

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  
N4(510)



თბილისი-TBILISI-ТБИЛИСИ  
2018

დაარსებულია 1924 წელს.  
პერიოდულობა - 4 ნომერი წელიწადში.

საქართველოს ჟეჟნიკური უნივერსიტეტის სამეცნიერო შრომების კრებული ანის ყოველკვარცაღური რეფერირებადი პერიოდული გამოცემა, რომელიც რეგისტრირებულია საერთაშორისო ელექტრონულ მონაცემთა ბაზაში - **Index Copernicus International**.

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

საავტორო უფლებების დარღვევა ისჯება კანონით.

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

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

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

მოგვწერეთ:

sagamomcemlosakhli@yahoo.com

© საგამომცემლო სახლი „ჟეჟნიკური უნივერსიტეტი“, 2018

ISSN 1512-0996



9 771512 099004

#### შთაშინი რეზუმე

ა. ფრანგიშვიდი

#### შთაშინი რეზუმეს მოხაზილები:

დ. კლიმაშვიდი

ბ. გასიწაშვიდი

#### სურეზუმეო კოლეზი:

ა. აბრადავა, გ. აბრამიშვიდი, ა. აბშიდავა,  
თ. ამბროლაძე, ე. ბარათაშვიდი, თ. ბაციკაძე,  
ჯ. ბერიძე, ს. ბიელევი (პოდონეთი),  
პ. ბიელივი (სლოვაკეთი), თ. გაბადაძე,  
ჯ. გახოკიძე, თ. გელაშვიდი, ა. გიგინეიშვიდი,  
გ. გომში (გერმანია), ად. გრიგორიშვიდი,  
ედ. ელიზბარაშვიდი, ს. ესაძე, ვდ. ვარდოსანიძე,  
უ. ბვიდაძე, თ. ბუმბურიძე, პ. ბუნკელი (ავსტრია),  
დ. თავხელიძე, პ. თოდუა (რუსეთი), ი. კვესელავა,  
ფ. კვიციანი, ა. კვეციანი (ესტონეთი), ბ. კვიციანი,  
თ. ღომინაძე, ი. ღომიძე, ა. მამადისი (საბერძნეთი),  
მ. მაცაბერიძე, თ. მეგრელიძე, მ. მესხი,  
ა. მონონელიძე, დ. მძინარიშვიდი, დ. ნაწროშვიდი,  
ნ. ნაცვლიშვიდი, შ. ნემსაძე, დ. ნობაძე,  
გ. საღუჭავაძე, ქ. ქოქრაშვიდი, ე. ქუთელია,  
ა. შარვაშიძე, ს. შმიდტი (გერმანია),  
პ. შეროერი (გერმანია), მ. ჩხვიძე,  
ბ. წვერიაძე, თ. ჯაგოდნიშვიდი, თ. ჯიშკარიანი,



Verba volant,  
scripta manent

Founded in 1924.  
Published in quarterly editions.

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

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

Infringement of copyright is punishable by law.

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

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

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

Contact us:  
[sagamomcemlosakhli@yahoo.com](mailto:sagamomcemlosakhli@yahoo.com)

Editor in Chief  
A. Prangishvili

Deputy Editors in Chief  
L. Klimiashvili  
Z. Gasitashvili

Editorial Board:

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

© Publishing House "Technical University", 2018



Учрежден в 1924 году.  
Периодичность – 4 номера в год

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

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

Нарушение авторских прав наказуемо законом.

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

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

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

Пишите:

**sagamomcemlosakhli@yahoo.com**

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

### ПРЕДСЕДАТЕЛЬ

А.И. Прангишвили

### ЗАМ. ПРЕДСЕДАТЕЛЯ:

Л.Д. Климиашвили

З.А. Гаситашвили

### ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ:

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

© Издательский дом «Технический университет», 2018

ISSN 1512-0996



# შინაარსი

## ბიზნესი, მენეჯმენტი და ბუღალტრული აღრიცხვა

ქ. ჩოქური. სსიპ საჯარო სკოლების შიგა რესურსების ფინანსური პარამეტრების სტატისტიკური ანალიზი რეგრესიის ადიტიურ მოდელში .....	11
---	----

## კომპიუტერული მეცნიერება

ბ. გვასალია, თ. კვაჭაძე. ავტომატური მართვის სისტემის არაწრფივი უკუკავშირის რგოლის მახასიათებლის გაანგარიშების რიცხვითი მეთოდი .....	24
ი. ჩხეიძე, ო. ტომარაძე, ე. აზიანიძე. კომპიუტერული ტექნოლოგიები სიგნალ-ხმაურის მოდელირებასა და მათი თვითმსგავსების კვლევაში.....	42

## მეცნიერება გადაწყვეტილების მიღების შესახებ

ნ. მუხიგულაშვილი, მ. პაპასკირი, მ. ჩალაძე. საქართველოს რკინიგზის და თბილისის მეტროპოლიტენის ავტომატიკისა და ტელემექანიკის დაზიანებათა შედარებითი ანალიზი .....	51
--	----

## დედამიწის შემსწავლელი მეცნიერებები და პლანეტოლოგია

მ. მარდაშოვა, ზ. ცომაია, ნ. ფოფორაძე. ქ. თბილისის შემოვლითი რკინიგზის ჰიდროგეოლოგიური პირობების შეფასება გარემოზე ზემოქმედების თვალსაზრისით .....	59
---	----

## ენერგია

თ. მეგრელიძე, თ. ისაკაძე, გ. გუგულაშვილი. სოფლის მეურნეობის პროდუქტების შრობა თხევადი აზოტის გამოყენებით .....	68
ლ. ვეფხვაძე, გ. არაბიძე. გეოგრაფიული დივერსიფიკაციის მეთოდი ქარის ელექტროგენერაციის დაგეგმვისთვის საქართველოში .....	74

## საინჟინრო საქმე

თ. მეგრელიძე, თ. ისაკაძე, გ. გუგულაშვილი. სუბლიმაციური შრობის გამოყენება კვების პროდუქტების ხარისხის შესანარჩუნებლად .....	88
ლ. მახარაძე. მსხვილ სამრეწველო სადაწნეო მილსადენ ჰიდროსატრანსპორტო სისტემებზე ჰიდრავლიკური დარტყმებისგან დაცვის საშუალებების ჩანერგვით მიღწეული ეკონომიკური ეფექტურობის გაანგარიშების მეთოდიკა .....	106

**თ. ჩხაიძე, ნ. ნოზაძე, გ. მერაბიშვილი.** გორგოლაჭიანი საბიძგებლით აღჭურვილი დამქუცმაცებელი მოწყობილობის შნეკიანი მუშტა მექანიზმის წნევის ძალვის განსაზღვრის საკითხისათვის ..... 109

**გარემოთმცოდნეობა**

**რ. მანაგაძე, ვ. აბზიანიძე, დ. აბზიანიძე.** ეკოლოგიური სისტემის უსაფრთხოების პრაქტიკული ამოცანის ამოხსნისას უმაღლესი მათემატიკის ელემენტების გამოყენების ეფექტურობის შესახებ..... 117

**მათემატიკა**

**ლ. ჯიქიძე, ვ. ცუცქერიძე.** ორ პარალელურ უსასრულო მბრუნავ ფოროვან დისკოს შორის დაწნეხილი გამტარი სითხის არასტაციონარული დინება ძლიერი მაგნიტური ველისა და თბოგადაცემის გათვალისწინებით ..... 126

**ფარმაკოლოგია, ტოქსიკოლოგია და ფარმაცევტიკა**

**რ. მელქაძე.** ბიოაქტიურ დანამატ “GRAIL”-ის გავლენა ცხოველებისა და ადამიანის კოგნიტურ ფუნქციაზე..... 155

**ავტორთა საძიებელი** ..... 158

**რეცენზენტთა საძიებელი** ..... 159

**ავტორთა საყურადღებოდ** ..... 160

# CONTENTS

## Business, management and accounting

- K. Chokuri.** Statistical analysis of the financial parameters of the internal resources of the LEPL public schools in audit models ..... 11

## Computer science

- B. Gvasalia, T. Kvachadze.** A numerical method for determining the characteristics of a nonlinear feedback of an automatic control system..... 24
- I. Chkheidze, O. Tomaradze, E. Abzianidze.** Computer technologies in the research of signal-noise modeling and their self-similarity ..... 42

## Decision sciences

- N. Mukhigulashvili, M. Papaskiri, M. Chaladze.** Comparative analysis of automation and telemechanics failures of Georgian Railway and Tbilisi Metropolitan ..... 51

## Earth and planetary sciences

- M. Mardashova, Z. Tsomaia, N. Poporadze.** Analyzing hydrogeological properties of Tbilisi bypass railway and their impact on the environment..... 59

## Energy

- T. Megrelidze, T. Isakadze, G. Gugulashvili.** Drying of agricultural products using liquid nitrogen ..... 68
- L. Vepkhvadze, G. Arabidze.** Geographical diversification method for the planning of wind power generation in Georgia ..... 74

## Engineering

- T. Megrelidze, T. Isakadze, G. Gugulashvili.** Use of sublimation drying for maintaining the quality of foodstuff..... 88
- L. Makharadze.** Calculation methodology of economic efficiency achieved by the introduction of the research results, related to the protection from the hydraulic shocks on the large industrial pressure pipeline hydrotransport systems..... 106
- T. Chkhaidze, N. Nozadze, G. Merabishvili.** On the issue of definition of pressure force in worm cam mechanism of crusher device with roller stroke ..... 109

**Environmental science**

**R. Managadze, V. Abzianidze, D. Abzianidze.** On efficiency of application of elements of higher mathematics for the solution of practical tasks of ecological systems safety..... 117

**Mathematics**

**L. Jikidze, V. Tsutskiridze.** Non stationary flow of a conducting fluid squeezed between two parallel infinite rotating porous disks taking into account strong magnetic field and the heat transfer ..... 126

**Pharmacology, toxicology and pharmaceuticals**

**R. Melkadze.** Influence of bioactive additives "GRAIL" on cognitive function in animals and humans ..... 155

**Author's index** ..... 158

**Reviewer's index** ..... 159

**Guide for authors** ..... 166



# СОДЕРЖАНИЕ

## Бизнес, менеджмент и бухгалтерский учет

- К.Н. Чокури.** Статистический анализ финансовых параметров внутренних ресурсов ЮЛПП публичных школ в аудитных моделях ..... 11

## Компьютерные науки

- Б.А. Гвасалия, Т.Д. Квачадзе.** Численный метод расчета характеристики звена нелинейной обратной связи системы автоматического управления ..... 24
- И.М. Чхеидзе, О.К. Томарадзе, Э.Э. Абзианидзе.** Компьютерные технологии при моделировании сигнал-шумов в исследовании их самоподобия ..... 42

## Наука о принятии решений

- Н.Ю. Мухигулашвили, М.О. Папаскири, М.И. Чаладзе.** Сравнительный анализ повреждения устройств автоматики и телемеханики Грузинской железной дороги и Тбилисского метрополитена ..... 51

## Науки, изучающие Землю, и планетология

- М.Л. Мардашова, З.Р. Цомаиа, Н.Н. Попорадзе.** Оценка гидрогеологических условий объездной железной дороги г. Тбилиси с точки зрения воздействия на окружающую среду ..... 59

## Энергия

- Т.Я. Мегрелидзе, Т.А. Исакадзе, Г.Л. Гугулашвили.** Сушка сельскохозяйственной продукции с использованием жидкого азота ..... 68
- Л.Т. Вепхвадзе, Г.О. Арабидзе.** Метод географической диверсификации для планирования ветровой энергетики в Грузии ..... 74

## Инженерное дело

- Т.Я. Мегрелидзе, Т.А. Исакадзе, Г.Л. Гугулашвили.** Использование сублимационной сушки для сохранения качества пищевых продуктов ..... 88
- Л.И. Махарадзе.** Методика расчета Экономической Эффективности, достигнутой внедрением основных результатов исследований по защите от гидравлических ударов, проведенных на крупных промышленных напорных трубопроводных гидротранспортных системах ..... 106

Т.А. Чхаидзе, Н.И. Нозадзе, Г.Г. Мерабишвили. К вопросу определения усилия давления шнекового кулачкового механизма измельчающего устройства роликовым толкателем .....	109
<b>Наука об окружающей среде</b>	
Р.Г. Манагадзе, В.В. Абзианидзе, Д.В. Абзианидзе. Об эффективности применения элементов высшей математики при решении практических задач по безопасности экологических систем.....	117
<b>Математика</b>	
Л.А. Джикидзе, В.Н. Цуцкиридзе. Нестационарное течение проводящей жидкости, сдавливаемой между двумя параллельными бесконечными вращающимися пористыми дисками с учетом сильного магнитного поля и теплопередачи .....	126
<b>Фармакология, токсикология и фармацевтика</b>	
Р.Г. Мелкадзе. Влияние биоактивной добавки “GRAIL” на когнитивные функции у животных и человека .....	155
<b>Перечень авторов</b> .....	158
<b>Указатель рецензентов</b> .....	159
<b>К сведению авторов</b> .....	169

UDC 311.17:658.1

SCOPUS CODE 1408

## სსიპ საჯარო სკოლების შიგა რესურსების ფინანსური პარამეტრების სტატისტიკური ანალიზი რეგრესიის ადიტიურ მოდელში

ქ. ჩოქური

სოციოლოგიის დეპარტამენტი, ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, საქართველო, 0179, თბილისი, ი. ჭავჭავაძის გამზირი 1

E-mail: kate\_chokury@yahoo.com

### რეცენზენტები:

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

E-mail: givifia@yahoo.com

ტ. ბუაძე, სტუ-ის ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის ასოცირებული პროფესორი

E-mail: buadzetrstan@yahoo.com

**ანოტაცია.** სსიპ საჯარო სკოლაში არსებობს თავისუფალი ფინანსური რესურსი, რომლის განკარგვა მთლიანად დამოკიდებულია სკოლის დირექტორის და სამეურვეო საბჭოს გადაწყვეტილებაზე. კვლევა ეხება სსიპ საჯარო სკოლაში ხარჯვითი პრიორიტეტების დადგენას, რათა დანახარჯი იყოს ეფექტური და რაციონალური. სოციოლოგიურ კვლევაზე დაფუძნებულმა მოდელმა მოგვცა საშუალება გამოგვეყო ძირითადი ინდიკატორები და შეგვეფასებინა ფაქტორული ანალიზით მიღებული კოეფიციენტები.

კვლევა შეეხო თბილისის სსიპ ექვსი საჯარო სკოლის მოსწავლეებს და პედაგოგებს. ჩატარდა მარტივი შემთხვევითი შერჩევა (შერჩეულ მოსწავლეთა რაოდენობა – 800, შერჩეულ პედაგოგთა რაოდენობა – 143), გამოკითხვის მეთოდი – პირისპირ ინტერვიუ. მონაცემთა დამუშავება განხორციელდა ფაქტორული რეგრესიული ანალიზის პროგრამა IBM SPSS STATISTICS (version 20) სტატისტიკური პაკეტით. გამოყენებულ იქნა მრავლობითი წრფივი რეგრესიის  $Y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + \dots + B_kX_k + \varepsilon$  მოდელი.

ინფორმაცია, რომელიც მოსწავლეთა 48 პარამეტრში იყო განთავსებული, გადანაწილდა ცხრა (FACP) ურთიერთდამოუკიდებელ ფაქტორში

$$FACP_i = \left( f_{i_1}, f_{i_2}, \dots, f_{i_{n_i}} \right), \quad i = \overline{1,9}, \quad n_1 + n_2 + \dots + n_9 = 44.$$

$$j_t \neq i_s, \quad t = \overline{1, n_j}, \quad s = \overline{1, n_i}, \quad j_t \in [1, 44], \quad i_s \in [1, 44],$$

თითოეული ფაქტორი ყოველი m-ური რესპონ-

დენტისგან შეფასდა ქულით, რომელიც გამოითვლება ფორმულით

$$FACP_{im} = \sum_{k=1}^{n_i} a_{i_k} f_{i_k m}, \quad i = \overline{1,9}, \quad m = \overline{1,800},$$

სადაც  $a_{i_k}$  არის  $i$ -ური ფაქტორის  $f_{i_k}$  პარამეტრის შესაბამისი წონა, ხოლო  $f_{i_k m} - f_{i_k}$  პარამეტრისათვის  $m$ -ური რესპონდენტის მიერ მინიჭებული ქულა.

ინფორმაცია, რომელიც პედაგოგთა 29 პარამეტრში იყო განთავსებული, გადანაწილდა 7 ურთიერთდამოუკიდებელ (*FACT*) ფაქტორში

$$FACT_i = \left( g_{i_1}, g_{i_2}, \dots, g_{i_{n_i}} \right),$$

$$i = \overline{1,7}, \quad n_1 + n_2 + \dots + n_7 = 28.$$

$$j_t \neq i_s, \quad t = \overline{1, n_j}, \quad s = \overline{1, n_i},$$

$$j_t \in [1, 28], \quad i_s \in [1, 28],$$

თითოეული ფაქტორი ყოველი  $m$ -ური რესპონდენტისგან შეფასდა ქულით, რომელიც გამოითვლება ფორმულით

$$FACT_{im} = \sum_{k=1}^{n_i} b_{i_k} g_{i_k m}, \quad i = \overline{1,7}, \quad m = \overline{1,143},$$

სადაც  $b_{i_k}$  არის  $i$ -ური ფაქტორის  $g_{i_k}$  პარამეტრის შესაბამისი წონა, ხოლო  $g_{i_k m} - g_{i_k}$  პარამეტრისათვის  $m$ -ური რესპონდენტის მიერ მინიჭებული ქულა.

**საკვანძო სიტყვები:** პრიორიტეტების მოდელი; საჯარო სკოლა; სოციოლოგიური კვლევა; ფინანსები.

## შესავალი

საგანმანათლებლო სისტემა ერთ-ერთი ძირითადია იმ სოციალურ-პოლიტიკურ სტრუქტურათა ჩამონათვალში, რომლებიც სახელმწიფოს ფუნქციონირებისა და განვითარების განმსაზღვრელ ფაქტორებს წარმოადგენს. სახელმწიფოს ჩამოყალიბებისა და დემოკრატიულ სამყაროსთან ინტეგრირების პროცესში საგანმანათლებლო სისტემის თანამედროვე საერთაშორისო სტანდარტებთან შესაბამისობაში მოყვანა ერთ-ერთი ყველაზე აქტუალური საკითხია.

იუნესკოს 2000 წლის პარიზის სხდომის [1] ანგარიშში – „უმაღლესი განათლება XXI საუკუნეში, მიდგომები და პრაქტიკული ზომები“ – მოცემულია მსოფლიო მასშტაბის სტატისტიკური მიმოხილვა უმაღლესი განათლების მდგომარეობის შესახებ. ხაზგასმულია, რომ ამ განათლების საფუძველი, სასკოლო განათლებაა და ამიტომ მნიშვნელოვანია სხვადასხვა ზოგადსაგანმანათლებლო მოდელის დახვეწა და მათი ფინანსური უზრუნველყოფა.

არაერთი კვლევით დადასტურდა, რომ საგანმანათლებლო ხარჯის ზრდა ავტომატურად ვერ გააუმჯობესებს საგანმანათლებლო შედეგს თუ ფინანსების განკარგვის პროცესი დაბალეფექტურია და ზუსტად არ არის გათვლილი სწავლის შედეგებზე.

მაშინ, როდესაც საქართველოში 2004–2005 წლიდან აქტიურად მიმდინარეობს განათლების სისტემაში სახელმწიფო სახსრების განაწილების რეფორმების პროცესი, არ არსებობს სისტემა, რომელიც სკოლაში, თავისუფალი ფინანსური რესურსის რაციონალურ განკარგვას შეუწყობს ხელს. საჭიროა ჩატარდეს კვლევები და გამოვლინდეს ის პრიორიტეტული

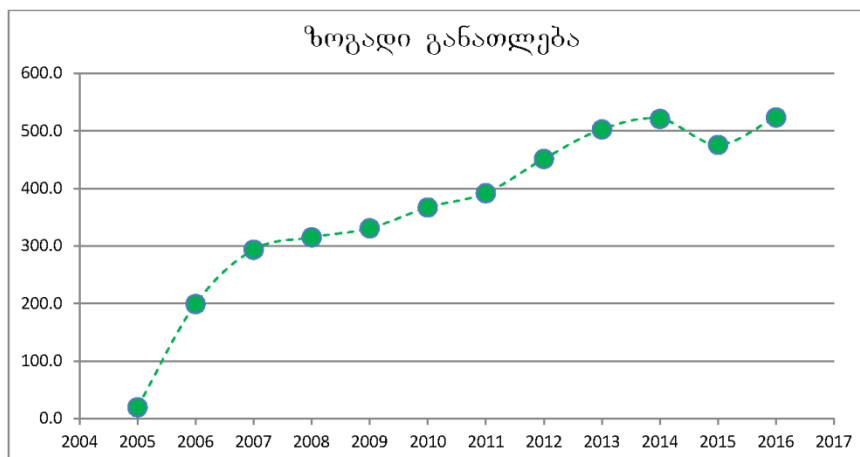
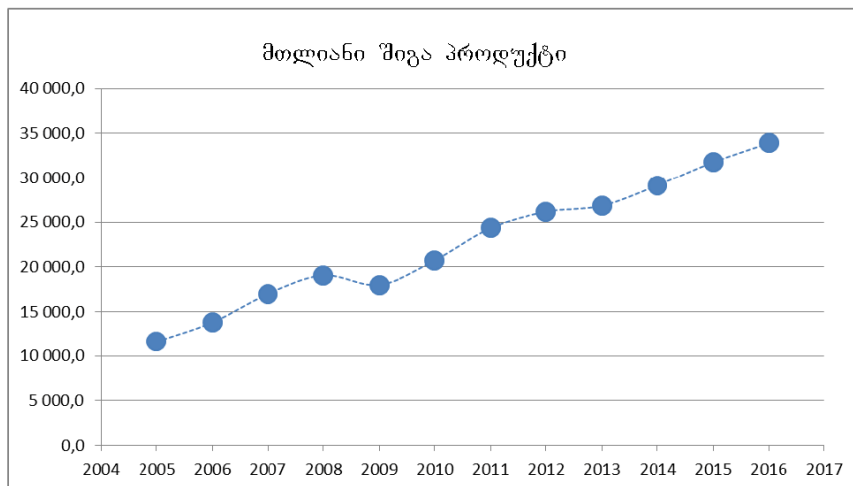
მიმართულებები, რა მხრივაც უნდა მოხდეს ამ თანხების გამოყენება საგანმანათლებლო პროცესში.

### ძირითადი ნაწილი

აღნიშნული კვლევის ჩატარების მიზანშეწონილობა განაპირობა იმ ფაქტმა, რომ სსიპ საჯარო სკოლაში არსებობს თავისუფალი ფინანსური რესურსი, რომლის განკარგვა მთლიანად დამოკიდებულია სკოლის დირექტორის და სამეურვეო საბჭოს გადაწყვეტილებაზე. კვლევა ეხება სსიპ საჯარო სკო-

ლაში ხარჯვითი პრიორიტეტების დადგენას, რათა დანახარჯი იყოს ეფექტური და რაციონალური. სოციოლოგიურ კვლევაზე დაფუძნებული მოდელის აგება მოგვცემს საშუალებას გამოვყოთ ძირითადი ინდიკატორები და შევიმუშაოთ რეკომენდაციები ფინანსური რესურსების რაციონალური და ეფექტური განკარგვისათვის.

თუ დავაკვირდებით 2005–2016 წლებში მთლიანი შიგა პროდუქტის ცვლილების გრაფიკს, ჩანს, რომ მას დაახლოებით ერთნაირი ზრდის ტენდენცია აქვს. ტრენდის დახრილობა აღმავალია.



განსაკუთრებულ ყურადღებას იმსახურებს ზოგად განათლებაზე სახელმწიფო ბიუჯეტის გაწეული ხარჯების მაჩვენებლები, მისი გრაფიკი ცხადყოფს, რომ მკვეთრი ზრდა მოხდა 2005–2006 წლებში.

უნდა აღინიშნოს, რომ ამ წლებში ზოგად განათლებაზე გამოყოფილი თანხების მკვეთრმა ზრდამ თავისი შედეგი გამოიღო. ჩამოყალიბდა ახალი ტიპის საგანმანათლებლო სისტემა, რომელიც ევროპული საგანმანათლებლო ბაზის დონეს დაუახლოვდა. მაგრამ როგორც ამ ბოლო წლებში საჯარო სკოლების naec4schools გამოცდებმა და საერთაშორისო კვლევებმა აჩვენა, ამ ცვლილებებს ზოგადი განათლების ხარისხობრივი ზრდა არ მოჰყოლია. ამასთანავე, უნდა აღინიშნოს ისიც, რომ 2014–2016 წლებში ზოგად განათლებაზე გაწეული ხარჯები თითქმის არ გაზრდილა. როგორც ჩანს, საჭიროა კიდევ უფრო დაიხვეწოს თვითონ სკოლებში აკუმულირებული თანხების რაციონალური განაწილება.

ამ მიზნის განსახორციელებლად საჭიროა, ერთი მხრივ, სსიპ საჯარო სკოლების კონტინგენტის საჭიროებათა კვლევა, მეორე მხრივ კი, ამავე სკოლების პედაგოგთა შეხედულებების მიხედვით იმ პრიორიტეტების გამოვლენა, რომლებიც ზოგადსაგანმანათლებლო დაწესებულებების ფუნქციონირების უფრო მაღალ დონეზე აყვანას შეუწყობს ხელს.

კვლევა შეეხო თბილისის სსიპ ექვსი საჯარო სკოლის მოსწავლეებს და პედაგოგებს. ჩატარდა მარტივი შემთხვევითი შერჩევა (შერჩეულ მოსწავლეთა რაოდენობა – 800, შერჩეულ პედაგოგთა რაოდენობა – 143), გამოკითხვის მეთოდი – პირისპირ ინტერვიუ (face to face). ინტერვიუს საშუალო ხანგრძლივობა იყო 45–50 წთ. რესპონდენტები ანკეტი-

რებისას 10-ქულიანი სკალით აფასებდნენ თავიანთ სასწავლებლებს, მოსწავლეები – 62 (აქედან 13 დემოგრაფიული) პარამეტრის, ხოლო პედაგოგები – 38 (აქედან 8 დემოგრაფიული) პარამეტრის მიხედვით.

ნაშრომში მოხდა იმ ძირითადი ფაქტორების იდენტიფიკაცია, რომლებიც არსებითად განსაზღვრავს მოსწავლეთა და პედაგოგთა დამოკიდებულებას სასწავლებლის მიმართ. ეს, თავის მხრივ, ნებისმიერი და მათ შორის ზოგადსაგანმანათლებლო სასწავლებლის შეფასების ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი კომპონენტია (იხ [2]).

კვლევის ინსტრუმენტები მომზადდა განათლებისა და პროფესიულ ექსპერტებთან კონსულტაციების საფუძველზე, გაზომვის აპრობირებული მეთოდების გამოყენებით. საველე სამუშაოები ჩატარდა კვლევის ეთიკის სტანდარტების დაცვით (იხ. [3-5]). მონაცემთა დამუშავება განხორციელდა აღწერითი სტატისტიკისა და ფაქტორული ანალიზის მეშვეობით პროგრამა IBM SPSS STATISTICS (version 20) სტატისტიკური პაკეტით.

ჩვენ SPSS (იხ. [6]) სტატისტიკური პაკეტის საშუალებით გამოვიყენეთ მრავლობითი რეგრესიის წრფივი ადიციური მოდელი

$$Y = B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + \dots + B_k X_k + \varepsilon, \quad (1)$$

სადაც  $Y$  მოპასუხე ცვლადია,  $x_1, x_2, \dots, x_n$  ამხსნელი ცვლადები – პრედიქტორებია, ხოლო  $\varepsilon$  – შეცდომა (ანუ ჭეშმარიტი გადახრა)  $E\varepsilon = 0$   $D\varepsilon = \sigma^2 > 0$ . სხვა მოდელები, მულტიპლიკაციური და ჰიბრიდული, მოპასუხე ცვლადის გალოგარითმებით დაიყვანება ამ მოდელზე ([7]).

მოდელი იხილავს  $n$  მოცულობის შერჩევას:

$$\left. \begin{matrix} (Y_1, x_{11}, x_{21}, \dots, x_{k1}) \\ (Y_2, x_{12}, x_{22}, \dots, x_{k2}) \\ \vdots \\ (Y_n, x_{1n}, x_{2n}, \dots, x_{kn}) \end{matrix} \right\} \text{ზოგადად } (Y_i, x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{ki})$$

$$i = \overline{1, n},$$

საიდანაც მიიღება შემდეგი ფუნქციური დამოკიდებულება

$$\hat{Y}_i = b_0 + b_1 x_{1i} + b_2 x_{2i} + \dots + b_k x_{ki} + \varepsilon_i,$$

სადაც  $(\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n)$  ნორმალურად განაწილებული დამოუკიდებელი შემთხვევითი სიდიდეებია.

$$E\varepsilon_i = 0 \quad D\varepsilon_i = \sigma^2 \quad E\varepsilon_i \varepsilon_j = 0$$

$\varepsilon_i$  არის გადახრა ჭეშმარიტი რეგრესიის ფუნქციის

$$Y = B_0 + B_1 x_1 + \dots + B_k x_k$$

მნიშვნელობიდან. ხოლო  $b_0, b_1, \dots, b_k$  რიცხვები  $B_0, B_1, \dots, B_k$  კოეფიციენტების შეფასებებია. ისინი ანიჭებენ მინიმუმს შემდეგ გამოსახულებას

$$\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 = \sum_{i=1}^n (Y_i - b_0 - b_1 x_{1i} - b_2 x_{2i} - \dots - b_k x_{ki})^2.$$

მინიმუმის აუცილებელი პირობიდან გამომდინარე, მიიღება განტოლებათა სისტემა. პროგრამა იძლევა მის  $b_0, b_1, \dots, b_k$  ამონახსნებს.

პროგრამა მოდელის ვარგისობისათვის, ამოწმებს, T ტესტს, ჰიპოთეზას.

$$H_0 : B_1 = B_2 = \dots = B_k = 0 \quad (2)$$

$$H_1 : B_j \neq 0 \text{ ერთი მაინც } j\text{-სთვის } j = \overline{1, k}$$

თუ არ მოხდა  $H_0$ -ის უარყოფა არც ერთი  $j$ -სათვის, მაშინ მოდელი გამოუსადეგარია სტატისტიკური კვლევებისათვის, რადგან ყველა  $x_1, x_2, \dots, x_k$  ცვლადი არის  $Y$ -სგან დამოუკიდებელი.

T ტესტის შესამოწმებლად გამოიყენება ფიშერის სტატისტიკა.

$$F = \frac{n - (k + 1)}{k} \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2},$$

რომელსაც ნულოვანი  $H_0$  ჰიპოთეზის მართებულობის დროს აქვს  $F \sim F(k, n - (k + 1))$  ფიშერის განაწილება  $k$  და  $n - (k + 1)$  თავისუფლების ხარისხებით ([7 6]).

მას შემდეგ, რაც ხდება  $H_0$  ჰიპოთეზის უგულვებლყოფა და მიიღება  $H_1$ , რაც ნიშნავს, რომ რეგრესიის მოდელი გამოდგება, თითოეული  $B_j$   $j = \overline{1, k}$  კოეფიციენტისათვის მოწმდება ჰიპოთეზა

$$H_0 : B_j = 0$$

$$H_1 : B_j \neq 0,$$

$$\text{ტესტის სტატისტიკაა } T_{b_j} = \frac{b_j - B_j}{S_{b_j}}, \text{ სადაც } S_{b_j}$$

არის  $b_j$  კოეფიციენტის შერჩევითი დისპერსია.  $T_{b_j}$  სტატისტიკა ნულოვანი ჰიპოთეზის დროს განაწილებულია  $t(n - (k + 1))$  სტიუდენტის განაწილებით  $n - (k + 1)$  თავისუფლების ხარისხით.

რომელი  $B_j$  კოეფიციენტიც ვერ გაივლის ამ ჰიპოთეზის უარყოფას (ანუ T ტესტს), ის კოეფიციენტი ჩაითვლება ნულის ტოლად და, შესაბამისად, მისი  $X_j$  პრედიქტორი ამოვარდება რეგრესიის განმსაზღვრელი ცვლადებიდან.

განხილულ მოდელში პროგრამული პაკეტით მოხდა მთელი პრედიქტორების ერთიანობის დაყოფა უფრო ზოგადი ტიპის „ცვლადებად“ – ფაქ-

ტორებად. თითოეულ ფაქტორში ერთიანდება რამდენიმე პრედიქტორი, რომლებიც ურთიერთ-კორელაციური კავშირის და მოპასუხე  $Y$  ცვლადთან მაღალი კორელაციური კავშირის მაჩვენებლით გამოიყოფა ერთ ჯგუფად. როდესაც შემოტანილია  $x_1x_2...x_n$  პრედიქტორები, ზოგადად ამ მოდელს აქვს შემდეგი სახე

$$Y = B_0 + B_1(\alpha_{11}x_{11} + \alpha_{12}x_{12} + \dots + \alpha_{1k_1}x_{1k_1}) + B_2(\alpha_{21}x_{21} + \alpha_{22}x_{22} + \dots + \alpha_{2k_2}x_{2k_2}) + \dots + B_m(\alpha_{m1}x_{m1} + \alpha_{m2}x_{m2} + \dots + \alpha_{mk_m}x_{mk_m}),$$

სადაც

$$\sum_{s=1}^{k_i} \alpha_{is} = 1 \quad i = \overline{1, m} \quad \sum_{i=1}^m k_i = n$$

$$x_{ij} \in \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \quad i = \overline{1, m} \quad j = \overline{1, k_m}$$

ზოგიერთი პრედიქტორი ანალიზის საწყის ეტაპზე შეიძლება რამდენიმე ფაქტორში შედიოდეს. ასეთ პრედიქტორს იმ ფაქტორში ტოვებენ, რომელთანაც უფრო დიდი კორელაციური კავშირი აქვს.

ყოველი  $B_i \quad i = \overline{1, m}$  კოეფიციენტი გადის (2) ტესტს. თავის მხრივ ყოველი  $x_{is} \quad i = \overline{1, m} \quad s = \overline{1, k_i}$  პრედიქტორის  $\alpha_{i\alpha}$  კოეფიციენტს ფაქტორის შიგნით კორელაციის კოეფიციენტის მიხედვით (ანალიზური ტესტის გავლის შემდეგ) ითვლება მნიშვნელოვნად, წინააღმდეგ შემთხვევაში ყველა ეს კოეფიციენტი განუღდება და შესაბამისი პრედიქტორები გამოირიცხება.

მოსწავლეთა გამოკითხვის შედეგად მიღებული  $P$  მონაცემებიდან ცალკე გამოიყო 13 დემოგრაფიული კითხვის ( $\{Di : i = \overline{1, 2}; Fi : i = \overline{1, 11}\}$ ) პასუხი.

დარჩენილი 49 კითხვის პასუხი რეგრესიულ ანალიზში განხილულ იქნა 49 პარამეტრად, რომელთაგან ერთი –  $\{S1\}$  რეგრესიის მოპასუხე ცვლადად, დანარჩენი 48 კი –  $\{Ai : i = \overline{1, 20}; Bi : i = \overline{1, 10}; Ci : i = \overline{1, 18}\}$  თავისუფალ, ამხსნელ ცვლადებად ანუ პრედიქტორებად

$$\{f_i = A_i I_{(i \in [1, 20])} + B_{i-20} I_{(i \in [21, 30])} + C_{i-30} I_{(i \in [31, 48])} : i = \overline{1, 48}\}.$$

პედაგოგთა გამოკითხვის შედეგად მიღებული  $T$  მონაცემებიდან ცალკე გამოიყო 8 დემოგრაფიული კითხვის ( $\{Di : i = \overline{1, 6}; Ti : i = \overline{31, 32}\}$ ) პასუხი. დარჩენილი 30 კითხვის პასუხი რეგრესიულ ანალიზში განხილულ იქნა 30 პარამეტრად, რომელთაგან ერთი –  $\{T30\}$  რეგრესიის მოპასუხე ცვლადად, ხოლო დანარჩენი 29 პარამეტრი –  $\{Ti : i = \overline{1, 29}\}$  თავისუფალ, ამხსნელ ცვლადებად ანუ პრედიქტორებად  $\{g_i = Ti : i = \overline{1, 29}\}$ .

დემოგრაფიული მონაცემების დამუშავებისას გამოჩნდა, რომ შერჩევის ჩატარებისას დაცული იყო გენდერული ბალანსი ([8]).

რეგრესიულმა ანალიზმა აჩვენა, რომ ინფორმაცია რომელიც მოსწავლეთა 48 პარამეტრში იყო განთავსებული მოსწავლეთა მთელი კონტინგენტისათვის გადანაწილდა ცხრა ( $FACP$ ), ურთიერთდამოუკიდებელ ფაქტორში. მათში მოხვდა 44 პარამეტრი (4 პარამეტრი  $A1.13, C1.12, C1.$  და  $C1.15$  არ აღმოჩნდა სტატისტიკურად მნიშვნელოვანი, რეგრესიის ფაქტორებთან მათი დაბალი კორელაციის გამო). დავახასიათოთ ეს ფაქტორები:

მოსწავლეთა მთელი  $P$  მონაცემებიდან მიღებული ფაქტორები:



$$FACP_i = \left( f_{i_1}, f_{i_2}, \dots, f_{i_{n_i}} \right),$$

$$i = \overline{1,9}, \quad n_1 + n_2 + \dots + n_9 = 44.$$

$$j_t \neq i_s, \quad t = \overline{1, n_j}, \quad s = \overline{1, n_i}, \quad j_t \in [1, 44], \quad i_s \in [1, 44],$$

მოსწავლეთა შერჩევით მიღებული თითოეული ფაქტორი ყოველი  $m$ -ური რესპონდენტისათვის გამოკითხვის შედეგების მიხედვით იღებდა გარკვეულ ქულას, რომელიც გამოითვლება ფორმულით

$$FACP_{im} = \sum_{k=1}^{n_i} a_{ik} f_{ikm}, \quad i = \overline{1,9}, \quad m = \overline{1,800},$$

სადაც  $a_{ik}$  არის  $i$ -ური ფაქტორის  $f_{ik}$  პარამეტრის შესაბამისი წონა, ხოლო  $f_{ikm}$  არის  $f_{ik}$  პარამეტრისათვის  $m$ -ური რესპონდენტის მიერ მინიჭებული ქულა.

პედაგოგთა პარამეტრების რეგრესიულმა ანალიზმა აჩვენა, რომ ინფორმაცია, რომელიც პედაგოგთა 29 პარამეტრში იყო განთავსებული, გადანაწილდა 7 ურთიერთდამოუკიდებელ ( $FACT$ ) ფაქტორში. მათში მოხვდა 28 პარამეტრი (1 პარამეტრი

T4 არ აღმოჩნდა სტატისტიკურად მნიშვნელოვანი). დავახსიათოთ ეს ფაქტორები:

პედაგოგთა მთელი  $T$  მონაცემებიდან მიღებული ფაქტორები:

$$FACT_i = \left( g_{i_1}, g_{i_2}, \dots, g_{i_{n_i}} \right),$$

$$i = \overline{1,7}, \quad n_1 + n_2 + \dots + n_7 = 28.$$

$$j_t \neq i_s, \quad t = \overline{1, n_j}, \quad s = \overline{1, n_i}, \quad j_t \in [1, 28], \quad i_s \in [1, 28],$$

პედაგოგთა შერჩევით მიღებული თითოეული ფაქტორი ყოველი  $m$ -ური რესპონდენტისათვის გამოკითხვის შედეგების მიხედვით იღებდა გარკვეულ ქულას, რომელიც გამოითვლება ფორმულით

$$FACT_{im} = \sum_{k=1}^{n_i} b_{ik} g_{ikm}, \quad i = \overline{1,7}, \quad m = \overline{1,143},$$

სადაც  $b_{ik}$  არის  $i$ -ური ფაქტორის  $g_{ik}$  პარამეტრის შესაბამისი წონა, ხოლო  $g_{ikm} - g_{ik}$  – პარამეტრისათვის  $m$ -ური რესპონდენტის მიერ მინიჭებული ქულა.

მოვიყვანოთ პარამეტრების ფაქტორებთან კორელაციის ცხრილები.

მოსწავლეების P პარამეტრების ფაქტორებთან კორელაციის ცხრილი

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	საშუალო	სტანდარტული გადახრა	ვარიაციის კოეფიციენტი
A1.1	,285	,257	,546	,356	,224	,135	,103	,013	,025	6,30	3,106	49,27%
A1.2	,241	,292	,455	,435	,279	,148	-,092	-,071	,103	5,35	3,584	67,03%
A1.3	,135	,270	,644	,316	,180	,161	,072	-,016	-,053	6,25	2,982	47,69%
A1.4	,227	,223	,712	,187	,146	,076	,184	,187	-,112	7,25	3,141	43,33%
A1.5	,146	,189	,781	-,038	-,051	,057	,223	,084	,017	6,97	2,791	40,03%
A1.6	,231	,313	,682	,055	,089	,177	,079	,086	,042	7,22	2,804	38,82%
A1.7	,142	,300	,466	,199	,245	,295	,161	,002	,094	7,05	3,121	44,29%

ბიზნესი, მენეჯმენტი და ბუღალტრული აღრიცხვა – Business, management and accounting –  
 Бизнес, менеджмент и бухгалтерский учет

გაგრძელება

A1.8	,134	,125	,191	,282	,652	,131	,198	-,038	-,046	7,65	2,816	36,82%
A1.9	,209	,104	,119	,042	,713	,168	,113	,185	,022	8,83	2,014	22,81%
A1.10	,258	,103	,077	-,133	,719	,034	,016	,144	,103	9,19	1,710	18,60%
A1.11	,237	,025	,026	,223	,568	,100	,432	,024	-,051	7,93	2,480	31,26%
A1.12	,254	,012	,247	,133	,414	,114	,535	,121	-,076	7,68	2,534	32,98%
A1.13	,192	,079	,331	-,036	,125	,370	,444	,176	,183	7,63	2,725	35,72%
A1.14	,141	,075	,274	,150	,193	,677	,116	,151	,111	7,42	2,631	35,49%
A1.15	,262	,142	,146	,049	,095	,749	,103	,033	-,060	7,70	2,492	32,34%
A1.16	,216	,299	,034	,108	,012	,636	,289	,062	-,069	6,58	2,982	45,30%
A1.17	,350	,168	,117	,171	,081	,355	,494	,064	-,108	7,22	2,751	38,11%
A1.18	,110	,257	,090	,013	,126	,133	,639	,012	,036	7,40	2,947	39,84%
A1.19	,349	,207	,155	,079	,206	,419	,075	,044	-,069	8,05	2,420	30,06%
A1.20	,194	,257	,209	,330	,162	,185	,530	-,062	,135	6,44	3,316	51,46%
B1.1	,191	,672	,317	,099	,139	,144	,133	,064	,082	6,72	3,026	45,03%
B1.2	,140	,704	,237	,176	,154	,177	,148	,060	,078	6,31	3,137	49,71%
B1.3	,303	,620	,334	-,038	,081	,219	-,008	,051	-,142	7,43	2,618	35,22%
B1.4	,158	,696	,255	,222	,082	,233	,054	-,039	,035	6,20	3,038	49,02%
B1.5	,164	,559	,043	,485	-,046	,000	,313	,056	,133	4,09	3,229	78,99%
B1.6	,159	,679	,194	,195	,067	,185	,097	,042	,138	5,93	3,189	53,79%
B1.7	,158	,627	,140	,200	-,009	-,016	,212	,109	,033	5,49	3,143	57,21%
B1.8	,151	,304	,031	,147	,085	-,037	,095	,150	-,521	6,58	3,435	52,21%
B1.9	,477	,470	,090	,072	,268	,019	,080	,098	-,280	7,82	2,627	33,57%
B1.10	,424	,484	,110	,190	,089	,008	,048	,217	-,411	7,69	2,392	31,10%
C1.1	,675	,151	,190	,184	,204	,128	,089	,210	,169	7,97	2,647	33,22%
C1.2	,750	,175	,088	,107	,067	,166	,101	,151	,253	7,72	2,645	34,25%
C1.3	,663	,120	,165	,120	,198	,259	,038	,213	,135	7,88	2,554	32,43%
C1.4	,787	,092	,122	,122	,216	,158	,142	,127	,217	8,06	2,445	30,36%
C1.5	,709	,269	,153	,078	,228	,166	,133	,151	,165	7,58	2,592	34,18%
C1.6	,630	,206	,184	,222	,145	-,009	,348	-,074	-,014	6,97	3,015	43,24%
C1.7	,319	,161	,272	,458	,147	,065	,405	,016	,178	6,28	3,349	53,35%
C1.8	,612	,141	,152	,157	,175	,124	,260	,086	-,150	7,41	2,807	37,85%
C1.9	,691	,191	,118	,085	,046	,078	,214	,025	-,139	7,37	2,817	38,21%
C1.10	,217	,244	,131	,735	,047	,071	,167	,007	,020	4,87	3,558	73,02%
C1.11	,200	,314	,193	,702	,080	,179	,041	,121	,009	5,29	3,522	66,61%
C1.12	,398	,181	,428	,366	,105	,261	-,042	,171	-,045	6,88	2,843	41,32%
C1.13	,666	,147	,198	,069	,115	,182	,078	,175	-,192	7,99	2,403	30,06%
C1.14	,308	,339	,174	,413	,086	,038	,275	,323	-,157	6,96	2,943	42,28%
C1.15	,431	,217	,140	,243	,077	,177	,174	,411	-,277	7,55	2,639	34,98%
C1.16	,219	,057	,070	,072	,070	,049	,052	,809	,068	8,38	2,381	28,42%
C1.17	,289	,075	,093	-,024	,180	,130	-,013	,735	,049	8,45	2,518	29,81%
C1.18	,604	,155	,257	,276	,099	,222	-,035	,209	-,108	8,08	2,409	29,80%

პედაგოგების T პარამეტრების ფაქტორებთან კორელაციის ცხრილი

	1	2	3	4	5	6	7	საშუალო	სტანდარტული გადახრა	ვარიაციის კოეფიციენტი
T1	0,60	0,19	0,42	0,20	- 0,07	0,24	0,02	8,63	2,117	24,53%
T2	0,83	0,02	0,11	0,20	0,08	0,05	0,04	7,72	2,376	30,76%
T3	0,80	0,21	0,19	0,22	- 0,05	0,04	- 0,01	8,22	2,186	26,61%
T4	0,25	0,14	0,19	0,22	0,13	0,70	0,17	7,30	2,701	37,00%
T5	0,61	0,37	0,20	0,15	0,04	0,06	- 0,25	8,63	2,079	24,09%
T6	0,46	0,16	0,03	0,37	- 0,12	0,31	- 0,25	8,63	1,963	22,75%
T7	0,36	0,53	0,37	0,18	- 0,02	0,02	- 0,09	8,40	2,229	26,55%
T8	0,26	0,26	0,57	0,26	0,02	- 0,33	- 0,10	9,44	1,437	15,21%
T9	0,24	0,03	0,82	0,05	0,18	0,04	0,12	7,78	2,352	30,24%
T10	0,15	0,39	0,73	0,09	0,11	0,17	0,13	8,09	1,998	24,71%
T11	- 0,05	0,55	0,52	0,06	0,18	0,23	0,24	8,05	2,411	29,94%
T12	0,08	0,82	0,23	0,04	0,04	0,17	0,09	8,51	2,058	24,19%
T13	0,21	0,81	- 0,03	0,14	0,27	0,00	0,08	8,63	1,699	19,70%
T14	0,39	0,70	- 0,10	0,12	0,28	- 0,23	0,10	8,46	1,992	23,55%
T15	0,34	0,68	0,06	0,07	0,25	- 0,24	0,03	8,63	1,533	17,77%
T16	0,59	0,34	0,12	0,18	0,15	- 0,44	0,16	8,66	1,880	21,70%
T17	0,64	0,49	0,17	0,02	0,12	- 0,04	0,27	7,90	2,090	26,44%
T18	0,12	0,18	0,11	0,80	0,09	0,08	0,08	8,94	1,785	19,97%
T19	0,82	0,08	0,11	- 0,01	0,13	- 0,00	0,07	8,14	2,228	27,38%
T20	0,74	0,31	0,02	- 0,02	0,36	0,14	0,08	7,59	2,492	32,86%
T21	0,45	- 0,06	- 0,07	0,55	0,28	- 0,12	0,09	9,26	1,335	14,42%
T22	0,10	0,21	0,22	0,69	0,13	0,11	0,09	9,05	1,488	16,44%
T23	0,22	0,68	0,35	0,15	0,20	0,18	- 0,16	8,99	1,563	17,38%
T24	0,04	0,55	0,26	0,17	- 0,24	- 0,04	0,32	9,00	2,300	25,56%
T25	0,10	0,11	0,11	0,13	- 0,08	0,09	0,78	8,13	7,759	95,47%
T26	0,11	0,59	0,40	0,15	0,05	0,16	- 0,14	8,47	1,912	22,56%
T27	0,28	0,10	- 0,01	0,29	0,62	- 0,10	- 0,13	9,33	1,290	13,83%
T28	- 0,05	0,19	0,23	0,02	0,68	0,09	0,05	8,92	1,579	17,70%
T29	0,28	0,39	0,18	0,24	0,57	0,09	- 0,18	9,55	,989	10,36%

**დასკვნა**

ნაშრომში მოხდა იმ ძირითადი ფაქტორების იდენტიფიკაცია, რომლებიც არსებითად განსაზღვრავს მოსწავლეთა და პედაგოგთა დამოკიდებულებას სასწავლებლის მიმართ. ეს, თავის მხრივ, ნებისმიერი და მათ შორის ზოგადსაგანმანათლებლო

სასწავლებლის შეფასების ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი კომპონენტია. (იხ [2]).

მოსწავლეების P პარამეტრების ფაქტორებთან კორელაციის ცხრილიდან გამოიკვეთა, რომ მოსწავლეთა აზრით ერთ-ერთ უმნიშვნელოვანეს ფაქტორად, რომელიც სწავლების ხარისხზე ახდენს გავლენას, შეიძლება ჩაითვალოს:  $FACP_3$  – სასწავ-

ლო პრაქტიკა და აღჭურვილობა;  $FACP_4$  – საინფორმაციო საკომუნიკაციო რესურსები. მოსწავლეების ყურადღების არეალში მოექცა ასევე  $FACP_8$  – არასასწავლო კლასგარეშე აქტივობები, რაც იმის მიმანიშნებელია, რომ დღევანდელ პერიოდში მოსწავლეები კომუნიკაციის პროცესში წარმატებით იყენებენ სოციალურ ქსელებს.

რაც შეეხება მასწავლებელთა მხარეს, აღსანიშნავია, რომ პედაგოგიური კოლექტივი სწავლების

დონის ამაღლებაში დიდ როლს ანიჭებს  $FACT_1$  – სასწავლო ტექნიკა-თვალსაჩინოებას და  $FACT_6$  – მოსწავლეების კომპიუტერებით უზრუნველყოფას.

აღსანიშნავია ისიც, რომ ზემოთ ჩამოთვლილი ფაქტორები არ გამოირჩევა სტანდარტული გადახრის დიდი კოეფიციენტებით, რაც კიდევ ერთხელ მიუთითებს იმაზე, რომ მათი პრიორიტეტული ზეგავლენა სასწავლო პროცესზე რეალურად არის შეფასებული რეგრესიული ანალიზის მოდელით.

### ლიტერატურა

1. Higher education in the twenty-first century: vision and action. World declaration on higher education for the twenty-first century: vision and action. UNESCO. Paris. 1998. (in English).
2. Chartolani R., Durglishvili N., Kvatadze Z. Optimization of a state financing model of vocational colleges. Proceedings of A. Razmadze Mathematical Institute. Vol. 169. 2015, 23-31 pp. (in English).
3. Frankfort-Nachmias Ch., Nachmias D. Research methods in the social sciences. University of Wisconsin. 2009, 586 p. (in English).
4. Belson W. A. The effects of reversing the presentation order of verbal rating scales. Journal of Advertising Research. 6. 1966, 30-37 pp. (in English).
5. Bailey K. D. Methods of social research. The Free Press. New York. 1987. (in English).
6. IBM SPSS Statistics. Solve research problems easily and efficiently. (in English).
7. Lazrieva N., Mania M., Mari G., Mosidze A., Shervashidze T., Toronjadze A., Toronjadze T. Probability Theory and mathematical statistics for economists. Foundation „Eurasia“ and A. Razmadze Mathematical Institute. Tbilisi. 2000, 664 p. (in Georgian).
8. URL: <https://matsne.gov.ge>; [06.04.2015] (in Georgian).

UDC 311.17:658.1  
SCOPUS CODE 1408

## Statistical analysis of the financial parameters of the internal resources of the LEPL public schools in audit models

**K. Chokuri** Department of Sociology, Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, 1 Chavchavadze Ave., 0179 Tbilisi, Georgia  
E-mail: kate\_chokury@yahoo.com

### Reviewers:

**G. Pipia**, Associate Professor, Faculty of Informatics and Control Systems, GTU  
E-mail: givifia@yahoo.com

**T. Buadze**, Associate Professor, Faculty of Informatics and Control Systems, GTU  
E-mail: buadzetrstan@yahoo.com

**Abstract.** There are free financial resources in the LEPL public schools, which are completely dependent on the director of school and the decisions of the school board. The study is related to the definition of spending priorities in the LEPL public school, so that the expenses are efficient and rational. Based on the sociological survey the model gives the possibility to identify key indicators and evaluate the coefficients obtained by factor analysis.

