვები:** აბრეშუმის ძაფი; დაჭიმულობის ძალა; კუთხური სიჩქარე.

**შესავალი**

აბრეშუმის პარკებიდან თვითწამლებზე ასევე ული 7-წვერა კომპლექსური ძაფი გარკვეული დროის შემდეგ თვითწამლებიდან იხსნება. მოხსნილ ძაფის მასას შულო ეწოდება. 7-წვერა კომპლექსური ძაფის სისქე 90 – 105 მიკრონია. იმისთვის, რომ აბრეშუმის ძაფი დადგეს სასურველ „ნომერზე“, საჭიროა რამდენიმე შულოდან მოხსნილი, შეგრეხით გაერთიანებული ძაფის ერთ თი-



თისტარზე დახვევა. აქვე აღნიშნოთ, აბრეშუმის ძაფი “N1500” ნიშნავს, რომ 1 გრამი ძაფი 1500 მეტრს შეადგენს.

თითისტარზე დახვეულ ძაფს „სასაქონლო“ სახე აქვს – მოსახერხებელია შესანახად, ტრანსპორტირებისათვის, საქსოვი დანადგარები აწყობილია თითისტარიდან ძაფის მისაღებად.

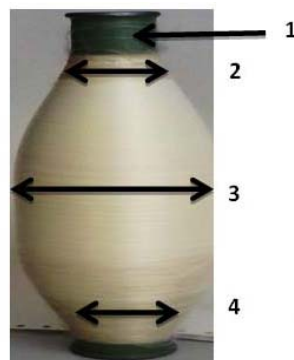
თითისტარზე დახვეული აბრეშუმის ძაფი უნდა იყოს უწყვეტი, ერთი მიმართულებით დახვეული, ძაფის დაჭიმულობა ნორმულ ზღვარს არ უნდა აღემატებოდეს – ზედმეტად დაჭიმული ძაფი, აბრეშუმის ელასტიკურობის გამო, გრძელდება. შედეგად ძაფი წვრილდება და ქსოვისას ადვილად წყვეტადი ხდება – დაჭიმულობის ძალების გადანაწილებლად თითისტარზე დახვევისას აბრეშუმის ძაფს უნდა მიეცეს ოვალური ფორმა.

**ძირითადი ნაწილი**

**მათემატიკური მოდელირება და ძაფის დაჭიმულობის ანგარიში**

გავეცნოთ უფრო დაწვრილებით, როგორ ხდება დაჭიმულობის ძალების გადანაწილება თითისტარზე აბრეშუმის ძაფის ოვალურად დახვევისას.

როგორც ექსპერიმენტმა აჩვენა, აბრეშუმის ძაფის თითისტარზე დახვევისას ძაფის დაჭიმულობის  $\vec{T}$  ძალა არ არის სასურველი ნულს გაუტოლდეს. იგი გვეხმარება ე.წ. გრეხისას რამდენიმე ძაფის ერთ კომპლექსურ ძაფად გარდაქმნაში. ოპტიმალურია  $\vec{T}$  ძალის დაჭიმულობა კონუსური ფორმის თითისტარზე ოვალურად დახვევისას (ნახ. 1). ამ დროს  $\vec{T}$  მცირე დიამეტრზე დახვევისას მინიმალურია, ხოლო დიდ დიამეტრზე – მაქსიმალური. უწყვეტი ძაფის პირობებში ხდება ძალწირების გადანაწილება მცირე და დიდი დაჭიმულობის ძალებს შორის.



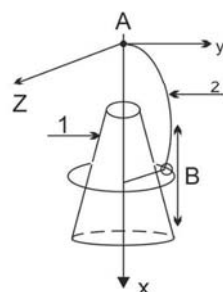
ნახ. 1. 1-კონუსური ფორმის თითისტარი; 2-აბრ. ძაფის დახვევის ზედა მინ. დიამეტრი; 3-აბრ. ძაფის დახვევის შუა მაქ. დიამეტრი, 4-აბრ. ძაფის დახვევის ქვედა მინ. დიამეტრი

თუ გავითვალისწინებთ მიმართველი რგოლის ბრუნვას თითისტარის გარშემო (3000 ბრ/წთ), ადვილი მისახვედრია, რამდენად საგრძნობია ძაფის დაჭიმულობის ძალა.