The study concerns teachers and high school students of 6 LEPL public schools in Tbilisi city. A simple random sample was made (the sample size of the students was 800, the sample size of the teachers was 143) by the interview method - face to face interview. Data processing was carried out by factorial regression analysis using the IBM SPSS STATISTICS statistical package (version 20). A multiple linear regression model  $Y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + \dots + B_kX_k + \varepsilon$  was used

The information included in 48 parameters of high school students, was redistributed between nine (*FACT*) interrelated factors.

$$FACT_i = \left( f_{i_1}, f_{i_2}, \dots, f_{i_{n_i}} \right), \quad i = \overline{1,9}, \quad n_1 + n_2 + \dots + n_9 = 44.$$

$$j_t \neq i_s, \quad t = \overline{1, n_j}, \quad s = \overline{1, n_i}, \quad j_t \in [1, 44], \quad i_s \in [1, 44],$$

each factor by each m-respondent is estimated by a point that is calculated by the formula

$$FACT_{im} = \sum_{k=1}^{n_i} a_k f_{i_k m}, \quad i = \overline{1,9}, \quad m = \overline{1,800},$$

where  $a_k$  is the corresponding weight of the  $i$ -th parameter of  $f_{i_k}$  factor, and  $f_{i_k m}$  is for the  $f_{i_k}$  parameter awarded by the  $m$ -th respondent point.

Information, which was included in 29 parameters of teachers, was redistributed between 7 (*FACT*) interrelated factors.

$$FACT_i = \left( g_{i_1}, g_{i_2}, \dots, g_{i_{n_i}} \right), \quad i = \overline{1,7}, \quad n_1 + n_2 + \dots + n_7 = 28.$$

$$j_t \neq i_s, \quad t = \overline{1, n_j}, \quad s = \overline{1, n_i}, \quad j_t \in [1, 28], \quad i_s \in [1, 28],$$

each factor for each m-respondent is estimated by a point that is calculated by the formula

$$FACT_{im} = \sum_{k=1}^{n_i} b_{i_k} g_{i_k m}, \quad i = \overline{1,7}, \quad m = \overline{1,143},$$

where  $b_{i_k}$  is the corresponding weight of the  $i$ -th parameter of  $g_{i_k m}$  factor, and  $g_{i_k}$  is for the  $g_{i_k}$  parameter awarded by the  $m$ -th respondent point.

**Key words:** Finances; priority model; public school; sociological survey.

---

UDC 311.17:658.1

SCOPUS CODE 1408

### Статистический анализ финансовых параметров внутренних ресурсов ЮЛПП публичных школ в аудитных моделях

Чокури К.Н.

Департамент социологии, Тбилисский государственный университет им. Ив. Джавахишвили, Грузия, 0179, Тбилиси, пр. Чавчавадзе 1

E-mail: kate\_chokury@yahoo.com

#### Рецензенты:

Г. Пициа, ассоциированный профессор факультета информатики и систем управления ГТУ

E-mail: givifia@yahoo.com

Т. Буадзе, ассоциированный профессор факультета информатики и систем управления ГТУ

E-mail: buadzetrstan@yahoo.com

**Аннотация.** В ЮЛПП публичных школах существуют свободные финансовые ресурсы, управление которыми полностью зависит от директора школы и решений попечительского совета. Исследование связано с определением приоритетов расходования в ЮЛПП публичной школе, чтобы расходы были эффективными и рациональными. Основанная на социологическом исследовании модель позволила выявить ключевые показатели и оценить полученные факторным анализом коэффициенты.

Исследование касается учащихся и учителей 6 ЮЛПП публичных школ г. Тбилиси. Была проведена простая случайная выборка (объем выборки учащихся - 800, объем выборки учителей - 143) методом опроса - интервью лицом к лицу. Обработка данных проводилась факторным регрессионным анализом по программе статистического пакета IBM SPSS STATISTICS (версия 20). Была использована модель множественной линейной регрессии  $Y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + \dots + B_kX_k + \varepsilon$ .

Информация, которая была расположена в 48 параметрах учащихся, была перераспределена среди девяти (FACP) взаимонезависимых факторов взаимонезависимыми факторами

$$FACP_i = \left( f_{i_1}, f_{i_2}, \dots, f_{i_{n_i}} \right), \quad i = \overline{1,9}, \quad n_1 + n_2 + \dots + n_9 = 44.$$
$$j_t \neq i_s, \quad t = \overline{1, n_j}, \quad s = \overline{1, n_i}, \quad j_t \in [1, 44], \quad i_s \in [1, 44].$$

Каждый фактор каждого  $m$  - респондента оценивается очком, которое рассчитывается по формуле

$$FACP_{im} = \sum_{k=1}^{n_i} a_{i_k} f_{i_k m}, \quad i = \overline{1,9}, \quad m = \overline{1,800},$$

где  $a_{i_k}$  является соответствующим весом  $i$ -ого фактора  $f_{i_k}$  параметра, а  $f_{i_k m}$  является для  $f_{i_k}$  параметра присужденным  $m$ -ым респондентом очком.

Информация, которая была заключена в 29 параметрах преподавателей, была перераспределена между 7 (FACT) взаимосвязанными факторами.

$$FACT_i = \left( g_{i_1}, g_{i_2}, \dots, g_{i_{n_i}} \right), \quad i = \overline{1,7}, \quad n_1 + n_2 + \dots + n_7 = 28.$$
$$j_t \neq i_s, \quad t = \overline{1, n_j}, \quad s = \overline{1, n_i}, \quad j_t \in [1, 28], \quad i_s \in [1, 28],$$

Каждый фактор для каждого  $m$  - респондента оценивается очком, который рассчитывается по формуле

$$FACT_{im} = \sum_{k=1}^{n_i} b_{i_k} g_{i_k m}, \quad i = \overline{1,7}, \quad m = \overline{1,143},$$

где  $b_{i_k}$  является соответствующим весом  $i$ -ого фактора  $g_{i_k}$  параметра, а  $g_{i_k m}$  является для  $g_{i_k}$  параметра присужденным  $m$ -ым респондентом очком.

**Ключевые слова:** публичная школа; социологическое исследование; финансы; энтропийные модели приоритетов.

განხილვის თარიღი 28.03.2018

შემოსვლის თარიღი 13.07.2018

ხელმოწერილია დასაბეჭდად 28.12.2018

UDC 513.21

SCOPUS CODE 1703

## ავტომატური მართვის სისტემის არაწრფივი უკუკავშირის რგოლის მახასიათებლის გაანგარიშების რიცხვითი მეთოდი

- ბ. გვასალია** მშენებლობის კომპიუტერული დაპროექტების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 68<sup>ბ</sup>  
E-mail: gvasbadal@gmail.com
- თ. კვაჭაძე** მშენებლობის კომპიუტერული დაპროექტების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 68<sup>ბ</sup>  
E-mail: t.kvachadze@gtu.ge

### რეცენზენტები:

- ო. კოტიკაძე** სტუ-ის ინფორმატიკისა და მართვის სიტემების ფაკულტეტის პროფესორი  
E-mail: omari21@gmail.com
- მ. კუბლაშვილი** სტუ-ის სამშენებლო ფაკულტეტის პროფესორი  
E-mail: mkublashvili@mail.ru

**ანოტაცია.** შემოთავაზებულია ავტომატური მართვის სისტემის არაწრფივი უკუკავშირის რგოლის მახასიათებლის გაანგარიშების რიცხვითი მეთოდი, რომელიც უზრუნველყოფს სისტემის გამოსავალზე სასურველი გარდამავალი პროცესის მიღებას. უკუკავშირის რგოლის მახასიათებლის მისაღებად განხორციელებულია მოქმედებები უკუთანამიმდევრობით, დაწყებული სისტემის ბოლო რგოლიდან სათავისკენ. სისტემის უკუკავშირის რგოლით შეკვრისას დაცულია არაწრფივი სისტემის აბსოლუტური მდგრადობა. დადგენილია სისტემების კლასი, რომელთა სინთეზის დროს ეფექტურია შემოთავაზებული მეთოდის გამოყენება.

მასშტაბის კოეფიციენტის ვარირებით და, შესაბამისად, გარდამავალი პროცესის მოდიფიცირებით შესაძლებელია, სწრაფქმედების მიხედვით, ოპტიმალური გარდამავალი პროცესის მიღება. მოყვანილია რიცხვითი მაგალითი, სადაც ნაჩვენებია შემოთავაზებული მეთოდის გამოყენების ეფექტურობა. მეთოდი ადვილად რეალიზებადია **Excel da Visual Basic For Application** პროგრამების გამოყენებით, რომლებიც იძლევა ყველა საჭირო ნახაზის ადვილად წარმოსახვის შესაძლებლობას.

**საკვანძო სიტყვები:** ავტომატური მართვის სისტემა; არაწრფივი უკუკავშირი; მაკორექტირებელი მოწყობილობა; სასურველი და ოპტიმალური გარდამავალი პროცესი.



## შესავალი

ავტომატური მართვის სისტემა (ამს) ზოგადად შედგება ობიექტისა და სპეციალური მაკორექტირებელი მოწყობილობებისაგან (სურ. 1). ობიექტი არის სისტემის ძირითადი ნაწილი, რომელიც უმეტეს შემთხვევაში მოცემულია და რომლის პარამეტრები უცვლელია, ხოლო მაკორექტირებელი მოწყობილობა სისტემის ის ნაწილია, რომლის პარამეტრები და მახასიათებლები ცვალებადია, ასეთ შემთხვევაში სინთეზის ძირითადი ამოცანაა მაკორექტირებელი მოწყობილობის ისეთი სტრუქტურისა და მახასიათებლის შერჩევა (გაანგარიშება), რომლებიც უზრუნველყოფს ამ გამოსავალ  $x(t)$  ფუნქციაზე (ე.ი. გარდამავალ პროცესზე) წაყენებულ მოთხოვნებს. ეს მოთხოვნები ძირითადად დაიყვანება გარდამავალი პროცესის სისწრაფესა და მდოვრედ (მონოტონურად) მიმდინარეობაზე.

ძირითადი პრობლემა არის სასურველი მაკორექტირებელი მოწყობილობის მახასიათებლების შერჩევისა და გამოთვლის მეთოდები. ამ საკითხის გადასაწყვეტად არსებობს ორი – პირდაპირი და ირიბი მეთოდი.

პირდაპირს მიეკუთვნება სინთეზის ანალიზური მეთოდების გამოყენება [1,2,3], რაც დაკავშირებულია დიფერენციალური განტოლების უშუალო ამოხსნასთან და შემდგომ გარდამავალი პროცესის აგებასთან. ეს მეთოდი გულისხმობს სინთეზის ამოცანის ამოხსნას საწყისი სისტემის ამოხსნათა შერჩევის საშუალებით, მაკორექტირებელი მოწყობილობის იმ პარამეტრების ვარიაციის შემთხვევაში, რომელიც აინტერესებს მკვლევარს.

ერთადერთი ზუსტი თეორიული მეთოდი გარდამავალი პროცესის  $x(t)$  მრუდის ყველა დეტალის

შესწავლისა არის მისი გამოთვლა და შემდგომ გრაფიკის სახით წარმოდგენა. იმისათვის, რომ განისაზღვროს  $x(t)$  წრფივ სისტემებში, საჭიროა გამოვთვალოთ მახასიათებელი განტოლების ფესვები, განვსაზღვროთ ინტეგრირების მუდმივები საწყისი პირობების გათვალისწინებით, გამოვთვალოთ  $x(t)$  ფუნქცია და ავაგოთ გარდამავალი პროცესის გრაფიკი, რომლის მიხედვითაც შემდეგ განისაზღვრება გარდამავალი პროცესის მახასიათებლები.

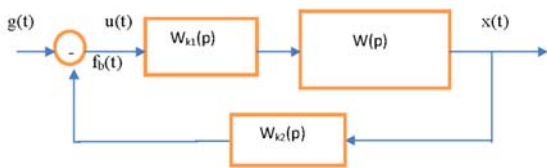
ამს-ის სინთეზის ეს მეთოდი დაიყვანება ამოხსნათა შერჩევის ამოცანაზე. იმისათვის, რომ გავარკვიოთ მაკორექტირებელი მოწყობილობის პარამეტრების გავლენა გარდამავალი პროცესის მახასიათებლებზე, აუცილებელია, ავაგოთ დიდი რაოდენობა  $x(t)$  პროცესის მრუდებისა, მაკორექტირებელი მოწყობილობის პარამეტრების სხვადასხვა კომბინაციის დროს. ზოგადად შეიძლება ითქვას, რომ არ არის შესაძლებელი მივიღოთ ანალიზური დამოკიდებულება გარდამავალი პროცესის ხანგრძლივობის დროსა, მისი სიმდოვრის ხარისხსა და მაკორექტირებელი მოწყობილობის პარამეტრებს შორის. მიუხედავად იმისა, რომ ზოგჯერ შეიძლება შემთხვევით ვიპოვოთ კიდეც პარამეტრების დამაკმაყოფილებელი მნიშვნელობები, მაინც არ შეიძლება დარწმუნებული ვიყოთ, რომ არ არსებობს სხვა უფრო სრულყოფილი თანაფარდობა მაკორექტირებელი მოწყობილობის პარამეტრებსა და გარდამავალი პროცესის მახასიათებლებს შორის.

ამრიგად, რთული და შრომატევადი გამოთვლითი სამუშაოს შესრულებაც კი არ გვამღვეს იმის გარანტიას, რომ სინთეზის ამოცანას ბოლომდე ამოვხსნით, რადგან არ არსებობს ზუსტი ანალიზური ფორმულები, რომლებიც დააკავშირებს სისტე-

მის თვისობრიობის მაჩვენებელს მაკორექტირებელი მოწყობილობის პარამეტრებთან.

სწორედ ზემოთ აღნიშნული ფაქტორები გახდა იმის მიზეზი, რომ გასული საუკუნის 50-იან, 80-იან წლებში უპირატესად განვითარდა კვლევის ირიბი მეთოდები [4], რომლებიც, თავის მხრივ, შეიძლება სამ ჯგუფად დაიყოს, კერძოდ, სიხშირულ, ინტეგრალურ და ფესვურ მეთოდებად.

საბოლოოდ შეგვიძლია ვთქვათ, რომ ამს-ის სინთეზის ვერც პირდაპირი, და ვერც ირიბი მეთოდები ვერ იძლევა უშუალო და ზუსტ პასუხებს გარდამავალი პროცესის მაჩვენებლებსა და მაკორექტირებელი მოწყობილობის პარამეტრების ურთიერთდამოკიდებულების შესახებ. სწორედ ამიტომ იქნებოდა ნამდვილად ეფექტური ისეთი პროგრამებისა და გამოთვლითი ალგორითმების დამუშავება, რომელთა საშუალებითაც შესაძლებელი აღმოჩნდებოდა სწრაფად და ადვილად მაკორექტირებელი მოწყობილობის ყველაზე სასურველი პარამეტრების პოვნა, მათ შორის ოპტიმალურისაც კი გარკვეული თვალსაზრისით. ქვემოთ ნაჩვენებია ასეთი მეთოდის დამუშავების მცდელობა. პირველ სურათზე გამოსახულია ავტომატური მართვის სისტემა,



სურ. 1

სადაც  $W(p)$  არის ობიექტის გადაცემის ფუნქცია,  $W_{k1}(p)$  და  $W_{k2}(p)$  – შესაბამისად მაკორექტირებელი მოწყობილობების გადაცემის ფუნქციები,  $x(t)$  – სისტემის გარდამავალი პროცესი (გამოსავალი),  $u(t)$  – მართვის სიგნალი სისტემის შესავალში,  $g(t)$  –

ნახტომისებრი ფუნქცია,  $f_b(t)$  – უკუკავშირის რგოლის გამოსავალი.

## ძირითადი ნაწილი

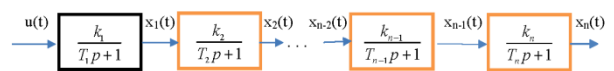
### 1. არაწრფივი უკუკავშირის რგოლის

#### მახასიათებლის გამოთვლის ალგორითმი

მიუხედავად არსებული მეთოდების სიმრავლისა, ამს-ის სინთეზის უფრო სრულყოფილი, თანამედროვე მეთოდების დამუშავებას კვლავაც არ დაუკარგავს აქტუალურობა. ამს-ის ერთ-ერთი ძირითადი ამოცანა, როგორც უკვე შესავალში აღვნიშნეთ, არის მოცემული გარდამავალი პროცესის განხორციელება, რაც გულისხმობს იმას, რომ პროცესი უნდა წარიმართოს მდოვრედ (მონოტონურად) და რაც შეიძლება სწრაფად.

ქვემოთ მოცემულია არაწრფივი უკუკავშირის რგოლის მახასიათებლის განსაზღვრის გამოთვლითი ალგორითმი, რომელიც უზრუნველყოფს მოცემულ გარდამავალ პროცესს. განვიხილავთ ამს-ს რომლის ობიექტს ზოგადად ასეთი სახე აქვს:

$$u(t) \rightarrow x_1(t) \rightarrow x_2(t) \rightarrow \dots \rightarrow x_{n-2}(t) \rightarrow x_{n-1}(t) \rightarrow x_n(t)$$



სურ. 2

სადაც  $k_1, k_2, \dots, k_n$  და  $T_1, T_2, \dots, T_n$  თითოეული აპერიოდული რგოლის გაძლიერების კოეფიციენტები და დროის მუდმივებია შესაბამისად, ხოლო  $x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)$  – თითოეული რგოლის გამოსავალი სიდიდე,  $u(t)$  – პირველი რგოლის შესავალი სიდიდე.

შემოთავაზებული მეთოდის განსაკუთრებულობა არის ის, რომ ამს-ის ობიექტი არ იცვლება სინთე-

ზის პროცესის განმავლობაში, მას ემატება ფუნქციური გარდამქმნელის რგოლი, რომელიც უზრუნველყოფს სინთეზის შედეგად მიღებულ არაწრფივ დამოკიდებულებას  $X_n(t)$ -სა და  $f_n(t)$ -ს შორის.

მოქმედებები, სასურველი  $u(t)$  მართვის ფუნქციის მისაღებად განხორციელებულია უკუთანამიმდევრობით დაწყებული  $n$  რგოლიდან, რომლის გამოსავალზე გვაქვს  $X_n(t)$  სიდიდე,  $(n-1)$  რგოლისაკენ, რომლის გამოსავალი არის  $X_{n-1}(t)$  სიდიდე და ა.შ. სისტემის შესასვლელის ჩათვლით, სადაც მოდებულია მართვის  $u(t)$  სიგნალი, ხოლო შემდეგ  $g(t)$  და  $u(t)$  სხვაობა გვაძლევს უკუკავშირის რგოლის მახასიათებელ  $f_n(t)$ -ს.

სინთეზის საკითხებისადმი ზემოთ აღნიშნული მიდგომა პირველად ჯერ კიდევ გასული საუკუნის 50-იან წლებში გაგვაცნო აკადემიკოსმა ვ. ჭიჭინაძემ [5], ხოლო მოგვიანებით მან განვითარება პოვა [6] წაშრომში. თუმცა უნდა აღინიშნოს, რომ იმ პერიოდის კომპიუტერული ტექნიკა და, შესაბამისად, დაპროგრამების მეთოდები ამ საინტერესო საკითხის უფრო ღრმად შესწავლის შესაძლებლობას არ იძლეოდა.

ზემოთ აღნიშნული ამოცანა მათემატიკურად შეიძლება ჩავწეროთ შემდეგნაირად:

$$\begin{aligned} x_{n-1}(t) &= \varphi_n(x_n(t)), \\ x_{n-2}(t) &= \varphi_{n-1}(x_{n-1}(t)), \\ &----- \\ x_1(t) &= \varphi_2(x_2(t)), \\ x_0(t) &= u(t) = \varphi_1(x_1(t)) \end{aligned} \quad (1)$$

უკუკავშირის რგოლის მახასიათებელი კი გამოითვლება ფორმულით:

$$f_b(t) = g(t) - u(t), \quad (2)$$

ან

$$f_b(t) = \varphi(x_n(t))$$

გამოსახულების რეალიზაცია (2) და მისი ჩართვა უკუკავშირის წრედში იძლევა აუცილებელი  $u(t)$  ფუნქციის გენერირების შესაძლებლობას, რომელიც უზრუნველყოფს სისტემის სასურველ დინამიკურ თვისებებს. თუ გამოვრიცხავთ  $t$  პარამეტრს  $X_n(t)$ -სა და  $f_n(t)$ -ს შორის მივიღებთ უკუკავშირის რგოლის სტატიკურ მახასიათებელს

$$f_b = \varphi(x_n). \quad (3)$$

მეთოდის მნიშვნელოვანი ღირსება აგრეთვე არის მისი კომპიუტერული რეალიზაციის შედარებითი სიმარტივე პროგრამათა სისტემების Excel-ისა და Visual Basic for Application-ის გამოყენებით.

განვიხილოთ მართვის  $u(t)$  ფუნქციის განსაზღვრის რამდენიმე შემთხვევა.

1. ვთქვათ, ამს შედგება მიმდევრობით შეერთებული მდგრადი აპერიოდული  $n$  რგოლისაგან (სურ. 2). მახასიათებელი განტოლების ფესვები ნამდვილია და უარყოფითი.

ცნობილია რა თითოეული რგოლის დიფერენციალური განტოლება, შეგვიძლია ამ განტოლებებში წარმოებულები შევცვალოთ მათი მიახლოებითი მნიშვნელობებით,  $\frac{dx}{dt} = \frac{1}{2h}(x^2 - x^0)$ , სადაც  $x^2$  და  $x^0$  არის  $x(t)$  ფუნქციის მნიშვნელობები სხვადასხვა წერტილში, მაშინ  $x(t)$  და  $u(t)$  ფუნქციების გამოთვლის ალგორითმი შეიძლება ჩავწეროთ შემდეგნაირად:

$$x_{n-1}^{i+1} = A_n(x_n^{i+2} - x_n^i) + B_n x_n^{i+1},$$

$$x_{n-2}^{i+1} = A_{n-1}(x_{n-1}^{i+2} - x_{n-1}^i) + B_{n-1}x_{n-1}^{i+1},$$

-----

$$(4)$$

$$x_0^{i+1} = u = A_1(x_1^{i+2} - x_1^i) + B_1x_1^{i+1},$$

სადაც  $A_1, A_2, \dots, A_n$  მუდმივებია,  $i=0,1,2, \dots, N$  ( $N$  აღნიშნავს დროის წყვეტის რიცხვს,  $h=t_{n+1}-t_i$  დიფერენცირების ბიჯია).

(4) გამოსახულება შეიძლება გადავწეროთ შემდეგნაირად:

$$x_{n-j}^{i+1} = A_{n+1-j}(x_{n+1-j}^{i+2} - x_{n+1-j}^i) + B_{n+1-j}x_{n+1-j}^{i+1} \quad (5)$$

$$(i=0,1,2, \dots, N; j=1, 2, 3, \dots, n).$$

$A_{n+1-j}$  და  $B_{n+1-j}$  მუდმივები განისაზღვრება

შემდეგი ფორმულებით:

$$A_{n+1-j} = \frac{T_{n+1-j}}{2hk_{n+1-j}}, \quad B_{n+1-j} = \frac{1}{K_{n+1-j}}.$$

თუ კოეფიციენტები  $B_{n+1-j}=0$ , მაშინ (5) ალგორითმი ღებულობს შემდეგ სახეს:

$$x_{n-j}^{i+1} = A_{n+1-j}(x_{n+1-j}^{i+2} - x_{n+1-j}^i) \quad (6)$$

ეს შეესაბამება შემთხვევას, როდესაც მიმდევრობით არის შეერთებული  $n$  მაინტეგრირებელი რგოლი.

2. ახლა წარმოვიდგინოთ, რომ სისტემა არ შეიძლება განვაცალკოთ მიმდევრობით შეერთებულ აპერიოდულ და მაინტეგრირებელ რგოლებად და ის შედგება მიმდევრობით შეერთებული მეორე რიგის რგოლებისაგან (მახასიათებელი განტოლების ფესვები კომპლექსურია და აქვთ უარყოფითი ნამდვილი ნაწილი).

აქაც, ისევე, როგორც წინა შემთხვევაში, თითოეული რგოლის დიფერენციალურ განტოლებებში წარმოებულების შეცვლით მათი მიახლოებითი

$$\frac{dx}{dt} \approx \frac{1}{2h}(x^2 - x^0) \quad \text{და} \quad \frac{d^2x}{dt^2} \approx \frac{1}{h^2}(x^0 - 2x^1 + x^2) \quad \text{მნიშვნელობით, } x(t) \text{ და } u(t)\text{-ს გამოთვლის ალგორითმი მიიღებს შემდეგ სახეს:}$$

მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$x_{n-2}^{i+1} = A_n(x_n^i - 2x_n^{i+1} + x_n^{i+2}) +$$

$$+ B_n(x_n^{i+2} - x_n^i) + C_n x_n^{i+1},$$

$$x_{n-4}^{i+1} = A_{n-2}(x_{n-2}^i - 2x_{n-2}^{i+1} + x_{n-2}^{i+2}) +$$

$$+ B_{n-2}(x_{n-2}^{i+2} - x_{n-2}^i) + C_{n-2} x_{n-2}^{i+1},$$

-----

$$u = x_0^{i+1} = A_2(x_2^i - 2x_2^{i+1} + x_2^{i+2}) +$$

$$+ B_2(x_2^{i+2} - x_2^i) + C_2 x_2^{i+1}. \quad (7)$$

(7) გამოსახულება უფრო კომპაქტური ფორმით

შეიძლება ჩავწეროთ შემდეგნაირად:

$$x_{n-j}^{i+1} = A_{n+2-j}(x_{n+2-j}^i - 2x_{n+2-j}^{i+1} + x_{n+2-j}^{i+2}) +$$

$$+ B_{n+2-j}(x_{n+2-j}^{i+2} - x_{n+2-j}^i) + C_{n+2-j} x_{n+2-j}^{i+1}. \quad (8)$$

$$(i = 0,1,2, \dots, N; j = 2,4,6, \dots, n)$$

მუდმივები განისაზღვრება შემდეგი ფორმულებით:

$$A_{n+2-j} = \frac{a_{n+2-j}}{h^2 k_{n+2-j}},$$

$$B_{n+2-j} = \frac{b_{n+2-j}}{2hk_{n+2-j}},$$

$$C_{n+2-j} = \frac{c_{n+2-j}}{k_{n+2-1}}.$$

რაც შეეხება  $a, b, c$ , და  $k$  კოეფიციენტებს, ისინი ავტომატური მართვის სისტემაში შემავალი თითოეული მეორე რიგის რგოლის აღმწერი დიფერენციალური განტოლებების კოეფიციენტებია.

3. ვთქვათ,  $n$ -ური ხარისხის ამს შედგება  $q$  აპერიოდული რგოლისაგან,  $m$  მეორე ხარისხის რგოლისაგან და  $r$  მაინტეგრირებელი რგოლისაგან, ე.ი.

$n=q+m+r$  (მახასიათებელ განტოლებას აქვს უარყოფითი ნამდვილი ფესვები, უარყოფითი ნამდვილი ნაწილის მქონე კომპლექსური ფესვები და ნულოვანი ფესვები). ამ შეთხვევაში  $x(t)$  და  $u(t)$  ფუნქციების გამოთვლა ხდება (4, 5 და 6) ფორმულების თანამიმდევრობითი გამოყენებით.

მას შემდეგ, რაც გამოითვლება მართვის  $u(t)$  ფუნქცია,  $g(t)$  ფუნქციის საშუალებით (რომელიც მოცემულია წინასწარ) გამოითვლება უკუკავშირის რგოლის მახასიათებელი:

$$f_b(t) = g(t) - u(t) \quad (9)$$

$x_n(t)$ -სა და  $f_b(t)$ -ს შორის  $t$ -ს გამორიცხვით მივიღებთ უკუკავშირის რგოლის სტატიკურ მახასიათებელს.

$$f_b = \varphi(x_n). \quad (10)$$

ასეთნაირად მონახული უკუკავშირის რგოლის მახასიათებლის რეალიზაციის ერთ-ერთი გზა არის მისი წარმოდგენა „ელემენტარული“ ერთმნიშვნელოვანი არაწრფივობებით და იდეალური წრფივი რგოლით [7]. „ელემენტარულ“ არაწრფივობაში იგულისხმება გაჯერებული ტიპის არაწრფივობა არამრძობიარე ზონით და იდეალური რელეს მახასიათებლები. შესაბამისად, მართებულა შემდეგი ტოლობა:

$$\varphi(x) = kx + \sum_{i=1}^n \varphi_i(x), \quad (11)$$

სადაც  $i = 1, 2, \dots, n$ .

„ელემენტარული“ არაწრფივი ელემენტები რთული  $\varphi(x)$  არაწრფივი ელემენტის შეცვლისას შეერთდება ერთმანეთის პარალელურად. თუ  $\varphi(x)$  არაწრფივი ელემენტი წარმოდგენილია მდოვრე მრუდით, დასაწყისში ხდება მისი აპროქსიმაცია, შემდეგ

კი – გაშლა „ელემენტარულ“ არაწრფივ ელემენტებად.

სასურველი გარდამავალი პროცესი, რომლის არჩევა წინასწარ ხდება, უნდა აკმაყოფილებდეს შემდეგ მოთხოვნებს:

1. გარდამავალი  $x(t)$  პროცესი უნდა იყოს მკაცრად მონოტონური უწყვეტი ფუნქცია.

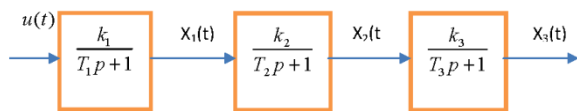
2. ვინაიდან უკუკავშირის რგოლის მახასიათებლის გაანგარიშება მიმდინარეობს ამს-ის ბოლო რგოლიდან პირველისაკენ, ამიტომ გარდამავალი  $x(t)$  პროცესი უნდა იყოს წარმოებადი ფუნქცია და უნდა ჰქონდეს  $n-1$  რიგის უწყვეტი წარმოებულები და შესაძლებელია აგრეთვე ჰქონდეს  $n$ -ური რიგის უბან-უბან უწყვეტი წარმოებული.

3.  $x(t)$  ფუნქცია აუცილებლად უნდა იყოს ანალიზური სახით მოცემული, რადგან გამოთვლები-სას გამოყენებულია მაღალი რიგის წარმოებულები, რომელთა გამოთვლა მოითხოვს დიდ სიზუსტეს.

4. უნდა იყოს მოცემული გარდამავალი პროცესის ვარიაციის შესაძლებლობა მასშტაბის კოეფიციენტის ცვლილებით და საჭიროების შემთხვევაში – ოპტიმალური გარდამავალი პროცესის მიღება, გარდამავალი პროცესის ხანგრძლივობის მიხედვით.

ზემოთ ჩამოთვლილი მოთხოვნების დაკმაყოფილება სულაც არ არის რთული, როგორც ეს ჩანს ერთი შეხედვით, ამისათვის განვიხილოთ ქვემოთ მოყვანილი კონკრეტული მაგალითი.

ვთქვათ, მოცემულია ავტომატური მართვის სისტემა, რომელიც შედგება მიმდევრობით შეერთებული სამი აპერიოდული რგოლისაგან (სურ. 3),



სურ. 3

სადაც  $T_1, T_2, T_3$  არის ( $T_1=0,5$  სეკ,  $T_2=0,2$  სეკ,  $T_3=0,1$  სეკ) თითოეული რგოლის დროის მუდმივა,  $k_1, k_2, k_3$  – ( $k_1=5, k_2=2,5, k_3=1,25$  თითოეული რგოლის გაძლიერების კოეფიციენტი),  $k=k_1.k_2.k_3$  – ( $k=15,625$ ) სისტემის გაძლიერების კოეფიციენტი,  $x_1(t), x_2(t), x_3(t)$  – თითოეული რგოლის გამოსავალი სიდიდე,  $u(t)$  – სისტემის მართვის ფუნქცია, დასაწყისში ის  $u(t)=1(t)$  ერთეულოვანი ფუნქციაა.

ეს სისტემა აღიწერება შემდეგი დიფერენციალური განტოლებით:

$$T_1 T_2 T_3 \frac{d^3 x_3(t)}{dt^3} + (T_1 T_2 + T_1 T_3 + T_2 T_3) \frac{d^2 x_3(t)}{dt^2} + (T_1 + T_2 + T_3) \frac{dx_3(t)}{dt} + x_3(t) = k_1 k_2 k_3 u(t), \quad (12)$$

რომლის ზოგად ამონახსნს ნულოვანი საწყისი პირობებით, ე.ი როცა  $t=0, x_3(t)=0, x_3'(t)=0, x_3''(t)=0$ , აქვს შემდეგი სახე:

$$x(t) = c_1 e^{-\alpha_1 t} + c_2 e^{-\alpha_2 t} + c_3 e^{-\alpha_3 t}, \quad (13)$$

ხოლო კერძო ამონახსნს ექნება სახე:

$$x_3(t) = ku(t)[1 - (c_1 e^{-\alpha_1 t} + c_2 e^{-\alpha_2 t} + c_3 e^{-\alpha_3 t})], \quad (14)$$

სადაც  $\alpha_1 = \frac{1}{T_1}, \alpha_2 = \frac{1}{T_2}, \alpha_3 = \frac{1}{T_3}, u(t) = 1(t)$ , ხოლო  $c_1, c_2, c_3$  ინტეგრირების მუდმივებია და გამოითვლება ფორმულებით:

$$c_1 = \frac{\alpha_2 \cdot \alpha_3}{(\alpha_2 - \alpha_1)(\alpha_3 - \alpha_1)} = \frac{T_1^2}{(T_1 - T_2)(T_1 - T_3)},$$

$$c_2 = \frac{\alpha_1 \cdot \alpha_3}{(\alpha_1 - \alpha_2)(\alpha_3 - \alpha_2)} = \frac{T_2^2}{(T_2 - T_1)(T_2 - T_3)},$$

$$c_3 = \frac{\alpha_1 \alpha_2}{(\alpha_1 - \alpha_3)(\alpha_2 - \alpha_3)} =$$

$$= \frac{T_3^2}{(T_3 - T_1)(T_3 - T_2)}. \quad (15)$$

შესაბამისი რიცხვითი მნიშვნელობების ჩასმის შემდეგ გვექნება:

$$c_1=2,08333, c_2=-1,33333, c_3=0,25000.$$

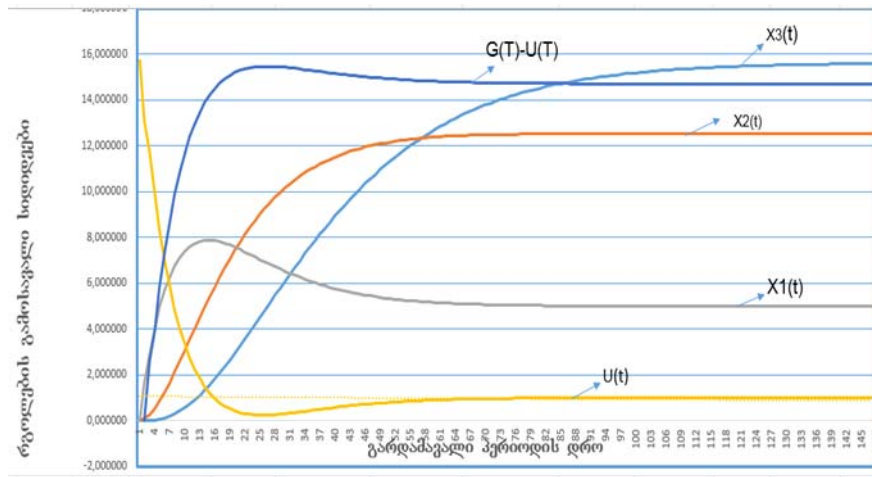
მაშასადამე, (14) ფორმულა შესაბამისი რიცხვითი მონაცემების გათვალისწინებით შეიძლება ჩაწეროს შემდეგნაირად:

$$x_3(t) = 15,625(1 - 2,08333e^{-2t} + 1,33333e^{-5t} - 0,25e^{-10t}). \quad (16)$$

ამ მაგალითის განხილვის შემდეგ შეიძლება გავაკეთოთ შემდეგი დასკვნა: საწყის სასურველ გარდამავალ პროცესად შეიძლება ავირჩიოთ (16) დიფერენციალური განტოლების ამონახსნი, ნახტომისებური ერთეულოვანი ზემოქმედების დროს, ნულოვანი საწყისი პირობების გათვალისწინებით. აღნიშნული ამონახსნი ყველა ზემოთ ჩამოთვლილ მოთხოვნას აკმაყოფილებს. თუ როგორ მივიღოთ საწყისი სასურველი გარდამავალი პროცესიდან ოპტიმალური, ამას ეძღვნება მოცემული სტატიის შემდეგი პარაგრაფები.

ქვემოთ, ცხრილში მოცემულია გამოთვლებისას მიღებული შედეგები, ხოლო მე-4 სურ-ზე ნაჩვენებია მათი გრაფიკული ინტერპრეტაცია.

	$\alpha=1/T$	T	ინტეგრირების მუდმივები	დრო-t	სახლი დრო	$X_3(t)$	$X_2(t)$	$X_1(t)$	U(t)	G(t)-U(t)	h	დროის მანძილის კოეფიციენტი $\sigma=m$	$K_p=(G(t)-U(t))/X_3(t)$	$\arctg(k_p)$
1	0,500000	2,00	4,16667	0,00	0,0000	0,000000	0,000000	0,000000			0,100	0,375	0,000	0
2	0,833333	1,20	-4,50000	0,10	0,0375	0,001272	0,082459	1,663237	15,700541	0,000000			0,000	0
3	1,250000	0,80	1,33333	0,20	0,0750	0,009544	0,254727	2,881480	13,089007	2,611535		9	273,634	1,567141826
4			1,00	0,30	0,1125	0,030228	0,516770	4,009370	11,742372	3,958169			130,944	1,563159644
5				0,40	0,1500	0,067269	0,848893	4,932824	9,905606	5,794936			86,146	1,559188615
6			2,5	0,50	0,1875	0,123401	1,234467	5,681691	8,331117	7,369424			59,719	1,554052884
7			-1,50	0,60	0,2250	0,200364	1,659503	6,281845	6,984348	8,716194			43,502	1,547812788
8			1	0,70	0,2625	0,299090	2,112287	6,755687	5,835101	9,865440			32,985	1,540488672
9	4,992188			0,80	0,3000	0,419858	2,583061	7,122588	4,857005	10,843536			25,827	1,532095987
10				0,90	0,3375	0,562431	3,063750	7,399278	4,027040	11,673501			20,755	1,522653433
11				1,00	0,3750	0,726163	3,547714	7,600185	3,325125	12,375417			17,042	1,512185635
12				1,10	0,4125	0,910101	4,029546	7,737732	2,733752	12,966789			14,248	1,500724195
13				1,20	0,4500	1,113054	4,504888	7,822598	2,237671	13,462871			12,095	1,488308102
14				1,30	0,4875	1,333668	4,970272	7,863948	1,823603	13,876939			10,405	1,474983781
15				1,40	0,5250	1,570476	5,422988	7,869626	1,479998	14,220544			9,055	1,460804899
16				1,50	0,5625	1,821943	5,860964	7,846336	1,196816	14,503725			7,961	1,445831962
17				1,60	0,6000	2,086501	6,282668	7,799791	0,965340	14,735202			7,062	1,430131731
18				1,70	0,6375	2,362583	6,687015	7,734845	0,778005	14,922537			6,316	1,413776469
19				1,80	0,6750	2,648643	7,073299	7,655610	0,628256	15,072285			5,691	1,396843042
20				1,90	0,7125	2,943175	7,441123	7,565558	0,510419	15,190122			5,161	1,379411897
21				2,00	0,7500	3,244727	7,790347	7,467606	0,419587	15,280955			4,709	1,361565948
22				2,10	0,7875	3,551913	8,121040	7,364195	0,351522	15,349020			4,321	1,343389403
23				2,20	0,8250	3,863420	8,433438	7,257359	0,302571	15,397971			3,986	1,324966579
24				2,30	0,8625	4,178011	8,727912	7,148776	0,269588	15,430953			3,693	1,306380725
25				2,40	0,9000	4,494533	9,004939	7,039827	0,249870	15,450671			3,438	1,287712915
26				2,50	0,9375	4,811195	9,265076	6,931633	0,241098	15,459443			3,213	1,269041023
27				2,60	0,9750	5,129167	9,508940	6,825097	0,241287	15,459255			3,014	1,250438831
28				2,70	1,0125	5,445384	9,737189	6,720934	0,248740	15,451801			2,838	1,231975262
29				2,80	1,0500	5,759739	9,950511	6,619701	0,262013	15,438528			2,680	1,213713789
30				2,90	1,0875	6,071484	10,149610	6,521822	0,279879	15,420662			2,540	1,195711995
31				3,00	1,1250	6,379945	10,335195	6,427610	0,301299	15,399242			2,414	1,178021292
32				3,10	1,1625	6,684520	10,507975	6,337281	0,325396	15,375145			2,300	1,160686801
33				3,20	1,2000	6,984675	10,668647	6,250974	0,351433	15,349109			2,198	1,143747367
34				3,30	1,2375	7,279939	10,817899	6,168763	0,378794	15,321748			2,105	1,127235695
35				3,40	1,2750	7,569903	10,956398	6,090669	0,406967	15,293575			2,020	1,111178586
36				3,50	1,3125	7,854213	11,084791	6,016669	0,435528	15,265013			1,944	1,095597262
37				3,60	1,3500	8,132569	11,203703	5,946705	0,464131	15,236410			1,874	1,080507744
38				3,70	1,3875	8,404719	11,313732	5,880692	0,492494	15,208048			1,809	1,065921275
39				3,80	1,4250	8,670455	11,415453	5,818522	0,520390	15,180152			1,751	1,05184477
40				3,90	1,4625	8,929612	11,509410	5,760070	0,547640	15,152902			1,697	1,038281269
41				4,00	1,5000	9,182063	11,596125	5,705202	0,574105	15,126436			1,647	1,025230394
42				4,10	1,5375	9,427715	11,676090	5,653770	0,599680	15,100862			1,602	1,012688786
43				4,20	1,5750	9,666507	11,749771	5,605625	0,624287	15,076254			1,560	1,000650525
44				4,30	1,6125	9,898406	11,817609	5,560613	0,647874	15,052668			1,521	0,989107527
45				4,40	1,6500	10,123407	11,880017	5,518578	0,670406	15,030135			1,485	0,978049899
46				4,50	1,6875	10,341526	11,937385	5,479367	0,691868	15,008674			1,451	0,967466277
47				4,60	1,7250	10,552801	11,990081	5,442827	0,712255	14,988287			1,420	0,957344118
48				4,70	1,7625	10,757289	12,038447	5,408809	0,731574	14,968967			1,392	0,94766997
49				4,80	1,8000	10,955061	12,082805	5,377167	0,749842	14,950699			1,365	0,938429704
50				4,90	1,8375	11,146205	12,123454	5,347761	0,767083	14,933459			1,340	0,929608719
51				5,00	1,8750	11,330821	12,160676	5,320454	0,783323	14,917218			1,317	0,921192117
52				5,10	1,9125	11,509020	12,194733	5,295117	0,798597	14,901944			1,295	0,913164858
53				5,20	1,9500	11,680921	12,225868	5,271624	0,812940	14,887601			1,275	0,905511884
54				5,30	1,9875	11,846653	12,254307	5,249857	0,826390	14,874151			1,256	0,898218232
55				5,40	2,0250	12,006349	12,280264	5,229703	0,838986	14,861555			1,238	0,891269116
56				5,50	2,0625	12,160151	12,303932	5,211053	0,850768	14,849773			1,221	0,884650007
57				5,60	2,1000	12,308202	12,325495	5,193807	0,861777	14,838764			1,206	0,878346686
58				5,70	2,1375	12,450651	12,345121	5,177869	0,872053	14,828489			1,191	0,872345292
59				5,80	2,1750	12,587647	12,362967	5,163147	0,881634	14,818907			1,177	0,866632359
60				5,90	2,2125	12,719344	12,379177	5,149557	0,890561	14,809980			1,164	0,86119484
61				6,00	2,2500	12,845894	12,393887	5,137019	0,898870	14,801672			1,152	0,856020124
62				6,10	2,2875	12,967450	12,407219	5,125457	0,906598	14,793944			1,141	0,851096054
63				6,20	2,3250	13,084166	12,419288	5,114801	0,9133780	14,786762			1,130	0,846410925
64				6,30	2,3625	13,196195	12,430201	5,104986	0,920449	14,780092			1,120	0,841953491



სურ. 4

**3. მასშტაბის კოეფიციენტის ოპტიმალური მნიშვნელობის განსაზღვრის იტერაციული მეთოდი**

მასშტაბის კოეფიციენტის ვარირებით შესაძლებელია არჩეული გარდამავალი პროცესის ხანგრძლივობის ცვლილება, გარდამავალი პროცესის ფორმის (ხასიათის) შეუცვლელად.

მასშტაბის კოეფიციენტი არის რიცხვი, რომელიც გვიჩვენებს, თუ რამდენჯერ არის შესაძლებელი მოცემული გარდამავალი პროცესის შეყურება ან გაწევა ისე, რომ არ დაირღვეს  $u(t) \leq u_{max}$  პირობა. თავდაპირველად იგულისხმება, რომ მასშტაბის კოეფიციენტი  $m=1$ , თუ ასეთ შემთხვევაში დავიწყებთ უკუგათვლებს, მაშინ მივიღებთ მართვას, რომელიც ერთეულოვანი ფუნქციის ტოლი იქნება. ბუნებრივია, მართვის ფუნქციაზე დადებულია შეზღუდვა  $u(t) = u_{max}$ , რაც გამოწვეულია მოწ-

ვობილობის ტექნიკური მონაცემებით (გადახურება და სხვა).

მასშტაბის კოეფიციენტი გამოითვლება შემდეგი იტერაციული ალგორითმით:

$$m_{i+1} = m_i - \gamma_{i+1} \theta, \quad (17)$$

სადაც  $m$ -ის საწყისი მნიშვნელობა 1-ის ტოლია  $i$  იტერაციის ნომერია,  $\gamma$  – ბიჯი. ბიჯი იცვლება შემდეგნაირად:

$$\gamma_{i+1} = \begin{cases} \gamma_i, & \text{when } \theta = 1 \\ \frac{\gamma_i}{2}, & \text{when } \theta = -1 \end{cases} \quad (18)$$

$\gamma_0$  ბიჯის საწყისი მნიშვნელობაა და მოცემულია ნებისმიერი გონივრული მოსაზრებიდან გამომდინარე, ხოლო  $\theta$  არის ფუნქცია, რომელიც აკმაყოფილებს პირობებს:

$$\theta = \begin{cases} 1, & \text{when } u(t) \leq u_{max} \\ 0, & \text{when } u(t) = u_{max} \\ -1, & \text{when } u(t) \geq u_{max} \end{cases} \quad (19)$$



ამ გზით მიღებული მასშტაბის კოეფიციენტთა სიმრავლე წარმოქმნის ურთიერთჩაღაგებულ სეგმენტთა სიმრავლეს და მათემატიკური ანალიზის კურსიდან [6] ცნობილია, რომ ამ სეგმენტებს აქვს ერთი საერთო თავმოყრის წერტილი, ეს იქნება იმ შემთხვევაში, როცა  $u(t)=u_{max}$ , საინჟინრო პრაქტიკაში მიღებული სიზუსტით, ამრიგად, შემოთავაზებული იტერაციული მეთოდი არის კრებადი.

მასშტაბის  $m$  კოეფიციენტის გათვალისწინებით უკუმიმართულებით გაანგარიშების (5) ალგორითმის წარმოებულების წინ მდგარი  $A_{n+1-j}$  კოეფიციენტები მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$A_{n+1-j} = \frac{T_{n+1-j}}{2mhk_{n+1-j}}. \quad (20)$$

ყოველი იტერაციის შემდეგ (20)-ის გათვალისწინებით (5) ალგორითმით გამოითვლება  $u(t)$ -ს მნიშვნელობა და შედარდება  $u_{max}$ -ს. მათი ტოლობის შემთხვევაში გამოთვლითი პროცესი ჩერდება, ხოლო წინააღმდეგ შემთხვევაში პროცესი გრძელდება თანახმად (17, 18, 19) ალგორითმისა.

#### 4. სისტემის მდგრადობის გამოკვლევა

უკუკავშირის რგოლის მახასიათებლის განსაზღვრის შემდეგ აუცილებელია შემოწმდეს, იწუნებს თუ არა სისტემა აბსოლუტურ მდგრადობას, როდესაც იგი შეიკვრება უკუკავშირის რგოლით. აგრეთვე საჭიროა დადგინდეს არაწრფივი რგოლის მახასიათებლის განთავსების სექტორი  $[0, k]$ . ასევე მნიშვნელოვანია დადგინდეს იმ სისტემათა კლასი, რომელთა სინთეზის დროს ეფექტურია უკუკავშირის რგოლის მახასიათებლის განსაზღვრის ზემოთ აღნიშნული მეთოდის გამოყენება. ამ პრობლემის გადაწყვეტას მიეძღვნა მრავალი

ნაშრომი, მათ შორის განსაკუთრებულად აღნიშვნის ღირსია [7,8].

პრაქტიკულად, მნიშვნელოვანი ამოცანა არის, ერთი მხრივ, ისეთი კლასის სისტემების დადგენა და გამოყოფა, რომელთა აბსოლუტური მდგრადობის გამოკვლევა შესაძლებელია წრფივი კრიტერიუმის, კერძოდ გურვიცის კრიტერიუმის საშუალებით, ხოლო მეორე მხრივ, ასეთი სისტემების შეკვრამ არაწრფივი უკუკავშირის რგოლით არ უნდა შეამციროს სისტემის მდგრადობის არე.

ასეთ კლასს შეიძლება მივაკუთვნოთ ერთკონტურიანი სისტემები, რომლებიც არ შეიცავს მაინტეგრირებელ რგოლს ან შეიცავს მხოლოდ ერთ მაინტეგრირებელ რგოლს. სისტემები შეკრულია არაწრფივი უკუკავშირით და მათი გადაცემის ფუნქციები აკმაყოფილებს შემდეგ პირობებს:

ა) გადაცემის ფუნქციის გამოსახულებაში არ შედის ნული.

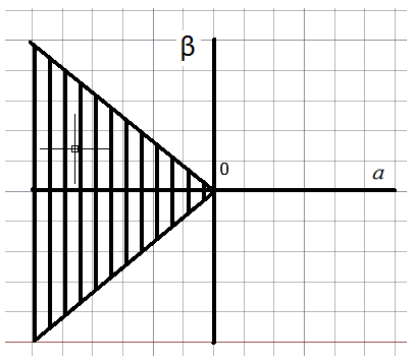
ბ) ყველა პოლუსი განთავსებულია შიგნით ან საზღვარზე, რომელიც შემოსაზღვრულია კოორდინატთა კუთხის ბისექტრისით  $P$  ნახევარსიბრტყეზე (დაშტრიხული არე სურ. 5, ა).

ამრიგად, განხილული სისტემები შეიცავს ნებისმიერი რაოდენობის მიმდევრობით შეერთებულ აპერიოდულ რგოლებს და რხევით რგოლებს, რომელთა რხევის ჩაქრობის კოეფიციენტი  $\zeta \geq 0,707$ .

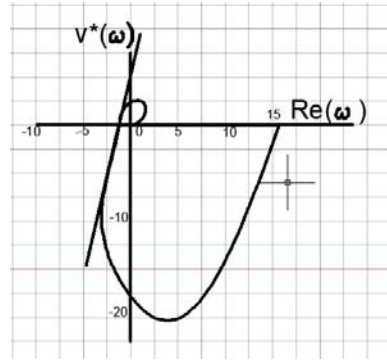
მნიშვნელოვანია ის ფაქტიც, რომ ასეთი სისტემებისათვის გადაცემის კოეფიციენტის ზღვრული მნიშვნელობა, განსაზღვრული გურვიცის კრიტერიუმის მიხედვით, თანხვედრა კოეფიციენტის მნიშვნელობას, რომელიც განსაზღვრულია პოპოვის კრიტერიუმის მიხედვით. პირობითად, სისტემას, რომელიც მიეკუთვნება ამ კლასს, ვუწოდოთ  $I$

კლასის სისტემა. I კლასის სისტემისათვის  $W^*(j\omega)$  სიხშირულ მახასიათებელს ახასიათებს გამოზნეილობა მარცხენა ნახევარსიბრტყეში (სურ. 5, ბ).

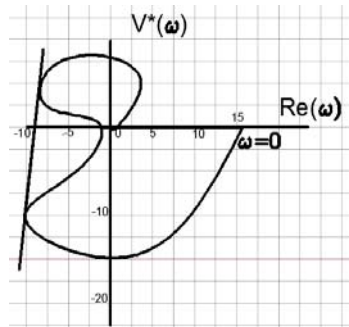
თუ ობიექტის გადაცემის ფუნქცია მნიშვნელში შეიცავს კომპლექსურ ფესვებს, რომელთა  $\zeta < 0,707$  ან მრიცხველში შეიცავს p-ს (ასეთი სისტემა პრაქტიკაში გვხვდება ძალიან ხშირად), მაშინ პოპოვის კრიტერიუმით განსაზღვრული არაწრფივი მახასიათებლის განთავსების სექტორი არ ემთხვევა გურვიცის კრიტერიუმის მიხედვით მიღებულ კოეფიციენტს, ე.ი.  $k_{pop} < k_{gur}$ , მაშინ სისტემის აბსოლუტურ მდგრადობაზე მსჯელობა წრფივი კრიტერიუმების მიხედვით არ შეიძლება, ამიტომ მიზანშეწონილია ვისარგებლოთ პოპოვის კრიტერიუმით. სისტემებს, რომლებიც მიეკუთვნება ასეთ კლასს, ვუწოდოთ II კლასის სისტემები. II კლასის სისტემებისათვის დამახასიათებელია მოდიფიცირებული  $W^*(j\omega)$  ამპლიტუდურ-სიხშირული ფაზური მახასიათებლის გამოზნეილობის დარღვევა მარცხენა სიბრტყეში (სურ. 5, ბ).



სურ. 5, ა



სურ. 5, ბ



სურ. 5, გ

ახლა მოკლედ მიმოვიხილოთ რუმინელი მეცნიერის, ვ.მ. პოპოვის კრიტერიუმი. პირველ რიგში უნდა აღინიშნოს, რომ ეს არის საკმარისი სიხშირული კრიტერიუმი არაწრფივი სისტემის აბსოლუტური მდგრადობის დასადგენად. კრიტერიუმი შეიძლება ჩამოვყალიბოთ შემდეგნაირად: თუ შეკრული ავტომატური მართვის სისტემა შედგება მდგრადი წრფივი ნაწილისაგან, რომლის გადაცემის ფუნქციაა  $W(p)$  (რომლის ყველა პოლუსი (ფესვები) განთავსებულია მარცხენა ნახევარსიბრტყეში) და ცალსახა არაწრფივი მახასიათებლის –  $\varphi(x)$  -ისაგან, რომელიც განთავსებული  $[0, k]$  სექტორში, მაშინ სისტემის აბსოლუტური მდგრადობისათვის აუცილებელი და საკმარისია შესრულდეს უტოლობა:  $\beta$

$$Re[1 + jqW^*(j\omega)] + \frac{1}{k} \geq 0, \quad (21)$$

სადაც  $q$  ნებისმიერი ნამდვილი რიცხვია.

$$0 \leq \frac{\varphi(x)}{y} = k \leq k_b, \quad (22)$$

ვ.მ. პოპოვის კრიტერიუმის მიხედვით არაწრფივი სისტემის აბსოლუტური მდგრადობის გამოსაკვლევად აუცილებელია სახემეცვლილი  $W^*(j\omega) = U^*(\omega) + jV^*(\omega)$  სიხშირული მახასიათებლის აგება, რომელიც  $W(j\omega)$ -სთან დაკავშირებულია შემდეგი გამოსახულებით:  $U^*(\omega) = U(\omega)$  და  $V^*(\omega) = \omega V(\omega)$  და ამის მიხედვით დადგინდეს გადაცემის კოეფიციენტის ზღვრული მნიშვნელობა.

ვ.მ. პოპოვის კრიტერიუმის გეომეტრიული ინტერპრეტაცია შეიძლება ჩამოვყალიბოთ შემდეგნაირად: იმისათვის, რომ სისტემა იყოს აბსოლუტურად მდგრადი  $[0, k]$  სექტორში, საკმარისია კომპლექსურ სიბრტყეზე ისეთი წრფის შერთვის შესაძლებლობა, რომელიც გადის  $(\frac{1}{k}, j_0)$  წერტილზე ისეთნაირად, რომ  $W^*(j\omega)$  ვექტორის ჰოდოგრაფი იყოს განთავსებული ამ წრფის მარჯვნივ.

თუ შევაჯამებთ ზემოთ აღნიშნულს, საბოლოოდ შეიძლება ჩამოვყალიბოთ ზოგადად მოქმედების ალგორითმი:

- 1) პირველ რიგში უნდა განისაზღვროს რომელ კლასს მიეკუთვნება სისტემის ობიექტი.
- 2) ირჩევენ გადაცემის კოეფიციენტის ზღვრული მნიშვნელობის განსაზღვრის მეთოდს.
- 3) წინა პარაგრაფში აღწერილი მეთოდის გამოყენებით განსაზღვრავენ უკუკავშირის რგოლის  $y = \varphi(x)$  მახასიათებელს, რომელიც უზრუნველყოფს მოცემულ გარდამავალ პროცესს.
- 4) განსაზღვრავენ არაწრფივი რგოლის მახასიათებლის განთავსების სექტორს

სადაც  $k_b$  არის ზღვრული მნიშვნელობა.

ამ პარაგრაფის საბოლოო დასკვნა შეიძლება გაკეთდეს შემდეგნაირად: თუ არაწრფივი რგოლის მახასიათებელი აკმაყოფილებს (22) პირობას, მაშინ არაწრფივი სისტემის მდგრადობა იქნება უზრუნველყოფილი, წინააღმდეგ შემთხვევაში მდგრადი სისტემის მისაღებად საჭიროა წინასწარ მოცემული გარდამავალი პროცესის სახის ცვლილება. რასაც ეძღვნება შემდეგი პარაგრაფი.

### 5. ოპტიმალური გარდამავალი პროცესის არჩევა არაწრფივი უკუკავშირის მქონე სისტემაში

ჩამოვყალიბოთ ამოცანა შემდეგნაირად: ავტომატური მართვის სისტემა შედგება წრფივი ნაწილისაგან, რომლის გადაცემის ფუნქციაა  $W(p)$  და არაწრფივი უკუკავშირის რგოლისაგან. მოითხოვება, არაწრფივ  $\varphi(x)$  ფუნქციათა კლასიდან, რომელიც აკმაყოფილებს პოპოვის თეორემის მოთხოვნებს სისტემის აბსოლუტურ მდგრადობასთან მიმართებით და იმავდროულად კმაყოფილდება სისტემის მართვის სიგნალზე დადებული  $u(t) \leq u_{max}$  შეზღუდვაც, ავარჩიოთ არაწრფივი უკუკავშირის რგოლის  $\varphi(x)$  ფუნქცია ოპტიმალური შემდეგი მოსაზრებით: გარდამავალი პროცესი შეკრულ სისტემაში  $x_{cs}(t) = x_{os}(\frac{1}{m})$  ერთეულოვანი შესავალი სიგნალის ზემოქმედებისას, სადაც  $m = \max_{i \in N}(m_i)$ ,  $x_{os}(t)$  არის წრფივი ნაწილის რეაქცია ნახტომისეზური შესავალი სიგნალის ზემოქმედებისას.  $m$

არის დროის მასშტაბის კოეფიციენტი. იგულისხმება, რომ ფესვები ნამდვილი და უარყოფითია.

**თეორემა 1.** თუ სასურველი გარდამავალი პროცესი არის მკაცრად მონოტონური უწყვეტი ფუნქცია, რომელსაც აქვს  $(n-1)$  რიგის უწყვეტი წარმოებული და უბან-უბან უწყვეტი  $n$ -ური რიგის წარმოებული, მაშინ უინერციო არაწრფივი უკუკავშირის რგოლის  $\varphi(x_d)$  სტატიკური მახასიათებელი იქნება ცალსახა ფუნქცია.

დამტკიცება: ვთქვათ, ობიექტი აღიწერება წრფივი დიფერენციალური განტოლებით, რომელსაც აქვს სახე:

$$\sum_{i=0}^n a_i x^{(i)}(t) = u(t), \quad (23)$$

სადაც  $a_i$  დიფერენციალური განტოლების კოეფიციენტი.

რადგანაც სასურველი გარდამავალი პროცესი  $x_d(t)$  უნდა აკმაყოფილებდეს (23) დიფერენციალურ განტოლებას, ამიტომ ბუნებრივია მოთხოვნა  $x_d(t)$  ფუნქციის წარმოებულების არსებობის შესახებ.

თუ მოცემულია  $x_d(t)$  ფუნქცია, მაშინ მისი ჩასმა (23) განტოლებაში იძლევა შესაძლებლობას განისაზღვროს  $u(t)$  მართვის ფუნქცია, ხოლო უკუკავშირის რგოლის  $f_b(t)$  ფუნქცია, შეიძლება ავადგოთ თანახმად (9) ფორმულისა :

$$f_b(t) = F(t) = g(t) - u(t), \quad (24)$$

სადაც  $g(t) = u(t) = \text{const.}$

იმის გამო, რომ  $x_d(t)$  არის მკაცრად მონოტონური ფუნქცია, შეიძლება ავადგოთ მისი შებრუნებული  $t = T(x_d)$  ფუნქცია. ამრიგად, გვაქვს შესაძ-

ლებლობა გამოვსახოთ  $t$  პარამეტრი  $x_d$  სიდიდის საშუალებით. თუ ჩავსვამთ  $t$ -ს მნიშვნელობას (24) ფორმულაში, მივიღებთ:

$$f_b = F[T(x_d)]. \quad (25)$$

უკანასკნელი გამოსახულება შესაძლებლობას იძლევა დავადგინოთ, რომ უკუკავშირის რგოლის სტატიკურ მახასიათებელს აქვს სახე:

$$\varphi(x_d) = F[T(x_d)]. \quad (26)$$

რადგან  $F(t)$  აგების თანახმად არის თავისი არგუმენტის მიმართ ცალსახა ფუნქცია, ხოლო  $t = T(x_d(t))$  არის ურთიერთცალსახა ფუნქცია, მაშინ მათი კომპოზიცია, ე.ი.  $\varphi(x_d)$  იქნება ცალსახა. ამრიგად, თეორემა 1 დამტკიცებულია.

შემდეგ ვირჩევთ გარდამავალ პროცესს, რომელიც აკმაყოფილებს თეორემა 1-ის მოთხოვნებს. ერთ-ერთი ასეთი გარდამავალი პროცესი არის გარდამავალი ფუნქცია, რომელიც მიიღება დიფერენციალური 23-ე განტოლების ამოხსნით, როდესაც მისი მარჯვენა მხარე ტოლია მუდმივი სიდიდის, ნულოვანი საწყისი პირობების დროს. ამ პროცესს ვუწოდოთ ნომინალური და აღვნიშნოთ  $x_N(t)$ -თი.

გამოვიყენოთ მასშტაბის  $m$  კოეფიციენტი, რომელიც გვიჩვენებს თუ რამდენჯერ უნდა შვეყროსოთ ნომინალური გარდამავალი ფუნქცია, რომ არ დაირღვეს  $u(t) \leq u_{max}$  და  $k \leq k_{pop}$  პირობები. ამრიგად, გვექნება გარდამავალი პროცესი, რომელიც მოითხოვს რეალიზაციას. გარკვეული გამოთვლების (5,17,20 ფორმულებით) შემდეგ განვსაზღვრავთ  $\varphi(x_d)/x_d = k_\phi$  შეფარდებას. თუ სრულდება  $k_\phi < k_{pop}$  პირობა, მაშინ ამოცანა იქნება ამოხსნილი, ხო-

ლო თუ  $k_\varphi > k_{pop}$ , ნიშნავს, რომ ამ მოცემული ობიექტისათვის ვერ იქნება უზრუნველყოფილი მოცემული გარდამავალი პროცესი. ასეთ შემთხვევაში ამოცანა დაისმება შემდეგნაირად: როგორი სახის გარდამავალი პროცესის განხორციელება შეიძლება მოცემული ობიექტისათვის, ისეთნაირად, რომ არ დაირღვეს ზემოთ დასახელებული პირობები.

ამ ამოცანის ამოსახსნელად საჭიროა განვხიროთ ციელოთ მოცემული გარდამავალი პროცესის სახის ცვლილება დროის ღერძის გასწვრივ. სასურველ გარდამავალ პროცესს შეუძლია მიიღოს სხვადასხვა სახე მასშტაბის კოეფიციენტის ცვლილების მიხედვით; ის შეიყურსება ან გაიჭიმება დროის ღერძის გასწვრივ, თავისი ფორმის შენარჩუნებით (როცა  $m=1$ , მაშინ  $x_d(t) \rightarrow x_N(t)$ ). ნათელია, რომ მართვა, რომელიც უზრუნველყოფს ასეთი პროცესების რეალიზაციას, იქნება სხვადასხვა.

**თეორემა 2.** მოცემული გარდამავალი პროცესიდან ( $x_N(t)$  კლასიდან), რომელიც აკმაყოფილებს თეორემა 1-ის მოთხოვნებს, დროის მასშტაბის კოეფიციენტ  $m$ -ის ცვლილებით ყოველთვის შეიძლება მივიღოთ ისეთი გარდამავალი პროცესი, რომელიც განხორციელდება უინერციო უკუკავშირის რგოლით, რომლის სტატიკური მახასიათებელი იქნება განთავსებული პოპოვის სექტორში  $[0, k]$ .

დამტკიცება: თეორემის მართებულობის დასამტკიცებლად საკმარისია ვაჩვენოთ, რომ როცა  $m \rightarrow 1$ , ფარდობა  $\varphi(x_m(t))/x_m(t) \rightarrow 0$ .

ვთქვათ, მოცემულია ორი ფუნქცია  $x_N(mt)$  და  $x_m(t)$ , რომლებიც ერთმანეთისაგან განსხვავდებიან მხოლოდ მასშტაბის კოეფიციენტით და აკმაყოფილებენ დიფერენციალურ განტოლებებს:

როცა

$$m = 1, a_n x_N^{(n)}(t) + a_{n-1} x_N^{(n-1)}(t) + \dots + a_1 x_N'(t) + a_0 x_N(t) = g_N \quad (27)$$

როცა

$$m > 1, a_n x_m^{(n)}(t) + a_{n-1} x_m^{(n-1)}(t) + \dots + a_1 x_m'(t) + a_0 x_m(t) = u_m(t). \quad (28)$$

იმის გამო, რომ  $x_N(mt)$  და  $x_m(t)$  ერთმანეთისაგან განსხვავდება მხოლოდ მასშტაბის კოეფიციენტით, მათ მნიშვნელობებსა და წარმოებულებს შორის არსებობს შემდეგი კავშირი:

$$x_m(t) = x_N(mt), x_m'(t) = m x_N'(mt), \dots x_m^{(n)}(t) = m^n x_N^{(n)}(mt). \quad (29)$$

$$\text{გარდა ამისა, } \left\{ \left| x_m^{(i)}(t) \right| \right\} < C = \text{const.}$$

(29) გამოსახულების ჩასმა (28) გამოსახულებაში, გვაძლევს

$$m^n a_n x_N^{(n)}(mt) + m^{(n-1)} a_{n-1} x_N^{(n-1)}(mt) + \dots + m a_1 x_N'(mt) + a_0 x_N(mt) = u_m(t) \quad (30)$$

თუ (30) გამოსახულებას გამოვაკლებთ (27) გამოსახულებას, გვექნება:

$$a_n [m^n x_N^{(n)}(mt) - x_N^{(n)}(t)] + a_{n-1} [m^{n-1} x_N^{(n-1)}(mt) - x_N^{(n-1)}(t)] + \dots + a_0 [m^n x_N^{(n)}(mt) - x_N(t)] = u_m(t) - g_N \quad (31)$$

ახლა შევავსოთ (31) გამოსახულების წევრები, რომლებიც კვადრატულ ფრჩხილებშია მოთავსებული. ამისათვის საჭიროა ვაჩვენოთ, რომ როცა

$$m \rightarrow 1, \text{ მაშინ } \frac{d^i}{dt^i} x_m(t) \text{ თანაბრად მიისწრავის } \frac{d^i}{dt^i} x_N(t).$$

განვიხილოთ შემდეგი სხვაობის აბსოლუტური მნიშვნელობა

$$\left| m^i x_N^{(i)}(mt) - x_N^{(i)}(t) \right| \leq \int_t^{mt} |x_N^{(i+1)}(\tau)| d\tau \leq C|m-1|t$$

$$i = 0, 1, 2, \dots, n \quad (32)$$

(აქ მოითხოვება  $x_m(t)$  ფუნქციის უწყვეტი – დიფერენცირებადი  $n$ -ური რიგის წარმოებულის არსებობა).

32-ე გამოსახულებაში შეიძლება შემოვიფარგლოთ  $t_N(t)$ -თი, რადგანაც ყველა  $t > t_N$  წარმოებულის მნიშვნელობა 0-ის ტოლია.

საბოლოოდ გვაქვს:

$$\left| m^i x_N^{(i)}(mt) - x_N^{(i)}(t) \right| \leq C|m^i - 1| + m^i C|m-1|t_N$$

$$i = 0, 1, 2, \dots, n \quad (33)$$

უკანასკნელი გამოსახულებიდან შეიძლება გავაკეთოთ შემდეგი დასკვნა, რომ როცა  $m \rightarrow 1$ , მაშინ  $\frac{d^i}{dt^i} x_m(t) \rightarrow \frac{d^i}{dt^i} x_N(t)$  თანაბრად, აგრეთვე,  $m \rightarrow 1$ ,  $u_m(t) - g_N \rightarrow 0$ , ე.ი, ეს კი ნიშნავს, რომ  $u_m(t)$ -ს თითოეული მნიშვნელობა მისწრაფის  $g_N$ -სკენ თანაბრად.

ვთქვათ,  $F_m(t) = g_m - u_m(t)$ .

გავყოთ უკანასკნელი გამოსახულების ორივე ნაწილი  $x_m(t)$  -ზე, მივიღებთ:

$$\frac{F_m(t)}{x_m(t)} = \frac{g_m - u_m(t)}{x_m(t)} = \frac{\varphi_m(x_m)}{x_m}, \quad (34)$$

სადაც  $\varphi_m(x)$  არის შესაბამისი უკუკავშირის რგოლის სტატიკური მახასიათებელი.

იმასთან დაკავშირებით, რომ  $u_m(t) \rightarrow g_N$  და  $g_m = u_m(0) - g_N$  და, შესაბამისად,  $\varphi_m(x) = F_m(t) \rightarrow 0$ , საბოლოოდ გვექნება  $\frac{\varphi_m(x_m)}{x_m} \rightarrow 0$ ,

როდესაც  $m \rightarrow 1$ . აქედან გამომდინარეობს დასკვნა:  $m$ -ის რომელიღაც მნიშვნელობიდან დაწყებული, მისი ყველა დანარჩენი მნიშვნელობისათვის უკუკავშირის რგოლის სტატიკური მახასიათებელი იქნება განთავსებული პოპოვის  $[0, k]$  სექტორში, რაც უნდა დაგვემტკიცებინა.

ამრიგად, მოყვანილი თეორემები იძლევა საშუალებას გარკვეული კლასის ობიექტებისათვის ვიპოვოთ ოპტიმალური გარდამავალი პროცესი  $x_N(t)$  კლასიდან სწრაფქმედების თვალსაზრისით, რომელიც ხორციელდება უინერციო არაწრფივი უკუკავშირის რგოლით, რომელსაც აქვს ცალსახა სტატიკური მახასიათებელი, ამასთან ერთად სისტემა არის აბსოლუტურად მდგრადი.

### დასკვნა

ნაშრომში მოცემულია ავტომატური მართვის სისტემის უკუკავშირის რგოლის მახასიათებლის განსაზღვრის ახალი მეთოდი, რომელიც უზრუნველყოფს სასურველი საწყისი გარდამავალი პროცესის მიღებას. მეთოდის თავისებურება არის ის, რომ ობიექტის პარამეტრები არ იცვლება სინთეზის დროს და მას ემატება ფუნქციური გარდამქმნელის რგოლი, რომელიც უზრუნველყოფს სინთეზის შედეგად მიღებულ არაწრფივ დამოკიდებულებას სისტემის გარდამავალ და უკუკავშირის რგოლის გამოსავალ ფუნქციებს შორის.

დადგენილია პირობები, რომელსაც უნდა აკმაყოფილებდეს წინასწარ არჩეული საწყისი გარდამავალი ფუნქცია, რომ ის იყოს რეალიზებადი მოცემული ობიექტის შემთხვევაში.

გამოყოფილია ავტომატური მართვის სისტემათა კლასი, რომელთა სინთეზის დროს ეფექტურია შემოთავაზებული მეთოდის გამოყენება.

დამუშავებულია მასშტაბის კოეფიციენტის განგარიშების იტერაციული ალგორითმი, რომლის ცვლილება უზრუნველყოფს სასურველი საწყისი გარდამავალი პროცესის მოდიფიცირების გზით ოპტიმალური გარდამავალი პროცესის მიღებას, სწრაფქმედების მიხედვით.

ნაშრომში მოცემული თეორემებით მტკიცდება, რომ განსაზღვრული კლასის ობიექტებისათვის შესაძლებელია მოიძებნოს ოპტიმალური გარდამავალი პროცესი, რომელიც შეიძლება განხორციელდეს ცალსახა სტატიკური მახასიათებლის მქონე უინერციო არაწრფივი უკუკავშირის რგოლის საშუალებით და იმავდროულად დაცული იყოს არაწრფივი სისტემის აბსოლუტური მდგრადობა.

### ლიტერატურა

1. Kim D.P. Algebraic methods of automatic control system synthesis. Moscow: "Fizmatlit". 2014. (in Russian).
2. Gaiduk A.R. Theory and methods of analytical synthesis of automatic control systems. Moscow: "Fizmatlit". 2012. (in Russian).
3. Gaiduk A. R., Medvedev M.Yu., Plaksienko E.A. Analytical design of automation control systems. 2017. (in Russian).
4. Timofeev V.A. Engineering methods of calculation and exploring of dynamical systems. Leningrad. 1975. (in Russian).
5. Chichinadze V.K. About one method of improvement of properties of some systems of automatic control. Automatics and telemechanics. XVI. 1955, 150-157 pp. (in Georgian).
6. Gvasalia B.A. About one method of synthesis of automatic control systems. 1972, 413-416 pp. (in Georgian).
7. Methods of synthesis of nonlinear systems of automatic control. Edited by S.M. Fedorova. M.: Science. 1986. (in Russian).
8. Smolnikov L. P. On a class of systems that are absolutely stable in the Hurwitz angle. "Izvestia LETI". Issue 73. Part II. 1968, 118-135 pp. (in Russian).
9. Naumov B. N. Theory of non-linear automatic systems. Frequency methods. M.: "Nauka". 1972, 544 p. (in Russian).

UDC 513.21

SCOPUS CODE 1703

## A numerical method for determining the characteristics of a nonlinear feedback of an automatic control system

**B. Gvasalia** Department of Computer-aided Design in Civil Engineering, Georgian Technical University, 68<sup>b</sup> M. Kostava str, Tbilisi, 0175, Georgia  
E-mail: gvasbadal@gmail.com

**T. Kvachadze** Address. Department of Computer-aided Design in Civil Engineering, Georgian Technical University, 68<sup>b</sup> M. Kostava str, Tbilisi, 0175, Georgia  
E-mail: t.kvachadze@gtu.ge

### Reviewers:

**O. Kotrikadze**, Professor, Faculty of Informatics and Control Systems, GTU

E-mail: omari21@gmail.com

**M. Kublashvili**, Professor, Faculty of Civil Engineering, GTU

E-mail: mkublashvili@mail.ru

**Abstract.** A numerical method for determining the characteristics of the nonlinear feedback of an automatic system that provides the desired process at the output of the system is proposed. The peculiarity of the method is that the structure and parameters of the object are specified and are not changed during the period of synthesis, but only the links of the functional converters are added, which realize the nonlinear dependences obtained between the transitional process and the output function of the nonlinear feedback.

For the purpose of their implementation, the conditions for the initial desired output functions of the system are determined. A class of automatic control systems has been singled out, for the synthesis of which the proposed method is effective.

An iterative method for calculating the time scale factor has been developed, which ensures that by modifying the initial transient process and the system optimal for the speed of the transient is obtained.

Theorems confirming the obtaining of the optimal transient process for a certain class of objects are presented. The transient process can be realized by means of a non-inertial nonlinear feedback link that has a unique nonlinear static characteristic, and also when the system is closed by feedback, the absolute stability of the system is kept.

**Key words:** Automatic control system; corrective devices; desired and optimal transient process; nonlinear feedback.



UDC 513.21

SCOPUS CODE 1703

**Численный метод расчета характеристики звена нелинейной обратной связи системы автоматического управления**

- Гвасалия Б.А.** Департамент компьютерного проектирования строительства, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава, 68<sup>6</sup>  
E-mail: gvasbadal@gmail.com
- Квачадзе Т.Д.** Департамент компьютерного проектирования строительства, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава, 68<sup>6</sup>  
E-mail: t.kvachadze@gtu.ge

**Рецензенты:**

- О. Котрикадзе.** профессор факультета информатики и систем управления ГТУ  
E-mail: omari21@gmail.com
- М. Кублашвили.** профессор строительного факультета ГТУ  
E-mail: mkublashvili@mail.ru

**Аннотация.** В работе предложен численный метод определения характеристик нелинейной обратной связи автоматической системы, обеспечивающей желаемый процесс на выходе системы. Особенностью метода является то, что структура и параметры объекта заданы и не изменяются в период синтеза, но добавляются лишь звенья функциональных преобразователей, которые реализуют полученные в результате синтеза нелинейные зависимости между переходным процессом и выходной функцией нелинейной обратной связи.

С целью их реализации определены условия для исходных желаемых выходных функций системы. Выделен класс автоматических систем управления, для синтеза которых эффективен предложенный метод.

Разработан итерационный метод расчета коэффициента масштаба времени, который обеспечивает получение путем модификации исходного переходного процесса, оптимального по быстродействию переходного процесса системы.

Приводятся теоремы, подтверждающие получение оптимального переходного процесса для определенного класса объектов. Переходный процесс может быть реализован с помощью безинерционного нелинейного звена обратной связи, которое имеет однозначную нелинейную статическую характеристику, а также при замыкании системы обратной связью сохраняется абсолютная устойчивость системы.

**Ключевые слова:** желаемый и оптимальный переходный процесс; корректирующие устройства; нелинейная обратная связь; система автоматического управления.

*განხილვის თარიღი 25.05.2018*

*შემოსვლის თარიღი 12.07.2018*

*ხელმოწერილია დასაბეჭდად 28.12.2018*

UDC 621.397.13

SCOPUS CODE 1705

## კომპიუტერული ტექნოლოგიები სიგნალ-ხმაურის მოდელირებასა და მათი თვითმსგავსების კვლევაში

- ი. ჩხეიძე** მიკროპროცესორული და საზომი სისტემების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 77  
E-mail: i.chkheidze@gtu.ge
- ო. ტომარაძე** მიკროპროცესორული და საზომი სისტემების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 77  
E-mail: o.tomaradze@gtu.ge
- ე. აბზიანიძე** ტელეკომუნიკაციის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 75  
E-mail: catherine.eka@gmail.ge

### რეცენზენტები:

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

E-mail: n.narimanashvili@mate.ru

**ჯ. ხუნწარია**, სტუ-ის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის პროფესორი

E-mail: j.khuntsaria@gtu.ge

**ანოტაცია.** სტატიაში განხილულია საკითხები, რომლებიც დაკავშირებულია სხვადასხვა სახის ხმაურის მოდელირებასთან, მათი ძირითადი მახასიათებლების შესწავლასა და ანალიზთან. კომპიუტერულ ტექნოლოგიებს მიეკუთვნება Mathcad და LabVIEW პროგრამები.

განხილულია თეთრი ხმაურის, გაუსის ხმაურის და flicker ხმაურის მოდელირება Mathcad და LabVIEW პროგრამულ გარემოში. აგრეთვე – გენერირებული ხმაურის ბუნების კვლევა ჰერსტის ემპირიული კანონის მეთოდის გამოყენებით.

ჩატარებულმა კომპიუტერულმა ექსპერიმენტებმა აჩვენა, რომ flicker ხმაურს აქვს არა მარტო განსხვავებული ფორმა, არამედ – განსხვავებული თვისებები. თანაბარი და ნორმალური განაწილების ხმაურს ახასიათებს ურთიერთმსგავსი ავტოკორელაციური ფუნქციის ყოფაქცევა flicker ხმაურს კი – განსხვავებული. flicker ხმაურისთვის ჰერსტის პარამეტრი  $H=0,76$ ; თეთრი ხმაურისთვის (თანაბარი განაწილებით)  $H=0,51$ , ხოლო გაუსის ხმაურისთვის –  $H=0,508$ . მაშასადამე, flicker ხმაურს აქვს მკვეთრად გამოხატული პერსისტენტობის თვისება. რაც შეეხება თეთრ და გაუსის ხმაურს, ისინი უფრო ერთმანეთის მსგავსია. მათი პერსისტენტობის მაჩ-

ვენებელი ახლოსაა ბროუნის კლასიკურ პროცესთან. ისინი უახლოვდება ანტიპერსისტენტულ პროცესებს. ეს მოსალოდნელიც იყო, რისი დასტურიცაა მიღებული კორელაციური ფუნქცია.

**საკვანძო სიტყვები:** ავტოკორელაცია; გაუსის ხმაური; ვარდისფერი ხმაური; თეთრი ხმაური; თვითმსგავსება; კორელაცია; flicker ხმაური; ჰერსტი.

## შესავალი

თანამედროვე პირობებში ძნელია და პრაქტიკულად შეუძლებელიც განიხილო ან სრულყოფილად შეაფასო არსებული პრობლემები კომპიუტერული ტექნოლოგიების გამოყენების გარეშე. ამ თვალსაზრისით გამონაკლისი არც იმ ამოცანების გადაწყვეტაა, რომლებიც დაკავშირებულია სხვადასხვა სახის ხმაურის მოდელირებასთან, მათი ძირითადი მახასიათებლების შესწავლასა და ანალიზთან. კომპიუტერულ ტექნოლოგიებს მიეკუთვნება Mathcad და LabVIEW პროგრამების გამოყენება.

სტატიის სახელწოდებიდან გამომდინარე Mathcad-ის და LabVIEW-ს პროგრამული გარემო გამოიყენება სიგნალ-ხმაურის მახასიათებლების შესაფასებლად. სიგნალ-ხმაურში ვგულისხმობთ თეთრ ხმაურს, გაუსის ხმაურს და ე. წ. ვარდისფერ ხმაურს. აღნიშნული სახის ყველა ხმაურს აქვს ორი დატვირთვა: ერთი მხრივ ისინი წარმოადგენს ხელშეშლას, რომლის გარეშე შეუძლებელია წარმოვიდგინოთ ნებისმიერი რეალური სიგნალი და სისტემა, მეორე მხრივ კი ცნობილია [2], რომ ვარდისფერი ხმაურის სპექტრული სიმკვრივე გა-

ნისაზღვრება  $1/f$  ფორმულით (სიმკვრივე უკუპროპორციულია სიხშირის), ე. ი. ის ლოგარითმულ სკალაზე მიღევადი ფუნქციაა. მაგალითად, სიგნალის სიმძლავრე 40-სა და 60 ჰერცს შორის უდრის სიმძლავრეს 4000 და 6000 ჰერცი სიხშირის ზოლში. ასეთი სიგნალის სპექტრული სიმკვრივე თეთრ ხმაურთან შედარებით ყოველ ოქტავაზე მიიღევა 3 დეციბელით. ხმაურის ციმციმს, დროის თანაბარ სკალაზე, თავის წარსულთან აქვს „მეხსიერება“.

ვარდისფერი ხმაური შეინიშნება გულის რითმში, ტვინის ელექტრული აქტივობის დიაგრამაზე, კოსმოსური სხეულების ელექტრომაგნიტურ გამოსხივებაში, აგრეთვე – პრაქტიკულად ნებისმიერ ელექტრონულ და მექანიკურ მოწყობილობაში. ცნობილია [1], რომ თვითმსგავსების თვისება განაპირობებს პროცესების ფრაქტალურ ხასიათს, რომელიც თანამედროვე ინჟინერიაში მიჩნეულია როგორც რეალური პროცესების კვლევის ყველაზე სრულყოფილი მეთოდი [1].

პროცესების და, საერთოდ, დინამიკური ინფორმაციის თვითმსგავსებისა და ფრაქტალობის ანალიზისათვის შეიძლება გამოყენებულ იქნეს სხვადასხვა მეთოდი [3]. არსებული მეთოდების განხილვამ გვიჩვენა, რომ ჰერსტის მეთოდი ატარებს ემპირიულ და ექსპერიმენტულ ხასიათს. სხვადასხვა ბუნების პროცესისა და მათი ხანგრძლივობისათვის ადვილად ხდება ამ კანონის მოდიფიცირება, პროცესების პერსისტენტობის გაგება H-ის რიცხვითი მნიშვნელობის განსაზღვრით.

ზემოთქმულიდან გამომდინარე, შეიძლება ვთქვათ, რომ სტატიაში აღწერილი მასალის ძირითადი მიზანია: თეთრი ხმაურის, გაუსის ხმაურის და flicker ხმაურის მოდელირება Mathcad და

LabVIEW პროგრამების გარემოში, აგრეთვე ამ გენერირებული ხმაურის ფრაქტალური ბუნების კვლევა ჰერსტის ემპირიული კანონის მეთოდის გამოყენებით.

## ძირითადი ნაწილი

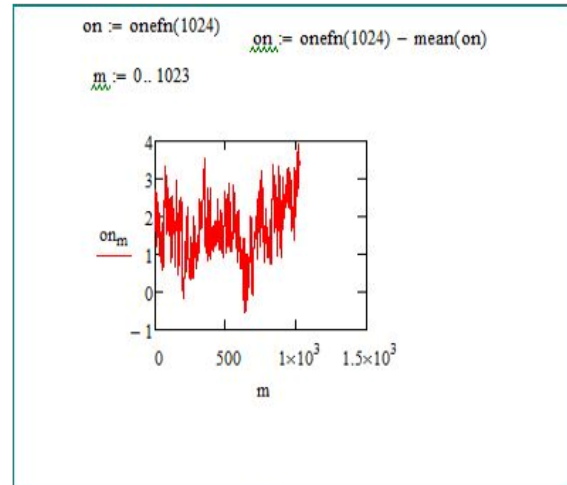
### 2.1. ხმაურის მოდელირება

განვიხილოთ სამი სახის „ხმაურის“ გენერირება – თეთრი ხმაურის, გაუსის ხმაურის და flicker ხმაურის შესაბამისი სიგნალების მოდელირება. Mathcad პროგრამულ გარემოში ეს სიგნალები აღინიშნება შესაბამისი ფუნქციებით; Witen (N) – თეთრი, Gaussen (N) – გაუსის და Onefn(N) – flicker ხმაური. ამ ფუნქციებში N არის ვექტორი, რომელიც შეიცავს N ელემენტს. აქ ყველა ელემენტი შემთხვევითი რიცხვია, რომელსაც შეესაბამება ალბათობა მოცემული ფუნქციის რიცხვითი მნიშვნელობით. თეთრ ხმაურს შეესაბამება თანაბრად განაწილებული ალბათობა, გაუსის ხმაურს – ნორმალური განაწილება, ხოლო  $1/f$  ხმაურს შეესაბამება ე. წ.  $f$  (სიხშირის) ინვერსიული განაწილება. N რიცხვი განსაზღვრავს გენერირებული სიგნალის „მოცულობას“ და დამოკიდებულია შესაბამის რიცხვთა მიმდევრობაზე.

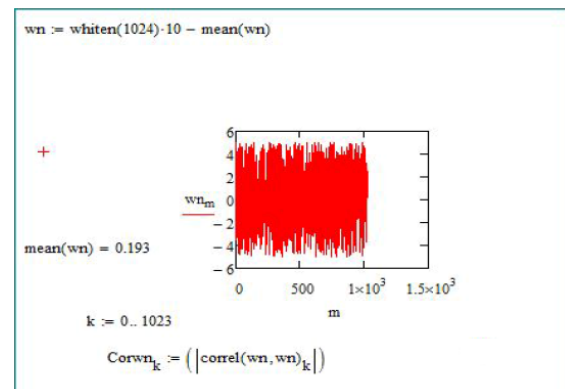
პირველ სურათზე მოცემულია მოდელირების შედეგი, რომელიც მიეკუთვნება flicker  $1/f$  ხმაურს, სადაც  $f$  ხმაურის სიხშირეა.

განსხვავებულია თეთრი ხმაურის სახე, რომელიც გენერირდებოდა თანაბრად განაწილებული შემთხვევითი ფუნქციით. ის გამრავლებულია 10-ზე, რათა ჰავა 3 უნდა იყოს სხვა სიგნალების ამ-

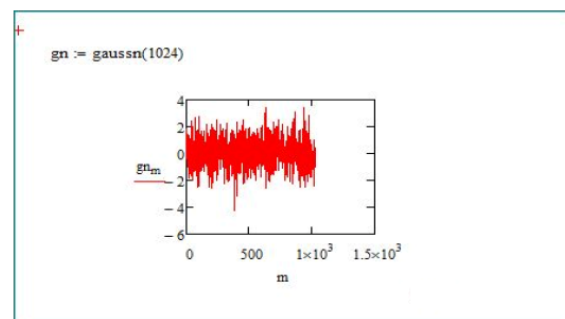
პლიტუდებთან თანაფარდობაში. მოდელირების შედეგები მოცემულია მე-2 სურ-ზე.



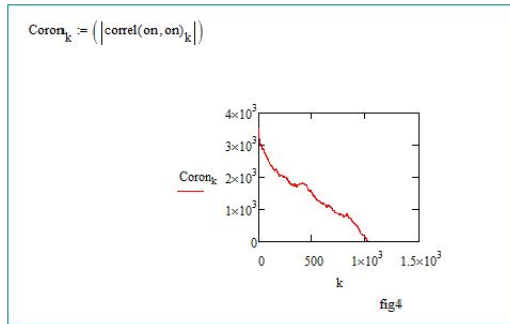
სურ. 1. flicker ხმაურის სახე



სურ. 2. თეთრი ხმაურის სახე

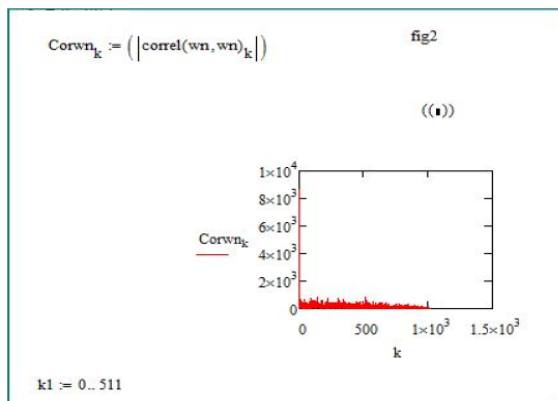


სურ. 3. გაუსის განაწილების ხმაურის სახე



სურ. 4. flicker ხმაურის კორელაციური ფუნქცია

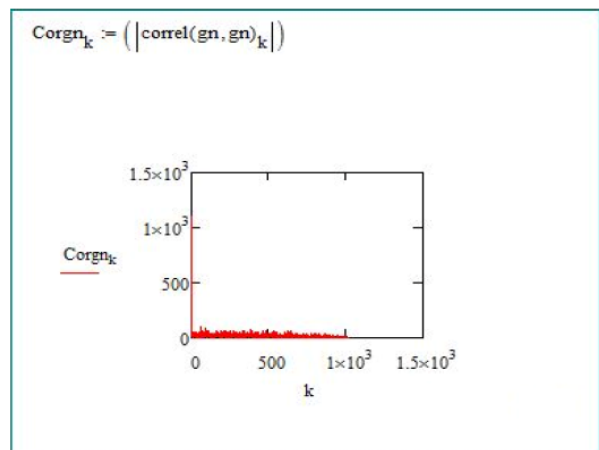
მე-3 სურ-ზე მოცემულია ნორმირებული გაუსის განაწილების ხმაურის სახე, რომლის საშუალო მნიშვნელობა 0-ის ტოლია, სკვ კი უდრის 1-ს.



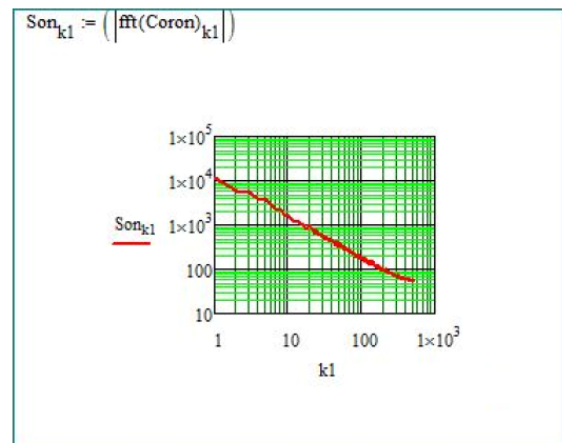
სურ. 5. თეთრი ხმაურის კორელაციური ფუნქცია

შემდეგი ექსპერიმენტი გულისხმობდა სიგნალების ავტოკორელაციური ფუნქციების მიღებას. მე-4 სურ-ზე მოცემულია კორელაციური ფუნქციის გრაფიკული ასახვა flicker ხმაურისათვის, ხოლო მე-5 და მე-6 სურათებზე – შესაბამისად თეთრი ხმაურისა და გაუსის განაწილებისათვის. განსაზღვრული იყო აგრეთვე ამ სიგნალების ენერგეტიკული სპექტრი, რომელთა გრაფიკები აგებულია ლო-

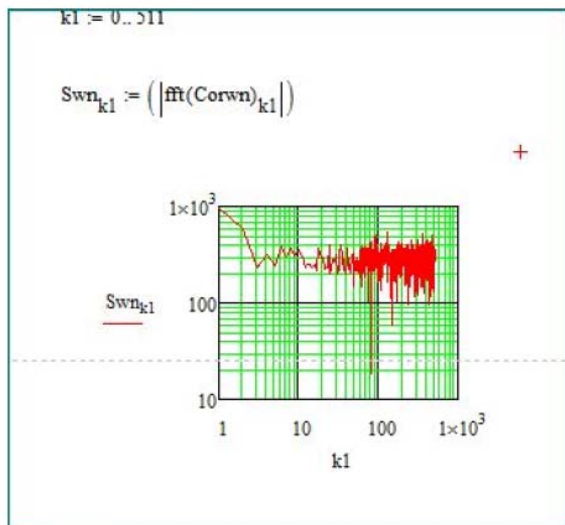
გარიტმული მასშტაბით. მე-7 სურ-ზე მოცემულია ენერგეტიკული სპექტრი flicker სიგნალისათვის, მე-8 და მე-9 სურათებზე – შესაბამისად თეთრი და ნორმალური განაწილებისთვის. მე-10 სურათი მიეკუთვნება სამივე სახის სიგნალის კორელაციური ფუნქციის დამოკიდებულებას დაყოვნებაზე (Lag)-ზე.



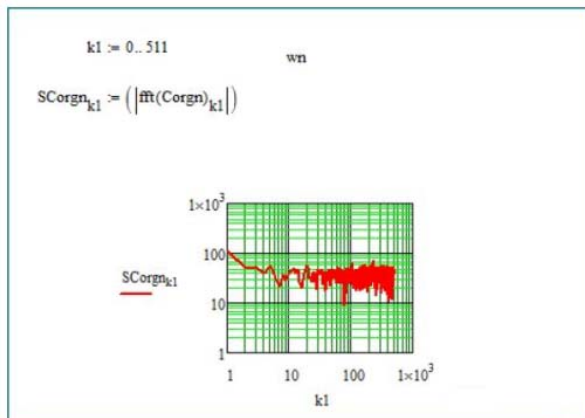
სურ. 6. გაუსის განაწილების ხმაურის კორელაციური ფუნქცია



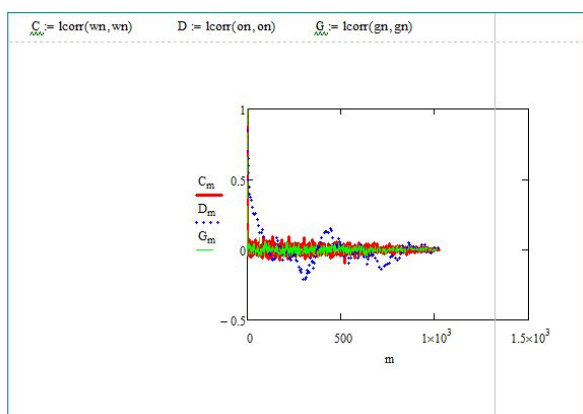
სურ. 7. flicker სიგნალის ენერგეტიკული სპექტრი



სურ. 8. თეთრი ხმაურის ენერგეტიკული სპექტრი



სურ. 9. გაუსის ნორმალური განაწილების ენერგეტიკული სპექტრი



სურ. 10. სამივე ხმაურის კორელაციური ფუნქციის დამოკიდებულება დაყოფნებაზე

მიღებული შედეგები ცხადყოფს, რომ ამ სახის ხმაურს აქვს არა მარტო განსხვავებული სახე, არამედ განსხვავებული თვისებები: კორელაციური ფუნქციის განსხვავებული ყოფაქცევა. ამ დროს თანაბარი და ნორმალური განაწილების ხმაურს ახასიათებს მსგავსი ავტოკორელაციური ფუნქციის ყოფაქცევა, flicker ხმაურს კი – განსხვავებული. ეს განაპირობებს flicker ხმაურის ფრაქტალურ პერსისტენტულ თვისებებს.

## 2.2. გენერირებული ხმაურის ფრაქტალური ბუნების კვლევა ჰერსტის ემპირიული კანონის მიხედვით

შემთხვევითი პროცესების თვითმსგავსება მდგომარეობს დროის მასშტაბის შეცვლისას პროცესის ალბათური მახასიათებლების შენარჩუნებაში. სტოქასტიკური  $X(t)$  პროცესი თვითმსგავსია  $H$  პარამეტრით თუ ის  $a^H X(a, t)$  აღიწერება განაწილების იმავე კანონით რითაც  $X(t)$

$$\text{Law}(a^{-H}X(a t)) = \text{Law}(X(t)), \quad t > 0, \forall a > 0.$$

$H$  პარამეტრს ჰერსტის მაჩვენებელი ეწოდება, რომელიც განსაზღვრავს თვითმსგავსების ხარისხს.  $H > 0,5$  მაჩვენებელი ახასიათებს პროცესის პერსისტენტობას, მის ხანგრძლივ დამოკიდებულებას დროზე და  $r(k)$  ავტოკორელაციური ფუნქციის ხარისხის შემცირებას.

$$r(k) \sim k^{-\lambda}, \quad k \rightarrow \infty, \quad 0 < \lambda < 1, \quad H = 1 - (\lambda/2).$$

პირველი რეალური სტოქასტიკური პროცესი, რომელსაც აღმოაჩნდა თვითმსგავსების თვისებები, არის ინფორმაციული ნაკადი ტელესაკომუნიკაციო ქსელებში [1].

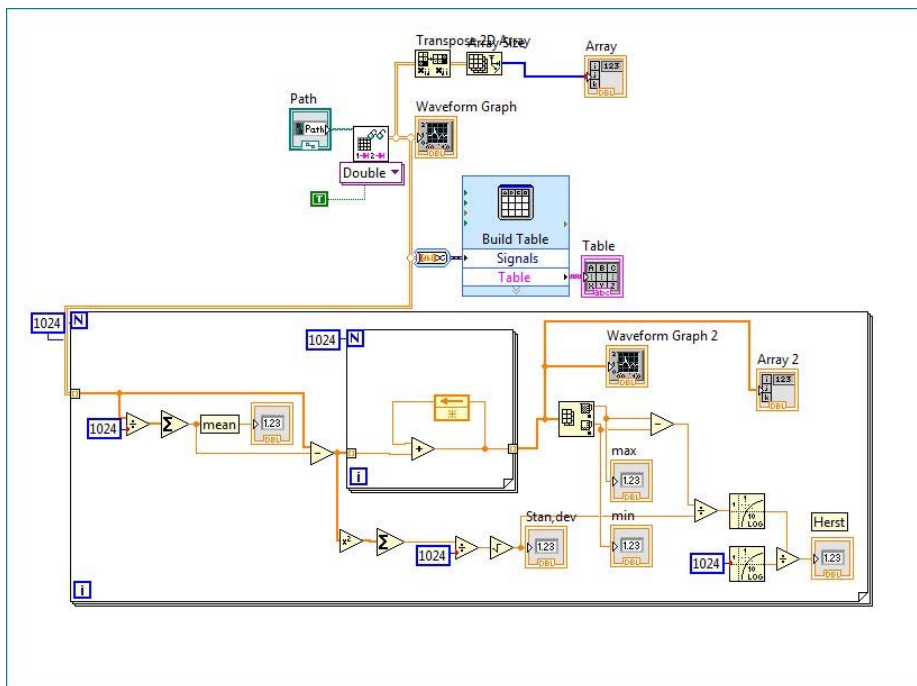
თვითმსგავსების გრაფიკისთვის კომპიუტერული ქსელის მახასიათებლების ანგარიშის მეთოდე-

ბი, რომლებიც დაფუძნებულია კლასიკურ მეთოდებზე არ აკმაყოფილებს აუცილებელ მოთხოვნებს და არ იძლევა საშუალებას ქსელში ადეკვატურად შეფასდეს დატვირთვა. კომპიუტერული ქსელის მახასიათებელს მიეკუთვნება არხის გამტარუნარიანობა, არხის ტევადობა და სხვა. თვითმსგავსება არის ფრაქტალის მთავარი თვისება, ამ თვისების კვლევა კი ნიშნავს ფრაქტალურ ანალიზს.

ფრაქტალური ანალიზის პრაქტიკული გამოყენების შესახებ პუბლიკაციების რაოდენობა ყოველდღიურად იზრდება. თუმცა დღეისათვის ფრაქტალური მახასიათებლების შეფასების, რომელიც დაფუძნებულია პროცესის წინასწარ სტრუქტურაზე, უნივერსალური მიდგომა არ არსებობს. ფრაქტალური ანალიზის უარყოფითი მხარეა: კორელაციური პროცესის სტრუქტურის წინასწარი კვლევის არარსებობა, ანალიზის მხოლოდ ერთი მეთოდის

გამოყენება, ფრაქტალური მახასიათებლების თვისებების სტატისტიკური კვლევის სუსტი თვისებები, რომელიც მიიღება მცირე სიგრძის დროითი მწკრივით.

როგორც ითქვა, პროცესის ფრაქტალურობის და პერსისტენტობის განსაზღვრისთვის ვიყენებთ ჰერსტის მეთოდს. ეს მეთოდი და შესაბამისი ალგორითმი განხილულია [2]-ში. ამიტომ ამ სამუშაოში განვიხილავთ აღნიშნული ალგორითმის მხოლოდ კომპიუტერულ რეალიზაციას LabVIEW პროგრამაში „ბლოკ-დიაგრამის“ სახით, აგრეთვე – შედეგებს, რომლებიც მივიღეთ flicker ხმაურის, თეთრი და გაუსის ხმაურისათვის. მსგავსი შედეგები იყო მიღებული Mathcad პროგრამაშიც, განსხვავება დაფიქსირდა ზოგიერთი ექსპერიმენტის რიცხვითი მნიშვნელობის მესაქედებში.



სურ. 11. ჰერსტის ალგორითმის რეალიზაციის „ბლოკ-დიაგრამა“ LabVIEW პროგრამულ გარემოში

მეთერთმეტე სურათზე მოცემულია LabVIEW პროგრამულ გარემოში ჰერსტის პარამეტრის გაზომვის რეალიზაციის ერთი მაგალითის ბლოკ-სქემა, რომელიც მიღებულია flicker ხმაურისათვის. იგი მოიცავს 1024 ანათვალს. თეთრი ხმაურისა და გაუსის ხმაურისთვის ბლოკ-სქემა ისეთივეა. ანათვლების რაოდენობა აქაც 1024-ია.

გაზომვის შედეგებია: flicker ხმაურისთვის ჰერსტის პარამეტრი  $H=0,76$ ; თეთრი ხმაურისთვის (თანაბარი განაწილებით)  $H=0,51$ , ხოლო გაუსის ხმაურისთვის –  $H=0,508$ .

## დასკვნა

flicker ხმაურს აქვს მკვეთრად გამოხატული პერსისტენტობის თვისება. რაც შეეხება თეთრი ხმაურს და გაუსის ხმაურს ისინი უფრო ურთიერთმსგავსია. მათი პერსისტენტობის მაჩვენებელი ახლოსაა ბროუნის კლასიკურ პროცესთან. ისინი უახლოვდება ანტიპერსისტენტულ პროცესებს. ეს მოსალოდნელიც იყო, რის დასტურიცაა მიღებული კორელაციური ფუნქცია (სურ. 10).

## ლიტერატურა

1. Shelukhin O.I., Tenyakshev A.M., Osin A.B. Fractal processes in telecommunications. "Radiotekhnika". Moscow. 2003. (in Russian).
2. Ckheidze I., Kharatishvili L., Tomaradze O., Murjikneli G. Fractals in metrology. Proceedings of international conference. 2017. (in Georgian).
3. Kirichenko L., Chalaia L. Integrated approach to the study of fractal time series. International journal "International Technologies & Knowledge". Vol. 8. Number 1. 2014, 22-27 pp. (in Russian).



UDC 621.397.13

SCOPUS CODE 1705

## Computer technologies in the research of signal-noise modeling and their self-similarity

- I. Chkheidze** Department of Microprocessor and Measuring Systems, Georgian Technical University, 77 M. Kostava str, 0160 Tbilisi, Georgia  
E-mail: i.chkheidze@gtu.ge
- O. Tomaradze** Department of Microprocessor and Measuring systems, Georgian Technical University, 77 M. Kostava str, 0160 Tbilisi, Georgia  
E-mail: o.tomaradze@gtu.ge
- E. Abzianidze** Department of Telecommunication, Georgian Technical University, 75 M. Kostava str, 0160 Tbilisi, Georgia  
E-mail: catherine.eka@gmail.ge

### Reviewers:

**N. Narimanishvili**, Professor, Faculty of Informatics and Control Systems, GTU

E-mail: n.narimanashvili@mate.ru

**J. Khuntsaria**, Professor, Faculty of Power Engineering and Telecommunication, GTU

E-mail: j.khuntsaria@gtu.ge

**Abstract.** The article deals with the issues related to modeling of noise of various types, with the study and analysis of their main characteristics. The use of computer technologies is implemented by Mathcad and Labview programs.

The problems of modeling the white, Gaussian and Flicker noises are considered in MathCad and LabVIEW software environment. Also, the nature of generated noises were investigated using the Hurst method of empirical law.

Conducted computer experiments have shown that Flicker noise is not only different from the other form of the signal, but it also has its distinctive properties: uniformly and normally distributed noises have similar behavior of the autocorrelation function, and in Flicker noise – it's different.

In the Flicker noise, the Hurst parameter  $H = 0.76$ ; for white noise  $H = 0.51$ ; and for Gaussian noise  $H = 0.508$ .

As for the White and Gaussian noises, they are similar. Their persistence index is close to the indicator of the classical Brownian process, i.e, it approaches antipersistent processes. This was quite expected by confirming the type of their correlation function.

**Key words:** Auto-correction; correlation; Flicker noise; Gaussian noise; hairstyle; pink noise, self-alignment; white noise.

UDC 621.397.13

SCOPUS CODE 1705

**Компьютерные технологии при моделировании сигнал-шумов в исследовании их самоподобия**

- Чхеидзе И.М.** Департамент микропроцессорных и измерительных систем, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава, 77  
E-mail: i.chkheidze@gtu.ge
- Томарадзе О.К.** Департамент микропроцессорных и измерительных систем, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава, 77  
E-mail: o.tomaradze@gtu.ge
- Абзианидзе Э.Э.** Департамент телекоммуникации, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава, 75  
E-mail: catherine.eka@gmail.ge

**Рецензенты:**

**Н. Нариманашвили**, профессор факультета информатики и систем управления ГТУ

E-mail: N.Narimanashvili@mate.ru

**Дж. Хунцария**, профессор факультета энергетики и телекоммуникации ГТУ

E-mail: j.khuntsaria@gtu.ge

**Аннотация.** Рассмотрены вопросы, которые связаны с моделированием шумов различного типа, с изучением и анализом их основных характеристик. Применение компьютерных технологий реализовано программами Mathcad и LabVIEW.