განვიხილოთ კონუსურ თითისტარზე ძაფის ოვალურად დახვევის მთელი პროცესი:

A უძრავი წერტილიდან (გორგოლაჭიდან) აბრეშუმის ძაფი მიეწოდება B მბრუნავ რგოლს, რომელიც „დარბის“ თითისტარის გარშემო და ძაფს ახვევს. გარდა იმისა, რომ B რგოლი ასრულებს ბრუნვით მოძრაობას, იგი ადის და ჩადის თითისტარის მთელ სიგრძეზე. გორგოლაჭის ასეთი მოძრაობით ვღებულობთ თითისტარზე ძაფის დახვევის ოვალურ ფორმას (ნახ.1).

განვიხილოთ აბრეშუმის ძაფის დაჭიმულობა ძაფგამტარის AB მონაკვეთში (ნახ. 2).



ნახ. 2. 1 – თითისტარი, 2 – აბრეშუმის ძაფი, A – საწყისი წერტილი, B – მბრუნავი რგოლი, Z, Y, X – დეკარტის კოორდ. სისტემა

ავტომატური მართვის თეორიიდან ცნობილია ფარდობითი წონასწორობის განტოლება:

$$\frac{d\vec{T}}{ds} + \vec{J}_e + \vec{J}_c + \vec{J}_r + \vec{R} + \gamma\vec{g} = 0, \quad (1)$$

$\vec{T}$  აბრეშუმის ძაფის დაჭიმულობის ძალაა;  $\vec{J}_e$  – ინერციის გადამტანი ძალა;  $\vec{J}_c$  – კორიოლისის ინერციის ძალა;  $\vec{J}_r$  – ცენტრიდანული ძალა;  $\vec{R}$  – ჰაერის წინააღმდეგობის ძალა;  $\gamma$  – ძაფის ხვედრითი სიმკვრივე;  $\vec{g}$  – თავისუფალი ვარდნის აჩქარება.

ეს ძალები მოდებულია ძაფის მთელ სიგრძეზე AB მონაკვეთში.

ინერციის ძალები გამოისახება ფორმულებით:

$$\begin{aligned} \vec{J}_e &= \gamma\omega^2; \\ \vec{J}_c &= 2\gamma\vec{\omega} \cdot \vec{u}; \\ \vec{J}_r &= -\frac{\gamma u^2}{\rho} \vec{n}, \end{aligned}$$

სადაც  $\rho$  ოვალის რადიუსია მოცემულ წერტილში;  $\omega$  – B რგოლის სიჩქარე;  $u$  – ძაფის კონტურის სიჩქარე;  $\vec{l}, \vec{j}, \vec{k}$  – დეკარტის კოორდინატა სისტემის ორტები;  $\vec{n}$  – ძაფზე მოდებული ძალების ნორმალი.

აბრეშუმის ძაფსახვევი დანადგარის მუშაობის რეჟიმის განხილვამ დაგვანახა, რომ (1) განტოლებაში  $\vec{J}_c, \vec{J}_r$  და  $\gamma\vec{g}$  გაცილებით მცირე სიდიდეებია ინერციის გადამტან  $\vec{J}_e$  ძალასთან შედარებით. აქვე შეიძლება ჰაერის წინააღმდეგობის უგულებელყოფა,  $\vec{R} \rightarrow 0$ . ყოველივე ამის გათვალისწინებით (1) ფორმულა მიიღებს სახეს:

$$\frac{d\vec{T}}{ds} + \vec{J}_e = 0. \quad (2)$$

სამგანზომილებიან სისტემაში დაპროექციებისას მიიღება:

$$\begin{aligned} \frac{dT}{ds} + J_{e\tau} &= 0; \\ \frac{T}{\rho} + J_{en} &= 0. \end{aligned} \quad (3)$$

აღსანიშნავია, რომ S კუთხური კოორდინატი A წერტილიდან აითვლება (ნახ. 2).

დეკარტის კოორდინატა სისტემაში ინერციის გადამტანი ძალის მხებსა და ნორმალზე დაპროექციებისას გვექნება:

$$\begin{aligned} J_{e\tau} &= \gamma\omega^2 y \frac{dy}{ds}; \\ J_{en} &= \gamma\omega^2 y \frac{dx}{ds}. \end{aligned} \quad (4)$$