Рассмотрены вопросы моделирования Белого, Гауссового и Фликкер-шума в программной среде Mathcad и LabVIEW.

Также проведено исследование природы генерированных шумов посредством метода эмпирического закона Херста.

Проведённые компьютерные эксперименты показали, что у Фликкер-шума не только отличительная от других форма сигнала, но и отличительные свойства: у равномерно и нормально распределённых шумов — похожее поведение автокорреляционной функции, а у Фликкер-шума — другое.

У Фликкер-шума параметр Херста  $H=0,76$ ; для Белого шума  $H=0,51$ ; а для Гауссова шума  $H=0,508$ .

Таким образом, Фликкер-шум имеет ярко выраженное персистентное свойство. Что касается Белого и Гауссова шумов они подобны. Их показатель персистентности близок к показателю классического броуновского процесса, т.е. приближается к антиперсистентным процессам. Это вполне ожидалось подтверждением вида их корреляционной функции.

**Ключевые слова:** автокорреляция; белый шум; газовый шум; корреляция; мерцающий шум; прическа; розовый шум; самовывравнивание.

*კანხილვის თარიღი 18.06.2018*

*შემოსვლის თარიღი 27.06.2018*

*ხელმოწერილია დასაბეჭდად 28.12.2018*

UDC 656.25:621.391

SCOPUS CODE 1802

საქართველოს რკინიგზის და თბილისის მეტროპოლიტენის მოწყობილობების ავტომატიკისა და ტელემექანიკის დაზიანებათა შედარებითი ანალიზი

- ნ. მუხიგულაშვილი**      სარკინიგზო ტრანსპორტის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 68°  
E-mail: nimu2000@mail.ru
- მ. პაპასკირი**      სარკინიგზო ტრანსპორტის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 68°  
E-mail: murtaz.papaskiri@mail.ru
- მ. ჩალაძე**      სარკინიგზო ტრანსპორტის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 68°  
E-mail: merabiooo@mail.ru

**რეცენზენტები:**

**ა. ღუნდუა**, სტუ-ის სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტის ასოცირებული პროფესორი  
E-mail: lekso48@yahoo.com

**გ. კეშელავა**, სს საქართველოს რკინიგზის სცბ-ს დეპარტამენტის საექსპლუატაციო-სარემონტო სამსახურის უფროსი  
E-mail: gkeshelava@mail.ru

**ანოტაცია.** ნაშრომში მოცემულია საქართველოს რკინიგზის (2008–2013 წლების სტატისტიკური მონაცემები) და მეტროპოლიტენის (2013–2017 წლების სტატისტიკური მონაცემები) ავტომატიკისა და ტელემექანიკის (სატ) მოწყობილობების დაზიანებების შედარებითი ანალიზი.

გაანალიზებულია მეტროპოლიტენის სატ-ის მოწყობილობების 924 დაზიანება, გამოყოფილია დაზიანების ყველაზე დიდი ალბათობის მქონე 10 სხვადასხვა მოწყობილობა. აგებულია მეტროპოლიტენის სატ-ის მოწყობილობების დაზიანე-

ბების პროცენტული განაწილების დიაგრამა; თვეების მიხედვით ძაბვის არასტაბილურობის გადანაწილების და აპარატურის დაზიანებების გამომწვევი მიზეზების პროცენტული გადანაწილების ჰისტოგრამები. წარმოდგენილია მეცნიერული მსჯელობა და დასაბუთება თბილისის მეტროპოლიტენის და საქართველოს რკინიგზის სატ-ის მოწყობილობების დაზიანებათა იდენტურობის შესახებ. შედარებითი ანალიზიდან გაირკვა, რომ სარკინიგზო და მეტროპოლიტენის სატ-ის მოწყობილობების დაზიანებები იდენტურია და გამოყოფილია დაზიანების ყველაზე დი-

დი ალბათობის მქონე მოწყობილობები: სარე-  
ლეო და სიხშირული აპარატურა; საისრე გარნი-  
ტურის იზოლაცია; მაიზოლირებელი პირაპირი.

**საკვანძო სიტყვები:** მოწყობილობათა დაზიანების ანალიზი; რკინიგზის ავტომატიკა და ტელემექანიკა.

### შესავალი

სარკინიგზო ავტომატიკისა და ტელემექანიკის (სატ) სისტემები უზრუნველყოფს მატარებლის მოძრაობის მართვისა და უსაფრთხოების პირობებს. მატარებლის მოძრაობის უსაფრთხოება და გადაზიდვის მაღალი ხარისხი მიიღწევა დარგის ყველა მეურნეობის მიზანმიმართული მუშაობითა და ახალი ტექნიკური საშუალებებისა და ტექნოლოგიების დანერგვით, თანამედროვე რთული ტექნიკის ეფექტური ექსპლუატაციისა და ტექნიკური მომსახურების ხარისხის უზრუნველყოფით.

სატ-ის მოწყობილობების მუშაობის საიმედოობის გასაზრდელად ჩატარებული არაერთი საორგანიზაციო და ტექნიკური ღონისძიების მიუხედავად, სცბ-ს მოწყობილობების მუშაობაში კვლავ გვხვდება მტყუნებები, ხოლო გაუმართაობების ლოკალიზაციისა და აღმოფხვრის დრო გაუმართლებლად დიდი რჩება.

### ძირითადი ნაწილი

სარკინიგზო ავტომატიკისა და ტელემექანიკის მოწყობილობების მტყუნებათა, 2008 – 2013 წლების სტატისტიკის მონაცემების, ანალიზის საფუძ-

ველზე გარკვეულია, რომ მათი დიდი რაოდენობა გამოწვეულია:

- ა) ელექტროენერჯის გამორთვის მიზეზით – 28%;
- ბ) ძაბვის და დენის არასტაბილურობით – 13%;
- გ) მაიზოლირებელი პირაპირის დაზიანებით – 8%;
- დ) სარელეო აპარატურის დაზიანებით – 8%;

სტატისტიკური მონაცემების ანალიზიდან ჩანს, რომ რკინიგზის ფუნქციონირებისათვის კვლავ მნიშვნელოვან პრობლემად რჩება ელექტროენერჯის გამორთვა და ძაბვის არასტაბილურობა. სარელეო აპარატურის დაზიანების სიხშირე – 8% გამოწვეულია საქართველოს რკინიგზაზე მოძველებული და სამუშაო ვადაგადაცილებული აპარატურის ექსპლუატაციით, რომლებიც აღარ ექვემდებარება სამუშაო ვადის გაგრძელებას.

ანალოგიურად ჩატარდა თბილისის მეტროპოლიტენის ავტომატიკისა და ტელემექანიკის მოწყობილობების საიმედოობის კვლევა 2013–2017 წლების დაზიანებების მიხედვით. შეკრებილი და გაანალიზებულია მეტროპოლიტენის ავტომატიკისა და ტელემექანიკის მოწყობილობების 924 დაზიანება, ცხრილი 1.

მეტროპოლიტენის ავტომატიკისა და ტელემექანიკის მოწყობილობების 2013-2017 წლების დაზიანებების ნუსხის გაანალიზების საფუძველზე გამოიკვეთა 10 სხვადასხვა დაზიანების სახე (ცხრილი 2). ამ ცხრილიდან გარკვევით ჩანს, რომ მეტროპოლიტენის ავტომატიკისა და ტელემექანიკის დაზიანებების დიდი რაოდენობა, რაც მრავალი ობიექტური და სუბიექტური ფაქტორით აიხსნება, მოდის მცველების გადაწვაზე ძაბვის მყისიერი მომატების დროს და ელ. ენერჯის გამორთვასა და ძაბვის ვარდნაზე.

მეტროპოლიტენის ავტომატიკისა და ტელემექანიკის 2013-2017 წლების  
დაზიანებების ნუსხა

№	დაზიანების სახე	რაოდენობა
1	ძაბვის მყისიერი მომატების გამო მცველის გადაწვა	205
2	ელექტროენერჯის გამორთვა	5
3	ძაბვის სიხშირის ვარდნა	190
4	შუქნიშნებზე ნათურების გადაწვა	15
5	CT-5 ტიპის ტრანსფორმატორის უწესიერობა	57
6	სიხშირის გენერატორის უწესიერობა	96
7	სიხშირის სალიანდაგო მაძლიერებლის (IIY) უწესიერობა	134
8	სალიანდაგო ФАЛС-70 ტიპის ფილტრის უწესიერობა	19
9	აკუმულატორების უწესიერობა	2
10	გარდამავალი დაზიანება	80
11	დროსელ-ტრანსფორმატორების უწესიერობა	2
12	მაიზოლირებელი პირაპირების უწესიერობა	44
13	სტატივის პლატის კონტაქტზე ცივი მირჩილვის უწესიერობა	7
14	სარელეო სტატივის პლატის კონტაქტზე მშრალი მირჩილვის უწესიერობა	8
15	PELI ტიპის რელეს კონტაქტების რეგულირების უწესიერობა	24
16	საისრე გარნიტურის იზოლაციის უწესიერობა	26
17	საისრო ელექტროამრავის ავტოგადამრთველის და სხვა უწესიერობები	6
18	სარელეოში სტატივებს შორის კვების სადენის დაზიანება (კოროზირებული)	2
19	კაბელის ქურდობის გამო	2
	სულ:	924

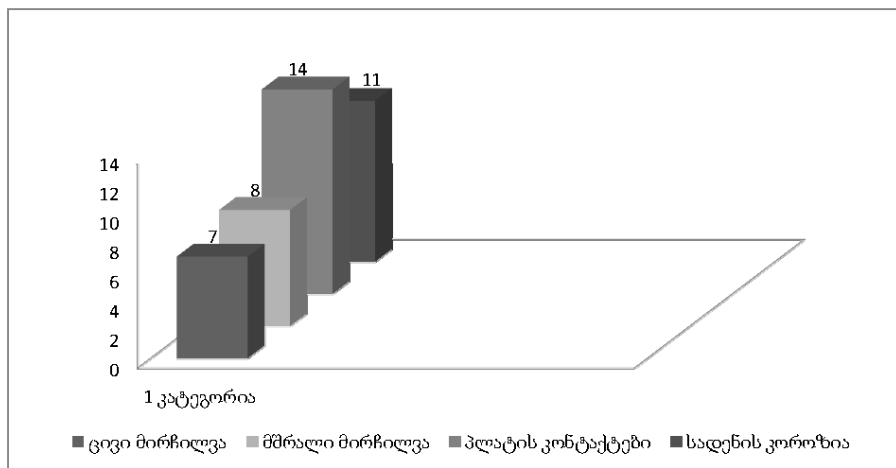
მეტროპოლიტენის ავტომატიკისა და ტელემექანიკის 2013–2017 წლების  
გამოკვეთილი დაზიანებების ნუსხა

№	დაზიანების სახე	რაოდენობა
1	აკუმულატორის უწყისივრობა	5
2	მცველის გადაწვა ძაბვის მყისიერი მომატებისას	205
3	ელექტროენერჯის გამორთვა და ძაბვის ვარდნა	195
4	შუქნიშნის ნათურის გადაწვა	15
5	სასიგნალო ტრანსფორმატორის უწყისივრობა	57
6	ს/წ სიხშირული აპარატურის უწყისივრობა	249
7	სარელსო აპარატურის უწყისივრობა	39
8	გარდამავალი დაზიანება, მიზეზი უცნობია	80
9	საისრე გარნიტურის იზოლაციის უწყისივრობა	26
10	მაიზოლირებელი პირაპირის იზოლაციის უწყისივრობა	44

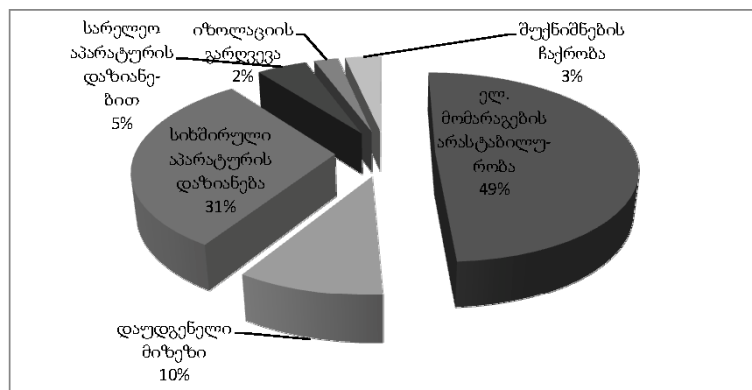
დაზიანებების დიდი ნაწილის გამომწვევი მიზეზებია: ძაბვის არასტაბილურობა (საქართველოში ძაბვის სტაბილიზაცია ჯერ კიდევ პრობლემაა); ასევე სარელსო წრედების სიხშირული აპარატურის, სასიგნალო ტრანსფორმატორის, სარელსო აპარატურის უწყისივრობები, რომლებიც გამოწვეულია მუშაობის ვადაგასული აპარატურის ექსპლუატაციით; საისრე გარნიტურის იზოლაციის დაზიანება, გამოწვეული საისრე გარნიტურის კონსტრუქციაში იზოლაციის ხარვეზებით; მაიზოლირებელი პირაპირის იზოლაციის დარღვევა, რაც გამოწვეულია მისი ექსპლუატაციის მძიმე გარემო კლიმატური ფაქტორებით, დარტყმითი და ვიბრაციის ძალებით, მოხეტიალე დენებითა თუ ქიმიური დაბინძურებით; კოდური აპარატურის ხშირი უწყისივრობა ასევე გამოწვეულია მუშაობის ვადაგასული აპარატურის ექსპლუატაციით (სურ. 1).

თბილისის მეტროპოლიტენის ავტომატიკისა და ტელემექანიკის მოწყობილობების მტყუნებათა სტატისტიკის 5 წლის (2013–2017) მონაცემების ანალიზის საფუძველზე აგებულია დიაგრამა (სურ. 2), რომელზეც თვალნათლივანა ჩვენები სცბ-ს მოწყობილობების მტყუნებებისა და მათი გამომწვევი მიზეზების პროცენტული გადანაწილება. კერძოდ:

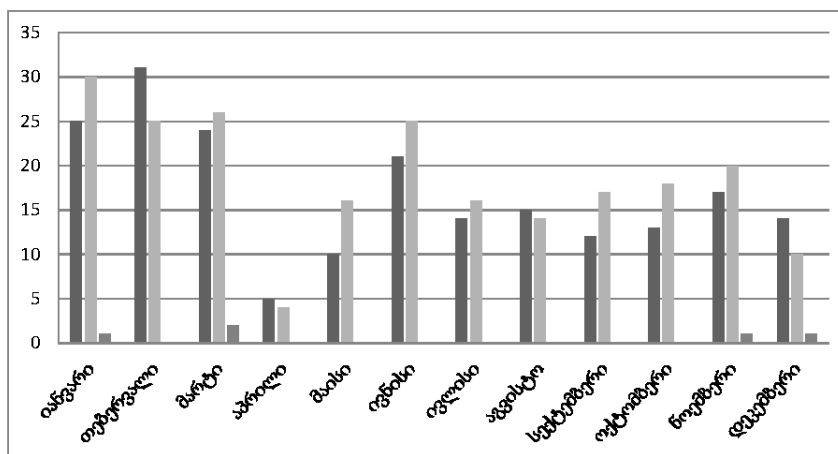
- ა) ელექტრომომარაგების არასტაბილურობის გამო – 43,3 ( 400) %;
- ბ) დაუდგენელი მიზეზი – 8,6 (80) %;
- გ) სარელსო წრედების სიხშირული აპარატურის დაზიანება – 27,9(249) %;
- დ) სარელსო აპარატურის დაზიანებით – 4,2(39) %;
- ე) იზოლაციის გარღვევა – 2 (39) %;
- ვ) შუქნიშნების ჩაქრობა – 3 (24) %.



სურ. 1. აპარატურის დაზიანებების გამომწვევი მიზეზებები



სურ. 2. მეტროპოლიტენში მომხდარი 2013-2017 წლების დაზიანებების პროცენტული განაწილების დიაგრამა



სურ. 3. მარტის არასტაბილურობის გადანაწილება თვეების მიხედვით.

მიუხედავად იმისა, რომ 90-იან წლებთან შედარებით საქართველოში ბევრად უკეთესი მდგომარეობაა ელექტროენერჯის მომარაგების თვალსაზრისით, სტატისტიკური მონაცემების ანალიზიდან ჩანს, რომ მეტროპოლიტენის ფუნქციონირებისათვის მნიშვნელოვან პრობლემად რჩება ელექტროენერჯის არასტაბილურობა, დაბვის მყისიერი მომატება და დაბვის ვარდნა (სურ. 3). ამიტომ საყურადღებო ელექტროენერჯის წყაროების საიმედოობა მეტროპოლიტენის სტაბილურად ფუნქციონირებისათვის.

### დასკვნა

სარკინიგზო, ასევე მეტროპოლიტენის ავტომატიკისა და ტელემექანიკის მოწყობილობების დაზიანების სტატისტიკური მონაცემების მიხედვით აგებული დიაგრამებიდან ჩანს, რომ ეს დაზიანებები თითქმის იდენტურია და შეგვიძლია გამოვყოთ ავტომატიკისა და ტელემექანიკის ის მოწყობილობები, რომელთა დაზიანების ალბათობა ყველაზე დიდია:

1. სარელეო და სიხშირული აპარატურა;
2. საისრე გარნიტურის იზოლაცია;
3. მაიზოლირებელი პირაპირი.

### ლიტერატურა

1. Breido A.I. Theory and method of improvement of efficiency of maintenance of automation and telemechanics systems and communication devices of railway transport. Leningrad: LIIZhT. 1985, 342 p. (In Russian).
2. Sapozhnikov V.V., Sapozhnikov V.V. Fundamentals of technical diagnostics. Moscow: "Marshrut". 2004, 318 p. (In Russian).
3. Sepetiy A.A. Automation of diagnostics, monitoring and technical maintenance of railway automation and telemechanics devices. Rostov-on-Don. 2011, 202 p. (In Russian).
4. Mukhigulashvili N.I. Improvement of rail circuits service quality. Rostov-on-Don. 1991, 289 p. (In Russian).
5. Dmitrienko N.E. Technical diagnostics and automated control of railway automation and telemechanics systems. Moscow: "Transport". 1966, 144 p. (In Russian).
6. Mukhigulashvili N., Shvalov D., Prokopets V. Identification of operation modes of rail circuits based on classifiers of state in automated systems of diagnostics. Vestnik. № 1. Rostov-on-Don. 2007, 45-49 pp. (In Russian).
7. Mukhigulashvili N., Keshelava G., Koplataze M., Iobidze De. On operational control of service process. Transport. #3-4. Tbilisi. 2006, 23-24 pp. (In Georgian).
8. Mukhigulashvili N. N. Analysis of failures of station devices of railway automation and telemechanics in conditions of Transcaucasia Railway. GTU Transactions. №7(363). 1990, 82-84 pp. (In Georgian).
9. Systems of automation and telemechanics on world railways. Moscow. 2010, 487 p. (In Russian).



UDC 656.25:621.391  
SCOPUS CODE 1802

## Comparative analysis of automation and telemechanics failures of Georgian Railway and Tbilisi Metropolitan

- N. Mukhigulashvili** Department of Railway Transportation, Georgian Technical University, 68<sup>a</sup> M. Kostava str, 0175 Tbilisi, Georgia  
E-mail: nimu2000@mail.ru
- 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
- M. Chaladze** Department of Railway Transportation, Georgian Technical University, 68<sup>a</sup> M. Kostava str, 0175 Tbilisi, Georgia  
E-mail: merabiooo@mail.ru

### Reviewers:

- A. Dundua**, Associate Professor, Faculty of Transportation and Mechanical Engineering, GTU  
E-mail: lekso48@yahoo.com
- G. Keshelava**, Head of Repair and Maintenance Office, LLC “Georgian Railway”  
E-mail: gkeshelava@mail.ru

**Abstract.** Comparative analysis of failures of Georgian Railway (statistical data for 2008-2013) and Metropolitan (statistical data for 2013-2017) automation and telemechanics systems are presented in the paper.

924 failures of metropolitan automation and telemechanics devices have been analyzed, 10 different devices with the greatest probability of failures are outlined. The percentage distribution diagram of failures of metropolitan automation and telemechanics devices is constructed as well as histograms of percentage redistribution of reasons that cause non-stable voltage distribution and equipment damages by months. The article provides scientific review and justification of the identity of Tbilisi Metropolitan and Georgian Railway automation and telemechanics systems failures. Presented comparative analysis reveals that failures of railway and metropolitan automation and telemechanics devices are identical. Herewith devices with high probability of damages are pointed out: relay and frequency equipment; isolation of switch set; insulating joint.

**Key words:** Analysis of failures of devices; railway automation and telemechanics.

UDC 656.25:621.391  
SCOPUS CODE 1802

## Сравнительный анализ повреждения устройств автоматики и телемеханики Грузинской железной дороги и Тбилисского метрополитена

- Мухигулашвили Н.Ю.** Департамент железнодорожного транспорта, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава, 68<sup>ა</sup>  
E-mail: nimu2000@mail.ru
- 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
- Чаладзе М.И.** Департамент железнодорожного транспорта, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава, 68<sup>ა</sup>  
E-mail: merabiooo@mail.ru

### Рецензенты:

**А. Дундуа**, ассоциированный профессор факультета транспорта и машиностроения ГТУ

E-mail: lekso48@yahoo.com

**Г. Кешелавა**, руководитель эксплуатационно-ремонтной службы Департамента сигнализации, централизации и блокировки Грузинской железной дороги

E-mail: gkeshelava@mail.ru

**Аннотация.** В статье представлен анализ устройств систем автоматики и телемеханики (САТ) Грузинской железной дороги (статистические данные 2008-2013гг.) и Тбилисского метрополитена (статистические данные 2013-2017гг.).

Проанализированы 924 повреждения устройств САТ, выделены 10 разных устройств с наибольшей вероятностью повреждений, построены: диаграмма процентного распределения повреждений САТ; диаграмма распределения нестабильности напряжения по месяцам года и гистограммы процентного распределения причин повреждений аппаратуры. Представлен научный анализ и доказательство об идентичности повреждений устройств САТ Грузинской железной дороги и Тбилисского метрополитена. Из сопоставительного анализа сделан вывод, что повреждения устройств САТ Грузинской железной дороги и Тбилисского метрополитена идентичны и выделены следующие устройства с наибольшей вероятностью повреждений: релейная аппаратура, гарнитура электропривода и изолирующий стык.

**Ключевые слова:** анализ повреждения устройств; железнодорожная автоматика и телемеханика.

*განხილვის თარიღი 21.06.2018*

*შემოსვლის თარიღი 27.07.2018*

*ხელმოწერილია დასაბეჭდად 28.12.2018*

UDC 551.49:625.14

SCOPUS CODE 1909

## ქ. თბილისის შემოვლითი რკინიგზის ჰიდროგეოლოგიური პირობების შეფასება გარემოზე ზემოქმედების თვალსაზრისით

- მ. მარდაშოვა** გამოყენებითი გეოლოგიის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 75  
E-mail: m\_mardashova@gtu.ge
- ზ. ცომაია** შპს “გროს ენერჯო გრუპის” მთავარი გეოლოგი, საქართველო, თბილისი, ლვოვის ქ. № 66  
E-mail: zoro1955@mail.ru
- ნ. ფოფორაძე** გარემოს ეროვნული სააგენტო, საქართველო, 0175, თბილისი, აღმაშენებლის გამზირი 150  
E-mail: nick.poporadze@gmail.com

### რეცენზენტები:

**ზ. კაკულია**, სტუ-ის სამთო-გეოლოგიური ფაკულტეტის პროფესორი

E-mail: z.kakulia@gtu.ge

**ა. გოჩოლეიშვილი**, სტუ-ის სამთო-გეოლოგიური ფაკულტეტის პროფესორი

E-mail: a.gocholeishvili@gtu.ge

**ანოტაცია.** ჩვენი უძველესი დედაქალაქის – თბილისის თანამედროვე მშენებლობისა და რეკონსტრუქციის არნახულ მასშტაბებში ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი ობიექტი თბილისის შემოვლითი რკინიგზაა. ცნობილია, რომ რკინიგზა ხაზოვანი კომუნიკაციაა და მისი მშენებლობა რთული საინჟინრო-გეოლოგიური და ჰიდროგეოლოგიური პრობლემების გადაჭრას საჭიროებს. მითუმეტეს გართულებულია რკინიგზის მშენებლობის პირობები, როდესაც საქმე ეხება ისეთ დიდ და მრავალრიცხოვანი მოსახლეობით დასახლებულ ქალაქს, როგორცაა თბილისი. ახალი რკინიგზა ახალ ინფ-

რასტრუქტურას საჭიროებს, ხოლო არსებული რკინიგზის ზოლი ძირეულ რეკონსტრუქციას ექვემდებარება. ქალაქის ტერიტორიის და მისი შემოგარენის საერთო გეოლოგიური და ჰიდროგეოლოგიური დახასიათების ფონზე განხილულია მომავალი რკინიგზის ტრასის გასწვრივ არსებული საინჟინრო-გეოლოგიური და ჰიდროგეოლოგიური სიტუაცია, აღწერილია გარემოზე შესაძლო ნეგატიური ზემოქმედების ასპექტები. გამოყოფილია ტრასის ის უბნები, რომლებზეც მშენებლობა და შემდგომი ექსპლუატაცია განსაკუთრებულ დამცავ ღონისძიებათა გატარებას მოითხოვს.

**საკვანძო სიტყვები:** ზედაპირული და კალაპოტქვეშა ნაკადები; სენსიტიური უბანი; შემოვლითი რკინიგზა; ჰიდროგეოლოგიური პირობები.

### შესავალი

შპს „საქართველოს რკინიგზა“ ახორციელებს „თბილისის შემოვლითი რკინიგზის პროექტს“, რომლის მიზანია თბილისის ცენტრალური ნაწილის შემოვლა ახალი სარკინიგზო ტრასის საშუალებით. 27 კმ სიგრძის ახალი ორლიანდაგიანი ელექტრიფიცირებული სარკინიგზო ხაზი არსებულ ხაზს გამოეყოფა ზაჰესთან, გაივლის ავჭალისა და გლდანის ტერიტორიებს, თბილისის ზღვის ჩრდილოეთით მდებარე მალღობს და შეუერთდება კახეთის არსებულ რკინიგზის ხაზს სადგურ „ლილოსთან“. ასევე გათვალისწინებულია, სადგურ „დიდუბესა“ და სადგურ „ნავთლულს“ შორის მდებარე მონაკვეთზე სარკინიგზო ინფრასტრუქტურის დემონტაჟი, რის შედეგადაც, საერთო ჯამში 86 ჰა მიწის ნაკვეთი გამოთავისუფლდება, რომელიც გამოყენებული იქნება ქალაქის განვითარებისთვის. სტატიაში განხილულია აღნიშნული ტრასის გარემოზე ზემოქმედების შეფასება, აქედან გამომდინარე, აღწერილია მხოლოდ ტრასის ის მონაკვეთები, რომლებიც ე.წ. „სენსიტიურ უბნებზე“ გადის. თავის მხრივ, სენსიტიურში იგულისხმება მშენებლობის და ექსპლუატაციის პროცესში ადვილად მოწყვლადი ტერიტორიები.

### ძირითადი ნაწილი

რეკონსტრუქციის პროცესში აღწერილია დამახასიათებელი წერტილები და სტატიაში ყურად-

ღება გამახვილებულია მხოლოდ ჰიდროგეოლოგიურად რთულ მონაკვეთებზე.

ერთ-ერთი მოწყვლადი მონაკვეთი საპროექტო ტრასის მდ. მტკვრის ხეობასთან გადაკვეთაა სადგურ „ზაჰესის“ მახლობლად. გადაკვეთაზე კალაპოტის მარცხენა მხარეს ალუვიური კაჭარკენჭნარის ფართო ზოლი არის განვითარებული, ხოლო კალაპოტზედა ტერასის საფეხურზე ნათლად არის გამოხატული ოლიგოცენის ტერიგენული ფლიშის კლასიკური გაშიშვლება.



თანამედროვე ალუვიური კაჭარ-კენჭნარი მდინარის კალაპოტში და ძირითადი ქანების გაშიშვლება ტერასის საფეხურზე

განსახილველ უბანზე ჰიდროლოგიური და ჰიდროგეოლოგიური თვალსაზრისით გარემოზე ნეგატიური ზემოქმედება უნდა გამოიხატოს ზედაპირული და კალაპოტქვეშა ნაკადების შემფოთებაში, რაც შეიძლება გამოიწვიოს სარკინიგზო ხიდური გადასასვლელის ბურჯების მშენებლობამ [1]. ექსპლუატაციის ნორმალურ პირობებში უარყოფითი ზემოქმედება მოსალოდნელი არ არის, გარდა ავარიული სიტუაციისა, მაგალითად თუ მდინარეში დიდი რაოდენობით ჩაიღვრება ნედლი ნავთობი.

საყურადღებოა რკინიგზის ტრასის განლაგება ზემო ზაჰესის დასახლების ცხრასართულიან საცხოვრებელ კორპუსებთან. ტრასა ჩრდილოეთით, დაახლოებით 500 მეტრის დაშორებით გაივლის ხსენებულ დასახლებასთან. ჰიდროგეოლოგიურად აქ საგანგაშო არაფერია, მაგრამ დასახლების მცხოვრებთა ცხარე პროტესტია მძიმეწონიანი მოძრავი შემადგენლობის ხმაურისა და მისგან გამოწვეული ძლიერ ვიბრაციის გამო.

დასახლებიდან აღმოსავლეთით, მშრალი ხევის გადაკვეთის შემდეგ, რკინიგზა თითქმის 1 კმ სიგრძის გვირავით გრძელდება. ხევი ოლიგოცენ-მიოცენის ფლიშურ ქანებში არის გამომუშავებული [2]. მარცხენა ფერდობი საკმაოდ მაღალი კარნიზის სახით შიშვლდება, რომელიც სქელშრეებრივი, ლითოგენეტური ნაპრალებით დანაპრალიანებული, მოყვითალო – მონაცრისფრო, მსხვილ-მარცვლოვანი ქვიშაქვების დასტებით არის აგებული.

ქვიშაქვის შრეები თითქმის თარაზულია, მისი წოლის ელემენტებია: დაქანების აზიმუტი – SW – 195°, დახრის კუთხე  $\alpha = 7 \div 10^0$ . აღსანიშნავია, რომ ქვიშაქვის კარნიზის ქვემოთ, ფერდობის უფრო დამრეც, ქვედა ნაწილში სქელშრეებრივ ქვიშაქვებს

თხელშრეებრივი არგილიტების და ქვიშაქვების მორიგეობა ცვლის, რომლებშიც ნათლად აღინიშნება თაბაშირის თეთრი ფერის შუაშრეები.

მასივში თაბაშირის შუაშრეების არსებობა გასათვალისწინებელია გვირავის მშენებლობის და შემდგომი ექსპლუატაციის პერიოდში [3], ვინაიდან თაბაშირი განიხილება როგორც აგრესიული გარემო ჩვეულებრივი მარკის ბეტონის მიმართ. საპროექტო გვირავის განლაგების მონაკვეთზე ოლიგოცენ-ქვედა მიოცენის ინტენსიურად დანაპრალიანებული ნალექებით აგებული მასივი ორივე მხრიდან ღრმა ხევეებით არის შემოსაზღვრული, რის გამოც სტრუქტურა გახსნილია და ბუნებრივად დრენირებული. აქედან გამომდინარე, მიწისქვეშა წყლების მნიშვნელოვან მოდინებას გვირავის მშენებლობის პროცესში ადგილი არ უნდა ჰქონდეს, თუმცა, სავარაუდოა, რომ ამ წყებისთვის დამახასიათებელი სულფატურად აგრესიული გრუნტის წყლების მცირე მოდინებაც კი, სირთულეს შეუქმნის გვირავის სხეულს (გარსაცმს), თუ იგი სულფატმედეგი მასალისგან არ იქნა აგებული [4].



ქვიშაქვის კარნიზი ხევის მარცხენა ფერდობზე

კიდევ ერთ-ერთი დამახასიათებელი მონაკვეთი არის ტრასის გადაკვეთა მდ. ჯაჭვისწყლის ხეობასთან. მდ. ჯაჭვისწყლის ხეობა გადაკვეთის უბანზე ვიწრო და ღრმაკალაპოტიანია, უსწორმასწორო,

ზიგზაგისებრი ფერდობებით, რომლებიც ლითოლოგიურად ძირითადად მაიკოპის თიხებით და ქვიშაქვებით არის აგებული.



მდ. ჯაჭვისწყლის ხეობის ფრაგმენტი ფლიშის გაშიშვლებით

რკინიგზის მშენებლობის პროცესში ძირითადი გამართულებელი ფაქტორი არის ის გარემოება, რომ მაიკოპის წყების ქანები ძალზე არამდგრადია და შვავების და მეწყერების წარმოქმნის საფრთხეს შეიცავს [5]. ჰიდროგეოლოგიურად მასივი ღრმად არის ჩაჭრილი, რის გამოც გრუნტის წყლების ცირკულაციის სიღრმე ხევის კალაპოტის ქვევითაა.

მდ. გლდანისხევთან გადაკვეთის უბანზე მდინარის კალაპოტი საკმაოდ ფართოა და თანამედროვე კაჭარ-კენჭნარი წარმონაქმნებით არის დაფარული. განსახილველ მონაკვეთზე მდ. გლდანისხევის ხეობის ფერდობები ზედა ოლიგოცენ-ქვედა მიოცენის (მაიკოპის წყება) ქვიშაქვათიხოვანი წარმონაქმნებით არის აგებული და მშენებლობის გამართულებელი ფაქტორები ამ შემთხვევაში იდენტურია მდ. ჯაჭვისწყლის ხეობის გადაკვეთისა, რაზეც ზემოთ არის მინიშნებული. მასივი მშრალია ანუ ჰიდროგეოლოგიური კუთხით რკინიგზის

მშენებლობის და ექსპლუატაციის დამაბრკოლებელი ფაქტორები პრაქტიკულად არ არსებობს.

მდ. გლდანისხევიდან კარსანის ვარიანტი ნასერალის ქედის სამხრეთ-აღმოსავლეთ კალთებს მიუყვება და მდ. ხევძმარას გადაკვეთის შემდეგ მკვეთრად უხვევს სამხრეთისკენ „თბილისის ზღვის“ მიმართულებით. მეორე, ზაჰესის ვარიანტი კი მდ. გლდანისხევის გლდანის დასახლების თავზე გადაკვეთის შემდეგ რკინიგზის ხაზი ჩრდილოეთიდან შემოუვლის გლდანის დიდ ტბას. აქვე პატარა რუ ჩამოედინება, რომელიც ტბას ერთვის. საავტომობილო მაგისტრალსა და ტბას შორის მდებარე ტერიტორია სწორი მოვაკებული რელიეფით ხასიათდება, რომელიც ხშირი ბალახით არის დაფარული და ფრაგმენტულად დაჭაობებულია, რაც გრუნტის წყლების სარკის ახლო ( $\approx 1$  მ) განლაგებაზე მიუთითებს.



დაჭაობებული ფრაგმენტები დიდი ტბის ჩრდილოეთ პერიფერიაზე

ეს გასათვალისწინებელი ფაქტორია ზაჰესის ვარიანტის შემთხვევაში და, შესაბამისად, აღნიშნულ მონაკვეთზე რკინიგზის ვაკისი მაღალ ნიშნულზე უნდა მოეწყოს. მხედველობაში მისაღებია აგრეთვე ის გარემოება, რომ გლდანის ტბის ჩრდილოეთიდან მიმდებარე ზოლში მაღალია გრუნტის წყლების და საკუთრივ ტბის დაბინძურების რისკი რკინიგზის ექსპლუატაციის პროცესში რაიმე სერიოზული ინციდენტის შემთხვევაში. ჰიდროგეოლოგიური თვალსაზრისით უპირატესობა ენიჭება საპროექტო ხაზს, რომელიც ნასერალის ქედის სამხრეთ-აღმოსავლეთი ფერდობის ძირს მიუყვება (კარსანის ვარიანტი). აქ გრუნტის წყლები ღრმა ცირკულაციისაა ( $7 \div 10$  მ) და როგორც გამართულელებელი ფაქტორი არ განიხილება. თუმცა, საყურადღებოა თაბაშირის და იაროზიტის შემცველი თიხნარი გრუნტების გავრცელება, რაც ქიმიური სუფოზიის განვითარების მაღალ ალბათობას შეიცავს. ამ მიზეზის გამო, რკინიგზის ვაკისის მოსაწყობად ადგილობრივი გრუნტის გამოყენება მიზანშეწონილი არ არის.

საინჟინრო-გეოლოგიური კუთხით ერთ-ერთ მაღალსენსიტიურ უბნად გვევლინება რკინიგზის ტრასის გადაკვეთა მდ. ხევძმარას ხეობასთან, რომ-

ლის მარცხენა ფერდობზე, რომელიც დელუვიური, ყვითელი ფერის თიხნარით არის აგებული, ნათლად ჩანს მეწყრული მოძრაობების კვალი მოწყვეტის საფეხურების სახით. ამ გადაკვეთაზე რკინიგზის მშენებლობის პროცესში უმთავრესი დაბრკოლება ფერდობების მობილურობაა. მოსალოდნელია საკმაოდ მნიშვნელოვანი მეწყრული გადაადგილებები, რაც ფერდობების ხელოვნურად დამაგრების საჭიროებას გამოიწვევს. ეს ოპერაცია შესასრულებელია როგორც მშენებლობის, ისე რკინიგზის ექსპლუატაციის მთლიანი პერიოდის განმავლობაში [6].

სტატიის საკვანძო საკითხად უნდა მივიჩნიოთ ხელოვნური წყალსაცავის, ე.წ. „თბილისის ზღვის“ რეაგირება შემოვლითი რკინიგზის მშენებლობასა და მის შემდგომ ექსპლუატაციაზე. თბილისის ზღვის ჩრდილოეთით, მისგან დაახლოებით 300 მ-ის დაშორებით ლოკალური დეპრესიაა ( $30 \times 10$  მ), რომელიც წყლით არის დაფარული.

სავარაუდოა, რომ განსახილველ ფართობზე გრუნტის წყლები, რომლებიც დელუვიურ თიხნართან უნდა იყოს დაკავშირებული, თბილისის წყალსაცავში განიტვირთება. ამასთან, მათი განლაგების სიღრმე 4 მეტრს არ უნდა აღემატებოდეს.

მართალია, ძირითადი სუბსტრატის ამგები ოლიგოცენ-მიოცენის წყების ქანები წყალსაცავიდან ჩრდილოეთით ანუ წყალსაცავის საპირისპირო მხარეს ეცემა, მაგრამ რკინიგზაზე ინციდენტის შემთხვევაში ან თუნდაც მშენებლობის პროცესში, წყალსაცავის დაბინძურების რისკი მაინც დიდია, რადგან დაღვრილი ნავთობი დელუვიური თიხნარი შრის გავლით ადვილად ჩაადწევს გრუნტის წყლებამდე და მათი საშუალებით – უშუალოდ წყალსაცავამდე.



წყლით დაფარული ლოკალური დებრესია

მდ. კვირიკობის ხევის გადაკვეთის შემდეგ ძირითადი ხაზი სათიბად გამოყენებული ფართობის კიდეს მიუყვება და მაქსიმალურად უახლოვდება თბილისის წყალსაცავის ნაპირს. გრუნტის წყლების განლაგების სიღრმე აქ იმდენად მცირეა, რომ საკმაოდ ვრცელი დაჭაობებული ფართობები წარმოიქმნება. ეს გარემოება იმაზე მიუთითებს, რომ ზემოთ გამოთქმული მოსაზრება გრუნტის წყლების და, აქედან გამომდინარე, თვით წყალსაცავის შესაძლო დაბინძურების თაობაზე კიდევ უფრო დასტურდება ამ მონაკვეთზე არსებული ჰიდროგეოლოგიური პირობებით [7].



დაჭაობებული ფრაგმენტები წყალსაცავის ჩრდილოეთ პერიფერიაზე (რკინიგზა ↔ წყალსაცავის ურთიერთქმედების ზონაში)

განსახილველ მონაკვეთზე რკინიგზის გასწვრივ, მისგან ჩრდილოეთით გამავალი სარწყავი არხი რომ ფუნქციონირებდეს, შეიძლებოდა დაგვეშვა დაჭაობებული ფრაგმენტების არსებობა არხიდან ფილტრაციაზე წყლის დანაკარგების ხარჯზე, მაგრამ არხი უმოქმედოა, დაფარულია მცენარეულობით, ამოვსებულია სხვადასხვა ნარჩენით და მოკლე მონაკვეთებზე შემორჩენილია ადრინდელი მოპირკეთების ნიშნები. მამასადამე, არხის ქვემოთ დელუვიური გრუნტების გაწყლიანების მიზეზი არ შეიძლება წყლის ფილტრაციაზე დანაკარგები იყოს.

თუ შევაჯამებთ თბილისის წყალსაცავის ჩრდილოეთით შემოვლითი რკინიგზის მშენებლობასა და ექსპლუატაციასთან დაკავშირებული პრობლემების შესახებ გამოთქმულ მოსაზრებას, ცხადი გახდება, რომ წყალსაცავთან მიახლოების მთლიან სიგრძეზე პრევენციული ღონისძიებები უნდა გატარდეს, რათა რკინიგზის ვაკისის მოწყობის და შემდგომი ექსპლუატაციის პერიოდში გამოირიცხოს თბილისის მოსახლეობისათვის ესოდენ მნიშვნელოვანი რისკები.



ნელოვან წყალსაცავზე რკინიგზის ნეგატიური ზემოქმედება.

ვარკეთილის ყოფილი საბჭოთა მეურნეობიდან მიმავალი გზიდან მოყოლებული, რკინიგზის ხაზი შორდება თბილისის ზღვას, მაგრამ შენარჩუნებული აქვს გენერალური სამხრეთ-აღმოსავლეთი მიმართულება და სამგორის ყოფილი საბჭოთა მეურნეობის ტერიტორიაზე უერთდება რკინიგზის არსებულ ხაზს.

ჰიდროგეოლოგიურად გარემოზე შესაძლო ზეგავლენის შეფასების თვალსაზრისით მნიშვნელოვანია ის გარემოება, რომ ეს ფართობები წლების განმავლობაში სასოფლო-სამეურნეო სავარგულებს (ძირითადად ვენახის პლანტაციებს) წარმოადგენდა და დაფარულია მიწისქვეშა საირიგაციო ქსელით. ამ ქსელის კუთვნილი ერთ-ერთი ჰიდრანტიდან წყალი დღესაც გადმოედინება, რაც მიწისქვეშა ქსელის არსებობაზე მიუთითებს. დღეს ეს ფართობები ხშირი ბალახეულით არის დაფარული და ძირითადად სათიბებად გამოიყენება. გრუნტის წყლები მიწის ზედაპირთან ახლოსაა ( $\approx 3$  მ), განსაკუთრებით იმ ფართობზე, რომელიც რკინიგზის ზედა სამგორის

მაგისტრალურ სარწყავ არხთან გადაკვეთის შემდეგ ამ უკანასკნელის ჰიდრავლიკური ზემოქმედების ზონაში იმყოფება. აქედან გამომდინარე, განსახილველ დამამთავრებელ მონაკვეთზე რკინიგზის მშენებლობის და ექსპლუატაციის მთლიანი პერიოდის განმავლობაში საჭიროა ყველა იმ პრევენციული ღონისძიების გატარება, რომლებიც არაღრმა ცირკულიაციის გრუნტის წყლების დაბინძურების შესაძლებლობას გამორიცხავს.

### დასკვნა

საველე და კამერალური ფაქტობრივი მასალის მეცნიერული ანალიზის საფუძველზე, მივდივართ საერთო დასკვნამდე იმის შესახებ, რომ თბილისის შემოვლითი რკინიგზის მშენებლობა სპეციფიკურ ბუნებრივ და ანთროპოგენულ გარემოში უნდა განხორციელდეს, რაც გარკვეულ გარემოსდაცვით რისკებთან იქნება დაკავშირებული, ხოლო ამ რისკების მინიმიზაციის მიზნით საჭირო გახდება სპეციალური, სათანადოდ დასაბუთებული ღონისძიებების შემუშავება და პრაქტიკული განხორციელება.

### ლიტერატურა

1. Japaridze G.V. Engineering geology of Tbilisi. Tbilisi: "Sabchota Sakartvelo". 1984. (in Russian).
2. Engineering survey in construction. Moscow: "Stroizdat". 1975. (in Russian).
3. Kavrishvili K.V. Physical-geographical characteristics of Tbilisi surroundings. Tbilisi: "Metsniereba". 1964. (in Russian).
4. Hydrogeology of USSR. Vol. X. Georgian SSR. Moscow: "Nedra". 1970. (in Russian).
5. Petriashvili G. G. Tbilisi landslides and prediction of such phenomena. Scientific and technical conference "The development of methods for assessing the development of forecasting of landslide phenomena in the conditions of mining and orogen Alpine orogenesis". Tbilisi. 1973. (in Georgian).
6. Lomtadze V. D. Engineering geology. Leningrad: "Nedra". 1978. (in Russian).
7. Bell F.G. Engineering geology. 2007. (In English).

UDC 551.49:625.14  
SCOPUS CODE 1909

## Analyzing hydrogeological properties of Tbilisi bypass railway and their impact on the environment

- M. Mardashova** Department of Applied Geology, Georgian Technical University, 75 M. Kostava str., 0175 Tbilisi, Georgia  
E-mail: m\_mardashova@gtu.ge
- Z. Tsomaia** Ltd “Gross Energy group”, 66 Lvovi str, 0160 Tbilisi, Georgia  
E-mail: zoro1955@mail.ru
- N. Poporadze** National Environmental Agency, Georgia, Tbilisi, 150 Agmashenebeli avenue, 0112 Tbilisi, Georgia  
E-mail: nick.poporadze@gmail.com

### Reviewers:

**Z. Kakulia**, Professor, Faculty of Mining and Geology, GTU  
E-mail: z.kakulia@gtu.ge

**A. Gocholeishvili**, Professor, Faculty of Mining and Geology, GTU  
E-mail: a.gocholeishvili@gtu.ge

**Abstract.** Tbilisi is an ancient capital city of Georgia with undergoing modern building and reconstruction. One of the most considerable places that is being built is Tbilisi bypass railway. As we know railway construction requires solving many hydrogeological and engineering-geological problems, in addition, more challenges are emerging when the railway line goes through the city. While construction of new tracks requires new infrastructure, existing tracks should be reconstructed. The hydrogeological and engineering-geological conditions are reviewed along the future railway track, also potential negative impacts on environment are determined. Particularly dangerous areas of the railway track that need special protective and monitoring events are marked.

**Key words:** Bypass railway; hydrogeological properties; sensitive zone; surface and substream bed flows.

UDC 551.49:625.14  
SCOPUS CODE 1909

## Оценка гидрогеологических условий объездной железной дороги г. Тбилиси с точки зрения воздействия на окружающую среду

- Мардашова М.Л.** Департамент прикладной геологии, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава, 75  
E-mail: m\_mardashova@gtu.ge
- Цомаи З.Р.** ООО «Грос Энерго Групп», Грузия, 0175, Тбилиси, улица Львовская 66  
E-mail: zoro1955@mail.ru
- Попорадзе Н.Н.** Национальное агентство по окружающей среде, Грузия, 0175, Тбилиси, улица Агмашенебели 150  
E-mail: nick.poporadze@gmail.com

### Рецензенты:

- З. Какулия**, профессор горно-геологического факультета ГТУ  
E-mail: z.kakulia@gtu.ge
- А. Гочолеишвили**, профессор горно-геологического факультета ГТУ  
E-mail: a.gocholeishvili@gtu.ge

**Аннотация.** Наша древняя столица – Тбилиси охвачена небывалым масштабом строительства и реконструкций, среди которых наиболее значительна объездная железная дорога. Являясь линейной коммуникацией, она требует решения сложных инженерно-геологических и гидрогеологических проблем, которые особенно сложные в большом и густонаселенном городе Тбилиси. Новая железная дорога требует новой инфраструктуры, а старая действующая линия подлежит коренной реконструкции. На фоне общей геолого-гидрогеологической характеристики территории города и его окрестностей дана оценка возможного негативного влияния трассы новой железной дороги на окружающую среду. Выделены участки трассы, где строительство и эксплуатация требуют особых защитных мероприятий.

**Ключевые слова:** поверхностные и подрусловые потоки; объездная железная дорога; гидрогеологические условия; чувствительный участок.

*განხილვის თარიღი 24.05.2018*

*შემოსვლის თარიღი 13.07.2018*

*ხელმოწერილია დასაბეჭდად 28.12.2018*

UDC 621.397.2

SCOPUS CODE 2102

## სოფლის მეურნეობის პროდუქტების შრომა თხევადი აზოტის გამოყენებით

- თ. მეგრელიძე** კვების ინდუსტრიის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 68°  
E-mail: tmegrelidze@yahoo.com
- თ. ისაკაძე** კვების ინდუსტრიის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 68°  
E-mail: tamazsakadze@gmail.com
- გ. გუგულაშვილი** კვების ინდუსტრიის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 68°  
E-mail: givi.gugulashvili@gmail.com

### რეცენზენტები:

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

E-mail: zurabjaparidze@yahoo.com

**გ. გვირიკაშვილი**, შპს „ქართუნივერსალის“ ტექნიკური მენეჯერი, ტექნიკის მეცნიერებათა კანდიდატი

E-mail: gosha1974@mail.ru

**ანოტაცია.** განხილულია ხილის საშრობი დანადგარი, რომელიც მუშაობს კრიოგენული ტექნოლოგიის მეშვეობით. კრიოგენტად გამოიყენება თხევადი აზოტი. როგორც ცნობილია, თხევადი აზოტის დუდილის ტემპერატურა ერთ ატმოსფერო წნევაზე აღწევს – 196°C-ს, ამიტომ ასეთ დაბალ დუდილის ტემპერატურაზე შემუშავებულ საშრობ დანადგარს შეუძლია მნიშვნელოვნად გაზარდოს პროდუქტის შრობის ეფექტურობა. ასეთი ტიპის დანადგარი კლასიკური ტიპის საშრობისგან გამოირჩევა საკმაო სიიფით. იგი არ საჭიროებს ძვირი კომპრესორულ-კონდენსატორული აგრეგატების, ტუმბოების, საორთქლებლების, ავტომა-

ტიზაციის მაკონტროლებელი ხელსაწყოების, მაცივარაგენტების და სამაცივრო ზეთების გამოყენებას.

თხევადი აზოტი არის ინერტული აირი. იგი ეკოლოგიურად აბსოლუტურად უსაფრთხოა და აქვს ოზონის შრის დაშლის და გლობალური დათბობის ნულოვანი პოტენციალი, ამიტომ იგი არ ახდენს მავნე ზემოქმედებას სოფლის მეურნეობის პროდუქტებზე. დანადგარის მუშაობისას თხევადი აზოტის დანახარჯი საკმაოდ მცირეა, რაც გამოირიცხავს დიუარის ჭურჭლის თხევადი აზოტით დატვირთვის ხშირ პროცედურას.

**საკვანძო სიტყვები:** დიუარის ჭურჭელი; ვაკუუმ-ტუმბო; თხევადი აზოტი; მანომეტრი; სოლენოიდური ვენტილი.

## შესავალი

აზოტი აუცილებელი ელემენტია ცოცხალი არსებებისა და მცენარეებისათვის. ის შედის ცილის (მასის 16—18 %), ამინომჟავას, ნუკლეინმჟავას, ნუკლეოპროტეიდის, ქლოროფილის, ჰემოგლობინისა და სხვათა შედგენილობაში. აქედან გამომდინარე, აზოტის ატომების მნიშვნელოვანი ნაწილი არსებობს ცოცხალი ორგანიზმების შედგენილობაში.

1 ლიტრი თხევადი აზოტი, აორთქლებისა და გახურებისას 20°C-ზე, წარმოქმნის 700 ლიტრ აირს. ამიტომაც თხევად აზოტს ინახავენ სპეციალურ, დიუარის ჭურჭელში ღია ტიპის ვაკუუმური იზოლაციით ან კრიოგენურ ჭურჭელში წნევის ქვეშე. ამ ფაქტზეა დაფუძნებული ხანძრის ქრობაც თხევადი აზოტით. აორთქლებისას აზოტი აძეგვს ჟანგბადს, რომელიც საჭიროა წვისთვის და ხანძარიც ქრება. რადგან აზოტი მხოლოდ აორთქლდება წყლისაგან განსხვავებით, ქრობისას ის უფრო ეფექტურია.

კვების მრეწველობაში აზოტი დარეგისტრირებულია როგორც საკვები დანამატი E941, როგორც აირივანი გარემო შეფუთვისა და შენახვისათვის, მაცივარი საშუალება. თხევადი აზოტი გამოიყენება ზეთის და არაგაზირებული სასმელების ჩამოსხმისას.

თხევადი აზოტით გაცივების სისტემა ძალიან მარტივი და საიმედოა. ასეთი დანადგარი არ აბინძურებს გარემოს, უხმაუროა და საჭირო ტემპერატურას იჭერს ავტომატურად, უფრო მეტიც, იქმნება ინერტული გარემო სადაც იხოცება ბაქტერიები და შესაძლებელია პროდუქტების გემო და არომატი არ იკარგება. ასეთი დანადგარები გამოიყენება ყურძნის, ატმის და სხვადასხვა სახეობის ხილის გადასატანად.

## ძირითადი ნაწილი

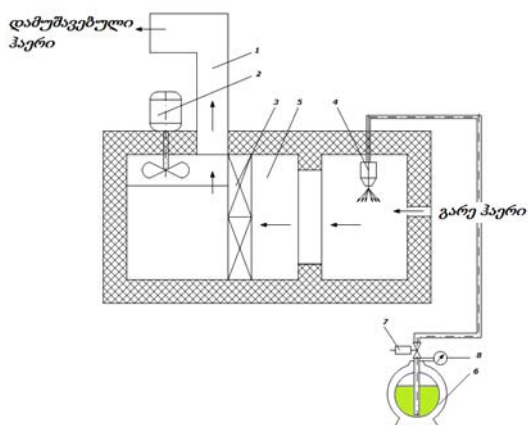
როგორც ცნობილია, სოფლის მეურნეობის პროდუქტის შენახვის ერთ-ერთი საშუალება არის მისი შრობა სპეციალურ საშრობში. კლასიკური ტიპის საშრობში იყენებენ სამაცივრო აგრეგატებს, რომლებიც ჰაერს აცივებენ და მნიშვნელოვნად ამცირებენ მის ტენშემცველობას.