(3) და (4) ფორმულებიდან გამომდინარე, მივიღებთ

$$\frac{dT}{ds} = -\gamma\omega^2 y \frac{dy}{ds}. \quad (5)$$

სასახლვრო მნიშვნელობებისთვის თითისტარის A ზედა წერტილში გვექნება:

$$S = 0; T = T_0. \quad (6)$$

(5) ფორმულის ინტეგრირებისას, სასახლვრო მნიშვნელობების გამოყენებით, მივიღებთ

$$T = T_0 - \frac{1}{2}\gamma\omega^2 y^2. \quad (7)$$

ექსპერიმენტით დადგინდა, რომ ძაფის დაჭიმულობა თითისტარის A ზედა წერტილში 5% -ით აჭარბებს ძაფის დაჭიმულობას ქვედა წერტილში. აქედან გამომდინარე, უგანზომილებო სიდიდე  $\varepsilon = \gamma\omega^2 \frac{R^2}{T_0}$  მცირე სიდიდეა ( $\varepsilon \ll 1$ ), რომელიც საშუალებას გვაძლევს, მეორე რიგის ინტეგრირებისას, გამოვიყენოთ მცირე პარამეტრების თეორია.

აბრეშუმის ძაფის თითისტარზე დახვევისას მასზე მოქმედი დაჭიმულობის ძალის ანალიზმა ცხადყო, რომ ოვალური ფორმით დახვეული ძაფის დაჭიმულობის ძალის მრუდი ჩაიწერება ფორმულით:

$$\frac{1}{P} = \frac{|y'|}{(1+y'^2)^{3/2}}. \quad (8)$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ თითისტარზე ოვალური ფორმით დახვეული აბრეშუმის ძაფი შუაში ამობურცულია ( $y'' < 0$ ), მაშინ (3) განტოლებათა სისტემის მეორე განტოლება, (4), (7), (8) განტოლებათა გათვალისწინებით, მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$(T_0 - \frac{1}{2}\gamma\omega^2 y^2) y'' = -\gamma\omega^2 y (1+y'^2). \quad (9)$$

როდესაც სასახლვრო მნიშვნელობები ტოლია, მაშინ

$$x = 0; y = 0 \text{ ან } x = H; y = R, \quad (10)$$

სადაც  $H$  თითისტარზე ოვალური ფორმით დასვეული ძაფის სიმაღლეა.

თუ ცვლადებს უგანზომილებო მნიშვნელობებს მივანიჭებთ, მაშინ

$$x = H \tilde{x}, y = R \tilde{y}, T = T_0 \tilde{T}. \quad (11)$$

(9) განტოლება (რომელიც განისაზღვრება (10) სასაზღვრო მნიშვნელობებით) (11)

განტოლებაში გამოყენებული უგანზომილებო პარამეტრებით მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$\left(1 - \frac{1}{2} \varepsilon \tilde{y}^2\right) \tilde{y}'' = -\varepsilon \tilde{y} (\lambda^2 + \tilde{y}'^2), \quad (12)$$

როდესაც  $\tilde{x} = 0, \tilde{y} = 0$ ;

$$\text{ასევე როდესაც } \tilde{x} = 1, \tilde{y} = 1 \quad (13)$$

$$\text{და სადაც } \lambda = \frac{H}{R}.$$

თუ (12) განტოლების ამოხსნისას გამოვიყენებთ მცირე პარამეტრების თეორიას  $\varepsilon$ -ს მიმართ, მივიღებთ:

$$\tilde{y} = \tilde{y}_0 + \varepsilon \tilde{y}_1 + \varepsilon^2 \tilde{y}_2 + \varepsilon^3 \tilde{y}_3 + \dots \quad (14)$$

თუ  $\tilde{y}_0 \rightarrow 0$ , (12) ფორმულა მიიღებს სახეს:

$$\tilde{y}'' + \varepsilon \lambda^2 \tilde{y}_0 = 0. \quad (15)$$

აქ შენარჩუნებულია  $\varepsilon \lambda^2$ , სადაც  $\lambda^2 = \left(\frac{H}{R}\right)^2 \gg 1$ .