როგორც ვიცით, საქართველოში მაცივარაგენტები და სამაცივრო ზეთები არ იწარმოება, ამიტომ სამაცივრო მეურნეობა მთლიანად დამოკიდებულია იმპორტირებულ მასალებზე, რომელთა ფასი მსოფლიო ბაზარზე მუდმივად იზრდება. დაისვა საკითხი, ზემოთ აღნიშნული დანადგარები გადაეყვანათ ისეთ მუშა სხეულებზე, რომელთა მიღებაც შესაძლებელი იქნებოდა ჩვენს ქვეყანაში.

ამ მიზნის განხორციელების ერთ-ერთი გზა არის მაცივარაგენტის ნაცვლად კრიოგენტის, კერძოდ თხევადი აზოტის გამოყენება და, მაშასადამე, მაცივარი დანადგარის კრიოგენური დანადგარით ჩანაცვლება.

პირველ სურათზე მოცემულია კრიოგენური საშრობი დანადგარის პრინციპული სქემა. თხევადი აზოტი ასხია დიუარის ჭურჭელში, რომელზეც დამონტაჟებულია სოლენოიდური ვენტილი და მანომეტრი. დიუარის ჭურჭლიდან მილგაყვანილობით თხევადი აზოტი ხვდება ღერძულა ტიპის ფრქვევანაში, ფრქვევანას კონსტრუქციაში გათვალისწინებულია სპეციალური სადებები და შემრეველები, რომლებიც უზრუნველყოფენ თხევადი აზოტის გაფრქვევის დიდ კუთხეს. თხევადი აზოტის მიწოდება რეგულირდება სოლენოიდური ვენტლის მეშვეობით. გაშხეფებული თხევადი აზოტის მცირედისპერსიული ნაკადი ეხება საშრობი კამე-

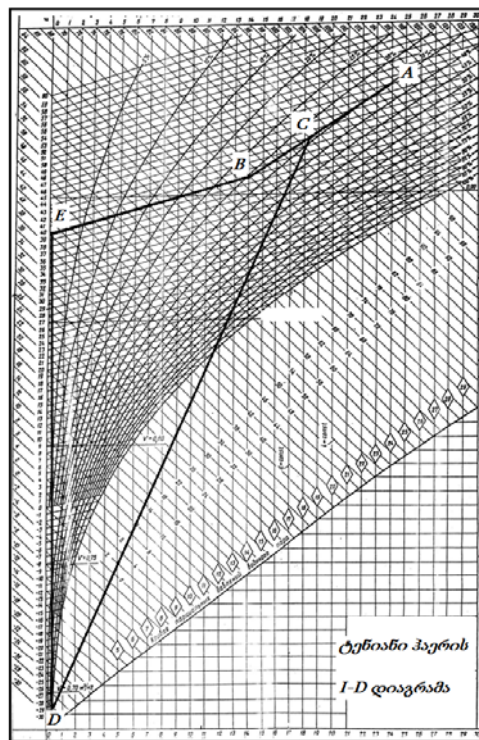
რის ჰაერს და მისი ტემპერატურა ჩამოჰყავს  $-50^{\circ}\text{C}$ -მდე. ჰაერის გაცივება მიმდინარეობს შემხეფების პროცესთან თითქმის მყისად და გაცივებასთან დაკავშირებული დროის დანაკარგი ნულის ტოლად შეიძლება ჩაითვალოს.



სურ. 1. მომდენი ჰაერსატარი-1, ცენტრიდანული ვენტილატორი-2, კალორიფერი-3, ფრქვევანა-4, ზამათბობელი სექცია-5, დიუარის ჭურჭელი-6, სოლენოიდური ვენტილი-7, მანომეტრი-8

ამის შემდეგ გაცივებული ჰაერი მიემართება საშრობი დანადგარის გათბობის სექციაში, სადაც იგი ხვდება გაწიბოვებული ზედაპირის მქონე კალორიფერს, სადაც ცირკულირებს  $60^{\circ}\text{C}$  ტემპერატურის ცხელი წყალი. კალორიფერის გაწიბოვებულ ზედაპირთან შეხებისას ჰაერი ხურდება  $40^{\circ}\text{C}$  ტემპერატურამდე და ცენტრიდანული ვენტილატორით მომდენი ჰაერსატარის გავლით მიეწოდება ხილის საშრობ საკანს. ამრიგად, კრიოგენური ტიპის საშრობ დანადგარში მიმდინარეობს ჰაერის დამუშავების შემდეგი პროცესები: 1) გაცივება – გაშრობის თანხლებით და 2) გახურება.

თუ ჰაერის დამუშავების პროცესს გამოვსახავთ I-D დიაგრამაზე, მას ექნება შემდეგი სახე (სურ. 2):



სურ. 2. ჰაერის დამუშავების პროცესი I-D დიაგრამაზე

რადგან გასაშრობ პროდუქტად აღებულია ხილი, ამიტომ საშრობ საკანში გათვალისწინებული უნდა იყოს გარე ჰაერის მიწოდებაც, ე. ი. უნდა მოხდეს გარე ჰაერისა და შიგა ჰაერის შერევა და საშრობ საკანში მიეწოდოს გარე და შიგა ჰაერის ნარევი. ჰაერის დამუშავების პროცესი ასეთია: გარე ჰაერი ერევა შიგა ჰაერს გარკვეული პროპორციით (AB წირი). შერევის წერტილიდან ნარევი ცივდება და შრება კრიოგენტის მეშვეობით (CD წირი). ამ დროს ჰაერს მაქსიმალურად სცილდება ტენი, ხოლო D წერტილიდან მიმდინარეობს ჰაერის გახურების პროცესი (CB წირი), რომელიც მომდინარეობს გაცივებული ჰაერის კალორიფერის გაწიბოვებულ ზედაპირთან შეხების შემდეგ.

საშრობის გაანგარიშებას ვაწარმოებთ შემდეგნაირად:

**I. თბოშენაკადების გაანგარიშება**

1. მომსახურე პერსონალისაგან შემოსული თბოშენაკადები,
2. მოწყობილობებისაგან შემოსული თბოშენაკადები,
3. განათებისაგან შემოსული თბოშენაკადები,
4. საშრობი მასალისაგან შემოსული თბოშენაკადები,
5. ინფილტრაციით შემოსული თბოშენაკადები,
6. შემოფარგვლიდან შემოსული თბოშენაკადები.

ამის შემდეგ ვანგარიშობთ ჯამურ თბოშენაკადებს:

$$\sum Q = Q_{ბაღიბი} + Q_{მოწყ} + Q_{გან} + Q_{მას} + Q_{ინფ} + Q_{შემ}$$

**II. ტენშენაკადების გაანგარიშება**

1. მომსახურე პერსონალისაგან შემოსული ტენშენაკადები,
2. საშრობი მასალიდან შემოსული ტენშენაკადები,
3. ინფილტრაციით შემოსული ტენშენაკადები.

ვანგარიშობთ ჯამურ ტენშენაკადებს:

$$\sum W = W_{ბაღიბი} + W_{მას} + W_{ინფ}$$

**III. ვანგარიშობთ თბოტენიანობის კოეფიციენტს**

$$\varepsilon = \frac{\sum Q}{\sum W}$$

**IV. გარე ჰაერის რაოდენობას ვირჩევთ სანიტარიული ნორმის მიხედვით.**

**V. ვანგარიშობთ მიწოდებული ჰაერის რაოდენობას**

$$L = \frac{\sum Q}{\rho \times c_p \times \Delta t} \text{ მ}^3/\text{წმ}$$

**VI. ვანგარიშობთ დატვირთვას კალორიფერზე**

$$Q_{კალ} = \rho \times L \times \Delta i \text{ კვტ}$$

**დასკვნა**

ხილის საშრობის განხილული კრიოგენული დანადგარი არის მაცივარაგენტზე მომუშავე საშრობის ალტერნატივა. თხევადი აზოტი გამოირჩევა სიიფით. მისი მიღება საქართველოში შესაძლებელია უპრობლემოდ მაშინ, როდესაც საქართველო არ აწარმოებს მაცივარაგენტებს, თხევადი აზოტის გამოყენება მუშა სხეულად გამოირჩევა ფულადი დანახარჯების დიდი ეკონომიით. ამრიგად, ასეთი კონსტრუქციის საშრობი აპარატების წარმოება დიდად წაადგება ქვეყნის ეკონომიკას.

**ლიტერატურა**

1. Megrelidze T., Gugulashvili G., Sadagashvili E. Effect of the shape of the object to be frozen on the duration of freezing. Tbilisi: "Teqnikuri Universiteti". № 2 (472). 2009. 100-103 pp. (in Georgian).
2. Megrelidze T., Sadagashvili E., Mgebrishvili S., Gugulashvili G. Theoretical analysis of food products freezing and defrosting processes. Collection of works of the international scientific conference "New Technologies in Modern Industry". Tbilisi. 2010, 14-17 pp. (in Georgian).
3. Megrelidze T., Maglakelidze N., Gugulashvili G. Device for the tires freezing. Tbilisi: "Transport and Machine Building". № 2 (36). 2016, 85-94 pp. (in Georgian).

4. System trouble shooting measuring instruments. Danfoss A/S (RC-SM/MWA), 09-2002 (in Russian).
  5. Honeywell refrigerants. Honeywell International Inc. 2006. (in English).
- 

UDC 725.355  
SCOPUS CODE 2102

### Drying of agricultural products using liquid nitrogen

- T. Megrelidze** Department of Food Industry, Georgian Technical University, 68<sup>a</sup> M. Kostava str, 0175 Tbilisi, Georgia  
E-mail: tmegrelidze@yahoo.com
- T. Isakadze** Department of Food Industry, Georgian Technical University, 68<sup>a</sup> M. Kostava str, 0175 Tbilisi, Georgia  
E-mail: tamazisakadze@gmail.com
- G. Gugulashvili** Department of Food Industry, Georgian Technical University, 68<sup>a</sup> M. Kostava str, 0175 Tbilisi, Georgia  
E-mail: givi.gugulashvili@gmail.com

#### Reviewers:

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

**G. Kvirikashvili**, Candidate of Engineering Sciences, Technical Manager of LTD “Cartu Universal”  
E-mail: gosha1974@mail.ru

**Abstract.** A fruit drying machine is introduced, which operates using cryogenic technology. Liquid nitrogen is used as a cryogen. As it is known, the boiling point of liquid nitrogen at one atmospheric pressure reaches -196 °C, so a drying device developed at such low boiling temperatures can significantly improve the drying efficiency of the product. This type of machine differs from the traditional types of dryers with quite low cost. This does not require the use of high-value condensing units, pumps, evaporators, automatic control devices, refrigerants and refrigeration oils.

Liquid nitrogen is an inert gas. It is environmentally safe and has zero potential for ozone depletion and global warming. That's why it cannot harm agricultural products. When working with the device, the consumption of liquid nitrogen is very small, this eliminates the frequency of loading of liquid nitrogen in Dewar flask.

**Key words:** Dewar flask; liquid nitrogen; manometer; solenoid valve; vacuum pump.



UDC 725.355  
SCOPUS CODE 2102

### Сушка сельскохозяйственной продукции с использованием жидкого азота

- Мегрелидзе Т.Я.** Департамент пищевой индустрии, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава, 68<sup>а</sup>  
E-mail: tmegrelidze@yahoo.com
- Исакадзе Т.А.** Департамент пищевой индустрии, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава, 68<sup>а</sup>  
E-mail: mai
- Гугулашвили Г.Л.** Департамент пищевой индустрии, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава, 68<sup>а</sup>  
E-mail: givi.gugulashvili@gmail.com

#### Рецензенты:

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

E-mail: zurabjaparidze@yahoo.com

**Г. Квирикашвили**, кандидат технических наук, технический менеджер ООО «Картууниверсал».

E-mail: gosha1974@mail.ru

**Аннотация.** Представлена машина для сушки фруктов, которая работает с использованием криогенной технологии. В качестве криогена используют жидкий азот. Как известно, температура кипения жидкого азота на одном атмосферном давлении достигает  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ , поэтому сушильное устройство, разработанное при таких низких температурах кипения, может значительно повысить эффективность сушки продукта. Этот тип машины отличается от классических типов сушилки достаточно низкой стоимостью. Это не требует использования высокоценных компрессорно-конденсационных агрегатов, насосов, испарителей, устройств управления автоматикой, хладагентов и холодильных масел.

Жидкий азот представляет собой инертный газ. Он экологически безопасен и имеет нулевой потенциал разрушения озонового слоя и глобального потепления. Вот почему он не может нанести вред сельскохозяйственной продукции. При работе с устройством расход жидкого азота очень мал, это устраняет частоту загрузки жидкого азота в сосуд Дюара.

**Ключевые слова:** вакуумный насос; жидкий азот; манометр; соленоидный вентиль; сосуд Дюара.

*განხილვის თარიღი 15.06.2018*

*შემოსვლის თარიღი 25.06.2018*

*ხელმოწერილია დასაბეჭდად 28.12.2018*

UDC 621.1

SCOPUS CODE 2105

## გეოგრაფიული დივერსიფიკაციის მეთოდი ქარის ელექტროგენერაციის დაგეგმვისთვის საქართველოში

- ლ. ვეფხვაძე** საწარმოო ინოვაციებისა და ოპერაციათა მენეჯმენტის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 75  
E-mail: lvepkhvadze@gig.ge
- გ. არაბიძე** თბოენერგეტიკისა და ენერგოეფექტურობის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 75  
E-mail: power@gtu.ge

### რეცენზენტები:

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

E-mail: bchkhaidze@yahoo.com

**ს. ბარამიძე**, შპს „სითბოს“ დირექტორი, აკადემიური დოქტორი

E-mail: sim.baramidze@yahoo.com

**ანოტაცია.** საქართველოში ქარის ენერგეტიკის განვითარების უმთავრესი ხელის შემშლელი ფაქტორი გამომუშავებული ელექტროენერჯიის არასტაბილურობა, ცვალებადობაა. ნაშრომით შემოთავაზებულია გეოგრაფიული დივერსიფიკაციის მოდელი, კერძოდ, შესწავლილია ორი ამოცანა, რომელთაგანაც პირველი ჰარი მარკოვიცის კლასიკური პორტფელური ამოცანაა შეზღუდვების გარეშე აღნიშნული მიდგომით, ჯამური დადგმული სიმძლავრე გეოგრაფიულად დაშორებულ ადგილებში ნაწილდება ისეთი პროპორციით, რომ მიღებული ჯამურად გამომუშავებული ელექტროენერჯია მოცემული დისპერსიის მნიშვნელობისთვის მაქსიმალურია.

მეორე შემთხვევაში, ორმიზნიანი პორტფელური ამოცანა იცვლება უფრო ზოგადი მრავალმიზნიანი ოპტიმიზაციის ამოცანით, სადაც უკვე არსებულ ორ მიზანს ემატება კიდევ ერთი: კაპიტალური დანახარჯების მინიმიზება. ამ უკანასკნელი ამოცანის შესასწავლად გამოყენებულია არადომინირებადი, დამახარისხებელი გენეტიკური ალგორითმი NSGA-II. რიცხობრივი ექსპერიმენტი განხორციელდა სინთეტიკურ მონაცემებზე, რომელიც სიმულირებულია ვეიბელის განაწილების გამოყენებით, ხოლო რიცხობრივი მოდელი განხორციელებულია კომპიუტერული დაპროგრამების ენა R-ის გამოყენებით.

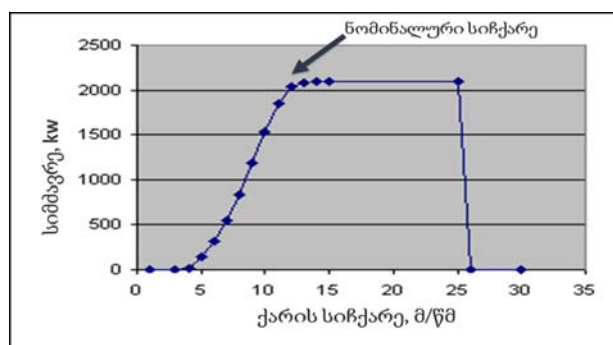
**საკვანძო სიტყვები:** გენეტიკური ალგორითმი; ვეიბელის განაწილება; თანამედროვე პორტფელური თეორია; მრავალმიზნობრივი ოპტიმიზაცია; დაპროგრამების ენა R; ქარის ელექტროგენერაცია.

### შესავალი

მიუხედავად იმისა, რომ როგორც განახლებადი ენერჯიის წყარო, ქარის ენერჯია გრძელვადიან პერსპექტივაში სანდო ენერჯორესურსია, მისი მოკლევადიანი ცვალებადობა, როგორც წესი, ელექტროსისტემაში ქმნის მნიშვნელოვან არასტაბილურობას. ის რომ გრძელვადიან პერსპექტივაში ქარი უფრო სტაბილური ენერჯორესურსია ვიდრე წყალი, შეგვიძლია დავასკვნათ იმ გამოცდილებიდან, რომელიც საქართველოში დაგროვდა 2017 წლის განმავლობაში, ანუ მას შემდეგ, რაც ქარის პირველმა ელექტროსადგურმა დაიწყო ოპერირება გორის მუნიციპალიტეტის ტერიტორიაზე. კერძოდ, ბაზრის კომერციული ოპერატორის ვებგვერდზე განთავსებული მონაცემების ანალიზის შესაბამისად, თუკი ქარის გენერაციის პროცენტული დისპერსია 18%-ია, მცირე სიმძლავრის ჰესებისთვის (13 მეგავატამდე) იგივე მაჩვენებელი 40%-მდეა, ხოლო მარეგულირებელი ჰესებისთვის – 50%-ია. ამასთანავე, კიდევ უფრო შთამბეჭდავად გამოიყურება თვეებს შორის ელექტროგენერაციის სხვაობა: ქარის ელექტროსადგურის მიერ წლის განმავლობაში თვეების მიხედვით გამომუშავებული ელექტროენერჯიის მაქსიმუმი (აპრილი) 1.8-ჯერ აღემატება მინიმუმს (ნოემბერი), მაშინ, როცა მცირე ელექტროსადგურების მაქსიმუმი (მაისი) 3-ჯერ აღემატება მინიმუმს (თებერვალი), ხოლო

მარეგულირებელი ჰესებისთვის ეს მაჩვენებელი 6-ს აღწევს [1].

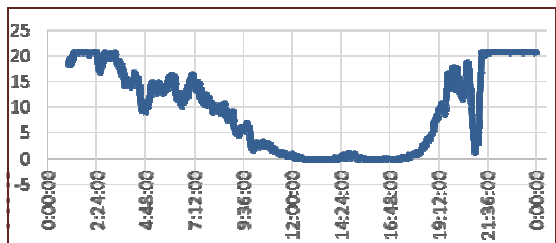
ამრიგად, ნათელია, რომ წლის განმავლობაში ქარის გენერაციას შეუძლია სისტემას მიაწოდოს ჰიდროსადგურებთან შედარებით სტაბილური ელექტროენერჯია, რასაც ვერ ვიტყვით გენერაციის სტაბილურობაზე დღის ჭრილში. კერძოდ, გენერაციის ამ წყაროს ესაჭიროება ქარის მინიმალური სიჩქარე 3 მ/წმ იმისთვის, რომ დაიწყოს ელექტროენერჯიის გამომუშავება, ხოლო როცა სიჩქარე ასცდება 25 მ/წმ-ს უსაფრთხოების მიზნებიდან გამომდინარე, ტურბინა წყვეტს ელექტროენერჯიის გამომუშავებას. ასევე, ყოველ ტურბინას აქვს საკუთარი სიმძლავრის წირი, რომელიც მიუთითებს კავშირს ქარის სიჩქარესა და გამომუშავებულ ელექტროენერჯიას შორის, სურ. 1.



სურ. 1. ქარის ტურბინის სიმძლავრის წირი. წყარო: [http://www.wind-power-program.com/turbine\\_characteristics.htm](http://www.wind-power-program.com/turbine_characteristics.htm)

პირველ სურათზე გამოსახულია 2.5 მეგავატანი ტურბინის სიმძლავრის წირი, რომლის მიხედვითაც ტურბინა დაახლოებით 12 მ/წმ სიჩქარეზე აღწევს მაქსიმალურ, ნომინალურ გამომუშავებას, თანაც, 3 მ/წმ-დან 12 მ/წმ-მდე სიჩქარის ცვალებადობა იწვევს გამომუშავებული ელექტროენერჯიის ცვალებადობას [2].

მე-2 სურ-ზე მოცემულია გორში არსებული ქარის ელექტროსადგურ „ქართლის“ გამომუშავება 24 საათის განმავლობაში,



სურ. 2. ქარის ელექტროსადგურ „ქართლის“ გამომუშავება

მე-2 სურათზე მოცემული გორის ქარის ელექტროსადგურის მიერ გამომუშავებული ენერჯიის ცვალებადობა 24 საათის განმავლობაში, თვალნათ-

ლივ წარმოაჩენს იმ პრობლემას, რომელიც დღის ჭრილში ქარის გენერაციის ცვალებადობასთან არის დაკავშირებული. თუმცა, გასული 20 წლის ევროპულმა გამოცდილებამ აჩვენა, რომ ქარის ტურბინების რაოდენობის ზრდასთან ერთად მცირდება გამომუშავებული ელექტროენერჯიის ცვალებადობა, კერძოდ, ენერგეტიკის საერთაშორისო სააგენტოს მიერ მომზადებული დასკვნის მიხედვით, დროის მოცემულ შუალედებში დაფიქსირებული ელექტროენერჯიის გამომუშავების საშუალო ცვლილება და ცვლილების დისპერსია მნიშვნელოვნად ეცემა ტურბინების რაოდენობის ზრდასთან ერთად, ცხრ. 1 [3]:

ცხრილი 1

**ქარის გენერაციის ჯამური ცვალებადობის დამოკიდებულება ტურბინების რაოდენობაზე**

დროის შუალედი		14 ტურბინა		61 ტურბინა		138 ტურბინა		250+ ტურბინა	
		(kW)	(%)	(kW)	(%)	(kW)	(%)	(kW)	(%)
10-წუთი	საშუალო	329	3.1	612	2.1	2243	1.9	3714	1.5
	დისპერსია	548	5.3	1038	3.5	3810	3.1	6418	2.3
1 საათი	საშუალო	736	7	3732	6.7	6582	6.4	12755	5.3
	დისპერსია	1124	10.7	5932	8.5	10032	7.7	19231	6.9

ამასთან, დიდი ბრიტანეთის ქარის ცვალებადობის შესწავლამ აჩვენა, რომ ქარის სიჩქარეების საათობრივი კორელაცია ეცემა 10%-ით მოცემულ ადგილებს შორის მანძილის ყოველ 120 კილომეტრზე, რასაც ლიტერატურაში ქარის გენერაციის გეოგრაფიული დივერსიფიკაცია ეწოდება [4]. შესაბამისად, თუკი ტურბინებს შორის დაშორება და ტურბინების რაოდენობრივი ზრდა ამცირებს ჯამური გამომუშავების ცვალებადობას, მაშინ საკითხი შეიძლება დაისვას შემდეგი კუთხით: შესაძ-

ლებელია თუ არა, რომ წინასწარ მოცემული სიმძლავრის ქარის ელექტროგენერაცია გადავანაწილოთ მოცემულ ლოკაციებზე ისე, რომ გამომუშავებული ელექტროენერჯიის რაოდენობა იყოს გარკვეული აზრით ოპტიმალური.

ჩამოყალიბებული ამოცანა თავისი არსით ძალიან ჰგავს თანამედროვე პორტფელური ოპტიმიზაციის მარკოვიცის ამოცანას ფინანსებიდან, რომელიც გულისხმობს მოცემული კაპიტალის აქტივების ისეთ პორტფელში დაბანდებას, რომელიც

ყველაზე ოპტიმალურია ამონაგებისა და რისკის კომპრომისის აზრით ანუ რისკის მოცემული მნიშვნელობისთვის იძლევა მაქსიმალურ ამონაგებს [5]. როგორც წესი, კლასიკურ ლიტერატურაში რისკად აღებული მონაცემების დისპერსია, რომელიც მონაცემების გაბნეულობის მახასიათებელია, კერძოდ, რიცხობრივად ის გამოხატავს საშუალო კვადრატულ გადახრას მონაცემების მათემატიკური ლოდინიდან.

საზოგადოდ, ამ მიდგომას აქვს გარკვეული ნაკლი, რაც გამოიხატება იმით, რომ მარკოვიცის პორტფელური მიდგომა თავისი არსით სტატისტიკურ დაშვებაზეა დამყარებული ანუ მოსალოდნელი ამონაგები და რისკის ზომა – დისპერსია იანგარიშება ისტორიული მონაცემებით და იგულისხმება, რომ ეს სიდიდეები მომავალშიც მიახლოებული მაჩვენებლებით იქნება მოცემული [6]. ცხადია, ეს ნაკლი მნიშვნელოვანია ფინანსური აქტივების შემთხვევაში, რადგან ისტორიული მონაცემები, როგორც წესი, არ იმეორებს წინა წლების მაჩვენებლებს, რაც მნიშვნელოვანი უარყოფითი ფაქტორია მსგავსი დაშვებისთვის. ქარის სიჩქარე კი, თავის მხრივ, ხასიათდება როგორც ციკლურობით, ისე სეზონურობით, შესაბამისად, ლიტერატურაში მსგავსი მიდგომის შესწავლა აქტიურად მიმდინარეობს, კერძოდ, ქარის გენერაციის გეოგრაფიული დივერსიფიკაციისთვის პორტფელური თეორია შემოთავაზებულია Drake and Hubacek [4], Roques et al [7], Santos-Alamillos et al. [8], Thomaidis et al. [9], Reichenberg et al. [10] ნაშრომებში, სადაც ნაჩვენებია ამ მიდგომის ეფექტურობა ქარის გენერაციის სტაბილურობის მისაღწევად, ამასთან, Reichenberg et al. [11] ორმიზნიან ამოცანას (გამომუშავება, ცვა-

ლებადობა) აზოგადებს კიდევ ერთი მიზნის, რისკის ღირებულების საშუალო სიდიდის (CVaR) მინიმიზაციის მოთხოვნით.

ნაცვლად რისკის ღირებულების საშუალო სიდიდის მინიმიზაციისა, მოცემულ ნაშრომში საწყისი კაპიტალური დანახარჯის მინიმიზაცია განხილულია მრავალმიზნობრივი ოპტიმიზაციის მესამე ამოცანად. აქ უნდა აღინიშნოს ის ფაქტი, რომ საწყისი კაპიტალური დანახარჯი მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული გეოგრაფიულ ლოკაციაზე, კერძოდ, უპირველეს ყოვლისა, ქარის ტურბინის ნაწილების ტრანსპორტირება სხვადასხვა ლოკაციაზე შესაძლოა მნიშვნელოვნად განსხვავდებოდეს, ასევე, საკმაოდ მნიშვნელოვანია ქსელთან მიერთების ხარჯების განსხვავებაც, რადგან ეს ხარჯები დამოკიდებულია არსებული ქსელიდან დაშორების მანძილზე.

რაც შეეხება მრავალმიზნობრივი ოპტიმიზაციის ამოცანის შესწავლას, ამ მიზნით ნაშრომში შემოთავაზებულია მრავალმიზნობრივი ევოლუციური ალგორითმი NSGA2, რომელიც არადომინირებადი გენეტიკური ალგორითმია და წარმატებით მუშაობს არაგლუვი და არამოხუნეკილი ოპტიმიზაციის ამოცანებზე. ალგორითმი შედეგად იძლევა პარეტოს ზედაპირს, საიდანაც შეირჩევა „ოპტიმალური“ ანუ გარკვეული აზრით კომპრომისული ამონახსნი და ეფექტურია მრავალმიზნობრივი ამოცანებისთვის [12,13].

ნაშრომი იყოფა სამ ნაწილად: პირველ ნაწილში აღწერილია თუ როგორ მოხდა მონაცემების სიმულირება სამ განსხვავებულ ლოკაციაზე, შემდეგ ნაწილში ნაჩვენებია თანამედროვე პორტფელური თეორიის გამოყენებით მოცემული სიმძლავრის

ნახსენებ ლოკაციებში ოპტიმალური გადანაწილების მეთოდი, ხოლო დასასრულს ნაშრომი მრავალმიზნობრივ ევოლუციურ ალგორითმზე დაყრდნობით სწავლობს ოპტიმალური ამონახსნის პოვნის შესაძლებლობას, კერძოდ, ჯერ ადგენს პარეტოს ამონახსნების ერთობლიობას, ხოლო შემდეგ პოულობს ისეთ ამონახსნს, რომელიც არის კომპრომისული ერთი მხრივ, მაქსიმალური ელექტროგენერაციისა და, მეორე მხრივ, მინიმალური ცვალებადობისა და კაპიტალური დანახარჯისა.

### ძირითადი ნაწილი

#### ა. ქარის სინთეზური მონაცემების სიმულირება და ამ მონაცემებით სამ ლოკაციაზე ელექტროენერაციის გენერირება

მონაცემების გენერირებისთვის, პირველ რიგში, უნდა მოხდეს ქარის სიჩქარის სინთეზური სიჩქარის გენერირება, რომელიც, თავის მხრივ, ეფუძნება ვეიბელის განაწილებას, სიმკვრივის შემდეგი ფუნქციით [14]:

$$f(V) = \frac{k}{c} \left(\frac{V}{c}\right)^{k-1} e^{-(V/c)^k} \quad 0 \leq V < \infty,$$

სადაც  $V$  არის ქარის სიჩქარე, ხოლო  $c$  და  $k$  – შესაბამისად სიჩქარის მასშტაბისა და განაწილების მრუდის ფორმის პარამეტრები. სიჩქარის მასშტაბის პარამეტრი დაკავშირებულია ქარის სიჩქარის საშუალო მაჩვენებელთან მაშინ, როცა მრუდის ფორმის პარამეტრი დაკავშირებულია განაწილების სიგანესთან ანუ რაც უფრო დაბალია ეს პარამეტრი, მით უფრო ნაკლებად ცვალებადია ქარის სიჩქარე [15]. საზოგადოდ, მრუდის ფორმის პარამეტრი 1-დან 3.5-მდე მერყეობს. წინამდებარე სტატიის მიზნებისთვის ანუ იმისთვის, რომ ვეიბელის

განაწილების სიმკვრივის ფუნქციის პარამეტრები (ქარის მასშტაბი და განაწილების მრუდის ფორმა) მიახლოებული ყოფილიყო ქართულ რეალობასთან, გაანალიზდა სკრაში მდებარე მეტეოსადგურის მონაცემები. თუმცა ნაშრომში ამ მონაცემების დეტალური წარმოდგენა არ არის გათვალისწინებული ქარის მეტეოსადგურის მეპატრონე კომპანიასთან გაფორმებული ორმხრივი გაუხმაურებლობის შეთანხმების შესაბამისად.

არსებული მონაცემებით შეფასდა უკანასკნელი სამი წლის ქარის სიჩქარე, სტანდარტული გადახრა და ქარის მიმართულება 10-წუთიანი ბიჯით 30, 60 და 80 მეტრ სიმაღლეებზე. ასევე, მონაცემები გაანალიზდა თვეების მიხედვით და ზემოთ ნახსენები პარამეტრები შეფასდა ყოველი თვის მიხედვით ცალ-ცალკე.

მონაცემების სიმულაციისთვის, სიმარტივისთვის გაკეთდა შემდეგი დაშვება:

სამი ლოკაციიდან ორზე ქარის მასშტაბის პარამეტრი ერთნაირია, განაწილების მრუდის ფორმის პარამეტრები კი – განსხვავებული, რაც იმას ნიშნავს, რომ ამ ლოკაციებში განსხვავებულია საშუალო სიჩქარე, ხოლო სიჩქარის ცვალებადობა მსგავსია.

მესამე ლოკაციაზე სიმულაციისთვის აღებულია შედარებით დაბალი საშუალო წლიური სიჩქარე და დაშვებულია უფრო დიდი ცვალებადობა,

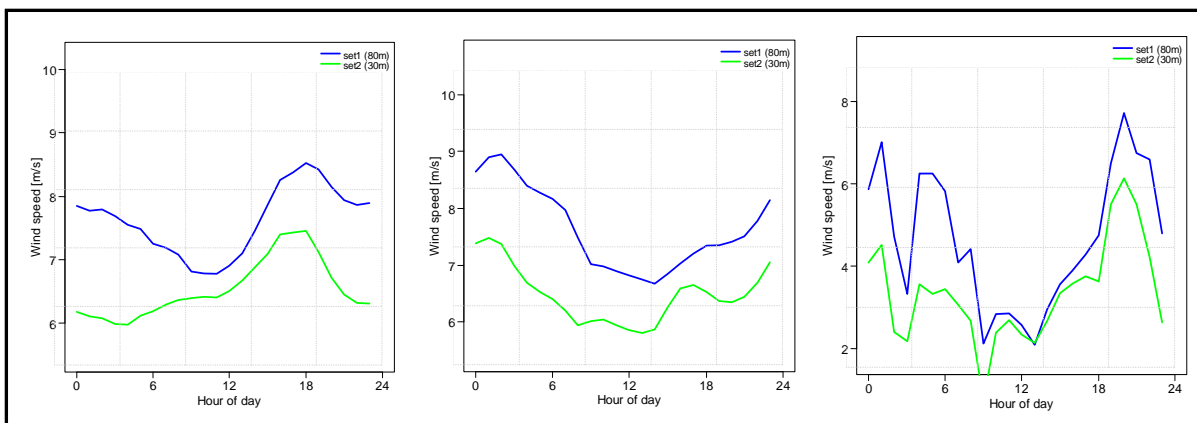
უნდა აღინიშნოს, რომ სიმულაციის შედეგად მიღებული მონაცემები თანხვედრაშია ჰელმანის ექსპონენციალურ კანონთან  $V=V_0\left(\frac{H}{h}\right)^\alpha$ , სადაც  $V$  არის ქარის სიჩქარე  $H$  სიმაღლეზე;  $V_0$  – ქარის სიჩქარე  $h$  მ სიმაღლეზე;  $\alpha$  – ქარის წანაცვლების კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია ტერიტორიის სპეციფიკაზე და მერყეობს 0.1-დან 0.4-მდე

[15]. ნაშრომში 30მ, 60მ და 80მ სიმაღლეებზე გენერირებული მონაცემები შეესაბამება ქარის წანაცვლების კოეფიციენტის  $\alpha=0.17$  მნიშვნელობას.

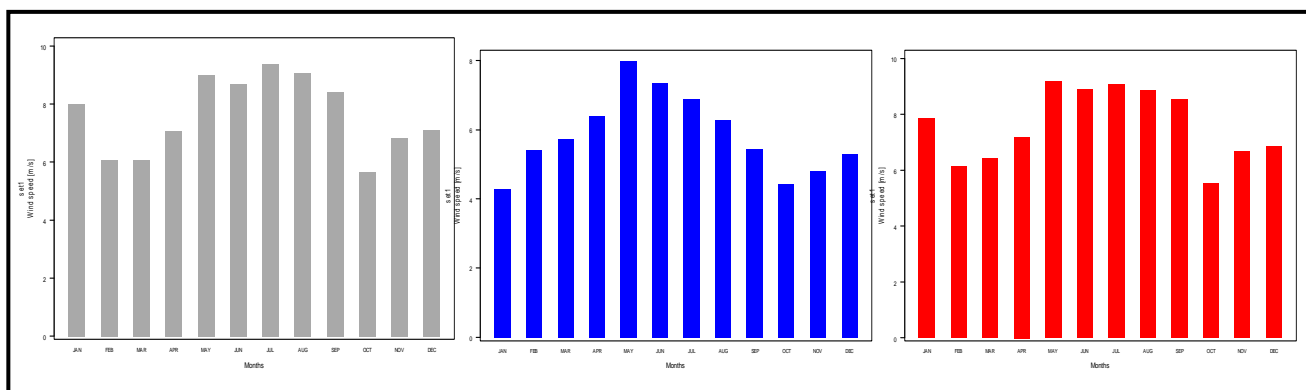
საბოლოო ჯამში, გენერირებულია ქარის სიჩქარის 100 000 დროითი მწკრივი 10-წუთიანი ბიჯით სამი ლოკაციისთვის, შესაბამისად, თითოეული დროის მწკრივი შედგება  $6*24*365=52,560$  ელემენტისგან. მონაცემების სიმულაციისთვის გამოყენებულია დაპროგრამების ენა R.

მე-3 სურ-ზე მოცემულია ქარის სიმულირებული სიჩქარის დღიური პროფილი სამი ლოკაციის მიხედვით 30მ და 80მ სიმაღლეებზე, ხოლო მე-4 სურ-

ზე ქარის საშუალო თვიური სიჩქარეები 80მ სიმაღლეზე. მე-3 და მე-4 სურათები შესაბამისად აჩვენებს ქარის სინთეზური მონაცემის დღიურ პროფილს და საშუალო თვიურ სიჩქარეებს. დღიური პროფილის ვიზუალიზაცია აჩვენებს, რომ, როგორც მოსალოდნელი იყო, მესამე ლოკაციაზე ქარის ცვალებადობა გაცილებით მაღალია და, ასევე, იმის გამო, რომ პირველ ორ ლოკაციაზე ქარის მასშტაბის პარამეტრი ერთნაირია, ინტუიციურად შეგვიძლია ვივარაუდოთ, რომ ამ ლოკაციებზე ელექტროენერჯიის გამომუშავების შედარებით დიდი დადებითი კორელაცია შეიძლება გამოვლინდეს.



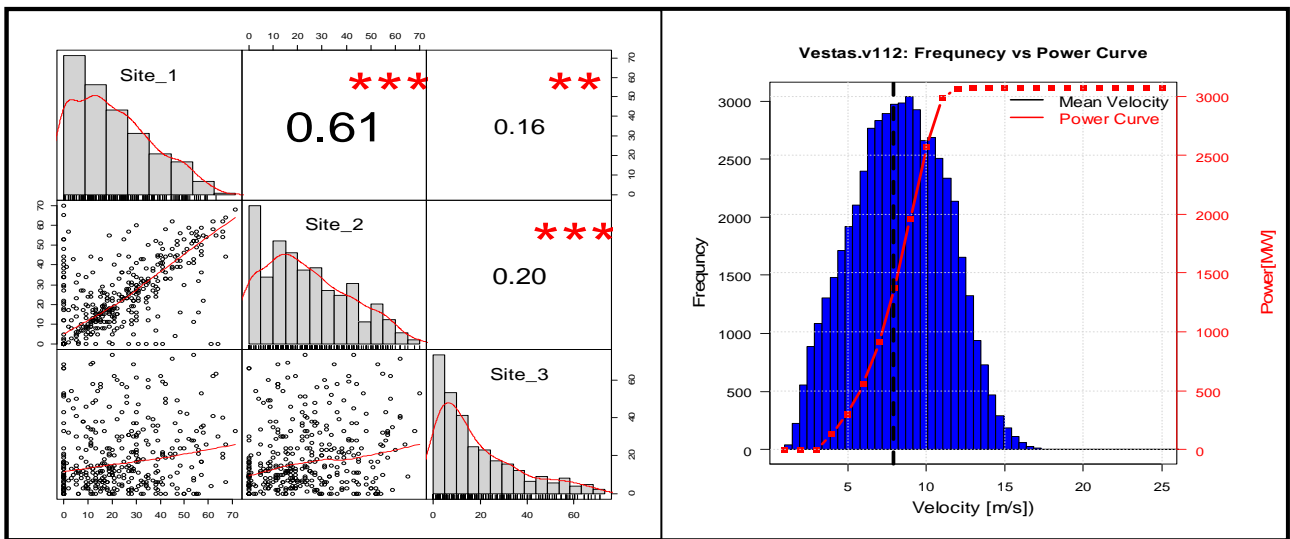
სურ. 3. ქარის სიმულირებული სიჩქარის დღიური პროფილი



სურ. 4. ქარის საშუალო თვიური სიჩქარეები 80მ სიმაღლეზე

ამის შემდეგ, დაპროგრამების ენა R-ის bReeze პაკეტის გამოყენებით მოხდა სინთეზური ქარის მონაცემით მოცემული ტურბინისთვის ელექტროენერჯიის გენერირება [16]. თუმცა ეს პაკეტი შეიცავს ყოველწლიური ენერჯოგამომუშავების ფუნქციას (Annual Energy Production, AEP), რომლის გამოყენება მონაცემების შეფასებისთვის შეუძლებელი იქნებოდა, ვინაიდან ნაშრომის მიზანი დღიური გამოიმუშავების დაბალანსებაა. შესაბამისად, პროგრამულად დაიწერა ახალი ფუნქცია Daily Energy Production (DEP), რომლის გამოყენებითაც მოხდა ტურბინის საათობრივი გამოიმუშავების გენერირება. იმის გამო, რომ ყოველ ტურბინას განსხვავებული ენერჯომრუდი აქვს, წინამდებარე ნაშრომში განხილულია ერთი კონკრეტული ტურბინა – Vestas\_V112\_3.0MW, რომლის სიმძლავრის წირიც ხელმისაწვდომია bReeze პაკეტში.

შესაბამისად, მოცემული ტურბინისთვის მოხდა დღიური ელექტროგამომუშავების გენერირება, რომელიც აჩვენებს, რომ პირველ და მეორე ლოკაციას შორის, რეალურად დაფიქსირდა დიდი 0.61 დადებითი კორელაცია, ხოლო მესამე ლოკაციაზე გენერირებული მონაცემი აჩვენებს გარკვეულ დადებით მახვენებელს პირველ ორთან, თუმცა კორელაციის კოეფიციენტი შედარებით უმნიშვნელოა სურ. 5, ცხრ. 2. მე-2 ცხრილი ასახავს დღიური გამოიმუშავების მათემატიკურ ლოდინსა და სტანდარტულ გადახრას, რომელიც წარმოადგენს კვადრატულ ფესვს მონაცემების დისპერსიიდან. დიდი სტანდარტული გადახრა იმის მანიშნებელია, რომ არის დღეები, როცა 3 მეგავატიანი ტურბინა ნომინალურ დატვირთვაზე მუშაობს და მაქსიმალურ ელექტროენერჯიას გამოიმუშავებს და არის ისეთი დღეებიც, როცა ტურბინის გამოიმუშავება ნულს უდრის.



სურ. 5. Vestas\_V112\_3.0MW სიმძლავრის წირი და ლოკაციებს შორის კორელაციის კოეფიციენტი



**დღიური გამომუშავების მათემატიკური  
ლოდინი და სტანდარტული გადახრა**

<b>&gt; Means</b>		
<b>WPP1 (MWh)</b>	<b>WPP2 (MWh)</b>	<b>WPP3 (MWh)</b>
19.29	22.91	23.69
<b>&gt; Standard Deviation</b>		
<b>WPP1 (MWh)</b>	<b>WPP2 (MWh)</b>	<b>WPP3 (MWh)</b>
17.86	18.07	17.39

**ბ. თანამედროვე პორტფელური თეორია და მისი გამოყენება ქარის გენერაციის ცვალებადობის შესამცირებლად**

ნაშრომში განხილულ ამოცანაზე თანამედროვე პორტფელური თეორიის გავრცელების მიზნით შემოთავაზებულია შემდეგი ალგორითმი:

1. ცალკეული ლოკაციებიდან მიღებული გენერაციის საშუალო მნიშვნელობები განხილულია ზოგადად ელექტროგენერაციის მათემატიკური ლოდინის მნიშვნელობებად;
2. დაანგარიშებულია სამი ლოკაციიდან გენერირებული ელექტროენერგიის კოვარიაციის მატრიცა;
3. მიღებული მათემატიკური ლოდინისა და კოვარიაციის მატრიცის გამოყენებით შედგენილია პორტფელის შეწონილი ელექტროგამომუშავების მათემატიკური ლოდინი და სტანდარტული გადახრის სამიზნე ფუნქციები, სადაც მოცემული წონები უცნობი სიდიდეებია და მათი ჯამი ერთის ტოლია;
4. პორტფელის შეწონილი მათემატიკური ლოდინისა და შეწონილი სტანდარტული გადახრის ფუნქციებით წონების სხვადასხვა მნიშვნელობისთვის (ე.წ. ბიჯების გამოყენებით) შედგენილია პორტფელის ეფექტიანობის საზღვარი, რომელიც არსით არის ჯამური გამომუშავების მაქსიმალური

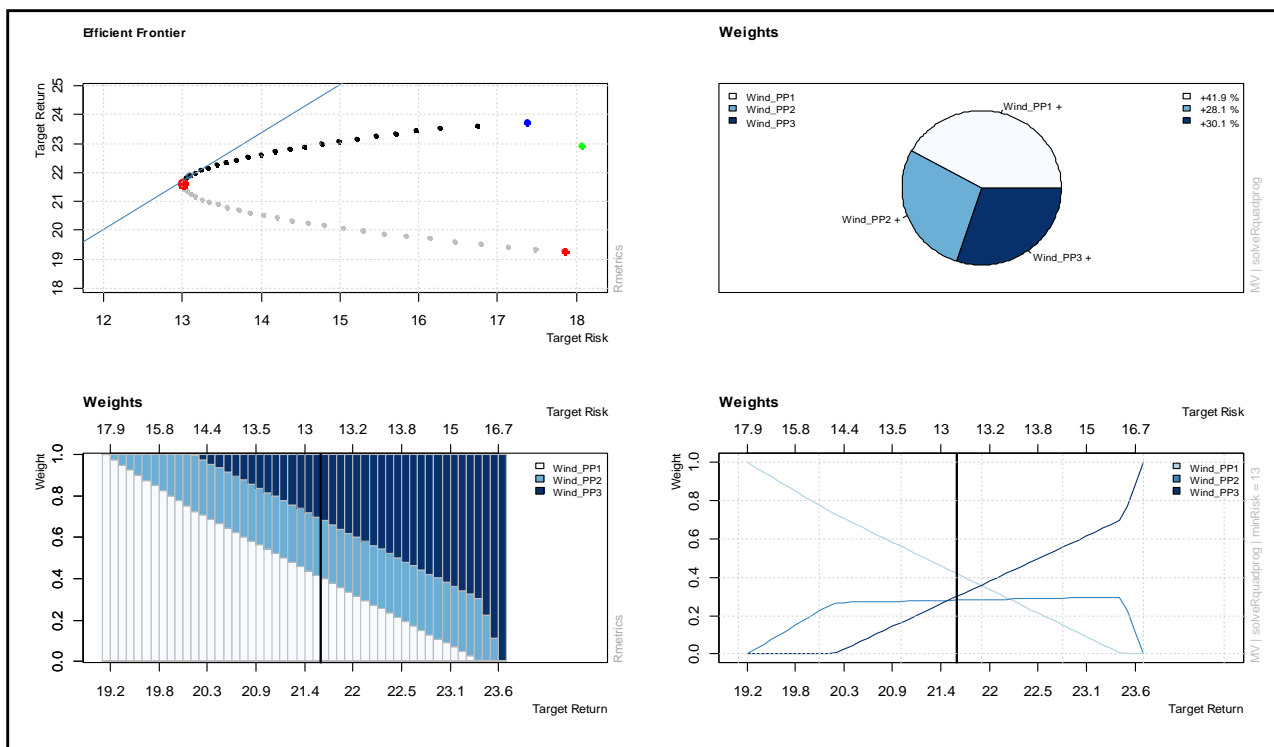
მნიშვნელობები მოცემული სტანდარტული გადახრისათვის.

მე-6 სურ-ზე მოცემულია პორტფელის ეფექტიანობის საზღვარი და სიმძლავრეების წონების განაწილება მოცემული ლოკაციების მიხედვით, მე-3 ცხრილში კი მოცემულია იმ მინიმალური დისპერსიის პორტფელის საშუალო დღიური გამომუშავება და დღიური გამომუშავების სტანდარტული გადახრა, რომელიც სურათის პირველ გრაფიკზე ეფექტიანობის საზღვრის უკიდურეს მარცხენა წერტილს შეესაბამება ანუ ხასიათდება მინიმალური ცვალებადობით. გარდა ამისა, მე-6 სურათის პირველი გრაფიკიდან ასევე ნათლად ჩანს, რომ პორტფელი ისე შეიძლება შეირჩეს, რომ ტურბინების ალოკაცია არაოპტიმალური აღმოჩნდეს, კერძოდ, რისკის (სტანდარტული გადახრის) მოცემული მნიშვნელობისთვის მოსალოდნელი გამომუშავება, შესაძლოა, მნიშვნელოვნად ნაკლები იყოს ოპტიმალური განაწილებისას მოსალოდნელ გამომუშავებაზე (ეფექტიანობის საზღვარი, შავი წერტილები).

**გ. ოპტიმიზაცია მრავალმიზნიანი ევოლუციური ალგორითმის გამოყენებით**

მრავალმიზნიანი ევოლუციური ალგორითმის იმპლემენტაციისთვის განხილულია ორი შემთხვევა:

1. გენეტიკური ალგორითმის მეშვეობით განხილულია ორმიზნიანი ამოცანა, რომელიც გულისხმობს ორი სამიზნე ფუნქციის არსებობას, რომლებიც, შესაბამისად, გამომუშავების მაქსიმიზაციასა და სტანდარტული გადახრის მინიმიზაციას შეესაბამება; აგებულია პარეტოს ზედაპირი, რომელიც თავისი არსით ოპტიმალური პორტფელების ლოკაციაა და ეფექტიანობის საზღვარს შეესაბამება.



სურ. 6. პორტფელის ოპტიმალური საზღვარი და სიმძლავრის წონები სამი ლოკაციის მიხედვით

მინიმალური დისპერსიის მქონე პორტფელი: გამომუშავების საშუალო დღიური და სტანდარტული გადახრა

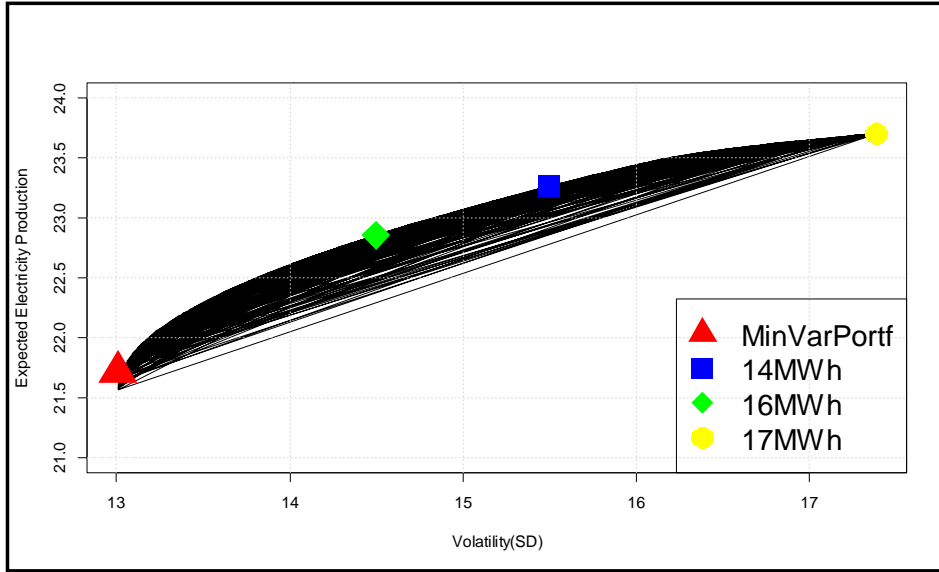
<b>&gt; Weights (Minimum Variance Portfolio)</b>		
<b>WPP1</b>	<b>WPP2</b>	<b>WPP3</b>
<b>41.9%</b>	<b>28.1%</b>	<b>30.1%</b>
<b>&gt; Mean Standard Deviation</b>		
<b>Generation (MWh)</b>	<b>SD (MWh)</b>	
<b>21.59</b>	<b>13.16</b>	

2. განხილულია სამიზნიანი ამოცანა, სადაც უკვე არსებულ ორ მიზანს ემატება კაპიტალური დანახარჯების მინიმიზაციის ამოცანა, კერძოდ, დაშვებულია, რომ განსხვავებულ ლოკაციებზე 1

ცხრილი 3

კილოვატი დადგმული სიმძლავრის მშენებლობა ჯდება 1,300, 1,400, 1,500 აშშ დოლარი, თუმცა ამ შემთხვევაში დაშვება არის ისეც ის, რომ ყველაზე დიდი კაპიტალური დანახარჯი აქვს ყველაზე მცირე ცვალებადობის მქონე ლოკაციას.

პირველი ამოცანისთვის გენეტიკური ალგორითმის საშუალებით ნაპოვნი პარეტოს ზედაპირი გამოსახულია მე-7 სურ-ზე, სადაც მოცემულია როგორც უმცირესი მინიმალური ცვალებადობის პორტფელი (სამკუთხედი), ისე სხვადასხვა სტანდარტული გადახრის (14, 16,17 მგვტ სთ.) შესაბამისი პორტფელები.