ხოლო მისი წარმოებული  $\varepsilon \lambda^2 = \gamma \omega^2 \frac{H^2}{T_0}$  უკვე აღარ არის მცირე სიდიდე. (13) ფორმულის გათვალისწინებით (15) განტოლების ამონახსნს ექნება სახე:

$$\tilde{y}_0 = \frac{\sin a \tilde{x}}{\sin a}, \quad (16)$$

$a = \sqrt{\varepsilon} \lambda$ .  $\tilde{y}_1$ -ის პირველი მიახლოება იქნება:

$$\tilde{y}_1'' + a^2 \tilde{y}_1 = \frac{1}{2} g_0^2 \tilde{y}_0'' - \tilde{y}_0 \tilde{y}_0'. \quad (17)$$

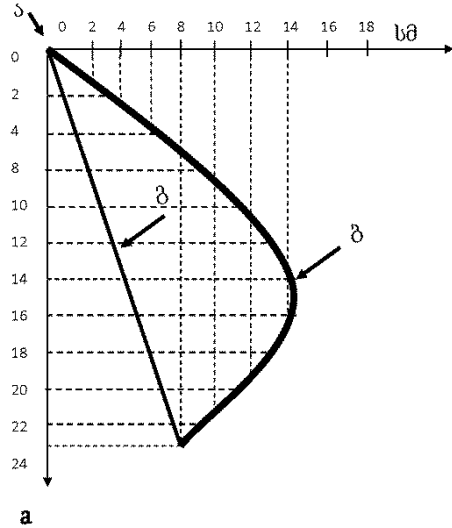
(17) განტოლებაში ჩავსვათ (16) განტოლებით გამოთვლილი  $\tilde{y}_0$ :

$$y_1'' + a^2 \tilde{y}_1 = -\frac{5}{8} \sin a \tilde{x} - \frac{1}{8} \sin 3 a \tilde{x}. \quad (18)$$

(18) განტოლება ამოვხსნათ  $x$  და  $y$  სასაზღვრო მნიშვნელობებისთვის:

$$\tilde{x} = 0, \tilde{y} = 0 \text{ ან } \tilde{x} = 1, \tilde{y}_1 = 0, \quad (19)$$

$$\tilde{y}_1 = -\left[\frac{5}{16a} \operatorname{ctg} a + \frac{1}{64a^2} \sin 3a\right] \sin a \tilde{x} + \frac{5}{16a} \tilde{x} \cos a \tilde{x} + \frac{1}{64a^2} \sin 3 a \tilde{x} \quad (20)$$



ნახ. 3. აკოორდინატა სათავე „A“ წერტილი, ბ-ძაფის კონუსური ფორმა, გ-თითისტარი

მე-3 ნახ-ზე ნაჩვენებია თითისტარზე აბრეშუმის ძაფის ოვალურად დახვევის მრუდი  $a$ -ს სხვადასხვა მნიშვნელობისათვის, რომელიც გამოთვლილი და აგებულია (20) ფორმულის მიხედვით.

### დასკვნა

თითისტარზე ძაფის დახვევა დამოკიდებულია  $a$ -ს მნიშვნელობებზე. რეალურად, ამ პროცესზე თვალის მიდევნება შესაძლებელი იყო თბილისისა და ქუთაისის ძაფსახვევ ფაბრიკებში.

### ლიტერატურა

1. Minakov A.P. On the shape of the spindle and tension of thread in the rotating equipment. Moscow. 1970. (in Russian).
2. Rodionov V.A., Usenko V.A. Tension of the thread in the area of reeling on cyclic sewing equipment. 1979. (in Russian).
3. Makhover V.L., Tikhanovskaya L.B. Experimental determination of the optimum true size add-on. Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. Vol. 4. 1996. (in Russian).

UDC 677.055

SCOPUS CODE 2606

## MATHEMATICAL MODELLING AND ANALISYS OF WINDING A SILK THREAD ON THE CONICAL SPINDLE

D. Kiknadze

Department of Computer Engineering, Georgian Technical University, 77 M. Kostava str.,  
0175 Tbilisi, Georgia  
E-mail: dimitrikiknadze@gmail.com

### Reviewers:

**K. Kamkamidze**, Professor Emeritus, Faculty of informatics and control systems, GTU

E-mail: kkamkamidze@yahoo.com

**A. Benashvili**, Associate Professor, Department of Computer Engineering, Faculty of informatics and control systems, GTU

E-mail: sbenashvili@yahoo.com

**ABSTRACT.** In this article we consider the process of knitting using silk thread. The thread has to be elastic or it has to have a good stretching resource that process of knitting should be continuous.

If diameter of a spindle is equal along its perimeter, stretching doesn't occur and thread will lose elasticity resources.

In article it is specified that the relevant movements of a spindle and of rotating ring derive an oval shape thread reeled up on a spindle. Rotating ring is placed on a special string which makes it whirl around spindle and also moves it up and down.