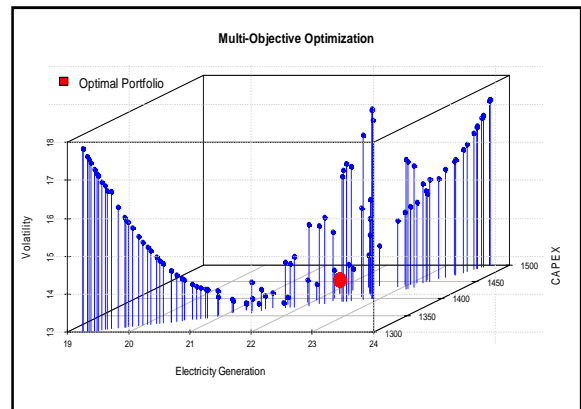


სურ. 7. ოპტიმალური პორტფელის პარეტოს ზედაპირი

სამმიზნიანი ამოცანის ამოხსნა მოცემულია მე-8 სურ-ზე, სადაც ეფექტიანობის საზღვარი ნაჩვენებია სივრცულად, გენერაციის მათემატიკური ლოდინის, სტანდარტული გადახრისა და კაპიტალური დანახრჯების მიხედვით. გარკვეული აზრით, ყველა წერტილი ამ წირიდან „ოპტიმალურია“ და შეესაბამება გადაწყვეტილების მიმდების ინტერესებსა და პრიორიტეტებს. თუმცა მაინც მნიშვნელოვანია, ამ პორტფელებიდან ისეთის შერჩევა, რომელიც საბოლოო ჯამში ოპტიმალური პორტფელებიდან კიდევ „მეტად ოპტიმალური“ იქნება. ამ მიზნით ვიყენებთ წილადს, რომლის მნიშვნელის მინიმიზება, ხოლო მრიცხველის მაქსიმიზებაა მნიშვნელოვანი, ისე, რომ საბოლოოდ მნიშვნელისა და მრიცხველის მოცემული მნიშვნელობებისთვის წილადის მაქსიმალური მნიშვნელობა მივიღოთ. თუმცა, აქ შეიძლება ერთ პრობლემას წავაწყდეთ, რაც რეალურად რიცხვითი ექსპერიმენტების დროს დადასტურდა კიდევ. საქმე

ის არის, რომ კაპიტალური დანახრჯი, ერთი მხრივ, და სტანდარტული გადახრა და საშუალო გამომუშავება, მეორე მხრივ, განსხვავებულ სკალაზე წარმოდგენილი.

შესაბამისად, პირველ რიგში, მოხდა ამ მნიშვნელობების ნორმალიზება და ერთ სკალაზე გადაყვანა, ხოლო შემდეგ შეირჩა ის პორტფელი, რომელიც წარმოდგენილი წილადის მაქსიმალურ მნიშვნელობას შეესაბამება.



სურ. 8. მრავალმიზნიანი ევოლუციური ალგორითმით ნაპოვნი ოპტიმალური პორტფელის წირი

$$\left\{ \frac{\text{გენერაციის მათემატიკური ლოდინი}}{\text{კაპიტალური დანახარჯი} + \text{სტანდარტული გადახრა}} \right\} \rightarrow \text{Max}$$

აღნიშნული ოპტიმალური პორტფელი გამოსახულია სურათზე, ხოლო ლოკაციებისთვის მინიჭებული წონები და გენერაციის მათემატიკური ლოდინის, კაპიტალური დანახარჯისა და გენერაციის სტანდარტული გადახრის შესაბამისი რიცხვითი მნიშვნელობები მოცემულია მე-4 ცხრილში.

ცხრილი 4

**ოპტიმალური პორტფელის წონები და რიცხვითი მნიშვნელობები**

<b>&gt; Weights (Optimal Portfolio)</b>		
<b>WPP1 (%)</b>	<b>WPP2 (%)</b>	<b>WPP3 (%)</b>
<b>30.03</b>	<b>24.38</b>	<b>45.58</b>
<b>&gt; Generation (MWh)</b>		
<b>22.16</b>	<b>1416.56</b>	<b>13.35</b>

**დასკვნა**

1. თანამედროვე პორტფელური თეორიის აპლიკაცია ქარის გენერაციის ცვალებადობისთვის, რომელიც გამოყენებულია სინთეზურ მონაცემებზე, საკმაოდ საინტერესო შედეგებს იძლევა, ამიტომაც მნიშვნელოვანია ამ მეთოდის რეალურ მონაცემებზე ტესტირება;

2. ამ კუთხით მთავარი პრობლემაა ის ფაქტი, რომ სახელმწიფომ კონკრეტული ლოკაციები

ტექნიკურ-ეკონომიკური შესაძლებლობების შესწავლის მიზნით გადასცა კერძო ინვესტორებს, რაც ქმნის როგორც მონაცემების ხელმისაწვდომის პრობლემას, ისე გამორიცხავს ერთიანი მიდგომის არსებობას; ამიტომ დღეს შეუძლებელია ქარის გენერაციის განვითარების ერთიანი დაგეგმვის ორგანიზება;

3. ამ კუთხით მთავარი რეკომენდაცია იქნებოდა ის, რომ შესაბამის სახელმწიფო უწყებას ეზრუნა ამ მონაცემების ერთიან შეფასებაზე, რაც აგვარიდებდა ქარის გენერაციის სიმძლავრეების არაოპტიმალურ გადანაწილებას, რაც ნიშნავს მოცემული ცვალებადობისთვის შესაძლებელზე ნაკლები ელექტროენერჯის გამომუშავებას ან, მოცემული გამომუშავებისთვის უფრო ცვალებადი ჯამური წარმოების მიღებას;

4. გარდა პოლიტიკის დაგეგმვის მიზნებისა, ნაშრომში განხილული მოდელი საინტერესო ჩანს იმ კერძო ინვესტორებისთვის, რომლებიც აპირებენ ქარის გენერაციის სიმძლავრეების განაწილებას ორი ან მეტი ლოკაციის მიხედვით, კერძოდ, ინვესტორი დაინტერესებულია არა მხოლოდ ცვალებადობის შემცირებით, არამედ ხარჯების ოპტიმალური გადანაწილებით. ეს ამოცანა ნაშრომში შესწავლილია მრავალმიზნიანი ევოლუციური ალგორითმის გამოყენებით, რაც, თავისთავად, წარმოდგენილი ნაშრომის სიახლეა.

**ლიტერატურა**

1. URL: <http://esco.ge/> (in Georgian).
2. Lydia M., Kumar S. S., Selvakumar Al., Kumar G. E. P. A comprehensive review on wind turbine power curve modeling techniques. Renewable and sustainable energy reviews. Volume 30. 2014, 452-460 pp. (In English).

3. Design and operation of power systems with large amounts of wind power. Final summary report, IEA WIND Task 25, Phase three 2012–2014. VTT Technology 268. 2016. (In English).
4. What to expect from a greater geographic dispersion of wind farms? - A risk portfolio approach. Energy Policy. Vol. 35(8). 2007, 3999 – 4008 pp. (In English).
5. Pfaff B. Financial risk modelling and portfolio optimization with R. Wiley. 2013. (In English).
7. Matuszak A. Modern portfolio theory. 2013. (in English).
8. Roques F., Hiroux C., Saguan M. Optimal wind power deployment in Europe - - A risk portfolio approach. Energy Policy. Vol. 38(7). 2010, 3245–3256 pp. (In English).
9. Santos-Alamillos F.J., Thomaidis N.S., Usaola-García J., Ruiz-Arias J.A., Pozo-Vazquez D. Exploring the mean-variance portfolio optimization approach for planning wind repowering actions in Spain. Renewable energy. Volume 106. 2017, 335-342 pp. (In English).
10. Thomaidis N. S., Santos-Alamillos F. J., Pozo-Vázquez D., Usaola-García J. Optimal management of wind and solar energy resources. Computers & operations research. Volume 66. 2016, 284-291 pp. (In English).
11. Reichenberg L., Johnsson F., Odenberger M. Dampening variations in wind power generation—the effect of optimizing geographic location of generating sites. Wind energy. Volume 17 (11). 2014, 1631-1643 pp. (In English).
12. Reichenberg L., Wojciechowski A., Hedenus F., Johnsson F. Geographic aggregation of wind power—an optimization methodology for avoiding low outputs. Wind energy. Volume 20(1). 2017, 19-32 pp. (In English).
13. Deb K., Pratap A., Agarwal, S. A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. IEEE transactions on evolutionary computation. 6 (8). 2002, 182-197 pp. (In English).
14. Ching-Shih (Vince) Tsou. Elitist non-dominated sorting genetic algorithm based on R. Package “NSGA2R”. 2015. (In English).
15. Naimo A. A novel approach to generate synthetic wind data. Procedia - social and behavioral sciences. 108. 2014, 187 – 196 pp. (In English).
16. Brower M., Marcus M., Taylor M., Bernadett D., Filippelli M., Beaucage P., Hale E., Elsholz K., Doane J., Eberhard M., Tensen J., Ryan D. Wind resource assessment handbook. 2010. (In English).
17. Graul Ch., Poppinga C. Functions for wind resource assessment. Package “bReeze”. 2018. (In English).

UDC 621.1

SCOPUS CODE 2105

## Geographical diversification method for the planning of wind power generation in Georgia

**L. Vepkhvadze** Department of Industrial Innovations and Operations Management, Georgian Technical University, 75 M. Kostava str, 0175 Tbilisi, Georgia

E-mail: lvepkhvadze@gig.ge

**G. Arabidze** Department of Thermal Energy and Energy Efficiency, Georgian Technical University, 75 M. Kostava str, 0175 Tbilisi, Georgia

E-mail: power@gtu.ge

### Reviewers:

**B. Chkhaidze**, Associate Professor, Faculty of Power Engineering and Telecommunication, GTU

E-mail: bchkhaidze@yahoo.com

**S. Baramidze**, PHD, Director, Ltd „Sitbo“,

E-mail: sim.baramidze@yahoo.com

**Abstract.** The primary obstacle to the development of wind energy in Georgia can be seen in an intermittency of electricity production. The study proposes the model of geographical diversification and studies two problems. The first refers to the application of the Modern Portfolio Theory (MPT) - an investment theory introduced by Harry Markowitz - to the wind energy planning process. In particular, an installed capacity is allocated among different geographical locations in order to maximize an expected electricity output for a given level of risk where the standard deviation is a measure of risk. In the second case, in addition to the two existing objectives – the minimization of risk, the maximisation of expected electricity production – the third objective, which is the minimization of construction costs, is added. Therefore, the classical MPT approach is transformed into the multi-objective decision-making task. This model is studied by using a multiobjective evolutionary algorithm, particularly non-dominated sorting genetic algorithm NSGA-II. The quantitative model is run on synthetic wind speed data, which is simulated by the Weibull distribution while the modelling and calculations are carried out by the programming language R.

**Key words:** Genetic algorithm; Modern Portfolio Theory; multiobjective evolutionary algorithm; multiobjective optimization; programming language R; Weibull distribution; wind power generation.

UDC 621.1

SCOPUS CODE 2105

## Метод географической диверсификации для планирования ветровой энергетики в Грузии

**Вепхვადзе Л.Т.** Департамент производственных инноваций и менеджмента операций, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава, 75  
E-mail: lvepkhvadze@gig.ge

**Арабидзе Г.О.** Департамент теплоэнергетики и энергоэффективности, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава, 75  
E-mail: power@gtu.ge

### Рецензенты:

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

E-mail: bchkhaidze@yahoo.com

**С. Барамидзе**, директор, ООО «Тепло», академический доктор

E-mail: sim.baramidze@yahoo.com

**Аннотация.** Главной проблемой развития ветровой энергетики в Грузии является её нестабильность, которая выражается в изменчивости мощности во времени. Модель географической диверсификации предложена для решения этой проблемы, в частности в статье изучены две задачи, одной из которых является применение современной портфельной теории Марковица в ветроэнергетике. Подход подразумевает изучение аллокации суммарных мощностей по географически удалённым местам, исходя из требуемого соотношения средней выработки электроэнергии с её изменчивостью (дисперсии). Вторая задача по сути обобщает предыдущую, так как кроме двух целей, максимизации средней выработки и минимизации дисперсии выработки, к ней добавляется третья цель: минимизация капитальных издержек. Для изучения этой задачи использован метод многоцелевого эволюционного алгоритма, в частности, недоминирующего сортирующего генетического алгоритма NSGA-II. В работе для численных экспериментов используется предварительно смоделированная дата скорости ветра, в то время как сама модель реализуется при помощи языка программирования для статистической обработки данных R.

**Ключевые слова:** ветровая энергетика; генетический алгоритм; многоцелевая оптимизация; многоцелевой эволюционный алгоритм; распределение Вейбулла; современная портфельная теория; язык программирования R.

*კანხილვის თარიღი 27.06.2018*

*შემოსვლის თარიღი 29.06.2018*

*ხელმოწერის დასაბეჭდად 28.12.2018*

UDC 664.8

SCOPUS CODE 2201

## სუბლიმაციური შრობის გამოყენება კვების პროდუქტების ხარისხის შესანარჩუნებლად

- თ. მეგრელიძე** კვების ინდუსტრიის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 68°  
E-mail: tmegrelidze@yahoo.com
- თ. ისაკაძე** კვების ინდუსტრიის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 68°  
E-mail: tamazsakadze@gmail.com
- გ. გუგულაშვილი** კვების ინდუსტრიის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 68°  
E-mail: givi.gugulashvili@gmail.com

### რეცენზენტები:

- გ. ბერუაშვილი**, სტუ-ის სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტის ასისტენტ-პროფესორი  
E-mail: giorgiberual@mail.ru
- გ. კვირიკაშვილი**, შპს „ქართუნივერსალის“ ტექნიკური მენეჯერი, ტექნიკის მეცნიერებათა კანდიდატი  
E-mail: gocha1974@mail.ru

**ანოტაცია.** განხილულია შრობის მაღალტემპერატურული და სუბლიმაციური მეთოდები. ნაჩვენებია, რომ შრობის პროცესში მაღალი ტემპერატურის ზემოქმედება იწვევს გასაშრობ ნედლეულში შემავალი ცილების, ცხიმების, ნახშირწყლებისა და სხვა სასარგებლო ნივთიერებების დაშლას, რის გამოც ორგანიზმი მათ სათანადოდ ვეღარ ითვისებს. გარდა ამისა, მაღალი ტემპერატურის ზემოქმედებით იზრდება აღნიშნული სასარგებლო ელემენტების სითხეში ხსნადობა და უჯრედის წვენი მათი წილი. შრობის პროცესში კი უჯრედიდან აორთქლებულ სითხესთან ერთად იკარგება მასში

გახსნილი სასარგებლო ნივთიერებების მნიშვნელოვანი ნაწილი. ნედლეულში შემავალი სასარგებლო ნივთიერებების დაშლა და მათი ნაწილის სითხის ორთქლთან ერთად დაკარგვა კი განაპირობებს საბოლოო პროდუქტის ხარისხის გაუარესებას. სუბლიმაციური შრობის შემთხვევაში კი ნედლეული წინასწარ იყინება, რაც გამორიცხავს მასში არსებული სასარგებლო ნივთიერებების დაშლას. ამასთან, გაყინვის პროცესში უჯრედის წვენიდან ხდება წყლის გამოყინვა კრისტალების სახით, რადროსაც უჯრედში წარმოიქმნება წყლის კრისტალები, ხოლო გაყინავად დარჩენილ უჯრედის წვენი სასარგებლო ელემენტების კონცენტრაცია



იზრდება. სუბლიმაციური შრობის პროცესში სწორედ წყლის კრისტალები გადადის ორთქლის მდგომარეობაში, ხოლო უჯრედის წვენში არსებული სასარგებლო ელემენტები კვლავ პროდუქტის შედგენილობაში რჩება. ეს განაპირობებს სუბლიმაციური შრობის უპირატესობას მაღალი ტემპერატურის გამოყენებით შრობასთან შედარებით. სუბლიმაციური შრობისათვის პროდუქტის წინასწარ გაყინვის მეთოდებად შემოთავაზებულია სწრაფი და ზესწრაფი გაყინვის მეთოდები (გაყინვა თხევადი აზოტის გარემოში, ფლუიდიზაცია, სემიფლუიდიზაცია), რომლებიც განაპირობებს უჯრედში ისეთი მცირე ზომის კრისტალების წარმოქმნას, რომლებიც არ აზიანებს უჯრედის კედლებს და ადვილად ორთქლდება. სუბლიმაციური შრობის ოპტიმალურ პარამეტრებად შემოთავაზებულია 268-273 K ტემპერატურა და წნევა 133000-580 პა-ის ფარგლებში.

**საკვანძო სიტყვები:** აორთქლება; გაყინვა; სასარგებლო ნივთიერებები; სუბლიმაცია; შრომა.

## შესავალი

სუბლიმაციური შრომა, შრობის ერთ-ერთი თანამედროვე და პერსპექტიული მეთოდია, რომელსაც შეუძლია კვების პროდუქტების საწყისი სასარგებლო თვისებების (ფერი, გემო, არომატი, ვიტამინები ცილები, ცხიმები, ნახშირწყლები ან სხვა სასარგებლო ნივთიერებების და ფერმენტები) მაქსიმალურად შენარჩუნების უზრუნველყოფა. შრობის ეს მეთოდი გულისხმობს გაყინულ მდგომარეობაში გადაყვანილი პროდუქტის შრობას დაბალი წნევის მოქმედებით, როდესაც პროდუქტში არსებული გა-

ყინული სითხის კრისტალები მყარი მდგომარეობიდან უშუალოდ გადადის ორთქლის მდგომარეობაში ანუ ყინული განიცდის სუბლიმაციას.

## ძირითადი ნაწილი

სუბლიმაციური შრომა მოიცავს ორი სხვადასხვა პროცესის კომბინაციას: გაყინვას და შრობას. სუბლიმაციური შრობისათვის გაყინვას განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება, რადგან სწორედ გაყინვის შედეგად ინარჩუნებს პროდუქტი საწყისი სასარგებლო თვისებებს. ამ თვალსაზრისით იქმნება პროდუქტის გაყინვის ოპტიმალური ტექნოლოგიის შერჩევის აუცილებლობა. კერძოდ, პროდუქტის საწყისი თვისებების მაქსიმალურად შენარჩუნებისათვის, უპირველეს ყოვლისა, აუცილებელია ამ პროდუქტის საწყისი თვისებების გაყინვის გზით დაფიქსირება მანამ, სანამ არ დაიწყება ამ თვისებების გაუარესება გაყინვას მდგომარეობაში. გარდა ამისა, გაყინული კრისტალების სუბლიმაციის უკეთ წარმართვისათვის ძალიან მნიშვნელოვანია ამ კრისტალების პროდუქტის მთელ მოცულობაში განაწილების სახე და თვით კრისტალების ზომები: რაც უფრო მცირე ზომისაა კრისტალები და რაც უფრო თანაბრადაა ისინი განაწილებული პროდუქტის მოცულობაში, მით უფრო უკეთ მიმდინარეობს სუბლიმაცია. შესაბამისად, სუბლიმაციური შრობისათვის ოპტიმალურად შეიძლება ჩაითვალოს ისეთი ტექნოლოგია, რომელიც უზრუნველყოფს პროდუქტის გაყინვის დიდ სიჩქარეს, პროდუქტში წარმოქმნილი წყლის კრისტალების მცირე ზომებს და ამ კრისტალების მაქსიმალურად თანაბრად განაწილებას პროდუქტის მთელ მოცულობაში.

აღნიშნული შედეგის მიღწევა შეიძლება ე.წ. „შოკური“ გაყინვის პირობებში. სწრაფი ანუ „შოკური“ გაყინვისათვის ყველაზე თანამედროვე მეთოდია გაყინვა თხევადი აზოტის გარემოში, ფლუიდიზაცია და მისი ნაირსახეობა – სემიფლუიდიზაცია.

სუბლიმაციური შრობის პირობებში პროდუქტის ხარისხის მაქსიმალურად შენარჩუნების მექანიზმის ახსნა ასეთია:

შრობის პროცესში პროდუქტის ხარისხის გაუარესების ძირითადი მიზეზი არის მასზე მაღალი ტემპერატურის ზემოქმედება. ცნობილია, რომ ცილა უკვე 70°C-ზე შედედდება წყლის გამოყოფით. რაც უფრო ხანგრძლივია და მაღალი ტემპერატურა, მით უფრო მეტად შემკვრივდება ცილა და ორგანიზმი მას სრულად ვეღარ შეითვისებს. ცხიმი თერმული დამუშავების პროცესში იშლება გლიცერინად და ცხიმოვან მჟავად. მაღალი ტემპერატურა და შრობის პროცესის ხანგრძლივობა ამ პროცესსაც ზრდის, ხოლო 180°C-ზე ცხიმი საბოლოოდ იშლება და მიიღება მისი წვის პროდუქტები. ნახშირწყალი ტენის არსებობის შემთხვევაში 100°C-ზე წარმოქმნის კლეისტერს. პროცესი იწყება 55-60°C-ზე და ტემპერატურის მატებასთან ერთად ჩქარდება. კლეისტერიზაცია შეიძლება მიმდინარეობდეს პროდუქტში არსებული წყლის ზემოქმედებით. წყლის არარსებობის შემთხვევაში კი უკვე 100°C-ზე იწყება დექსტრინების წარმოქმნა, რომლებიც პროდუქტს აძლევს მოყვითალო-მოყავისფრო შეფერილობას. სხვადასხვა ვიტამინზე მაღალი ტემპერატურის ზემოქმედება განსხვავებულია, ზოგიერთი მათგანი (PP, E, B6) კარგად იტანს მაღალი ტემპერატურის ზემოქმედებას, თუმცა შეიძლება ითქვას, რომ უკვე 80-100°C ტემპერატურის პირო-

ბებში ვიტამინების უმრავლესობა ილუპება და საბოლოოდ კარგავს მოქმედების უნარს. იმავე ვიტამინებზე დაბალი ტემპერატურის ზემოქმედება კი განსხვავებულია. საერთო ჯამში შეიძლება ითქვას, რომ თუ მაღალი ტემპერატურის ზემოქმედება ვიტამინებს და ფერმენტებს კლავს, დაბალი ტემპერატურების მოქმედება მხოლოდ ამცირებს მათ აქტივობას. შესაბამისად, შეიძლება ითქვას, რომ მაღალტემპერატურული ზემოქმედებისაგან განსხვავებით გაყინულ მდგომარეობაში მყოფი პროდუქტის სუბლიმაციური შრობა უკეთ უზრუნველყოფს ნედლეულში შემავალი ცილების, ცხიმების, ნახშირწყლების, ვიტამინებისა და ფერმენტების შენარჩუნებას.

გარდა ამისა, წყალი არის ნედლეულისა და მზასაკვები პროდუქტების ძირითადი კომპონენტი. წყლის შემცველობა საკვებ პროდუქტში მერყეობს ფართო საზღვრებში: მცენარეულ პროდუქტებში 80%–95%, ხორცში 50%–75%, თევზში 53%–80%. წყალი არის გამხსნელი, რომელიც განაპირობებს დიფუზიური პროცესების მიმდინარეობას, აგრეთვე ქიმიურ და ბიოქიმიურ რეაქციებს. კვების პროდუქტების ქსოვილების შედგენილობაში შემავალ წყალში ორგანული და არაორგანული ნივთიერებები განაწილებულია დისპერსიულობის სხვადასხვა ხარისხით. საერთოდ, კვების პროდუქტი უნდა განვიხილოთ როგორც რთული პოლიდისპერსიული სისტემა, რომელშიც წყალი დისპერსიული გარემოა, ხოლო დისპერსიული ფაზა შეიცავს დიდი რაოდენობით ორგანულ და არაორგანულ ნივთიერებებს. ამრიგად, კვების პროდუქტი წყალს შეიცავს ხსნარების სახით.

კვების პროდუქტის ჩვეულებრივი მაღალტემპერატურული შრობის შემთხვევაში უჯრედში არ-

სებული წვენი თანდათან თბება და ცხელდება. ტემპერატურის ზრდის ხარჯზე აღნიშნულ წვენიშ შემავალი წყალი, სასარგებლო ნივთიერებები და ელემენტები ცხელდება და, შესაბამისად, მათი ურთიერთხსნადობა იზრდება. შედეგად, მაღალი ტემპერატურის ზემოქმედებით უჯრედის წვენიშ შემავალი ნივთიერებები წარმოქმნის ერთგვაროვან ხსნარს.

შრობის პროცესში მიმდინარეობს წყლის მოცილების პროცესი აორთქლებით. წყლის აორთქლების პროცესში კი წარმოქმნილ აორთქლს თან მიჰყვება მასში გახსნილი ორგანული და არაორგანული ნივთიერებების გარკვეული ნაწილი, რომლის რაოდენობა დამოკიდებულია პროცესის ტემპერატურასა და ხანგრძლივობაზე: რაც მეტია ტემპერატურა და შრობის ხანგრძლივობა, მით მეტია დანაკარგი. სწორედ აღნიშნული დანაკარგი განაპირობებს პროდუქტის ხარისხის გაუარესებას კვების პროდუქტების მაღალი ტემპერატურის პირობებში შრობის შემთხვევაში. შესაბამისად, შრობის პროცესის დასასრულს პროდუქტში არსებული წყალი პრაქტიკულად აორთქლებულია, მაგრამ ამასთანავე, პროდუქტიდან მოცილებულია ამ წყალში გახსნილი იმ სასარგებლო ორგანული ნივთიერებებისა და მიკროელემენტების ნაწილი, რომლებიც პროდუქტს სასარგებლო თვისებებს ანიჭებს. შესაბამისად, შეიძლება ითქვას, რომ მაღალტემპერატურული შრობის პროცესი განაპირობებს პროდუქტის ხარისხის გარკვეულ გაუარესებას.

სუბლიმაციური შრობის შემთხვევაში კი პროდუქტი წინასწარ იყინება. პროდუქტის გაყინვისას კრისტალიზაციის ცენტრები თავდაპირველად წარმოიქმნება უჯრედის კედლებზე, შემდეგ ყინულის კრისტალები თანდათან გამსხვილდება. ამ

დროს ხსნარიდან გამოკრისტალდება წყალი, რის გამოც გაუყინავი უჯრედული წვენიშ კონცენტრაცია თანდათან იზრდება და კიდევ უფრო რთულდება მისი კრისტალიზაცია. უჯრედში უჯრედის წვენიდან გამოცალკევდება წყლის კრისტალები, რაც განაპირობებს დარჩენილი თხევადი ნაწილის (უჯრედის წვენიშ არსებული სასარგებლო ორგანული ნივთიერებებისა და მიკროელემენტების) კონცენტრაციის გაზრდას.

სუბლიმაცია გულისხმობს ყინულის კრისტალების აორთქლებას თხევადი ფაზის გავლის გარეშე. შესაბამისად, სუბლიმაციისას აორთქლდება არა უჯრედის წვენი და მასში შემავალი სასარგებლო ნივთიერებები და ელემენტები, არამედ მხოლოდ წყლის გაყინული კრისტალები. სუბლიმაციის დასასრულს პროდუქტში შემავალი წყალი პრაქტიკულად აორთქლებულია, ხოლო ამავე პროდუქტის უჯრედებში არსებული უჯრედის წვენი ყველა სასარგებლო ნივთიერებითა და ელემენტებით – პრაქტიკულად შენარჩუნებულია.

ყოველივე ზემოთქმულის საფუძველზე შეიძლება გამოვიტანოთ დასკვნა, რომ შრობის საუკეთესო პირობად უნდა ჩაითვალოს პროდუქტში არსებული ტენის აორთქლება ამ ტენის მიერ თხევადი ფაზის გაუვლელად ანუ ტენის სუბლიმაცია. სუბლიმაციის პროცესს უზრუნველყოფს კამერაში არსებული ვაკუუმი, რომელიც ახორციელებს ყინულიდან წარმოქმნილი წყლის ორთქლის მყის გამოდევნას ამ კამერიდან.

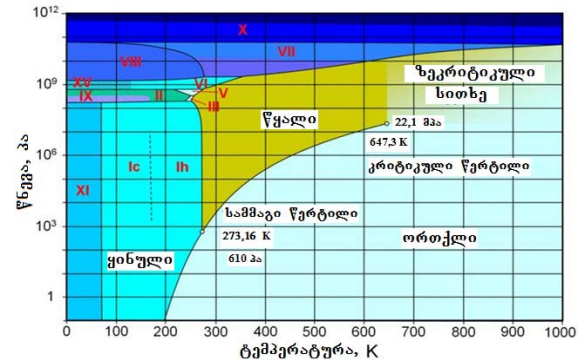
სუბლიმაციის პროცესის ოპტიმალური პირობების დასადგენად განვიხილოთ წყლის ფაზური დიაგრამა (იხ. სურათი), რომლის ვერტიკალურ ღერძზე მოცემულია კამერაში არსებული წნევა (პა),

ხოლო ჰორიზონტალურ ღერძზე – ტემპერატურა (K). როგორც დიაგრამიდან ჩანს, თხევადი ფაზის გაუვლელად ყინულის ორთქლადქცევა შესაძლებელია ტემპერატურულ დიაპაზონში 200-273 K (-73°C-დან 0°C-მდე). ტემპერატურის აღნიშნულზე უფრო მეტად შემცირება, როგორც დიაგრამიდან ჩანს, ორთქლადქცევას შეუძლებელს ხდის, ხოლო 0°C-ზე მეტად ტემპერატურის გაზრდა განაპირობებს ყინულის თხევად მდგომარეობაში გადასვლას. სწორედ ტემპერატურათა აღნიშნულ დიაპაზონში უნდა განხორციელდეს სუბლიმაციის პროცესი.

მეორე მხრივ, წყლის ფაზური დიაგრამიდან ნათლად ჩანს, რომ წყლის სამმაგი წერტილის (ანუ იმ წერტილის, როდესაც წყალი ერთდროულად იმყოფება ყინულის, სითხის და ორთქლის მდგომარეობაში) შესაბამისი წნევაა 610 პა, ხოლო ტემპერატურა – 273,16 K. ამასთან, ყინულის, სითხისა და ორთქლის ფაზების ერთმანეთისაგან გამყოფი ხაზი არის მრუდი. ამიტომ აღნიშნული მრუდის გათვალისწინებით რაც უფრო დაბალია ყინულის ტემპერატურა (რაც უფრო მეტად უახლოვდება -73°C-ს), მით უფრო მცირე წნევის პირობებშია შესაძლებელი სუბლიმაციის პროცესის განხორციელება და პირიქით, რაც უფრო მაღალია პროცესის ტემპერატურა (რაც მეტად უახლოვდება ყინულის დნობის 0°C ტემპერატურას), მით უფრო დიდი წნევის (ანუ ნაკლები სიღრმის ვაკუუმის) პირობებშია შესაძლებელი პროცესის განხორციელება.

როგორც ტემპერატურის შემცირება, ისე ვაკუუმის შექმნა მოითხოვს მნიშვნელოვან მატერიალურ და ენერგეტიკულ დანახარჯებს. ამიტომ როგორც ყინულის ტემპერატურის გაზრდა, ისე საჭირო ვაკუუმის შემცირება ხელსაყრელია ეკონომიკური თვალსაზრისით იმ პირობებში, როდესაც ეს ხელს არ უშლის ძირითადი ამოცანის – პროდუქტის შრობის – გადაწყვეტას.

მიკური თვალსაზრისით იმ პირობებში, როდესაც ეს ხელს არ უშლის ძირითადი ამოცანის – პროდუქტის შრობის – გადაწყვეტას.



წყლის ფაზური დიაგრამა. რომაული რიცხვებით ნაჩვენებია ყინულის განსხვავებული მოდიფიკაციები

აღნიშნულიდან გამომდინარე, პროდუქტის გაშრობის მიზნით შეიძლება გამოყენებული იყოს ტემპერატურული დიაპაზონი 268-273 K და წნევათა დიაპაზონი 100000-580 პა. სუბლიმაციური შრობის აღნიშნულ პარამეტრებს შეუძლია უზრუნველყოს როგორც მატერიალური და ენერგეტიკული რესურსების მნიშვნელოვანი ეკონომია დღეისათვის არსებულ რეჟიმებთან შედარებით, ისე ძირითადი ამოცანის – გამშრალ პროდუქტში სასარგებლო ნივთიერებებისა და, შესაბამისად, ხარისხის, მაქსიმალურად შენარჩუნება.

**დასკვნა**

ამრიგად, მაღალტემპერატურული შრობის პროცესი განაპირობებს მაღალი ტემპერატურის ზემოქმედებით გასაშრობ პროდუქტში შემავალი ცილების, ცხიმების, ნახშირწყლებისა და სხვა სასარგებლო ნივთიერებების დაშლას და ორგანიზმის მიერ მათი შეთვისების უნარის შემცირებას. ტემპე-

რატურის გაზრდა განაპირობებს ასევე სასარგებლო ნივთიერებების უჯრედის წვენში ხსნადობის გაზრდას და შრობის პროცესში აორთქლებულ წყალთან ერთად მათი მნიშვნელოვანი ნაწილის დაკარგვას. ყოველივე ეს იწვევს ნედლეულის სასარგებლო თვისებების გაუარესებას. სუბლიმაციური შრობის შემთხვევაში კი დაბალი ტემპერატურის ზემოქმედება არც სასარგებლო ელემენტების დაშლას უწყობს ხელს და არც მათ ხსნადობას ზრდის უჯრედის წვენში. პირიქით, გაყინვისას უჯრედის წვენიდან გამოიყოფა წყალი კრისტალების სახით. სუბლიმაციური შრობის პროცესში კი სწორედ წყლის კრისტალები გადადის ორთქლის მდგომარეობაში, ხო-

ლო უჯრედის წვენში დარჩენილი სასარგებლო ელემენტების მთელი კრებული ისევ პროდუქტის შედგენილობაში რჩება. ეს განაპირობებს სუბლიმაციური შრობის უპირატესობას ჩვეულებრივი მაღალტემპერატურული შრობის მეთოდებთან შედარებით. სუბლიმაციური შრობისათვის პროდუქტის გაყინვის ყველაზე უკეთესი მეთოდებია სწრაფი და ზესწრაფი გაყინვა: ფლუიდიზაცია, სემიფლუიდიზაცია და გაყინვა თხევადი აზოტის გარემოში. თვით სუბლიმაციური შრობის ეკონომიურად მისაღებ და ოპტიმალურ პარამეტრებად შეიძლება ჩაითვალოს ტემპერატურა 268-273 K და წნევა 100000-580 პა.

### ლიტერატურა

1. Megrelidze T., Sadagashvili E., Gugulashvili G. Experimental study of water-freezing process from some food-products. Tbilisi: "Teqnikuri Universiteti". # 1 (475). 2010, 108-110 pp. (in Georgian).
2. Megrelidze T., Mgebrishvili S., Sadagashvili E., Gugulashvili G. Chemical and biochemical changes in foodstuff freezing process. Collection of works of the international scientific conference "Energetic, Regional Problems and Perspectives". Kutaisi. 2010, 185-188 pp. (in Georgian).
3. Megrelidze T., Sadagashvili E., Mgebrishvili S., Gugulashvili G. Theoretical analysis of food products freezing and defrosting processes. Collection of works of the international scientific conference "New Technologies in Modern Industry". Tbilisi. 2010, 14-17 pp. (in Georgian).
4. Megrelidze T., Gugulashvili G., Sadagashvili E., Beruashvili G. The method for determination of the frozen water amount from foodstuff. Collection of works of the international scientific conference "The Problems of Natural Chemistry". Tbilisi. 2012, 206-210 pp. (in Georgian).

UDC 664.8

SCOPUS CODE 2201

## Use of sublimation drying for maintaining the quality of foodstuff

- T. Megrelidze** Department of Food Industry, Georgian Technical University, 68<sup>a</sup> M. Kostava str, 0175 Tbilisi, Georgia  
E-mail: tmegrelidze@yahoo.com
- T. Isakadze** Department of Food Industry, Georgian Technical University, 68<sup>a</sup> M. Kostava str, 0175 Tbilisi, Georgia  
E-mail: tamazisakadze@gmail.com
- G. Gugulashvili** Department of Food Industry, Georgian Technical University, 68<sup>a</sup> M. Kostava str, 0175 Tbilisi, Georgia  
E-mail: givi.gugulashvili@gmail.com

### Reviewers:

**G. Beruashvili**, Assistant Professor, Faculty of Transportation and Mechanical Engineering, GTU

E-mail: giorgiberual@mail.ru

**G. Kvirikashvili**, Candidate of Engineering Sciences, Technical Manager of LTD “Cartu Universal”

E-mail: gosha1974@mail.ru

**Abstract.** The article considers high-temperature and sublimation drying methods. It is shown, that process of drying with high temperature causes destruction of the proteins, fats, carbohydrates and other useful elements entering in a feed stock thus decreasing their usefulness for a human. High temperature promotes also solubility of the specified useful elements in liquid and correspondingly increases their share in cell fluid. In drying process the water evaporated from cells carries away the considerable proportion of the useful elements dissolved in it. Destruction of the useful elements entering in a feed stock and loss of their considerable proportion together with the steam which is taken away from a product causes deterioration of termination products at high-temperature drying. In case of sublimation drying raw materials beforehand are frozen that excludes a possibility of destruction of the useful elements which are in it. Besides, in the course of freezing in product cells, freezing of water in the form of crystals takes place, and concentration of the useful elements increases in unfrozen cell fluid. In sublimation drying process specified water crystals pass into a vaporous state, and the useful elements in cell fluid remain as a part of a product. It provides advantages of sublimation drying methods compared to high-temperature drying. For the product prefreezing before sublimation drying, are suggested freezing methods with high and ultrahigh speed (fluidization, semi-fluidization, freezing in liquid nitrogen environment) which produce such small

size crystals in product cells that don't destroy cell walls and are easily evaporated as well. The optimum parameters of sublimation drying are offered: temperature 268-273 K and pressure of 100000-580 pa.

**Key words:** Drying; evaporation; freezing; sublimation; useful elements.

---

UDC 664.8

SCOPUS CODE 2201

### Использование сублимационной сушки для сохранения качества пищевых продуктов

- Мегрелидзе Т.Я.** Департамент пищевой индустрии, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава, 68<sup>a</sup>  
E-mail: tmegrelidze@yahoo.com
- Исакадзе Т.А.** Департамент пищевой индустрии, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава, 68<sup>a</sup>  
E-mail: mai
- Гугулашвили Г.Л.** Департамент пищевой индустрии, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава, 68<sup>a</sup>  
E-mail: givi.gugulashvili@gmail.com

#### Рецензенты:

**Г. Бериашвили**, ассистент-профессор факультета транспорта и машиностроения ГТУ

E-mail: giorgiberual@mail.ru

**Г. Квирикашвили**, кандидат технических наук, технический менеджер ООО «Картууниверсал»

E-mail: remeisi@mail.ru

**Аннотация.** Рассмотрены методы высокотемпературной и сублимационной сушки. Показано, что процесс воздействия сушки обуславливает разрушение входящих в исходное высокой температуры сырье белков, жиров, углеводов и других полезных элементов и уменьшение их усвояемости организмом человека. Высокая температура способствует также повышению растворимости указанных полезных элементов в жидкости и соответственному увеличению их доли в клеточном соке. В процессе сушки испаряемая из клеток вода уносит значительную часть растворенных в ней полезных элементов. Разрушение входящих в исходное сырье полезных элементов и потеря значительной их части вместе с отводимым из продукта паром обуславливают ухудшение качества конечного продукта при высокотемпературной сушке. В случае сублимационной сушки сырье предварительно замораживается, что исключает возможность разрушения находящихся в нем полезных элементов. Кроме того, в процессе замораживания в клетках продукта имеет

место вымораживание воды в виде кристаллов, а в незамороженном клеточном соке повышается концентрация полезных элементов. В процессе сублимационной сушки именно указанные водяные кристаллы переходят в парообразное состояние, а находящиеся в клеточном соке полезные элементы остаются в составе продукта. Это обеспечивает преимущество сублимационной сушки перед методами высокотемпературной сушки. Для предварительного замораживания продукта перед сублимационной сушкой предложены методы замораживания с высокой и сверхвысокой скоростью (флюидизация, семифлюидизация, замораживание в среде жидкого азота), которые обеспечивают образование в клетках продукта кристаллов с такими малыми размерами, которые не разрушают стенки клеток и при этом легко испаряются. Оптимальными параметрами сублимационной сушки предложены температура 268-273 К и давление 100000-580 Па.

**Ключевые слова:** замораживание; испарение; полезные элементы; сублимация; сушка.

*განხილვის თარიღი 15.06.2018*

*შემოსვლის თარიღი 25.06.2018*

*ხელმოწერილია დასაბეჭდად 28.12.2018*



UDC 338.92 : 622.648 : 532.595

SCOPUS CODE 2210

**Методика расчета Экономической Эффективности, достигнутой внедрением основных результатов исследований по защите от гидравлических ударов, проведенных на крупных промышленных напорных трубопроводных гидротранспортных системах**

**Л.И. Махарадзе**

Департамент горных технологий, Грузинский технический университет, Грузия,  
0175, Тбилиси, ул. М. Костава 75  
E-mail: lmakharadze@gtu.ge

**Рецензенты:**

**Г. Кирмелашвили**, профессор факультета информатики и систем управления ГТУ

E-mail: gkirmelashvili@gtu.ge

**Г. Табатадзе**, профессор, эмеритус горно-геологического факультета ГТУ

E-mail: gordtab@gmail.com

---

**Аннотация.** В статье изложена разработанная автором методика расчета экономической эффективности, достигнутая внедрением способов и средств борьбы с гидравлическими ударами, разработанная им же и реализованная (внедренная) на крупных промышленных напорных трубопроводных гидротранспортных системах бывшего Советского Союза, в том числе Грузии, в результате чего была полностью обеспечена надежность их эксплуатации. Полностью предотвращены также серьезные аварии и простои систем, достигнута экономическая и социальная эффективность, обеспечена безопасность труда, а также охрана окружающей среды от загрязнения. Она основывается на методике (основные положения) определения экономической эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений, утверж-

денной постановлениями: (Госкомитета Совета Министров СССР по науке и технике, Госплана СССР, Академией Наук ССР и Госкомитета Совета Министров СССР по делам изобретений и открытий), а также определением экономического эффекта от использования изобретений и рационализаторских предложений по новой методике и, так называемым комплексным показателем эффективности и надежности напорных трубопроводных гидротранспортных систем, разработанным автором труда.

**Ключевые слова:** безопасность труда; гидравлические удары; гидротранспортные системы; демпфирование; защита от загрязнения; методика расчета; надежность эксплуатации; промышленные объекты; простои системы; социальная эффективность; трубопроводная магистраль; трубопроводная арматура; экономическая эффективность.

**Введение**

При эксплуатации напорных гидротранспортных систем основной причиной, отрицательно влияющей на их надежность, долговечность и технико-экономические показатели, являются гидравлические удары, которые из-за специфики их работы очень часто возникают во время эксплуатации. Они являются причиной возникновения серьезных аварий. В ре-

зультате выходят из строя трубопроводная магистраль, трубопроводная арматура, насосы, насосные станции и т.д. В значительной степени загрязняется окружающая среда, нередко имеются и человеческие жертвы, длительный период простаивают системы. В конечном счете все это является причиной огромного экономического ущерба, что подтверждается данными, приведенными в таблице 1.

Таблица 1

**Данные об экономическом ущербе, вызванном последствиями гидравлических ударов на крупных гидротранспортных системах разных промышленных отраслей бывшего Советского Союза, в том числе и Грузии**

Наименование промышленного объекта; схема работы гидротранспортной системы (с разрывом потока гидросмеси, без разрыва потока гидросмеси); дальность транспортирования гидросмеси $L_{тр}$ , м; количество ступеней транспортирования гидросмеси, $n$	Общее количество значительных аварий, вызванных от возникновения гидравлических ударов и обуславливающих длительные простои гидротранспортной системы за указанный период	Общая стоимость трудозатрат на ликвидацию аварий, руб.	Общая стоимость оборудования, вышедшего из строя во время аварий, руб.	Общая стоимость недоданной продукции во время аварий, руб.	Общий экономический ущерб от последствий гидравлических ударов, руб.
1	2	3	4	5	6
Установка «Гидротехник», Волгоградского строительного управления. Без разрыва потока. $L_{тр}=5500$ ; $n=3$	За 1961 г. 21	2600	38000	153000	193600
Установка №501 Волгоградского строительного управления. Без разрыва потока. $L_{тр}=3200$ ; $n=2$	За 1962 г. 13	1250	17600	131600	150450

1	2	3	4	5	6
Гидротранспортные системы Братского строительного управления. Без разрыва потока. $L_{тр}=9185$ ; $n = 4$	За 1962 г. 23	2300	29500	175000	206800
Установка №322 Волгоградского строительного управления. Без разрыва потока. $L_{тр}=815$ ; $n = 1$	За 1962 г. 9	850	2300	85600	88750
Криворожский южный горно-обогатительный комбинат. С разрывом потока. $L_{тр}=1055$ ; $n = 2$	За 1965 г. 20	3600	56000	210000	269600
Лебединский карьер на Курской магнитной аномалии. Без разрыва потока. $L_{тр}=5650$ ; $n = 3$	За 1968 г. 16	1750	21000	129000	151750
Южно-Лебединский карьер на Курской магнитной аномалии. Без разрыва потока. $L_{тр}=4800$ ; $n = 3$	За 1968 г. 18	1920	24000	134000	159920
Соколовско-Сарбайский горно-обогатительный комбинат. Без разрыва потока. $L_{тр}=6800$ ; $n = 3$	За 1971 г. 19	2000	26000	300000	328000
Николаевский цементно-горный комбинат. Без разрыва потока. $L_{тр}=10577$ ; $n = 4$	За 1973 г. (от 15 мая до 15 октября) 27	1708	2200	1209312	1213220
Групповая обогатительная фабрика «Красная звезда». $L_{тр}=4040$ ; $n = 1$	За 1977 г. 26	1600	19400	364000	385000

Центральная обогатительная фабрика «Павлодарская». $L_{тр}=6189$ ; $n=1$	За 1978 г. 23	1500	18500	185000	205000
Горнорудный комбинат «Чиатурмарганец». С разрывом потока. $L_{тр}=8527$ ; $n=3$	За 1981 г. на системах шламового хозяйства 14	2000	23000	255000	280000
Коршуновский горно-обогатительный комбинат. Без разрыва потока. $L_{тр}=3250$ ; $n=2$	За 1978 г. 12	1000	153000	38000	192000
Норильский горно-обогатительный комбинат. С разрывом потока. $L_{тр}=30000$ ; $n=2$	За 1981 -1982 г.г. 12	1500	3500	186000	190000
Системы механического орошения Министерства мелиорации и водного хозяйства Грузии (пять систем)	За 1979 -1982 г.г. 32	2700	19300	347450	366945

- Примечания:** 1. Количество аварий соответствует данным, фиксированным обслуживающим персоналом данного объекта;  
2. Расчеты проведены по установленным для конкретных систем тарифом;  
3. Курс рубля соответствует его курсу в те годы, когда были проведены исследования по наблюдению за последствиями от гидравлических ударов, указанных в таблице.

Именно из-за всего вышеизложенного в Горном институте им. Г. А. Цулукидзе проводились фундаментальные крупномасштабные исследования по борьбе с гидравлическими ударами в напорных гидротранспортных системах. В городах Тбилиси и Ткибули были построены полупромышленные экспериментальные стенды (установки). Эксперименты были также проведены на крупных объектах разных промышленных отраслей Советского Союза в том числе и Грузии. Кроме теоретических исследований, разработаны много новых средств и способов борьбы с гидравлическими ударами для напорных гидротранспортных систем, новизна и полезность которых защищены авторскими свидетельствами и патентами [1-4, 6]. Многие из них внедрены на про-

мышленных объектах. Получен большой экономический эффект. Разработан нормативный руководящий документ «Руководство по защите напорных гидротранспортных систем от гидравлических ударов ВСН 01-81» [5]. В результате была обеспечена надежность эксплуатации напорных гидротранспортных систем с центробежными грунтовыми насосами при их индивидуальном и последовательном включении в магистраль. На промышленных объектах, где реализованы результаты исследований, полностью предотвращены серьезные аварии и простои систем. Кроме того, достигнута социальная эффективность, заключающаяся в улучшении условий эксплуатации системы, повышении безопасности труда и охране окружающей среды.

Однако следует отметить, что расчеты экономической эффективности были весьма приблизительными, так как не была разработана методика расчета экономической эффективности для напорных гидротранспортных систем, которая учитывала бы все основные факторы и моменты, наиболее характеризующие аналогичные системы при гидравлических ударах.

Необходимо отметить, что до настоящего времени не существует единой методики расчета экономической эффективности, не только не учитывающей факторов влияния гидравлических ударов, но даже основных факторов, вытекающих из основного назначения напорных гидротранспортных систем, как то: производительность и давление, развиваемые грунтовыми насосами; конструкции и количество ступеней последних; схема многоступенчатой системы (без разрыва потока гидросмеси на перекачивающих насосных станциях, или с разрывом); диаметр, толщина, длина трубопроводной магистрали; абразивность твердых сыпучих материалов; мощность и выполнение электроприводов; частота возникновения гидравлических ударов; гранулометрический состав твердых сыпучих материалов, гидроабразивный износ стенок трубопровода.

### Основная часть

Ниже изложена разработанная нами методика расчета экономической эффективности, достигнутой внедрением основных результатов исследований, проведенных на крупных промышленных гидротранспортных системах по их защите от гидравлических ударов.

Основой этой методики является «Методика определения экономической эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений», предложенной Госкомитетом Совета Министров по на-

уке и технике, Госпланом СССР, Академией Наук СССР и Госкомитетом Совета Министров СССР по делам изобретений и открытий от 14 февраля 1977 г., №48/16/13/3 [7, 9].

Расчет годового экономического эффекта производится по второй группе определения экономического эффекта от использования изобретений и рационализаторских предложений, к которой относятся изобретения и рационализаторские предложения длительного применения с улучшенными качественными характеристиками [9], которые производятся по формуле

$$\mathcal{E} = \left[ \mathcal{Z}_1 \cdot \frac{B_2}{B_1} \cdot \frac{P_1 + E_n}{P_2 + E_n} + \frac{(II'_1 - II'_2) - E_n(K'_2 - K'_1)}{P_2 + E_n} - \mathcal{Z}_2 \right] \cdot A_2, \quad (1)$$

где  $\mathcal{Z}_1$  и  $\mathcal{Z}_2$  – приведенные затраты единицы соответственно базового и нового средства труда, которые равны:

$$\mathcal{Z}_1 = C_1 + E_n K_1; \quad (2)$$

$$\mathcal{Z}_2 = C_2 + E_n K_2, \quad (3)$$

$C_1$  и  $C_2$  – себестоимость единицы продукции до и после начала использования изобретения, руб.;

$K_1$  и  $K_2$  – удельные капитальные вложения в производственные фонды до и после использования новых разработок, руб.;

$K'_1$  и  $K'_2$  – сопутствующие капитальные вложения потребителя при использовании базового и нового средства в расчете на объем продукции, производимой с помощью нового средства, руб.;

$E_n=0,15$  – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений;

$B_1$  и  $B_2$  – годовые объемы продукции, производимые при использовании единицы соответственно базового и нового средства в натуральных единицах;

$\frac{B_2}{B_1}$  – коэффициент учета роста производительности единицы нового средства труда по сравнению с базовым;

$P_1$  и  $P_2$  - доли отчислений от балансовой стоимости на полное восстановление (реновацию) базового и нового средства, которые рассчитываются как величины, обратные срокам службы средств, то есть

$$P = \frac{1}{T}, \quad (4)$$

$T$  - срок службы оборудования, годы;

$\frac{P_1 + E_n}{P_2 + E_n}$  - коэффициент учета изменения срока

службы нового средства по сравнению с базовым;

$\frac{(I'_1 - I'_2) - E_n(K'_1 - K'_2)}{P_2 + E_n}$  - экономия потребите-

ля на текущих издержках эксплуатации и отчислениях от сопутствующих капитальных вложений за весь срок службы нового средства, по сравнению с базовым, руб;

$I'_1$  и  $I'_2$  - годовые эксплуатационные издержки потребителя при использовании базового и нового средства в расчете на объем продукции, производимой с помощью нового средства, руб. В этих издержках учитывается только часть амортизации, предназначенная на капитальный ремонт, то есть, без учета средств на их реновацию, а также амортизационные отчисления по существующим капитальным вложениям потребителя;  $A_2$  - годовой объем продукции в расчетном году в натуральных единицах.

Вышеизложенная методика общая для всех напорных трубопроводных гидротранспортных систем различных технологических назначений, функционирующих в различных отраслях и по ней, при наличии статистических данных о количестве аварий, простоев вышедшего из строя оборудования, стоимости выполненных работ, ликвидации их последствий, а также вышедшего из строя оборудования, можно определить экономическую эффективность, достигнутую надежной защитой этих систем от гидравлических ударов в каждом конкретном случае.

Однако выполнение таких расчетов связано с большими трудностями из-за отсутствия полных данных о нежелательных последствиях гидравлических ударов, так как на промышленных объектах не всегда и не с достаточной полнотой фиксируются аварии, подсчитывается экономический ущерб. В таких случаях, естественно, практически невозможно точно рассчитать экономическую эффективность.

Исходя из вышеизложенного, ниже, на примере гидротранспортной системы, удаляющей хвосты обогащения мокрой магнитной сепарации обогатительной фабрики Коршуновского горно-обогатительного комбината, проведен расчет годовой экономической эффективности.

При выполнении расчета для указанного объекта имеем следующие исходные данные: диаметр трубопроводной магистрали  $D_{тр}=800$  мм; толщина стенки трубопроводов  $\delta_{тр}=12$  мм; длина каждой трубопроводной магистрали  $L_{тр}=3250$  м (имеются 3 линии трубопроводной магистрали, расчеты проводятся для левобережного трубопровода); производительность гидротранспортной системы  $Q=5500$  м<sup>3</sup>/час (1,53 м<sup>3</sup>/сек); площадь внутреннего поперечного сечения трубопроводной магистрали  $\omega_{тр}=0,5024$  м<sup>2</sup>; средняя скорость движения гидроаэросмеси по трубопроводам при установившемся режиме  $v_0=3$  м/сек; скорость распространения волны гидравлического удара по трубопроводной магистрали  $a=790$  м/сек; давление в трубопроводной магистрали при установившемся режиме (рабочее давление)  $P_p=1,3 \cdot 10^6$  Па = 13 кгс/см<sup>2</sup>; плотность транспортируемой по трубопроводам гидросмеси  $\rho=1060$  кг/м<sup>3</sup>; превышение давления (среднее значение) при гидравлическом ударе над давлением при установившемся режиме  $\Delta P_{y\delta} \approx 2,5 \cdot 10^6$  Па = 25 кгс/см<sup>2</sup>.