The equation of relational balance of automatic control theory is used, and the corresponding mathematical model is developed in the article as well. Tension force of thread is described by this equation and defined the shape needed for the uniform redistribution of unequal tension. Silk thread reeled on conical spindle is convex in the middle and provides tension redistribution in different places so that the silk thread does not break and knitting won't be interrupted.

**KEY WORDS:** Angular speed, silk thread, tension force.

UDC 677.055

SCOPUS CODE 2606

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ РАСТЯЖЕНИЯ, ОБРАЗУЮЩЕГОСЯ ПРИ НАМАТЫВАНИИ НА КОНУСООБРАЗНОЕ ВЕРЕТЕНО ШЕЛКОВОЙ НИТИ

**Кикнадзе Д.Л.** Департамент компьютерной инженерии, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава, 77  
E-mail: dimitrikiknadze@gmail.com

### Рецензенты:

**К. Камкамидзе**, эмеритус, профессор

E-mail: kkamkamidze@yahoo.com

**А. Бегишвили**, асоц. профессор Департамента компьютерной инженерии факультета информатики и систем управления ГТУ

E-mail: SBenaSvili@yahoo.com

**АННОТАЦИЯ.** Рассматривается процесс вязания с помощью шёлковой нити. Нить должна быть эластичной или она должна иметь хороший ресурс растяжения, чтобы процесс вязания происходил непрерывно.

Если диаметр баллона по всему периметру равный, растяжение не будет происходить и нить потеряет ресурс эластичности.

В статье указано что соответствующими движениями баллона и кружасьего кольца получаем овальной формой намотанную на баллон нить. Кружасьее кольцо установлено на специальной верёвке, с помощью которой оно крутится вокруг баллона, а также двигается вверх и вниз.

В статье использовано уравнение относительного равновесия из теории автоматического управления, и создана соответствующая математическая модель. С её помощью описана сила растяжения нити. Определена форма, которая обеспечивает равномерное перераспределение неравномерной напряжённости. Овально намотанная на конусообразный баллон шёлковая нить имеет в середине выпуклую форму. Такая намотка нити гарантирует то, что произойдёт перераспределение растяжения в разных местах. Произойдёт уравнивание, нить не порвётся. Вязание будет происходить непрерывно.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** шелковая нить; сила натяженности; угловая скорость.

## ავტორთა საძიებელი

### Author's index

### Указатель авторов

აბრალავა თ. 17	კვაჭაძე თ. 130	ჯიქია ნ. 107
ანთაშვილი ლ. 98	კვიციანი ტ. 42, 51	სუხიაშვილი ი. 130
ბიჭიაშვილი ი. 60	ლევუა ხ. 71	ქუთათელაძე რ. 17
გიორგიშვილი ნ. 60	ლევუა ხ. 80	ძიბიგური მ. 140
გვასალია ბ. 130	მაჭარაშვილი ს. 17	Didkovska M. 29
ელიზბარაშვილი პ. 35	მესხი მ. 140	Khocholava V. 149
ესაძე თ. 80	მოლოდინი ნ. 107	Khocholava V. 158
ესაძე თ. 71	მოლოდინი რ. 107	Kozlov K. 29
თავაძე გ.98	მუხიგულაშვილი ნ. 35	Macharashvili N. 149
თავხელიძე დ. 119	ნემსაძე შ. 87	Macharashvili N. 158
თედორაძე ო. 119	ოქროსაშვილი მ. 98	Джикидзе Л.А. 169
კაიშაური გ. 11	პაპასკირი მ. 35	ციციშვილი ზ.А. 164
კიკნაძე დ. 176	ჯაფარიძე დ. 60	Цуцкиридзе В.Н. 169

## ავტორთა საყურადღებოდ!

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამეცნიერო შრომების კრებული არის ყოველკვარტალური რეგულირებადი პერიოდული გამოცემა, რომელიც რეგისტრირებულია რამდენიმე საერთაშორისო მონაცემთა ბაზაში.

- სტატია (მიიღება ქართულ, ინგლისურ, რუსულ ენებზე) ქვეყნდება ორიგინალის ენაზე.
- სტატიის ავტორთა რაოდენობა არ უნდა აღემატებოდეს სამს.
- ავტორს შეუძლია საგამომცემლო სახელში პუბლიკაციისათვის მოგვარდოს ან ელექტრონული ფოსტით sagamomcemlosakhli@yahoo.com მისამართზე გამოგვიგზავნოს ერთი ან რამდენიმე სტატია, აგრეთვე თანდართული დოკუმენტაციის დასკანერებული ფაილები, მაგრამ კრებულის ერთ ნომერში გამოქვეყნდება მხოლოდ ორი ნამუშევარი.

**ელ. ფოსტით სტატიის გამოგზავნის შემთხვევაში გთხოვთ გაითვალისწინოთ შემდეგი მოთხოვნები:**

- Subject ველში (თემა) მიუთითეთ კრებულის დასახელება და ავტორის (ავტორების) გვარი.
- გამოიყენეთ ფაილის მიმაგრება (Attach).
- დიდი მოცულობის ფაილის შემთხვევაში გამოიყენეთ არქივატორი (ZIP, RAR).

• სტატია შედგენილი უნდა იყოს მართლმეტყველებისა და ტერმინოლოგიის დაცვით. ავტორი (ავტორები) და რეცენზენტები პასუხს აგებენ სტატიის შინაარსსა და ხარისხზე.

• ვინაიდან საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის შრომების კრებული არის არაკომერციული გამოცემა, ჩვენი მეცნიერი თანამშრომლებისა და დოქტორანტებისთვის სტატიის გამოქვეყნება უფასოა.

• საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის აკადემიური საბჭოს № 200 დადგენილებით (22.01.2010წ.), ფიზიკურმა პირმა, რომელიც არ არის საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის თანამშრომელი, შრომების კრებულში სტატიის გამოქვეყნებისთვის წინასწარ უნდა შეიტანოს ან გადმორიცხოს საჭირო თანხა (1 გვერდი – 10 ლარი) და სტატიის დოკუმენტაციას (ორი რეცენზია და ორგანიზაციის სამეცნიერო საბჭოს მიმართვა სტატიის სტუ-ის შრომების კრებულში გამოქვეყნების შესახებ) დაურთოს გადახდის ქვითარი. გრაფაში „გადახდის დანიშნულება“ უნდა ჩაიწეროს „სტატიის გამოქვეყნების ღირებულება“.

**სტუ-ის საბანკო რეკვიზიტებია: სსიპ საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი; საიდენტიფიკაციო კოდი 211349192; მიმღების ბანკი: სახელმწიფო ბანკი; მიმღების დასახელება: ბანკის ერთიანი ანგარიში; ბანკის კოდი: TRESGE22; მიმღების ანგარიში: საბანკო კოდი 708977259.**

**გთავაზობთ სამეცნიერო სტატიის გაფორმების წესს:**

- სტატია წარმოდგენილი უნდა იყოს ნაბეჭდი სახით A4 ფორმატის ფურცელზე, არანაკლებ 5 გვერდისა (არეები – 2 სმ, ინტერვალი – 1,5).

- სტატია შესრულებული უნდა იყოს doc ან docx ფაილის სახით (MS Word) და ჩაწერილი – ნებისმიერ მაგნიტურ მატარებელზე;
- ქართული ტექსტისთვის გამოიყენეთ შრიფტი Acadnux, ზომა 12;
- ინგლისური და რუსული ტექსტებისთვის – შრიფტი Times New Roman, ზომა 12;

#### სტატიას უნდა ერთვოდეს შემდეგი ინფორმაცია:

- უაკ (უნივერსალური ავტობიო 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 აქტუალობის, 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 quarterly refereed periodical included in several international journal lists.

- 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 - Acadnux, font size - 12 pt;
- For English and Russian texts: font - Times New Roman, 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. “Renewable energy resources of Georgia”, Leningrad, Hydrometizdat, 1987, pp. 75-76 (In Russian).
6. Revaz Arveladze, Tengiz Kereselidze “The Georgian Full Independence of Electric Power Is Supported By Hydropower”. Sakartvelos Teqniki 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 реферируемым периодическим изданием, которое зарегистрировано в нескольких международных базах данных.

- 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: sagatomcemlosakhli@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 Acadnusx, размер 12;
- шрифт для английского и русского текстов Times New Roman, 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.***

რედაქტორები: ნ. დოლიძე, ნ. უიუილაშვილი, მ. პრეობრაჟენსკაია  
კომპიუტერული უზრუნველყოფა ე. ქარჩავასი

გადაეცა წარმოებას 02.04.2017. ხელმოწერილია დასაბეჭდად 29.06.2017. ქაღალდის ზომა  
60X84 1/8. პირობითი ნაბეჭდი თაბახი 13. ტირაჟი 100 ეგზ.

საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, თბილისი, კოსტავას 77



Verba voiant,  
scripta manent