При отсутствии средств защиты от гидравлических ударов, минимальную толщину стенки трубо-

провода, без разрушения выдерживающую давление при гидравлическом ударе следует определить по формуле

$$\delta_{\min(\text{доп.})} = \frac{K_{II} D_{mp} [P_p + (\Delta P - P_p)]}{2\sigma_{\text{доп.}} \cdot m} = \frac{1,2 \cdot 80 [13 + (25 - 13)]}{2 \cdot 2000 \cdot 0,85} \approx 7 \text{ мм},$$

при наличии же этих средств

$$\delta_{\min(\text{доп.})} = \frac{K_{II} D_{mp} P_p}{2\sigma_{\text{доп.}} \cdot m} = \frac{1,2 \cdot 80 \cdot 13}{2 \cdot 2000 \cdot 0,85} \approx 3 \text{ мм},$$

в этих расчетных зависимостях:  $K_{II}=1,2$  – коэффициент перегрузки трубопроводов;  $m=0,85$  – коэффициент условий работы трубопроводов;  $\sigma_{\text{доп.}} = 2000$  МПа – допустимое значение предела прочности при растяжении материала, из которого изготовлены трубопроводы.

Соответственно при базовом варианте возможно было бы эксплуатировать трубопровод до износа толщины на  $12-7=5$  мм, а при наличии средств защиты от гидравлических ударов –  $12-3=9$  мм, то есть осуществление последнего позволяет дополнительно использовать 4 мм толщины стенки трубопровода без опасности возникновения гидравлических ударов.

Если учесть, что 1 мм толщины стенки трубопровода в рассматриваемых условиях способен пропустить в среднем 3500000 тонн твердого материала (хвосты обогащения), то есть  $Q_{\text{тв}}=3500000$  т/мм, то при базовом варианте до полного износа (до износа минимально допустимой толщины) все три линии трубопроводов, равномерно эксплуатируемые (но не одновременно) при годовой производительности  $A=6400000$  т твердого материала, будут эксплуатироваться в среднем

$$T_1 = \frac{(12-7) \cdot 3Q_m}{A_1} = \frac{5 \cdot 3 \cdot 3500000}{6400000} \approx 8 \text{ лет.}$$

При осуществлении же противоударной защиты срок службы трубопроводов увеличится до

$$T_2 = \frac{(12-3) \cdot 3 \cdot 3500000}{6400000} \approx 15 \text{ лет.}$$

Соответственно:

$$P_1 = \frac{1}{T_1} = \frac{1}{8} = 0,125; \quad P_2 = \frac{1}{T_2} = \frac{1}{15} = 0,067.$$

Коэффициент учета изменения срока службы оборудования в новом варианте по сравнению с базовым составит

$$\frac{P_1 + E_n}{P_2 + E_n} = \frac{0,125 + 0,15}{0,067 + 0,15} = 1,27.$$

Так как с осуществлением мероприятий противоударной защиты производительность системы не меняется, по сравнению с базовым объектом, получаем, что коэффициент учета роста производительности

$$\frac{B_2}{B_1} = 1.$$

Годовые эксплуатационные издержки, израсходованные на ликвидацию ущерба от гидравлических ударов (на восстановление трубопроводов и оборудования), при базовом варианте составляют

$$H'_1 = \frac{I_1 + I_3}{A_1} = \frac{1000 + 24000}{6400000} = 0,0039 \text{ руб.}$$

Такие же расходы после оснащения системы средствами защиты от гидравлических ударов отсутствуют, то есть  $H'_2 = 0$ .

Сопутствующие капитальные вложения потребителя при исследовании базового варианта в расчете на объем продукции составляют

$$K'_1 = \frac{I_2 + I_4}{A_1} = \frac{28000 + 97000}{6400000} = 0,0196 \text{ руб.}$$

Соответственно, при применении средств защиты от гидравлических ударов сопутствующие капитальные вложения отсутствуют, то есть  $K'_2 = 0$ .

В вышеприведенных расчетах  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$ ,  $I_4$  взяты по усредненным данным многолетних статистических наблюдений в промышленных условиях:  $I_1=1000$  руб. – стоимость трудозатрат на ликвидацию аварий, вызванных гидравлическими ударами;  $I_2=28000$  руб. – стоимость вышедшего из строя оборудования (завихжек, обратных клапанов, отводов);  $I_3=24000$  руб. – стоимость материалов, израсходованных на восстановление трубопроводов;  $I_4=97000$  руб. – стоимость вышедших из строя основных силовых установок (грунтовых насосов, электродвигателей).

Исходя из вышеизложенного, экономия потребителя на текущих издержках эксплуатации и отчисленных от сопутствующих капитальных вложений за весь срок службы системы составит

$$\frac{(I'_1 - I'_2) - E_n (K'_1 - K'_2)}{P_2 + E_n} = \frac{(0,0039 - 0) - 0,15(0 - 000196)}{0,067 + 0,15} = 0,0315 \text{ руб.}$$

Себестоимость транспортирования 1 т твердого материала при базовом варианте для данного случая составляет

$$C_1 = \frac{C_{CT1}M_1 + C_{o1} + C_{Э1} + C_{Э01}}{A_1} = \frac{43,2 \cdot 1219 + 2400 + 70500 + 111000}{6400000} = 0,037 \text{ руб./м,}$$

где  $C_{CT1} = C_T + C_M = 34,5 + 8,7 = 43,2 \text{ руб.}$ ;  $C_T = 34,5 \text{ руб./м}$  – стоимость 1 пм трубы;  $C_M = 8,7 \text{ руб./м}$  – стоимость монтажа 1 пм трубопровода;  $C_{o1} = 2400 \text{ руб./год}$  – стоимость обслуживания системы за год;  $C_{Э1}$  – стоимость израсходованной за год электроэнергии, руб./год;

$$C_{Э1} = \frac{\rho_{cm} g Q H T_1 C_r}{102 \cdot \eta \cdot 3600} =$$

$$= \frac{1060 \cdot 5500 \cdot 9,81 \cdot 190 \cdot 8640 \cdot 0,0019}{102 \cdot 0,7 \cdot 3600} = 70500 \text{ руб./год};$$

$\rho_{cm} = 1060$  – плотность транспортируемой по трубопроводам гидросмеси, кг/м<sup>3</sup>;  $Q=5500$  – производительность гидротранспортной системы (насосов), м<sup>3</sup>/час;  $H=190$  – суммарное давление, развиваемое насосами (в систему последовательно включены три насоса), м;  $\eta=0,7$  – КПД насосов;  $T_1 = 8640$  – суммарная продолжительность работы гидротранспортной системы за год, час;  $C_r$  – стоимость одного квт/час электроэнергии для данного региона, руб./квт;  $C_{Э01}$  – основная плата за установленную мощность, участвующую в пиковой нагрузке, руб./год;

$$C_{Э01} = C N_{\text{макс.}} = 28,4 \cdot 3 \cdot 1300 = 111000;$$

$C=28,40$  руб. – плата за 1 кВт мощности;  $N_{\text{макс.}} = 3 \cdot 1300$  квт – суммарная установленная мощность, участвующая в пиковой нагрузке;  $M_1 = \frac{3L_{mp}}{T_1} =$

$= \frac{3 \cdot 3250}{8} = 1219,4 \text{ м/год}$  – приведенный расход стальных труб, отнесенный на один год эксплуатации гидротранспортной системы при базовом варианте.

Себестоимость транспортирования 1 тонны твердого материала при новом варианте составляет

$$C_2 = \frac{C_{CT2}M_2 + C_{o2} + C_{Э2} + C_{Э02}}{A_2} = \frac{43,2 \cdot 650 + 2400 + 70500 + 111000}{6400000} = 0,033 \text{ руб./год},$$

где  $C_{CT1} = C_{CT2} = C_T + C_M = 43,2 \text{ руб./м}$ ;  $C_{Э2} = C_{Э1} = 2400 \text{ руб./год}$  – стоимость обслуживания гидротранспортной системы за год;  $C_{Э2} = C_{Э1} = 70500 \text{ руб./год}$  – стоимость израсходованной электроэнергии за год.  $C_{Э02} = C_{Э01} = 111000 \text{ руб./год}$  – основная плата за установленную мощность, участвующую в пиковой нагрузке;  $P$  – приведенный расход стальных труб, отнесенный на один год эксплу-





4. Dmitriev G., Makharadze L., Gochitashvili T. Pressure hydrotransport system. Manual. Moscow: “Nedra”. 1991, 304 p. (In Russian).
5. Makharadze L.I. The guide for protection of the pressure head hydrotransport system against water hammers of BCHOI-81. Tbilisi: “Metsniereba”. 1981, 151 p. (In Russian).
6. Makharadze L.I. Means for prevention of fluctuation and deformations of pipelines. Construction of pipelines. №10. Moscow. 1974, 31-32 pp. (In Russian).
7. Methods (main provisions) of calculation of economic efficiency of use of new equipment, inventions and rational proposals in the national economy (approved by the Resolution of the State Committee for Science and Technique of the Council of Ministers of the USSR, the State Plan Committee of the USSR, Academy of Sciences of the USSR, State Committee for Inventions and Discoveries of the Council of Ministers of the USSR), Moscow. 1978, 52 p. (In Russian).
8. Yurin P.I., Borokhovich A.I. Integrated reliability and service life indicator of coal pumps. Nosov Magnitogorsk State Technical University. Magnitogorsk. 1970, 67-69 pp. (In Russian).
9. Determination of economic efficiency of using inventions and rational proposals based on the new methodology. The issues of inventiveness. № 1. Moscow. 1978, 67-69 pp. (In Russian).
10. Makharadze L. I., Gochitashvili T. Sh., Sharikadze A. T., Steryakova S. I. Ways of increasing efficiency of pipeline hydrotransport for minerals and wastes. Proceedings of the 11<sup>th</sup> international mineral processing symposium. Belek. 2008, 1155-1159 pp. (In English).

UDC 338.92 : 622.648 : 532.595

SCOPUS CODE 2210

მსხვილ სამრეწველო სადაწნეო მილსადენ ჰიდროსატრანსპორტო სისტემებზე ჰიდრავლიკური დარტყმებისგან დაცვის საშუალებების ჩანერგვით მიღწეული ეკონომიკური ეფექტურობის გაანგარიშების მეთოდიკა

ლ. მახარაძე                    სამთო ტექნოლოგიების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 75  
E-mail: lmakharadze@gtu.ge

რეცენზენტები:

გ. ყირმელაშვილი, სტუ-ის ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის პროფესორი  
E-mail: gkirmelashvili@gtu.ge

გ. ტაბატაძე, სტუ-ის სამთო-გეოლოგიური ფაკულტეტის პროფესორი, ემერიტუსი  
E-mail: gordtab@gmail.com

**ანოტაცია.** სტატიაში განხილულია ავტორის მიერ შემუშავებული, მსხვილ სამრეწველო სადაწნეო მილსადენ ჰიდროსატრანსპორტო სისტემებზე ჰიდრავლიკური დარტყმებისგან დაცვის საშუალებების (რომლებიც დამუშავებულია მის მიერვე) ჩანერგვით მიღწეული ეკონომიკური ეფექტურობის გაანგარიშების მეთოდოლოგია. ჰიდრავლიკური დარტყმებისგან დაცვის მეთოდები და საშუალებები რეალიზებულია ყოფილი საბჭოთა კავშირის, მათ შორის საქართველოს, მსხვილ სამრეწველო სადაწნეო მილსადენ ჰიდროსატრანსპორტო სისტემებზე, რითაც მიღწეულ იქნა მათი ექსპლუატაციის სრული საიმედოობა. ასევე სრულად იქნა: ლიკვიდირებული სერიოზული ავარიები და მოცდენები, მიღწეული ეკონომიკური და სოციალური ეფექტი, უზრუნველყოფილი შრომის უსაფრთხოება, გარემო დაცული გაჭუჭყიანებისაგან. იგი ეფუძნება: მეთოდოლოგიის ძირითად დებულებებს, რომლის მიხედვითაც განისაზღვრებოდა სახალხო მეურნეობაში ახალი ტექნიკის, გამოგონებებისა და რაციონალიზატორული წინადადებების გამოყენებით მიღწეული ეკონომიკური ეფექტურობა და რომელიც დამტკიცებული იყო ყოფილი საბჭოთა კავშირის მინისტრთა საბჭოს მეცნიერებისა და ტექნიკის სახელმწიფო კომიტეტის, სახელმწიფო საგეგმო კომიტეტის, მეცნიერებათა აკადემიის, გამოგონებების და აღმოჩენების სახელმწიფო კომიტეტის ბრძანებებით, აგრეთვე გამოგონებების და აღმოჩენების გამოყენებით მიღწეული ეკონომიკური ეფექტურობის განსაზღვრულ ახალ მეთოდოლოგიას და ნაშრომის ავტორის მიერ დამუშავებულ სადაწნეო მილსადენი ჰიდროსატრანსპორტო სისტემების ეგრეთ წოდებულ კომპლექსურ მაჩვენებელს.

**საკვანძო სიტყვები:** გაანგარიშების მეთოდოლოგია; გაჭუჭყიანებისგან დაცვა; დემპფირება; ეკონომიკური ეფექტურობა; მილსადენი მაგისტრალი; სამილსადენო არმატურა; სამრეწველო ობიექტები, სისტემის მოცდენა; სოციალური ეფექტურობა; შრომის ნაყოფიერება; ჰიდრავლიკური დარტყმები; ჰიდროსატრანსპორტო სისტემები.

UDC 338.92 : 622.648 : 532.595

SCOPUS CODE 2210

**Calculation methodology of economic efficiency achieved by the introduction of the research results, related to the protection from the hydraulic shocks on the large industrial pressure pipeline hydrotransport systems**

**L. Makharadze** Department of Mining Technology, Georgian Technical University, 75 M. Kostava str.  
0175, Tbilisi, Georgia  
E-mail: lmakharadze@gtu.ge

**Reviewers:**

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

E-mail: gkirmelashvili@gtu.ge

**G. Tabatadze**, Professor, Emeritus, Faculty of Mining and Geology, GTU

E-mail: gordtab@gmail.com

**Abstract.** Calculation methodology of economic efficiency achieved by the introduction of the research results related to the protection [processed by the author] from the hydraulic shocks on large industrial pressure pipeline hydrotransport systems developed by the author is reviewed in the article.

The methods and means of protection from hydraulic shocks are introduced on large industrial pressure pipeline hydrotransport systems of the former Soviet Union, including Georgia, through which the full operational integrity was achieved. Also, serious emergencies and downtimes were fully eliminated, economic and social effect was reached, occupational safety was ensured, environment was protected from contamination. It is based on the methods (main provisions) according to which the economic efficiency achieved by the introduction of new equipment, inventions and rational proposals in the national economy was determined and which was approved by orders of the State Committee for Science and Technique of the Council of Ministers of the USSR, the State Plan Committee of the USSR, Academy of Sciences of the USSR, State Committee for Inventions and Discoveries of the USSR. Herewith new methods of economic efficiency are elaborated using discoveries and inventions and the so-called integrated indicator of pressure pipeline hydrotransport systems developed by the author.

**Key words:** Calculation methodology; contamination protection; damping; economic efficiency; hydraulic shocks; hydrotransport systems; industrial facilities; main pipeline; operational integrity; operation safety; pipe line fittings; social efficiency; system downtime.

*Дата рассмотрения 27.06.2018*

*Дата поступления 29.06.2018*

*Подписано к печати 28.12.2018*

UDC 531.8,621.8

SCOPUS CODE 2210

**К вопросу определения усилия давления шнекового кулачкового механизма  
измельчающего устройства роликовым толкателем**

<b>Т.А. Чхаидзе</b>	Департамент инженерной графики и технической механики, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава 68 <sup>а</sup> E-mail: tegizchkaidze@mail.ru
<b>Н.И. Нозадзе</b>	Департамент инженерной графики и технической механики, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава 68 <sup>а</sup> E-mail: ninonozadze1210@gmail.com
<b>Г.Г. Мерабишвили</b>	Департамент инженерной графики и технической механики, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава 68 <sup>а</sup> E-mail: gabrielmerabishvili@gmail.com

**Рецензенты:**

**А. Шарвашидзе**, профессор факультета транспорта и машиностроения ГТУ

E-mail: a.sharvashidze@gtu.ge

**Л. Кисишвили**, ассоциированный профессор факультета транспорта и машиностроения ГТУ

E-mail: liakisishvili@gmail.com

**Аннотация.** Рассматривается измельчающее устройство, в шнеке которого установлен нож, который приводится в движение посредством кулачков и роликовым толкателем.

Дополнительный оригинальный режущий инструмент установлен эксцентрично в сердцевине шнека, сконструированного в специальной оправке. На конце оправки установлена пружина сжатия для придания оправке возвратно-поступательного движения от действия неподвижных кулачков, насаженных на фланце, опирающихся на конец шнека; кулачки на фланце устанавливаются с помощью крепежных устройств, регулирующих их необходи-

мую координатную фиксацию; рассматривается вопрос специальной конструкции шнекового устройства с целью повышения окружной скорости измельчающегося продукта.

В процессе измельчения на шнек действует дополнительное усилие, вызванное действием кулачкового механизма и режущего инструмента; рассмотрена связь угла давления профиля кулачка и ролика толкателя; чтобы не произошло самоторможение рекомендован оптимальный угол давления; рассмотрен вопрос жесткости толкателя и кулачка, влияющей на динамический процесс; с помощью дифференциальных уравнений определены параметры движущихся частей толкателя.

**Ключевые слова:** дифференциальные уравнения; жесткость; режущий инструмент; усилие резания; устройство измельчения, шнековое и кулачковое устройство.

## Введение

Интерес к устройствам обработки пищевых продуктов и их технологическим процессам за последние годы не уменьшается, о чем свидетельствуют опубликованные за последние годы как конструктивные решения (патенты), так и исследовательские работы. Так как работа касается вопросов усовершенствования процесса измельчения пищевых продуктов, то предложенные решения представляют несомненный интерес и являются актуальной тематикой.

## Основная часть

Для обеспечения надежного процесса работы кулачкового механизма, которым оснащено измельчающее устройство, выполняющее измельчение пищевого продукта, необходимо определение основных параметров шнекового режущего устройства, таких, как угол давления толкателя, который определяет размер кулачка, крутящий момент, нагрузки, долговечность и другие факторы [ 1,2 ].

Связь угла давления кулачка на роликовый толкатель, создающего боковое давление, рассматривается на рис. 1, где угол давления зависит от величины вылета толкателя, коэффициента трения и его жесткости. Принимаем:  $\mu$  – коэффициент трения между телом толкателя и его направляющими;  $N_1$  и  $N_2$  – нормальные реакции в направляющих толкателя;

$F$  – нормальная реакция профиля кулачка ;

$P_0$  – общая (суммарная) внешняя нагрузка на кулачок (включая вес, усилие вращения, усилие пружины, силу инерции, трение и т.п.);

$A$  – вылет толкателя;

$BC$  – длина направляющих толкателя;

$\alpha$  – угол давления, град;

$\alpha_{\text{макс}}$  – максимальный угол давления, град.;  $w$  – расстояние от оси стержня толкателя до направляющей опоры.

Конструктивное исполнение измельчающего устройства выполнено таким, что шнек с режущим круговым инструментом осуществляет вращательное движение.

При условии статического равновесия сумма сил, направленных вдоль вертикальной оси, должна быть равна нулю

$$\Sigma F_y = 0; -P_0 + F \cos \alpha - \mu N_1 + \mu N_2 = 0. \quad (1)$$

Для прочностного расчета несущих нагрузку элементов, с ручным и электроприводом вращающий момент зависит от приложенного усилия и величины длины рычага.

Осевое усилие, приходящееся на винт шнека, определяет

$$F_0 = \frac{T}{r \operatorname{tg}(\alpha + \rho)}, \quad (2)$$

$r$  – приведенный радиус, на который действует осевая сила  $F_0$ , ориентировочно

$r = (0,7 \dots 0,8) D_n$ ;  $\alpha$  – угол подъема винтовой линии.

В процессе продольного резания и измельчения в полости шнека на толкатель действуют нормальные реакции  $N_1$  и  $N_2$  в направляющих толкателя (рис. 1). Здесь точки  $p$  и  $q$  являются точками пересечения сил  $N_1$  и  $N_2$  с линией движения толкателя. Сумма моментов сил относительно точек  $p$  и  $q$  равна нулю.

Принимая выражения  $\mu N_1 \cdot w$  и

$\mu N_2 \cdot w$  равными нулю из-за их малости

$$\Sigma M_p = 0; -F \cdot A \sin \alpha + N_1 \cdot B - \mu N_1 \cdot w + \mu N_2 \cdot w = 0; \quad (3)$$

$$\Sigma M_q = 0; -F(A + B) \sin \alpha + N_2 \cdot B - \mu N_2 \cdot w = 0. \quad (4)$$

получаем из равенств (3) и (4)

$$N_1 = \frac{A}{B} F \sin \alpha, \quad (5)$$

$$N_2 = \frac{A+B}{B} F \sin \alpha. \quad (6)$$

Подставляя равенство (5) в (1) и, исключая  $N_1$  получим

$$-P_0 + F \cos \alpha - \mu F \frac{A}{B} \sin \alpha - \mu N_2 = 0. \quad (7)$$

Для определения величины внешнего давления  $P_0$  подставляем (6) в выражение (7), получим:

$$P_0 = F \left[ \cos \alpha - \mu \left( \frac{2A+B}{B} \right) \sin \alpha \right]. \quad (8)$$

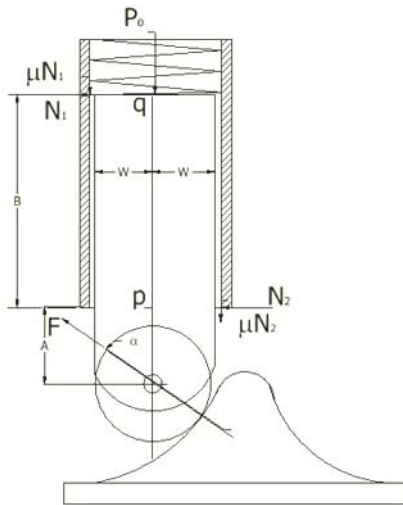


Рис.1. Схема сил, действующих на толкатель в кулачковом механизме

Нормальное давление к профилю кулачка  $F$  из (8) равно

$$F = \frac{P_0}{\cos \alpha - \mu \left( \frac{2A+B}{B} \right) \sin \alpha}. \quad (9)$$

Когда в выражении (9) знаменатель равен нулю, нормальное давление  $F$  обращается в бесконечность, Это означает, что толкатель будет заклиниваться в своей направляющей. Следовательно,

$$\cos \alpha - \mu \left( \frac{2A+B}{B} \right) \sin \alpha_{\max} = 0. \quad (10)$$

Максимальный, критический угол давления, при достижении которого произойдет заклинивание толкателя в его направляющих

$$\alpha_{\max} = \arctan \frac{B}{\mu(2A+B)}. \quad (11)$$

При недостаточно жестком стержне толкателя возможно заедание в нижнем конце направляющих. Выполним некоторые численные подсчеты и сопоставим результаты. Примем  $A=B$ , значение коэффициента трения для бронзы по стали  $\mu = 0,10$  – кинетическое,  $\mu = 0,15$  – статическое [1]. Подставляя эти величины в (11), определим максимальный угол давления для обоих случаев:

$$\alpha_{\max} = \arctan \frac{B}{0,10(2A+B)} = 73^{\circ}30' \text{ для } \mu = 0,10,$$

$$\alpha_{\max} = \arctan \frac{B}{0,15(2A+B)} = 66^{\circ} \text{ для } \mu = 0,15.$$

Эти значения получены исходя из предположения, что толкатель принят абсолютно жестким [1, 2]. При недостаточно жестком стержне толкателя может произойти его заедание, поэтому на практике следует обеспечивать меньшие значения коэффициента трения  $\mu$ , выбирать конструктивно минимальный вылет толкателя  $A$  и величину зазора, а направляющие толкателя выбирать наибольшей возможной длины.

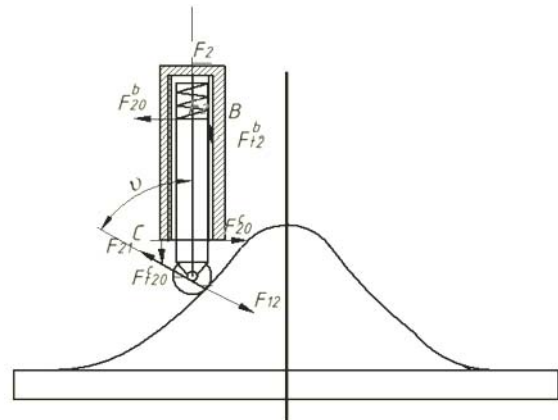


Рис. 2. К определению усилия угла давления шнекового кулачкового механизма

Существуют кулачковые механизмы с толкателем, где практически полностью устраняется боковое давление и заклинивание, состоящий из двух толкателей неприемлем для рассматриваемого меха-

низма, вследствие сложности конструктивного исполнения устройства [1].

Поскольку угол давления кулачка непосредственно связан с габаритами кулачка, однако влияние оказывает и кривизна, где форма кривой в любой точке зависит от изменения угла наклона касательной [1], Аналогичная задача рассматривается в работе [2], где выполнен силовой анализ и учитывается влияние трения в направляющих поступательной пары.

Вследствие достаточного зазора в этой паре звено 2 касается в двух точках *B* и *C* (рис.2). Для силового анализа считаем заданными: угловые скорость  $\omega$  и ускорение  $\epsilon$  звена 1, скорость  $v_2$  и ускорение  $a_2$  звена 2, момент инерции  $J_1$  звена 1 относительно оси перемещения, масса  $m_2$  звена 2, размеры  $l$  и  $l_0$ , коэффициент трения  $f$ , угол  $\vartheta$  и внешняя сила  $F_2$ . Требуется определить реакции  $F_{21}$   $F_{20}^b$   $F_{20}^c$   $F_{10}$ . Уравнение кинестатического равновесия звена 2 при указанных направлениях (рис. 2) реакции запишутся в виде уравнений проекций на оси  $A_x$  и  $A_y$  и уравнения моментов относительно точки *A*:

$$-F_{20}^b + F_{20}^c - F_{21} \sin \vartheta = 0, \quad (14)$$

$$-(F_{20}^b + F_{20}^c) + F_{21} \cos \vartheta - F_2 - m_2 a_2 = 0 \quad (15)$$

$$F_{20}^b (l + l_0 - s_2) - F_{20}^c (l_0 - s_2) = 0 \quad (16)$$

Из (16) имеем  $F_{20}^c = F_{20}^b \frac{l + l_0 - s_2}{l_0 - s_2}$ . Подставляя значение  $F_{20}^c$  в (14) находим

$$F_{20}^b = F_{21} \frac{(l_0 - s_2) \sin \vartheta}{l}.$$

А из уравнения (12) получаем

$$F_{21} = \frac{F_2 + m_2 \bar{a}_2}{\cos \vartheta - f \left[ 1 + \frac{2(l_0 - s_2)}{l} \right]}. \quad (17)$$

При  $F_{21} > 0$   $F_{20}^b$  и  $F_{20}^c$  имеют знак плюс, этим направлением реакций было выбрано правильно.

Реакция на неподвижные кулачки со стороны стойки находим из соотношения

$F_{10} = -F_{21} = F_{21}$ , а уравнение моментов для звена 1 относительно точки 0 дает тождество

$$M_{1-J_1 \epsilon_1} - F_{12} h_{12} = 0. \quad (18)$$

Если закон движения начального звена, принятый при определении сил инерции, соответствует заданным внешним силам.

Из формулы (17) при условии, когда знаменатель обращается в нуль, наступает самоторможение. Условие отсутствия самоторможения рассматриваемого механизма выражается соотношением

$$\cos \vartheta > f \left[ 1 + \frac{2(l_0 - s_2)}{l} \right] \sin \vartheta$$

или

$$\operatorname{tg} \vartheta < \frac{l}{f[l + 2(l_0 - s_2)]}. \quad (19)$$

Для данного механизма самоторможение недопустимо.

Таким образом при синтезе кулачкового механизма (рис. 2) значение имеет угол  $\vartheta$ , с увеличением которого увеличиваются составляющие  $F_{20}^b$  и  $F_{20}^c$  и соответственно увеличиваются потери на трение.

При работе шнекового кулачкового механизма следует учитывать жесткость толкателя и кулачка. Так как жесткость кулачка значительно больше жесткости толкателя динамика механизма рассматривается как дифференциальное уравнение движения массы толкателя  $m$ , которая считается сосредоточенной в одной точке. Действие сил упругости толкателя представлена пружиной, помещенной между массой  $m$  и кулачком.

Рассматриваем механизм, как одномассовую динамическую модель, а уравнение движения кулачкового механизма с упругим прямолинейно движущимся толкателем будет иметь вид [3]

$$m \ddot{y} = c(s - y) - b \dot{y} - F, \quad (20)$$



где  $b$  – коэффициент сопротивления,  $c$  – коэффициент жесткости толкателя. Из уравнения (20) получаем

$$m \ddot{y} + b \dot{y} + cy = cs - F. \quad (21)$$

Величина  $s$  определяется профилем кулачка и представляет собой заданную функцию времени. Перемещения  $s$  и  $y$  мало отличаются по модулю, а так как при наличии упругого элемента в виде жесткого кулачка, разность при обобщенной координате будет

$$q = y - s. \quad (22)$$

Тогда уравнение движения кулачкового механизма с упругим толкателем принимает вид:

$$m \ddot{q} + b \dot{q} + cq = -m \ddot{s} - b \dot{s} - F, \quad (23)$$

$$\text{или} \quad \ddot{q} + 2\gamma \dot{q} + \lambda^2 q = \ddot{s} - 2\gamma \dot{s} - \frac{F}{m}, \quad (24)$$

где  $\gamma = \frac{b}{2m}$  – коэффициент демпфирования,

$\lambda = \sqrt{\frac{c}{m}}$  – собственная частота механизма.

При  $\gamma < \lambda$  уравнение (24) является линейным уравнением движения колебательного типа, решение которого зависит от изменения силы  $F$  и от производных  $\ddot{s}$  и  $\dot{s}$ , определяемых профилем кулачка. Эти производные связаны с угловой скоростью кулачка  $\omega$  соотношениями

$$\dot{s} = \omega \frac{ds}{d\varphi}, \quad \ddot{s} = \omega^2 \frac{d^2s}{d\varphi^2}, \quad (25)$$

где  $\varphi$  – угол поворота шнека.

При типовых законах движения крайнего конца толкателя, обычно принимают  $F=0$

(чисто инерционная нагрузка) и  $\gamma = 0$  (отсутствие трения) [3].

Для упрощения и наглядности принятой схемы динамической модели кулачкового механизма с возвратно-поступательным движением при установившейся частоты вращения ведомая масса  $m_2$  совершает возвратно-поступательное движение. Уравнение движения ведомой массы будет

$$m_2 \frac{d^2s_2}{dt^2} - (S_1 - S_2)c = -Q, \quad (26)$$

где  $Q$  – вес возвратно-поступательно движущихся частей и внешняя нагрузка  $R$ .

Выражая  $S_i$  в виде  $S_i = f(\omega t)$  и принимая для кривошипно-шатунных механизмов  $S_1 = R(1 - \cos \omega t)$ , принятого для приближенного решения [3] и преобразуя (26), получим

$$\frac{d^2s_2}{dt^2} + \frac{c}{m_2} S_2 = \frac{c}{m_2} f(\omega t) - \frac{Q}{m_2}. \quad (27)$$

Общее решение уравнения (27) при начальных условиях деформация толкателя принимает вид [3]

$$S = S_1 - S_2 = \frac{Rm_2\omega^2}{c(1 - \frac{m_2\omega^2}{c})} (\cos \omega t - \cos \sqrt{\frac{c}{m_2}} t) + \frac{Q}{c}. \quad (28)$$

Усилие воспринимаемое толкателем

$$F = S \cdot c = \frac{Rm_2\omega^2}{1 - \frac{m_2\omega^2}{c}} \left( \frac{1}{\omega} \sqrt{\frac{c}{m_2}} \sin \sqrt{\frac{c}{m_2}} t - \sin \omega t \right) + Q. \quad (29)$$

## Заключение

1. С целью повышения жесткости толкателя кулачкового механизма режущее устройство заключено в цилиндрическую оправку с возможностью возвратно-поступательного движения.

2. Подобран профиль неподвижных кулачков с внутренней вогнутостью с целью повышения плавности хода и износостойкости роликового толкателя, выполняющего разрезку двухкратным движением за цикл, обеспечивающий радиальное перемещение с частичным дроблением продукта.

3. Определена величина внешнего давления и угол давления, исключающий заклинивание роликового толкателя.

### Литература

1. Rothbart H.A. Cams – Design, dynamics and accuracy. Leningrad: “Sudopromgiz”. 1960, 336 p. (In Russian).
2. Levitsky N.I. Theory of mechanisms and machines. Moscow: «Nauka». 1990, 590 p. (In Russian).
3. Komarov M.S. Dynamics of mechanisms and machines. Moscow: «Mashinostroenie». 1969, 295 p. (In Russian).

UDC 531.8,621.8

SCOPUS CODE

## გორგოლაჭიანი საბიძგებლით აღჭურვილი დამქუცმაცებელი მოწყობილობის შნეკიანი მუშტა მექანიზმის წნევის ძაღვის განსაზღვრის საკითხისათვის

- თ. ჩხაიძე** საინჟინრო გრაფიკისა და ტექნიკური მექანიკის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 68<sup>ა</sup>  
E-mail: tegizchkaidze@mail.ru
- ნ. ნოზაძე** საინჟინრო გრაფიკისა და ტექნიკური მექანიკის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 68<sup>ა</sup>  
E-mail: ninonozadze1210@gmail.com
- გ. მერაბიშვილი** საინჟინრო გრაფიკისა და ტექნიკური მექანიკის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 68<sup>ა</sup>  
E-mail: gabrielmerabishvili@gmail.com

### რეცენზენტები:

- ა. შარვაშიძე**, სტუ-ის სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტის პროფესორი  
E-mail: a.sharvashidze@gtu.ge
- ლ. ქისიშვილი**, სტუ-ის სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტის ასოცირებული პროფესორი  
E-mail: liakisishvili@gmail.com

**ანოტაცია.** განხილულია დამქუცმაცებელი მოწყობილობა და შნეკში მოთავსებული მჭრელი დანის კონსტრუქცია, რომელიც მოძრაობას იწყებს მუშტას და გორგოლაჭიანი საბიძგებელსა საშუალებით.

დამატებითი, ორიგინალური მჭრელი იარაღი დაყენებულია ექსცენტრულად შნეკის გულში, რომელიც დაპროექტებულია სპეციალურ სამართულში. სამართულის ბოლოში დაყენებულია კუმშვის ზამბარა უძრავი მუშტების მოქმედებით უკუსვლითი მოძრაობის მისანიჭებლად. მუშტები წამოცმულია შნეკის ბოლოზე დაყრდნობილ მილტუჩზე; მუშტები მილტუჩზე დაყენებულია სამაგრი მოწყობილობის მეშვეობით, რომლებიც არეგულირებენ მათ აუცილებელ საკოორდინატო ფიქსაციას; განიხილება შნეკური

მოწყობილობის სპეციალური კონსტრუქციის საკითხი პროდუქტის დამუშავების წრიული სიჩქარის გაზრდის მიზნით.

პროდუქტის დამუშავების პროცესის დროს წარმოიშობა შნეკზე დამატებითი ძალვა, რაც გამოწვეულია მუშტა მექანიზმისა და მჭრელი დანის მოქმედებით. განხილულია კავშირი მუშტას დაწოლის კუთხესა და საბიძგებელას გორგოლაქს შორის. იმისათვის, რომ არ მოხდეს საბიძგებელას თვითდამუხრუჭება, შერჩეულია დაწოლის ოპტიმალური კუთხე, განხილულია საბიძგებელას და მუშტას სიხისტეთა გავლენა დინამიკურ პროცესზე. დიფერენციალური განტოლებების გამოყენებით განსაზღვრულია შნეკზე მოქმედი ღერძული ძალა.

**საკვანძო სიტყვები:** დაწვრილმანების მოწყობილობა; დიფერენციალური განტოლებები; მუშტა მოწყობილობა; მჭრელი ინსტრუმენტი; სიხისტე; შნეკი; ჭრის ძალვა.

UDC 531.8,621.8

SCOPUS CODE 2210

### On the issue of definition of pressure force in worm cam mechanism of crusher device with roller stroke

- T. Chkhaidze** Department of Engineering Graphics and Engineering Mechanics, Georgian Technical University, 68<sup>a</sup> M. Kostava str, 0175 Tbilisi, Georgia  
E-mail: tegizchkhaidze@mail.ru
- N. Nozadze** Department of Engineering Graphics and Engineering Mechanics, Georgian Technical University, 68<sup>a</sup> M. Kostava str, 0175 Tbilisi, Georgia  
E-mail: ninonozadze1210@gmail.com
- G. Merabishvili** Department of Engineering Graphics and Engineering Mechanics, Georgian Technical University, 68<sup>a</sup> M. Kostava str, 0175 Tbilisi, Georgia  
E-mail: gabrielmerabishvili@gmail.com

#### Reviewers:

**A. Sharvashidze**, Professor, Faculty of Transportation and Mechanical Engineering, GTU

E-mail: liakisishvili@gmail.com

**L. Kisishvili**, Associate Professor, Faculty of Transportation and Mechanical Engineering, GTU

E-mail: a.sharvashidze@gtu.ge

**Abstract.** The article considers the structure of the knife in the crushing worm device that comes in motion by cam and roller pusher.

The additional, original cutting tool is arranged eccentrically in the core of worm that is designed in the special device. On the end of device it is arranged the compression spring for achieving of translational movement from

action of fixed cams, installed on flange, supporting on the end of worm. The cams on worm are arranged by fastening devices that are adjusting their necessary coordinate fixation. The article considers the issue of special structure of worm device for purpose of increasing of circumference velocity of crushing product.

During the crushing process on the product are arisen the additional forces caused by the action of cam mechanism and cutting knife. The article reviews the relation between cam pressure angle action on roller or pusher. The optimum angle of the pressure is selected in order to avoid self-braking of pusher. The influence of pusher and cam stiffness on dynamic process is considered and parameters of moving parts of the pusher are determined by the differential equations as well.

**Key words:** Crusher device; cutting instrument; cutting force; differential equations; rigidity; worm and cam mechanism.

*Дата рассмотрения 21.06.2018*

*Дата поступления 29.07.2018*

*Подписано к печати 28.12.2018*

UDC 502.7

SCOPUS CODE 2303

**Об эффективности применения элементов высшей математики при решении  
практических задач по безопасности экологических систем**

- Р.Г. Манагадзе**      Департамент технологий газа и нефти, Грузинский технический университет,  
Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава 75  
E-mail: r.managadze@gtu.ge
- В.В. Абзианидзе**      Институт гидрогеологии и инженерной геологии, Грузинский технический уни-  
верситет, Грузия, 0126, Тбилиси, село Дигоми, ул. св. равноапостольной Нины, 1  
E-mail: verikoabz@mail.ru
- Д.В. Абзианидзе**      Институт гидрогеологии и инженерной геологии, Грузинский технический уни-  
верситет, Грузия, 0126, Тбилиси, село Дигоми, ул. Св. равноапостольной Нины, 1  
E-mail: dimitri.abz@mail.ru

**Рецензенты:**

**Т. Барабадзе**, профессор горно-геологического факультета ГТУ  
E-mail: tbarabadze@mail.ru

**Д. Блушвили**, ассоциированный профессор горно-геологического факультета ГТУ  
E-mail: datoblu@yahoo.com

---

**Аннотация.** В статье, предлагаемой вниманию читателей, почти нет формул, не доказываются теоремы, но она призвана дать представление о том, как в наши дни можно применять математические методы при решении практических задач по безопасности экологических систем (ЭС).

Эта статья – размышления математиков о своей специальности, размышления людей, которые проделали путь от „чистой математики” к „математической экологии”. Этот путь определил тот факт, что математика становится естественным инструментом в экологических исследованиях, и экологи-

математический анализ превратился в важное направление научных исследований.

Математику принято относить к естественным наукам, т. е. к наукам, изучающим содержание тех процессов, которые происходят в окружающем нас мире. Такая точка зрения вполне оправдана, поскольку математика возникла из-за повседневных практических нужд человека на самых ранних ступенях развития человеческого общества для того, чтобы помочь человеку в его борьбе за существование.

Математика всегда черпала информацию для анализа в этих процессах и создавала новые методы, позволяющие исследовать эти процессы.

Применение математических методов в экологии дает возможность получить такие результаты, которые невозможно достичь другими методами. Желательно, чтобы экологи умели бы не только пользоваться математическим аппаратом, но и могли бы выбрать из многочисленных методов именно тот, который необходим для достижения поставленной цели, т.е. целенаправленно его использовать.

**Ключевые слова:** окружающая среда; математика; экологическая безопасность; экологическая система.

### Введение

Содержание этой работы рассчитано на тех, кто знаком с основными элементами высшей математики. Они могут воспользоваться результатами этой статьи для экологических исследований с целью достижения экологической безопасности (ЭБ) [1,2].

Экономические кризисы конца XX и начала XXI веков перестали носить локальный характер и стали охватывать целые регионы. К природным стихиям стали „присоединяться” антропогенные катастрофы, по масштабам и последствиям значительно опаснее природных. Процесс антропогенеза в масштабах планеты стал неуправляемым и опаснее по своим последствиям. Совокупность всех этих воздействий на окружающую среду (ОС) ведет к формированию новой экологической ситуации, требующей анализа реальных проблем, исходя из того, что, с одной стороны, человечеством осознается угроза, которую несут катастрофы, а, с другой стороны, развитие наук достигло необходимого уровня для анализа этой ситуации [3].

Следуя работе [4], важным фактором искоренения отмеченных проблем является разработка, адап-

тация и внедрение в практику программно-технических и информационных средств для оценки и прогнозирования экологической обстановки и согласованное управление с промышленными и сельскохозяйственными производствами, экономикой, здравоохранением и другими видами деятельности того или иного региона. Отсюда следует, что в сфере ЭБ к одной из важнейших ролей отводится проблема поиска оптимального управления ЭС. Одна из главных трудностей, возникающих при этом, состоит в том, что необходимо комплексно использовать результаты прикладной математики с учетом специфики исследуемого процесса современной теории управления и математического программирования.

Для того чтобы применить математические методы в экологии, одной из первоочередных задач является исследование ЭС и получение, по возможности, её полного математического описания, т.е., необходимо располагать некоторой её моделью, представляющей закон функционирования данного процесса, а затем создать соответствующий аппарат, который позволит провести анализ изучаемого процесса, оценить наши возможности и только на основе такого анализа сформировать цель [5].

Именно модель является ключом к успеху, она должна оказывать поддержку человеку в его активной деятельности при взаимодействии с природой для улучшения условий жизни. Модель должна не только достаточно четко отражать природные явления, но и должна быть удобной для применения.

Общий порядок построения математической модели заключается в формулировании задачи, изучении процесса, составлении содержательного и формализованного описания. Математическая модель, являясь отображением ЭС, используется для исследований, управления и прогнозирования. При

построении модели важным является выбор основных параметров, характеризующих данный процесс. В большинстве случаев при решении прикладных задач достаточно учитывать лишь основные стороны процесса. При синтезе математической модели ЭС изучаются теоретические основы, а затем составляется уравнение модели [6].

### Основная часть

Основные понятия формализации ЭС сводятся к следующему /1/: на основе изучения процесса функционирования ЭС производится её описание как объекта управления. Полученное описание используется для формализации таких понятий, как  $x(t)$  – выходные (управляемые) величины (параметры),  $u(t)$  – управляющие (выбираемые нами) воздействия на процесс,  $\theta(t)$  – возмущающие (не зависящие от нас) воздействия на процесс. Управляющие и возмущающие воздействия относят ко входным величинам параметров. Это позволяет далее говорить об объекте управления, блок-схема которого показана на рис. 1.

Далее уточняется оценка качества функционирования ЭС или критерий качества  $I$ , который обычно представляет собой числовой функционал, значение которого в интервале  $[t_0, t_1]=T$  функционирования системы (объекта управления) определяется функциями  $u(t)$  и  $x(t)$  ( $t_0 < t < t_1$ ) и множеством допустимых значений  $U_t$  и  $X_t$ , т. е.

$$I \in \{U_t \times R_t \rightarrow R\}.$$

Наконец, ставится вопрос математической зависимости выхода от входов как об операторе  $\Phi \in \{U_t \times \theta_t \rightarrow X_t\}$ , который чаще всего является некоторым дифференциальным оператором. Иногда оператор  $\Phi$  называют математической моделью объекта управления. Однако лучше математической моделью задачи управления (или объекта управления) называть  $M = \{U_t, \theta_t, T, X_t, \Phi\}$ .

Это хорошо согласуется с интуитивными представлениями. Например, такая модель объекта управления учитывает сразу и ограничения, и особенности множества времени и т.д.



Рис. 1. Оценка качества управления

Проблемы моделирования ЭС обсуждаются и решаются в монографии [4], а также в [3].

Целью управления ЭС является достижение ЭБ путем сведения к минимуму суммарных отрицательных воздействий на неё, т.е. обеспечение должного качества ОС. Поэтому эту величину будем рассматривать как управляемую величину ( $x(t)$ ). Учитывая экономический кризис, управление осуществляется инвестициями [4,7].

Желаемое значение выходной переменной обозначим через  $x^*(t)$ , т.е. это значение управляемой переменной, которое способствует эффективному функционированию ЭС.

Для того, чтобы обеспечить ЭБ, необходимо, чтобы  $x(t) = x^*(t)$  для любого момента времени  $1 \leq t \leq T$  (где  $T$  – время функционирования ЭС).

Ввиду того что математическое описание содержит априорную неопределенность, заключающуюся в неполноте информации о поведении возмущающих воздействий, то задачи, решаемые в

экологии, можно отнести к числу задач, содержащих неопределенные факторы, неопределенность наших знаний об окружающей обстановке (неопределенность природы).

Под возмущающими воздействиями подразумеваются любые потоки вещества, энергии и информации, непосредственно образующиеся в ОС или планируемые в результате антропогенной деятельности [5].

Модели, в которых приходится учитывать случайные факторы  $\theta$ , называются вероятностными или стохастическими. В таких моделях выходная переменная  $x(t)$  является случайной переменной, поэтому цель управления - формировать в детерминированной форме нельзя. Условие  $x(t) = x^*(t)$  нужно заменить каким-либо требованием, сформулированным в вероятностных терминах. Например, [4]:  $I_1 = M\{[x(t) - x^*(t)]^2\} \rightarrow \min$  или  $I_2 = P\{|x(t) - x^*(t)| < \epsilon\}$ .

Первое условие минимизирует дисперсию, а второе максимизирует вероятность того, что управляемая величина находится внутри некоторого достаточного малого интервала с центром в  $x^*$ . Оба эти условия тем или иным образом оценивают точность достижения цели.

Как мы видим, во многих практических случаях управляющее лицо имеет доступ лишь к неполной (частичной) информации, что создает серьезные препятствия для экологических исследований.

В данном случае задача управления ЭС сводится к задаче управления случайными процессами. Она решается в два этапа. Вначале оцениваются возмущающие воздействия, а затем решается задача управления, т.к. вначале следует определить состояние системы, прежде чем рассматривать управляющее воздействие, изменяющее это состояние.

Задача оценки и управления рассматривается как вероятностная. Для ее решения используются спе-

циальные статистические методы, вводя в рассмотрение определенные качественные оценки случайных воздействий.

Например, в [7] предлагается метод для оценки случайных воздействий, который, основываясь на Бейсиковом подходе, позволяет оценить эти величины по динамическим характеристикам: математическим ожиданием и дисперсией. Полученные рекуррентные алгоритмы позволяют преодолеть отсутствие необходимых данных. В работе показано, что даже при весьма ограниченной информации указанный подход существенно улучшает точность оценки.

Авторы [8] предлагают использовать оптимального наблюдателя, который известен в литературе как фильтр Кальмана-Бьюси, что позволило получить алгоритмы фильтрации как для оценки состояния ЭС, так и для случайных величин.

В [6] значительное внимание уделено рассмотрению прикладных вопросов, возникающих при конкретной реализации алгоритмов фильтрации. В частности, получены рекуррентные соотношения, связывающие настоящие и прошлые оценки в форме системы разностных уравнений. В дальнейшем эти оценки использованы для прогнозирования.

Теперь перейдем к задаче управления. Её основное назначение – дать ответ на следующий вопрос: каким образом в каждый момент времени выбрать управление или, иными словами, принять решение, зависящее от накопленной информации, чтобы некоторый функционал стал минимумом. Для иллюстрации рассмотрим конкретный пример. Для наглядности используем результаты, полученные в [4,7].

Задача оптимального управления формулируется следующим образом: имеется функционирующая в дискретные моменты  $t_n = n$  ЭС, которая описывается линейной статической моделью относительно воз-



мушающих воздействий. Для наглядности допустим, что модель зависит от одного возмущения. Состояние ЭС характеризуется с помощью выходной переменной  $x(N)$ , которая определяет степень загрязнения ОС. Наблюдения за этой переменной с помощью наблюдаемой переменной  $y(N)$ , т.е., с помощью этой переменной система будет воздействовать на окружающую обстановку. Возмущающее воздействие оценивается по динамическим характеристикам: математическому ожиданию  $m(N)$  и дисперсии  $D(N)$ . Далее эти оценки вводятся в алгоритм управления с целью компенсации возмущений, чтобы заставить управляемую систему действовать определенным образом. При решении задач управления мы должны минимизировать среднее квадратическое отклонение регулируемого параметра  $x(N)$  от желаемого  $x^*(N)$ , т.е., задача сводится к минимизации условного математического ожидания  $[x(N)-x^*(N)]^2$  при условии, что  $m(N)$  и  $x(N)$  известны. Решение оптимальной задачи управления имеет вид:

$$u_N = \frac{x^*(N)}{a_N + b_N m(N)}, \quad (1)$$

где  $a_N, b_N$  – константы.

На рис. 2 показана структурная схема замкнутой системы, образующаяся при реализации алгоритма, полученного при решении задачи управления. Здесь ОУ – объект управления ЭС, на который действуют возмущения  $\theta$ . НУ – наблюдаемое устройство,  $y(N)$  – выходная переменная НУ, И – идентификатор, определяющий динамические характеристики  $m(N)$ ,

$D(N)$ , полученные по наблюдению  $y(N)$ , УУ- управляющее устройство, вырабатывающее воздействие  $u_N$  согласно алгоритму (1).

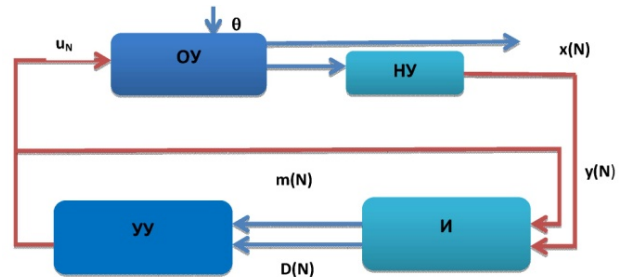


Рис. 2. Структурная схема замкнутой системы

Наличие возмущений привело к необходимости построения адаптивной системы управления. Полученный алгоритм управления обеспечит эффективность функционирования ЭС. Такая компоновка материала позволяет отчетливо увидеть место математиков при решении практических вопросов, связанных с эффективностью функционирования ЭС.

### Заключение

В предлагаемой работе изложены методы алгоритмизации ЭС. Алгоритмизация – это составление математического описания ЭС. Исходной информацией для нее служат теоретические и экспериментальные данные, а также эвристические неформальные сведения об изучаемом экологическом процессе. Данная работа может быть полезна и для студентов, занимающихся экологией.

### Литература

1. Abzianidze D., Tabatadze G., Managadze R., Abzianidze V., Inanashvili N. Thinking of mathematicians about the ecology and its problems. Social economics. XXI century's actual problems. 2015, 273—275 pp. (in Russian).
2. Poporadze N., Abzianidze D., Dvali M., Meskhishvili T. Significance of mathematical ecology in the protection of ecological systems safety. Tbilisi. 2010, 242—244 pp. (in English).
3. Poporadze N., Abzianidze D., Dvali M., Meskhishvili T. Efficiency of ecological monitorings in case of the pollution of river Mtkvari by heavy metals. Works of GTU. #3 (477). 2010, 17—21 pp. (in Georgian).
4. Poporadze N., Abzianidze D., Dvali M. About the problems of ecological security and optimization of management of ecological system. Works of GTU. #2 (476). 2010, 59-63 pp. (in Russian).
5. Poporadze N., Abzianidze D., Dvali M., Meskhishvili T. Application of mathematical methods in medical ecology. Works of GTU. # 1(483), 2012, 54-58 (in Russian).
6. Abzianidze D., Tabatadze G., Khudadze N. On the use of mathematical modeling in environmental protection. Journal "Business—Engineering". #2. 2013, 195—197 pp. (in Georgian).
7. Abzianidze D., Managadze R., Poporadze N., Tabatadze G. The use of mathematical ecology methods for solving problems in environmental protection. 2015. (in Georgian).
8. Abzianidze D., Managadze R. Application of Kalman-Bucy model in processing of observation results of river water conditions. Georgian oil and gas. #29. 2014, 17—20 pp. (in Russian).
9. Abzianidze D., Managadze R., Abzianidze V. Application of Kalman filtering during the estimation of river water state through discrete observations. Georgian oil and gas. #30. 2015, 108—111 pp. (in Russian).
10. Abzianidze D., Managadze R., Abzianidze V. Application of dynamic programming model for solving practical problems of ecological systems security. Georgian oil and gas. #31. 2016, 79—82 pp. (in Russian).

UDC 502.7

SCOPUS CODE 2303

## ეკოლოგიური სისტემის უსაფრთხოების პრაქტიკული ამოცანის ამოხსნისას უმაღლესი მათემატიკის ელემენტების გამოყენების ეფექტურობის შესახებ

- რ. მანაგაძე** ნავთობისა და გაზის ტექნოლოგიების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 75  
E-mail: r.managadze@gtu.ge
- ვ. აბზიანიძე** ჰიდროგეოლოგიისა და საინჟინრო გეოლოგიის ინსტიტუტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0126, თბილისი, სოფ. დილომი, მოციქულთა სწორი წმინდა ნინოს ქ. №1  
E-mail: verikoabz@mail.ru
- დ. აბზიანიძე** ჰიდროგეოლოგიისა და საინჟინრო გეოლოგიის ინსტიტუტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0126, თბილისი, სოფ. დილომი, მოციქულთა სწორი წმინდა ნინოს ქ. №1  
E-mail: dimitri.abz@mail.ru

### რეცენზენტები:

**თ. ბარაბაძე**, სტუ-ის სამთო-გეოლოგიური ფაკულტეტის პროფესორი  
E-mail: tbarabadze@mail.ru

**დ. ბლუაშვილი**, სტუ-ის სამთო-გეოლოგიური ფაკულტეტის ასოცირებული პროფესორი  
E-mail: datoblu@yahoo.com

**ანოტაცია.** ნაშრომი თითქმის არ შეიცავს ფორმულებს, მასში არც თეორემების დამტკიცებას შეხვდებით, ის მოწოდებულია იმისათვის, რომ მკითხველს წარმოდგენა შეექმნას თუ როგორ შეიძლება გამოვიყენოთ მათემატიკური მეთოდები ეკოლოგიური სისტემის უსაფრთხოების პრაქტიკული ამოცანების ამოხსნისას.

ნაშრომი მათემატიკოსების მსჯელობაა თავის სპეციალობაზე, იმ ადამიანების მსჯელობა, რომლებმაც განვლეს გზა „წმინდა მათემატიკიდან“ „მათემატიკურ ეკოლოგიამდე“. ეს გზა განსაზღვრა იმ ფაქტმა, რომ მათემატიკა ჩამოყალიბდა როგორც ეკოლოგიური კვლევების ბუნებრივი ინსტრუმენტი და, შესაბამისად, ეკოლოგიურ-მათემატიკური ანალიზი გადაიქცა მეცნიერული კვლევების მნიშვნელოვან მიმართულებად.

მათემატიკა შეიძლება მივაკუთნოთ საბუნებისმეტყველო მეცნიერებას ანუ მეცნიერებას რომელიც შეისწავლის იმ პროცესების შინაარსს, რომლებიც არსებობს ჩვენ ირგვლივ. ასეთი თვალსაზრისი გამართლებულია იმით, რომ მათემატიკა წარმოიშვა ადამიანის ყოველდღიური პრაქტიკული საქმიანობის შედეგად, რათა დაეხმაროს მას საზოგადოების განვითარების ყველა საფეხურზე არსებობისთვის ბრძოლაში.

ანალიზის ჩამოყალიბებისათვის მათემატიკა ყოველთვის იძიებდა ინფორმაციას ამ პროცესებში და ქმნიდა ახალ მეთოდებს ამ პროცესების გამოსაკვლევად.

ეკოლოგიაში მათემატიკური მეთოდების გამოყენების საშუალებით შეიძლება მივიღოთ ისეთი შედეგები, რომლის მიღწევა შეუძლებელია სხვა მეთოდებით. სასურველია, რომ ეკოლოგებმა შეძლონ არა მარტო გამოიყენონ მათემატიკური აპარატი, არამედ სხვადასხვა მეთოდს შორის შეარჩიონ ის, რომლის საშუალებითაც შესაძლებელია დასახული მიზნების მიღწევა, ე.ი. გამოიყენონ მიზანმიმართულად.

**საკვანძო სიტყვები:** გარემო; ეკოლოგიური სისტემა; ეკოლოგიური უსაფრთხოება; მათემატიკა.

---

UDC 502.7

SCOPUS CODE 2303

### On efficiency of application of elements of higher mathematics for the solution of practical tasks of ecological systems safety

- R. Managadze** Department of Oil and Gas Technology, Georgian Technical University, 75 M.  
E-mail: r.managadze@gtu.ge
- V. Abzianidze** Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, 1 Tsminda Nino str, Digomi Village, 0126 Tbilisi, Georgia  
E-mail: verikoabz@mail.ru
- D. Abzianidze** Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, 1 Tsminda Nino str, Digomi Village, 0126 Tbilisi, Georgia  
E-mail: dimitri.abz@mail.ru

#### Reviewers:

- T. Barabadze**, Professor, Faculty of Mining and Geology, GTU  
E-mail: tbarabadze@mail.ru
- D. Bluashvili**, Associate Professor, Faculty of Mining and Geology, GTU  
E-mail: datoblu@yahoo.com

**Abstract.** There are almost no formulas in the article offered to the attention of readers, no theorems are being proved, but it is intended to give an idea of how in our days mathematical methods can be applied to solve practical problems on the safety of ecological systems.

This article is a reflection of mathematicians about their specialty, reflections of people who have traveled from "pure mathematics" to "mathematical ecology". This path was determined by the fact that mathematics becomes a natural tool in environmental studies and environmental mathematical analysis has turned into an important area

of scientific research. Mathematics is usually referred to the natural sciences, that is, to the sciences that study the content of those processes that take place in the world around us. This point of view is fully justified, because mathematics has arisen of the daily practical needs of a man at the earliest stages of the development of human society in order to help him in his struggle for existence. Mathematics has always scooped up information for analysis in these processes and created new methods to study these processes. The application of mathematical methods in ecology makes it possible to obtain results that cannot be achieved by other methods. It is desirable that ecologists know not only use a mathematical apparatus, but also to be able to choose from many methods exactly the one that is necessary to achieve the set goal, i.e. purposefully use it.

**Key words:** Ecological safety; ecological system; environment; mathematics.

*Дата рассмотрения 28.06.2018*

*Дата поступления 01.10.2018*

*Подписано к печати 28.12.2018*

UDC 008

SCOPUS CODE 2604

## Non stationary flow of a conducting fluid squeezed between two parallel infinite rotating porous disks taking into account strong magnetic field and the heat transfer

- L. Jikidze** Department of Engineering Mechanics and Civil Engineering Technical Expertise, Georgian Technical University, 68<sup>6</sup> M. Kostava str, 0175 Tbilisi, Georgia  
E-mail: levanjikidze@yahoo.com
- V. Tsutskiridze** Department of Mathematics, Georgian Technical University, 77 M. Kostava str, 0175 Tbilisi, Georgia  
E-mail: b.tsutskiridze@mail.ru

### Reviewers:

- T. Kvitsiani**, Professor, Faculty of Civil Engineering, GTU  
E-mail: t.kvitsiani@gtu.ge
- E. Elerdashvili**, Associate Professor, GTU  
E-mail: ek.elerdashvili@yahoo.com

### Abstract.

The issues of non stationary flow of an electrically conducting fluid squeezed between two infinite parallel rotating porous disks have been studied by the method of successive approximation (the method of Green's function and a small parameter), taking into account strong uniform magnetic field and heat transfer.

Navier-Stokes equations of non stationary flow of an electrically conducting fluid in the uniform magnetic field and energy equation are used for the problem solution.

System of the differential equations of the flow of fluid and heat transfer is written down by using of automodel transformations, the solution of which is based on Green's function and is led to the problem solution of integro-differential equations system.

The problem solution is considered in the form of infinite series at low Reynolds number. Green's func-

tions of the corresponding problems are developed and recurrent formulas are written down which make it possible to calculate solutions with arbitrary precision. The first two approximations are found in explicit form.

All the kinematic characteristics of the flow are calculated. For both disks, the moments of the resistance to rotation of the disks and heat transfer coefficients are also calculated.

**Key words:** Automodel transformation; conductivity; Green's function; heat transfer; magnetic field; non stationary flow; porosity; squeezing.

### Introduction

The solutions of the equations of the flow of fluid squeezed between two parallel disks, attracts great interest in the theory of hydrodynamic lubrication. Simplifications that reduce partial differential equations

to ordinary differential equations made it possible to study the nature of the flow in depth.

Ishizawa [1] was the first who received similar solutions in the case of an unsteady laminar flow between two parallel disks. Later Wang [2] obtained similar solutions in the two-dimensional axisymmetric case and gave a complete numerical solution to the equation of liquid motion.

In recent years, the phenomenon of magneto-hydrodynamic lubrication has attracted considerable attention in view of its importance in many industries. Many studies in this direction have been motivated in connection with the extensive use of liquid metal lubricants in high-temperature bearings.

Inertial terms were neglected in particular or completely in theoretical and experimental analyses of authors who investigated the phenomena of magneto-hydrodynamic lubrication in Navier-Stokes equations.

Those cases in which an electrically conducting environment moves between permeable surfaces in a magnetic field are of interest. In papers [3-4], the problems of the motion of an electrically conducting fluid that was squeezed between two infinite parallel rotating porous disks with allowance for a strong or weak magnetic field have been studied.

### Main part

The issues of non stationary flow of an electrically conducting fluid squeezed between two infinite parallel rotating porous disks have been studied in the paper by the method of successive approximation (the method of Green's function and a small parameter), taking into account strong uniform magnetic field and heat transfer.

Let us assume that the discs rotate at angular velocities  $a\omega(t)$  and  $b\omega(t)$  ( $a$  and  $b$  are rotation parameters) and through them, the same fluids injected

and sucked with a speed  $v_w(t)$ . Let the upper disc move relatively lower with speed  $\frac{dh(t)}{dt}$ , where  $h(t)$  - the distance between the disks, a strong magnetic field  $B(t)$  is applied perpendicular to the disks and the disks have different temperatures -  $T_w^0(z,t)$  and  $T_w^h(z,t)$ .

To solve the problem, we use the system of Navier-Stokes equations for the unsteady motion of a conducting fluid in a uniform external magnetic field

$$\begin{cases} \frac{\partial v_r}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_r}{\partial r} + v_z \frac{\partial v_r}{\partial z} - \frac{v_\phi^2}{r} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} + \nu \left( \Delta v_r - \frac{v_r}{r^2} \right) - \frac{\sigma B^2}{\rho} v_r, \\ \frac{\partial v_\phi}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_\phi}{\partial r} + v_z \frac{\partial v_\phi}{\partial z} + \frac{v_r v_\phi}{r} = \nu \left( \Delta v_\phi - \frac{v_\phi}{r^2} \right) - \frac{\sigma B^2}{\rho} v_\phi, \\ \frac{\partial v_z}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_z}{\partial r} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \Delta v_z, \\ \frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{v_r}{r} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0, \end{cases} \quad (1)$$

and energy equation

$$\lambda \frac{\partial^2 T}{\partial t^2} = \rho c_p \left( \frac{\partial T}{\partial t} + v_r \frac{\partial T}{\partial r} + v_z \frac{\partial T}{\partial z} \right). \quad (2)$$

It is assumed that the influence of dissipative effects on heat transfer is negligibly small. Note also that  $\Delta = \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ ,  $v_r(r,z,t)$ ,  $v_\phi(r,z,t)$ ,  $v_z(r,z,t)$  are components of the velocity of the fluid here,  $T(r,z,t)$  - temperature of the fluid,  $c_p$  - heat capacity at constant pressure,  $\lambda$  - coefficient of thermal conductivity,  $\nu$  - viscosity,  $\rho$  - density,  $p$  - pressure,  $\sigma$  - coefficient of electrical conductivity and  $B$  - magnetic field.

The system (1) and equation (2) must be solved under the following initial and boundary conditions

$$\begin{cases} t = 0, & v_r = v_\varphi = v_z = 0, \\ t > 0, & z = 0, \quad v_r = 0, \quad v_\varphi = ra\omega(t), \quad v_z = v_w(t), \\ & z = h(t), \quad v_r = 0, \quad v_\varphi = rb\omega(t), \quad v_z = -\frac{dh(t)}{dt} + v_w(t). \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} t = 0, & T(0,0) = T_w^0(0,0), \quad T(h,0) = T_w^h(h,0), \\ t > 0, & z = 0, \quad T(0,t) = T_w^0(0,t), \\ & z = h(t), \quad T(h,t) = T_w^h(h,t). \end{cases} \quad (4)$$

We introduce new functions and perform the transformation of variables

$$\begin{cases} v_r = \frac{\omega' r}{1-\omega' t} f(\eta), \quad v_\varphi = \frac{\omega' r}{1-\omega' t} q(\eta), \quad v_z = \frac{\omega' h'}{\sqrt{1-\omega' t}} g(\eta), \\ \frac{p}{\rho} = \frac{\omega' v}{(1-\omega' t)^2} \left[ (1-\omega' t) p'(\eta) + \frac{r^2}{2h^2} K \right], \quad \eta = \frac{z}{h' \sqrt{1-\omega' t}}, \\ v_w(t) = \frac{\omega' h'}{\sqrt{1-\omega' t}} v_w'(t), \quad h(t) = h' \sqrt{1-\omega' t}, \quad \omega(t) = \frac{\omega'}{1-\omega' t}, \\ B(t) = \frac{B'}{\sqrt{1-\omega' t}}, \quad T = \frac{T'(\eta)}{1-\omega' t}, \quad T_w = \frac{T_w'}{1-\omega' t}. \end{cases} \quad (5)$$

The substitution of (5) into system (1) and into equation (2), gives for the system (1) the following system of equations

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 f}{\partial \eta^2} - m^2 f = R_e \left( f + g \frac{\partial f}{\partial \eta} + f^2 - q^2 + \frac{1}{2} \eta \frac{\partial f}{\partial \eta} \right) + K, \\ \frac{\partial^2 q}{\partial \eta^2} - m^2 q = R_e \left( q + g \frac{\partial q}{\partial \eta} + 2fq + \frac{1}{2} \eta \frac{\partial q}{\partial \eta} \right), \\ \frac{\partial p}{\partial \eta} = \frac{\partial^2 g}{\partial \eta^2} - R_e \left( \frac{g}{2} + g \frac{\partial g}{\partial \eta} + \frac{1}{2} \eta \frac{\partial g}{\partial \eta} \right), \\ \frac{\partial g}{\partial \eta} + 2f = 0, \end{cases} \quad (6)$$

and for equation (2), the new equation

$$\frac{\partial^2 T}{\partial \eta^2} = R_e \left[ P_r \left( T + \frac{1}{2} \eta \frac{\partial T}{\partial \eta} + g \frac{\partial T}{\partial \eta} \right) \right]. \quad (7)$$

Here  $m^2 = \frac{\sigma B^2}{\rho \omega}$ ,  $R_e = \frac{\omega h^2}{\nu}$  and for simplicity we use values without primes.

For system (6) we have the following boundary conditions

$$\begin{cases} \eta = 0, & f = 0, \quad q = a, \quad g = v_w, \\ \eta = 1, & f = 0, \quad q = b, \quad g = v_w - \frac{1}{2}, \end{cases} \quad (8)$$

And for equation (7), conditions



$$\begin{cases} \eta = 0, & T(0) = T_w^0, \\ \eta = 1, & T(1) = T_w^h. \end{cases} \quad (9)$$

The solution of the problems (6) - (8) and (7) - (9) by means of the Green's function can be led to solving the following integro-differential equations:

$$\begin{cases} f(\eta) = R_e \int_0^1 \left[ f + g \frac{\partial f}{\partial \zeta} + f^2 - q^2 + \frac{1}{2} \zeta \frac{\partial f}{\partial \zeta} \right] G(\eta, \zeta) d\zeta + K \int_0^1 G(\eta, \zeta) d\zeta, \\ q(\eta) = R_e \int_0^1 \left[ q + g \frac{\partial q}{\partial \zeta} + 2fq + \frac{1}{2} \zeta \frac{\partial q}{\partial \zeta} \right] G(\eta, \zeta) d\zeta, \\ g(\eta) = -2 \int_0^\eta f(\zeta) d\zeta, \end{cases} \quad (10)$$

$$T(\eta) = R_e \int_0^1 \left[ P_r \left( T + \frac{1}{2} \zeta \frac{\partial T}{\partial \zeta} + g \frac{\partial T}{\partial \zeta} \right) \right] G(\eta, \zeta) d\zeta, \quad (11)$$

where  $G(\eta, \zeta)$  – is the Green's function. For the problem (6) - (8), it has the form

$$G(\eta, \zeta) = \begin{cases} G_1 = \frac{shm(\zeta-1)}{mshm} shm\eta, & 0 \leq \eta < \zeta, \\ G_2 = \frac{shm(\eta-1)}{mshm} shm\zeta, & \zeta < \eta \leq 1, \end{cases} \quad (12)$$

and for the problem (7) - (9), the form

$$G(\eta, \zeta) = \begin{cases} G_1 = (\zeta-1)\eta, & 0 \leq \eta < \zeta, \\ G_2 = (\eta-1)\zeta, & \zeta < \eta \leq 1. \end{cases} \quad (13)$$

We seek solutions of system (10) and equation (11) in the form of series

$$\begin{cases} f = \sum_{i=0}^{\infty} R_e^i f_i, & q = \sum_{i=0}^{\infty} R_e^i q_i, & g = \sum_{i=0}^{\infty} R_e^i g_i, \\ K = \sum_{i=0}^{\infty} R_e^i K_i, & T = \sum_{i=0}^{\infty} R_e^i T_i. \end{cases} \quad (14)$$

Substituting the series (14) in (10) and (11), equating the coefficients of the same powers  $R_e$ , we obtain the following recurrence formulas:

$$f_0 = K_0 \int_0^1 G(\eta, \zeta) d\zeta,$$

$$f_j = \int_0^1 \left[ f_{j-1} + \frac{1}{2} \zeta f'_{j-1} + \sum_{\alpha=0}^{j-1} (g_{\alpha} f'_{j-\alpha-1} - q_{\alpha} q_{j-\alpha-1} + f_{\alpha} f_{j-\alpha-1}) + K_j \right] G(\eta, \zeta) d\zeta, \quad (j \geq 1)$$

$$q_0 = A(\eta),$$

$$q_j = \int_0^1 \left[ q_{j-1} + \frac{1}{2} \zeta q'_{j-1} + \sum_{\alpha=0}^{j-1} (2f_{\alpha} q_{j-\alpha-1} + g_{\alpha} q'_{j-\alpha-1}) \right] G(\eta, \zeta) d\zeta, \quad (j \geq 1),$$

$$g_0 = -2 \int_0^\eta f_0 d\zeta + v_w,$$

$$g_j = -2 \int_0^\eta f_j d\zeta, \quad (j \geq 1),$$

$$T_0 = C(\eta),$$

$$T_j = \int_0^1 \left[ P_r \left( T_{j-1} + \frac{1}{2} \zeta T'_{j-1} + \sum_{\alpha=0}^{j-1} g_\alpha T'_{j-\alpha-1} \right) \right] G(\eta, \zeta) d\zeta, \quad (j \geq 1),$$

where  $A(\eta)$  and  $C(\eta)$  are respectively solutions of the following tasks:

$$\begin{cases} A''(\eta) - m^2 A(\eta) = 0, & \begin{cases} C''(\eta) = 0, \\ C(0) = T_w^0, \quad C(1) = T_w^h. \end{cases} \\ A(0) = a, \quad A(1) = b, \end{cases}$$

The first two approximations  $f_0, q_0, g_0, K_0, T_0, f_1, q_1, g_1, K_1, T_1$  have the following forms

$$f_0 = \frac{K_0}{m^2 shm} [shm\eta + shm(1-\eta) - shm],$$

$$q_0 = \frac{1}{shm} [bshm\eta + ashm(1-\eta)],$$

$$g_0 = -\frac{2K_0}{m^3 shm} [chm\eta - chm(1-\eta) - \eta mshm + (chm - 1)] + v_w,$$

$$K_0 = -\frac{m^3 shm}{4[2(chm - 1) - mshm]},$$

$$T_0 = T_w^0 + (T_w^h - T_w^0)\eta,$$

$$\begin{aligned} f_1 = & \frac{[K_0(m^2 - K_0)sh^2m - 2K_0(chm - 1)] - K_1m^4sh^2m}{m^6sh^3m} [shm(\eta - 1) - shm\eta + shm] + \\ & + \frac{K_0}{6m^6sh^3m} [(2shm - sh2m)(chm(2\eta - 1) + 3) - (ch2m + 4chm - 5)(shm(\eta - 1) - shm\eta)] + \\ & + \frac{K_0(m + 4K_0)}{8m^4shm} [shm(chm(\eta - 1) - chm\eta)\eta - mshm(shm(\eta - 1) - shm\eta)\eta^2 + (chm - \\ & - mshm - 1)shm\eta] + \frac{K_0(m^2 - 2K_0)(chm - 1)}{2m^5sh^2m} [shm\eta + shm(\eta - 1)] + \\ & + \frac{K_0[2K_0(chm - 1) + v_w m^3 shm]}{2m^4shm} [(\eta - 1)shm\eta - \eta shm(\eta - 1)] + \\ & + \frac{1}{6msh^2m} \{b^2 [shm(ch2m\eta + 3) - shm\eta(ch2m + 3) + 4shm(\eta - 1)] - \\ & - 2ab [shm(chm(2\eta - 1) + 3chm) + 4chm(shm(\eta - 1) - shm\eta)] + \\ & + a^2 [shm(ch2m(\eta - 1) + (ch2m + 3)shm(\eta - 1) - 4shm\eta)] \}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 q_1 = & \frac{2K_0(a+b)(chm-1)}{m^4sh^3m} [shm\eta - shm(\eta-1) - shm] + \frac{3m^2 - 12K_0}{8m^3sh^2m} [shm(bchm\eta - \\
 & - achm(\eta-1))\eta + (a - bchm)shm\eta] + \frac{m^2 + 4K_0}{8m^2shm} [bshm\eta - ashm(\eta-1)] \eta^2 + \\
 & + \frac{v_w}{2m^3sh^2m} \frac{m^3shm + 2K_0(chm-1)}{2m^3sh^2m} [bshm\eta - ashm(\eta-1)]\eta - \\
 & - \frac{(1 + 4v_w)m^3shm + 4K_0[mshm - 2(chm-1)]}{8m^3sh^2m} bshm\eta, \\
 g_1 = & \frac{2K_0[(m^2 - K_0)sh^2m - 2K_0(chm-1)] - K_1m^4shm}{m^7sh^3m} [chm\eta - chm(\eta-1) - \eta mshm + chm - 1] - \\
 & - \frac{K_0(m^2 - 2K_0)(chm-1)}{m^6sh^2m} [chm\eta + chm(\eta-1) - chm + 1] - \frac{K_0^2}{6m^7sh^3m} [(2shm - sh2m) \times \\
 & \times (shm(2\eta-1) + 6m\eta + shm) + 2(ch2m + 4chm - 5)(chm\eta - chm(\eta-1) + chm - 1)] - \\
 & - \frac{K_0[2K_0(chm-1) + v_w m^3shm]}{m^6shm} [m\eta chm\eta - chm(\eta-1 + shm(\eta-1)) - shm\eta - m(chm-1) + \\
 & + shm] - \frac{K_0(m + 4K_0)}{4m^6shm} \left\{ shm[3m\eta(shm(\eta-1) - shm\eta) - (m^2\eta + 3)(chm(\eta-1) - chm\eta) + \right. \\
 & \left. + 3(chm-1)] + m(chm - mshm - 1)(chm-1) \right\} - \\
 & - \frac{1}{6m^2sh^2m} \left\{ b^2 [shm(sh2m\eta + 6m\eta) - 2(ch2m + 3)(chm-1) + 8(chm(\eta-1) - chm)] - \right. \\
 & - 2ab[shm(shm(2\eta-1) + 6m\eta chm + shm) + 8chm(chm(\eta-1) - chm\eta - chm + 1)] + \\
 & \left. + a^2 [shm(sh2m(\eta-1) + 6m\eta + ch2m) + 2(ch2m + 3)(chm(\eta-1) - chm) - 8(chm-1)] \right\} \\
 K_1 = & \frac{K_0[(m^2 - K_0)sh^2m - 2K_0(chm-1)]}{m^4sh^2m} - \frac{K_0(m + 4K_0)}{8m^3[2(chm-1) - mshm]} \times \\
 & \times \left\{ shm[(m^2 + 6)(chm-1) - 3mshm] + m(chm - mshm - 1)(chm-1) \right\} - \\
 & - \frac{m}{12shm[2(chm-1) - mshm]} \times \left\{ (a^2 + b^2)[shm(sh2m + 6m) - \right. \\
 & \left. - 2(chm-1)(chm + 7)] - 4ab[shm(shm + 3mchm) - 8chm(chm-1)] \right\} - \\
 & - \frac{K_0}{6m^4sh^2m[2(chm-1) - mshm]} [(2shm - sh2m)(shm + 3m) + 2(ch2m + 4chm - 5)(chm-1)], \\
 T_1 = P_r \left\{ \frac{T_w^0 + v_w(T_w^h - T_w^0)}{2} (\eta^2 - \eta) + \frac{(T_w^h - T_w^0)(3m^2 - 4K_0)}{12m^2} (\eta^3 - \eta) - \frac{2K_0(T_w^h - T_w^0)}{m^3shm} \times \right. \\
 & \left. \times \left[ \frac{1}{m^2} (chm\eta - chm(1-\eta)) + \left( \frac{1-2\eta}{m^2} + \frac{\eta^2 - \eta}{2} \right) (chm-1) \right] \right\}.
 \end{aligned}$$

The obtained solutions are valid in the case of infinite disks, but with sufficiently large radii  $R$ , neglecting the influence of the edge, it is approximately possible to calculate the moment of the resistance to rotation of the disks: on the lower disk

$$M^{(0)} = -\frac{\pi\mu}{2h(t)} \omega(t) R^4 \left\{ \frac{m(b-achm)}{shm} + R_e \left[ -\frac{2K_0(a+b)(chm-1)^2}{m^3 sh^3 m} + \frac{3(m^2-4K_0)}{8m^3 sh^2 m} [b(shm-mchm) + a(m-shmchm)] + \frac{K_0(chm-1)(ashm+bm)}{m^3 sh^2 m} - \frac{b(m^2+4K_0)}{8msh m} + \frac{v_w(ashm-bm)}{2shm} \right] \right\},$$

on the upper disk

$$M^{(h)} = -\frac{\pi\mu}{2h(t)} \omega(t) R^4 \left\{ \frac{m(bchm-a)}{shm} + R_e \left[ \frac{2K_0(a+b)(chm-1)^2}{m^3 sh^3 m} - \frac{3(m^2-4K_0)}{8m^3 sh^2 m} [a(shm-mchm) + b(m-shmchm)] + \frac{(1+4v_w)m^3 shm + 4K_0[mshm + 2(chm-1)]}{8m^3 sh^2 m} (bshm-am) + \frac{2bK_0chm(chm-1)}{m^3 sh^2 m} + \frac{b(m^2+4K_0)}{8m^2} \right] \right\}.$$

For the heat transfer coefficient we receive expression:

for the lower disk

$$N^{(0)} = -\frac{(T_w^0 - T_w^h)r}{T_w^0 h(t)} \left\{ 1 - \frac{R_e P_r}{4} \left[ 1 + 2v_w + \frac{2T_w^0}{T_w^0 - T_w^h} - \frac{4K_0[(m^2-6)mshm + 3(m^2+4)(chm-1)]}{3m^5 shm} \right] \right\}$$

for the upper disk

$$N^{(h)} = -\frac{(T_w^0 - T_w^h)r}{T_w^h h(t)} \left\{ 1 + \frac{R_e P_r}{4} \left[ 2v_w + \frac{2T_w^h}{T_w^0 - T_w^h} - \frac{4K_0[2(m^2+3)mshm + 3(m^2-4)(chm-1)]}{3m^5 shm} \right] \right\}$$

### Conclusion

From the results obtained above, we can conclude that the presence of suction velocity-  $v_w(t)$  and magnetic field-  $B(t)$ , makes it possible to control the flow and heat transfer. These results also make it possible to

perceive the effect of the magnetic interaction coefficient-  $m$ , of the angular velocities of rotation of the discs -  $a\omega(t)$ ,  $b\omega(t)$ , of the  $R_e$ -Reynolds and  $P_r$ -Prandtl numbers on physical characteristics of the flow and heat transfer.

### References

1. Ishizava S. The unsteady laminar flow between two parallel discs with arbitrarily varying gap width. Bulletin of JSME. Vol.9. №35. 1966, 533-550 pp. (in English).
2. Wang C.Y. The squeezing of a fluid between two plates. Journal of Applied Mechanics. 1976, 576-583 pp. (in English).
3. Jikidze L. Similar flow a weakly conductive fluid between two plates in the presence of a magnetic field and suction. Proceedings of Tbilisi University. Mathematics, Mechanics, Astronomy. Vol. 314(29). 1993, 75-86 pp. (in Russian).

4. Jikidze L., Tsutskiridze V. Similar unsteady flows of a conducting liquid between two infinite Journal. Tbilisi, 2010, №2(17), 80-84 pp. (in Russian).
5. Hughes W.F., Elko R.A. Magnetohydrodynamic lubrication flow between parallel rotating disks. Journal of Fluid Mechanics. №13. 1962, 21-32 pp. (in English).
6. Kamiyama S. Inertia effects in MHD hydrostatic thrust bearing. Journal of Lubrication Technology. Vol.90. №4. 1969, 589-596 pp. (in English).
7. Hamza E.A., Macdonald D.A. A similar flow between two rotating discs. Quarterly Journal of Applied Mathematics. №41. 1984, 495-511 pp. (in English).
8. Hamza E.A. The Magnetohydrodynamic squeeze film. Journal of Tribology. 110(2). 1988, 375-377 pp. (in English).
9. Hamza E.A. A similar flow between two disks in the presence of a magnetic field. Journal of Applied Mechanics. 56(1). 1989, 218-221 pp. (in English).

UDC 008

SCOPUS CODE 2604

ორ პარალელურ უსასრულო მბრუნავ ფოროვან დისკოს შორის დაწნეხილი გამტარი სითხის არასტაციონარული დინება ძლიერი მაგნიტური ველისა და თბოგადაცემის 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:

**ტ. კვიციანი**, სტუ-ის სამშენებლო ფაკულტეტის პროფესორი  
E-mail: t.kvitsiani@gtu.ge

**ე. ელერდაშვილი**, სტუ-ის ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის ასოცირებული პროფესორი  
E-mail: ek.elerdashvili@yahoo.com

**ანოტაცია.** მიმდევრობითი მიახლოების მეთოდით (გრინის ფუნქციისა და მცირე პარამეტრის მეთოდი) შესწავლილია ორ უსასრულო პარალელურ მბრუნავ ფოროვან დისკოს შორის ელექტროგამტარი სითხის დაწნეხის არასტაციონარული ამოცანა ძლიერი ერთგვაროვანი მაგნიტური ველისა და თბოგადაცემის გათვალისწინებით.

ამოცანის ამოსახსნელად გამოყენებულია ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში გამტარი სითხის არასტაციონარული მოძრაობის ნავიე-სტოქსის განტოლებათა სისტემა და ენერჯის განტოლება.

ავტომოდელური გარდაქმნების გამოყენებით ჩაწერილია სითხის მოძრაობის და თბოგადაცემის დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემა, რომლის ამოხსნა გრინის ფუნქციის საშუალებით მიყვანილია ინტეგრალურ-დიფერენციალური განტოლებების სისტემის ამოხსნაზე. ამოცანის ამოხსნებს ვეებთ უსასრულო მწკრივების სახით რეინოლდსის რიცხვის მცირე მნიშვნელობებისათვის. აგებულია შესაბამისი ამოცანების გრინის ფუნქციები და ჩაწერილია რეკურენტული ფორმულები, რომლებიც საშუალებას გვაძლევს გამოვთვალოთ ამოხსნა ნებისმიერი მიახლოებით. ცხადი სახით ნაპოვნია პირველი ორი მიახლოება.

გამოთვლილია დინების ყველა კინემატიკური მახასიათებელი. ასევე ორივე დისკოსათვის გამოთვლილია დისკოების ბრუნვის წინააღმდეგობის მომენტი და თბოგადაცემის კოეფიციენტი.

**საკვანძო სიტყვები:** ავტომოდელური გარდაქმნა; არასტაციონარული დინება; გამტარებლობა; გრინის ფუნქცია; დაწნება; თბოგადაცემა; მაგნიტური ველი; ფორიანობა.

UDC 008

SCOPUS CODE 2604

### **Нестационарное течение проводящей жидкости, сдвливаемой между двумя параллельными бесконечными вращающимися пористыми дисками с учетом сильного магнитного поля и теплопередачи**

**Джикидзе Л.А.** Департамент инженерной механики и технической экспертизы строительства, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава 68<sup>б</sup>  
E-mail: levanjikidze@yahoo.com

**Цуцкиридзе В.Н.** Департамент математики, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава 77  
E-mail: b.tsutskiridze@mail.ru

#### **Рецензенты:**

**Т. Квициани**, профессор строительного факультета ГТУ  
E-mail: t.kvitsiani@gtu.ge

**Э. Элердашвили**, ассоциированный профессор факультета информатики и систем управления ГТУ  
E-mail: ek.elerdashvili@yahoo.com

#### **Аннотация.**

Методом последовательных приближений (метод функций Грина и малого параметра) изучена задача течения электропроводящей жидкости, сдвливаемой между двумя параллельными вращающимися бесконечными пористыми дисками с учетом сильного однородного магнитного поля и теплопередачи.

Для решения задачи использована система уравнений Навье–Стокса нестационарного течения электропроводящей жидкости в однородном магнитном поле и уравнении энергии.

Используя автомодельные преобразования, записана система дифференциальных уравнений движения жидкости и теплопередачи, решение которой с помощью функций Грина приведено к решению системы интегро-дифференциальных уравнений.

Решения задачи ищем в виде бесконечных рядов по малому значению числа Рейнольдса. Построены функции Грина соответствующих задач и записаны рекуррентные формулы, которые дают возможность вычислить решения с произвольной точностью. В явном виде найдены первые два приближения.

Вычислены все кинематические характеристики течения. Для обоих дисков также вычислены моменты сопротивления вращению дисков и коэффициенты теплопередачи.

**Ключевые слова:** автомодельное преобразование; магнитное поле; нестационарное течение, проводимость; пористость; сдвление; теплопередача; функция Грина.

*The date of review 08.06.2018*

*The date of submission 18.07.2018*

*Signed for publishing 28.12.2018*

UDC 615

SCOPUS CODE 3003

## Влияние биоактивной добавки “GRAIL” на когнитивные функции у животных и человека

**Р.Г. Мелкадзе**                    Департамент пищевой индустрии, Грузинский технический университет, Грузия,  
0175, Тбилиси, ул. М. Костава 68<sup>ა</sup>  
E-mail: remeisi@mai.ru

### Рецензенты:

**Г. Гугулашвили**, профессор факультета транспорта и машиностроения ГТУ  
E-mail: givi.gugulashvili@gmail.com

**Л. Гулуа**, доктор биологических наук Грузинского аграрного университета  
E-mail: l.gulua@agruni.edu.ge

**Аннотация.** Приведены результаты исследования влияния биоактивной добавки “Grail” (далее – “Grail”) – композита из экстрактов целебных растений и продуктов пчеловодства и виноделия на когнитивные функции у животных (крысы, мыши) и человека.

Показано стимулирующее влияние “Grail” на когнитивные функции мозга – обучение, память, воспроизведение заученных навыков в условно-рефлекторном тесте (крысы).

Препарат активизирует адаптивное исследовательское поведение в условиях открытого поля (мыши), стимулирует физическую работоспособность, способствует увеличению стартовой мощности, объема выполненной работы и устойчивости к утомлению в условиях естественно-мотивированной деятельности (мыши).

Нейротонизирующие дозы “Grail” для животных лежат в диапазоне 3-10 мл/кг, что при экстрап-

оляционном переносе составит для человека дозы порядка 0,5-1,5 мл/кг.

Проведенные клинические исследования “Grail” выявили, что препарат предупреждает или полностью устраняет патологические проявления, обусловленные стрессовым воздействием.

В условиях психической дезадаптации “Grail” повышает умственную работоспособность и адаптивные возможности организма, оказывает благоприятное действие на высшую деятельность человека: увеличивает умственную работоспособность, улучшает память, повышает реакцию и активность организма.

Таким образом, “Grail” в дозах 0,5-1 мл/кг, рассчитанных на человека, – умеренно действующее нейротонизирующее средство, способное поддерживать активную умственную и физическую работоспособность и не обладающее возбуждающими и истощающими эффектами на нервную систему.

**Ключевые слова:** адаптация; иммуномодуляция; ноотропные свойства; резистентность.



## Введение

Научные исследования, результаты которых изложены в настоящих материалах, посвящены биологической апробации новой биоактивной добавки “Grail”-многокомпонентного экстракта целебных и ароматических трав [1-6].

Разработка “Grail” была продиктована идеей создать композицию из ценнейших лекарственных трав народной медицины для широкого применения в качестве натурального целебного лечебно-профилактического средства с общеукрепляющими и адаптогенными свойствами.

Термин “адаптоген” впервые был введен российским фармакологом Н.В. Лазаревым [7-8]. Он определил “адаптогены” как агенты, помогающие организму противодействовать любым неблагоприятным воздействиям физического, химического или биологического стрессора, вызывая неспецифическую резистентность [9-11].

Следует отметить, что изыскание биологически активных соединений природного происхождения, способствующих поддержанию устойчивости организма в неблагоприятных условиях внешней среды, является одним из постоянных приоритетов медицины. Необходимость в таких препаратах особенно возросла в связи с нежелательной экологической обстановки, т.к. население, вовлеченное в круговорот жизненных трудностей, нуждается в эффективной поддержке.

Проблема создания активных адаптогенов, тем не менее, далеко не проста. Хотя накопленный опыт в этой области показывает, что свойством повышать неспецифическую резистентность организма и жизненный тонус обладают многие вещества и продукты многокомпонентного состава, средства выбора для массового потребления до сих пор не созданы и, более того, эффективность таких препаратов, рекла-

мируемых в качестве адаптогенов, является сомнительной.

И.И. Брехман [12-14] впервые сформулировал требования к адаптогенам, которые в настоящее время могут быть значительно расширены даже только в результате констатации различных аспектов их эффективности:

- отсутствие токсичности, влияния на нормальные параметры жизнедеятельности и метаболизма;
- повышение резистентности к широкому спектру инфекционных заболеваний, высокий иммунокорректирующий эффект, противо-онкогенные свойства;
- стресс-лимитирующие свойства, препятствие стресс-индуцированному иммунодефициту;
- мощные детоксикационные свойства, проявляющиеся как вызывающие наркоз, так и конвульсантов, цитостатиков, гепатотоксических ядов и медикаментов, канцерогенов, мутагенов и др.;
- коррекция метаболизма и его нейроэндокринной регуляции, в частности углеводного, липидного, белкового обменов, синтеза РНК и ДНК и т.д.

Как в народной, так и научной медицине хорошо известно о выраженной биологической активности экстрактов растений семейства аралиевых (женьшень, золотой корень, аралия маньчжурская и др.), являющихся основой многих фитопрепаратов и лекарственных средств – адаптогенов, нейростимуляторов, иммуномодуляторов, оказывающих разнонаправленные целебные действия [15].

Поскольку такие препараты предназначены в основном для постоянного и массового применения, они должны быть близки по своей сути к пищевым добавкам с целебными свойствами. Именно поэтому

биогенные препараты могут быть более предпочтительны для указанных целей, чем синтетические вещества.

Такие натуральные экстракты могут широко использоваться как самостоятельно, так и в качестве пищевой добавки для приготовления безалкогольных напитков, кондитерских изделий, хлебопродуктов и т.д.

“Grail”, исследованный в данной работе – натуральный продукт с целебными свойствами, который может применяться как по специальным медицинским показаниям, так и без них в качестве общеукрепляющего средства.

## Основная часть

### Материалы и методы

#### Испытание на животных

**Влияние на высшую нервную деятельность.** Влияние “Grail” на высшую нервную деятельность (когнитивные функции мозга – обучение, память, воспроизводимость заученных навыков) исследовано методом условных рефлексов в челночной камере.

Для исследований использована автоматическая 3-канальная челночная камера, управляемая микропроцессором. Программы выработки условного рефлекса избегания (УРИ) реализовывались автоматически при точности задания последовательности сигналов и регистрации реакции равной 0,1 с.

Однократное тестирование включало 50 сочетаний условного (свет + звук – 4 с) и безусловного (удар током – 8 с) раздражителей с повторением циклов через 32 сек. Полный цикл испытания продолжался около 30 мин, в течение которого уровень обученности при повторных испытаниях приближается к 90-100%.

Состояние когнитивных функций оценивали по следующим основным показателям скорости и ре-

зультативности обучения: латентному периоду условного рефлекса, ОБ-50 – числу сочетаний, необходимому для достижения уровня 50% обученности, регрессии отношения числа успешных рефлексов (избегания удара током) к неуспешным (пропуск удара) при пошаговом анализе результатов деятельности с интервалом в 2 попытки.

Достоверность различий с контролем оценивали, используя параметрические и непараметрические методы статистического анализа (пакет программ Statgraf).

Проведено 2 серии экспериментов, в которых оценивали влияние “Grail” на когнитивные функции при непосредственном его введении перед испытанием и изучали эффективность его предварительного многократного применения.

1-я серия экспериментов. Опыты проводили по следующей схеме: партия предварительно отобранных крыс – самцов из числа 40 особей была разделена на 4 группы по 10 животных, которым вводили “Grail” в дозах 1,3 и 10 мл/кг или воду за 1 час перед испытанием в челночной камере. Испытания проводили в течение первой половины дня параллельно в 3 камерах при рандомизированной последовательности тестирования животных из разных групп.

Аналогичные испытания с введением “Grail” в тех же дозах были проведены повторно через 1 сутки и на 4-й день после первого теста.

2-я серия экспериментов. В данном эксперименте оценивали влияние многократного введения “Grail” на способность крыс к обучению и сохранению навыков. Опыты проведены на 2 группах крыс (по 10 животных), которым в течение 5 дней до испытаний вводили “Grail” в желудок в дозе 3 мл/кг (опыт) или водопроводную воду (контроль).

Способность к обучению тестировали на 6-е сутки, а уровень консолидации и воспроизведение ре-

флекса оценивали через 3 и 6 суток после первого испытания.

**Влияние на психомоторную активность.** Наиболее универсальной компонентой поведения животных является исследовательская реакция, свойственная всем животным, помещенным в обстановку новизны. Регистрация такой активности является исключительно информативной для характеристики силы и устойчивости мотивационного возбуждения ЦНС и эмоционального состояния животных.

Влияние “Grail” на психомоторную исследовательскую реакцию изучено в опытах на мышах (21-24 г), помещенных в открытое поле актометра Opto-Varlmex. Двигательную активность и эмоциональный статус мышей оценивали по числу пересечения лучей инфракрасных источников, расположенных по периметру с интервалом 3 см (амбулаторная активность), количеству движений на месте (неамбулаторная активность – количество пересечений одного и того же луча), числу вставаний на задние лапы (вертикальная активность), количеству актов груминга.

“Grail” испытан в дозах 1, 3 и 10 мл/кг при интрагастральном введении; контрольным мышам вводили плацебо (воду) в том же объеме. Исследование проводили через 30 минут после введения “Grail” (плацебо). Тест продолжался 10 минут с регистрацией показателей за каждые 2 минуты при условии последовательного чередования животных из разных групп. От момента введения “Grail”(плацебо) до помещения в актометр мыши содержались индивидуально в небольших ячейках, ограничивающих возможность проявления исследовательской реакции. Опыты проведены в дневное время с 10 до 14 часов.

**Влияние на суточные биоритмы психомоторной активности.** Учитывая, что “Grail” оказывает выраженные тонизирующее и стимулирующее действия на центральную нервную систему, представлялось

целесообразным изучить его влияние на биоритмы произвольной активности животных. Как известно, синтетические и природные нейростимулирующие средства (кофеин, фенамин, сиднокарб и др.) вызывают нарушения естественной фазности суточных циклов жизнедеятельности животных, что нередко неблагоприятно влияет на психофизиологический статус и работоспособность человека.

Эксперименты проведены на гибридных мышах-самцах массой 24-26 г. Животных в течение 1-2 недель адаптировали к постоянному световому режиму день/ночь (6.00-18.00/18.00-6.00) в индивидуальных клетках актометра в условиях жилого комфорта при свободном доступе к воде и корму. Помещение актометра было изолировано от внешнего света и шума.

Спонтанную двигательную активность животных регистрировали с помощью емкостных датчиков (расположенных под дном клетки) с периодичностью вывода информации через каждые 30 минут. Данные накапливались в памяти актометра, а затем транслировались в память ЭВМ. После достижения синхронности поведения формировали две равноценные группы животных – контрольную и опытную по 6 мышей в каждой, которым соответственно вводили плацебо или испытуемый “Grail”.

Для оценки влияния “Grail” на суточный цикл психомоторной активности препарат вводили перорально в 11 часов утра, а для оценки влияния на фазу активного бодрствования (которая у мышей, приходится на ночной период) – в 17.30 дня за 30 минут до наступления „ночи“.

**Влияние на физическую работоспособность.** Для оценки влияния “Grail” на способность стимулировать физическую выносливость и работоспособность человека и животных, особенно при систематическом применении, проведены эксперименты на мы-

шах с использованием инструментального метода, позволяющего разносторонне характеризовать физический статус животных.

Опыты проведены на гибридных мышах обоего пола массой 20-24 г. Для оценки работоспособности применяли модифицированный тест Киплингера, сущность которого заключается в оценке скорости плавания обученных животных при многократном проплыве стандартной дистанции (1,8 м). Для этих целей использовали установку с автоматической регистрацией времени проплыва дистанции и машинной обработкой информации. На основе математических моделей гидродинамики мышей при плавании с помощью пакета специализированных программ по данным скорости многократного проплыва дистанции до утомления рассчитывали следующие показатели работоспособности – стартовую мощность ( $N_{ст}$ ), объем работы до 50% утомления ( $A_{50}$ ), объем работы до полного утомления ( $A_{100}$ ), соответствующего снижению мощности на 90% и коэффициент скорости утомления, выражаемый потерей мощности ( $Bт$ ) на единицу выполненной работы ( $Дж$ ).

“Grail” вводили внутрь на протяжении 6 дней в дозах 1, 3 и 10 мл/кг и в день эксперимента в тех же дозах за 1 час до плавания. Контрольным мышам в качестве плацебо аналогично вводили водопроводную воду в объеме 0,1 мл/10 г.

**Влияние на функциональное состояние сердечно-сосудистой системы.** Учитывая, что “Grail” содержит кардиотропные и вазотропные компоненты, в опытах на крысах и собаках было изучено его влияние на гемодинамику и функции сердца.

Опыты на крысах. Эксперименты проведены на 15 крысах-самцах массой 200-250 г. Предварительно животных приучали к процедуре измерения артериального давления и пульса на хвостовых артериях осциллометрическим методом в тепловой камере

(36-37°C) с помощью автоматического прибора для непрямого измерения кровяного давления у мелких лабораторных животных (Hugo Saks Electronic GmbH). Перед экспериментом в течение 3-х дней трехкратно определяли показатели АД и частоты пульса, которые принимали за фоновые значения. При такой процедуре предварительной подготовки животных АД и частота пульса были достаточно стабильны на протяжении дня при многократном помещении животных в тепловую камеру и проведении измерений в течение 15 минут в условиях фиксации в полужестком контейнере.

Влияние “Grail” на АД и частоту пульса было изучено при его ежедневном введении в дозах 1, 3 и 10 мл/кг в течение 6 дней. Каждая доза испытана на 5 животных. “Grail” вводили интрагастрально в 10-11 часов утра, после чего измерения показателей сердечно-сосудистой системы проводили через 1, 3 и 5 часов в соответствии с вышеописанной процедурой.

**Эксперименты на собаках.** Влияние “Grail” на гемодинамику и сердечную деятельность у собак изучено при его однократном введении внутрь в дозах 1 и 3 мл/кг.

Опыты проведены на 4-х беспородных собаках обоего пола массой 5-6 кг. В течение недели, до начала экспериментов, животных приучали к процедуре измерения АД с помощью электронного сфигмоманометра и записи ЭКГ в I, II и III стандартных отведениях в положении „стоя“.

За сутки и непосредственно перед введением “Grail” определяли фоновые показатели ЧСС, АД – систолического и диастолического и снимали ЭКГ. После введения “Grail” показатели сердечно-сосудистой деятельности регистрировали через 1, 3, 6 часов и на следующие сутки. “Grail” испытывали в разных дозах на одних и тех же животных с интервалом в 1 неделю.

**Влияние на функциональное состояние желудочно-кишечного тракта.** Так как многие компоненты “Grail” обладают нормализующим влиянием на функцию желудочно-кишечного тракта, пищеварение и используются при катарах, язвенной болезни желудка, энтероколитах, поносах, наличие этих свойств у составных частей “Grail” явилось предпосылкой для изучения его влияния на нормальное и патологическое состояние желудочно-кишечного тракта (ЖКТ).

Во всех экспериментах, независимо от их конкретного содержания, “Grail” назначали животным в нативном виде или в разбавленных водных растворах в объеме, не превышающем 0,3 мл/10 г мышам и 1,0 мл/100 г крысам. В качестве плацебо животным вводили воду в том же объеме.

**Перистальтическая активность кишечника.** Опыты проведены на самцах гибридных мышей (22-24 г) и крысах Вистар (160-190 г). Перистальтическую функцию оценивали по скорости продвижения инертной суспензии сульфата бария в тонком кишечнике. Сульфат бария в виде 50% взвеси на 15% водном растворе поливинилпирролидона вводили в желудок мышам в объеме 0.3 мл, крысам – 1 мл в разные сроки после однократного или многократного введения БД. Мышей и крыс забивали цервикальной дислокацией соответственно через 10 и 18 минут после введения индикатора. Извлекали весь тонкий кишечник и определяли величину транзита суспензии бария (по переднему фронту) в % к длине кишечника. “Grail” или плацебо вводили в желудок в разные сроки до теста.

**Эвакуаторная функция желудка.** Тест на эвакуаторную функцию желудка проведен на крысах методом Brodle. Крысам-самцам после 18-часового голодания с исключением копрафагии в желудок инстиллировали 50% суспензию сульфата бария на

15% водном растворе ПВП в объеме 1 мл. Животных забивали цервикальной дислокацией через 18 минут (ET<sub>50</sub>), извлекали желудок, его содержимое вымывали на фильтр и после высушивания фильтров до постоянного веса определяли массу остатка сульфата бария в желудке. Эвакуацию оценивали как разность между введенным количеством индикатора и его остатком в желудке (в процентах). “Grail” или плацебо вводили в желудок в различные сроки до теста.

#### **Клиническая апробация на людях**

Исследования проведены на добровольцах (мужчинах и женщинах). Под наблюдением находилось 40 человек в возрасте от 20 до 25 лет. Испытуемые были разделены на две группы по 20 человек. Первая группа принимала “Grail” ежедневно в течение 3 месяцев.

Вторая группа (контроль) принимала такое же количество плацебо, которое по внешнему виду и вкусу имитировал “Grail”.

Для исследования подобраны психологические методики, используемые для изучения влияния фитопрепаратов на высшую нервную деятельность человека.

**Исследование умственной работоспособности и устойчивости внимания.** Для оценки влияния “Grail” на умственную деятельность человека был использован корректурный тест (таблица Иванова-Смоленского), который дает возможность получить результаты, характеризующие качество и количество проделанной работы.

При исследовании использованы специальные типографские бланки таблиц Иванова-Смоленского, включающие многократные повторения комбинаций из 3, 4 и 5 букв, различающиеся одна от другой порядком последних. Испытуемые определяют в таблице определенные буквосочетания. Для оценки динамики устойчивости внимания конец каждой

минуты работы отмечался на бланке знаком в том месте, где испытуемый в этот момент просматривал таблицу. В конце отмечалось время, затраченное на выполнение всей работы. Подсчет результатов проводился с помощью специального ключа.

При рассмотрении результатов выполнения корректурной пробы учитывалось два показателя: скорость и точность. О качестве проделанной работы судили по количеству прокорректированных знаков и количеству ошибок (пропущенные и неправильно зачеркнутые знаки). Точность выполнения высчитывалась по формуле успешности:

$$B = \frac{A(C-D)}{C+O},$$

где  $B$  – успешность выполнения задания;  $C$  – общее количество всех отмеченных элементов;  $D$  – количество неправильно отмеченных элементов;  $O$  – количество пропущенных элементов;  $A$  – количество всех элементов в задании.

**Исследование психологического темпа.** Методика „Отыскание чисел“ применяется для выявления скорости ориентировочно-поисковых движений взора (психологического темпа) и для исследования объема внимания с помощью таблиц Шульте. При оценке результатов учитывалось по секундомеру время, которое испытуемый тратит на отыскание чисел. Каждое испытание проводилось по трем таблицам, результат учитывался как среднее время трех определений.

**Исследование влияния на память.** Для оценки состояния памяти, утомляемости и активности внимания использовалась методика „Заучивание десяти слов“. Для исследования были подобраны 5 наборов из 10 коротких (односложных и двусложных) слов, не имеющих между собой никакой связи. Бланки с наборами слов были размножены типографским способом. Испытуемые называли запомнившиеся слова после первого, второго, третьего, четвертого и

пятого повторений экспериментатором 10 слов, а также спустя 50-60 минут. При этом фиксировались правильно названные слова и допущенные ошибки (повторение слов, лишние слова).

**Влияние на состояние сердечно-сосудистой системы.** У испытуемых измеряли систолическое и диастолическое давление аппаратом Рива-Ричи по способу Короткова в правой плечевой артерии и частоту пульса. Показатели ЭКГ – с помощью электрокардиографа.

**Изменение физиологических показателей при выполнении физической нагрузки.** Для оценки влияния „Grail“ на функциональные показатели сердечно-сосудистой системы использовали тест с 20 приседаниями (проба Мартинэ). Тест позволяет выявить адаптационный эффект биологически активных веществ к физическим нагрузкам. Эффект адаптации оценивался по характеру восстановительных процессов после физической нагрузки.

Суть методики заключается в том, что у испытуемого измеряют частоту пульса и артериальное давление (АД). Затем дают физическую нагрузку (20 приседаний) и измеряют частоту пульса и величину АД в течение 3 минут.

**Влияние на умственную работоспособность и функциональные показатели сердечно-сосудистой системы в условиях психологического стресса.** Исследование выполнено на 40 добровольцах в возрасте 20-25 лет. Экспериментально-психологическое исследование включало определение умственной работоспособности по тесту „корректирующая проба“, уровня тревожности, а также функциональных показателей сердечно-сосудистой системы. „Корректирующая“ тест проводили с помощью специальных бланков Иванова-Смоленского по двум показателям: успешности выполнения задания и скорости его выполнения. Уровень ситуационной тревожности

определяли с помощью специальных опросников. Оценка уровня тревожности проводилась по баллам: меньше 30 баллов – низкий уровень, 30-45 баллов – средний уровень тревожности, свыше 45 баллов – высокий уровень. Параллельно у испытуемых определяли артериальное давление и частоту пульса.

Эксперименты проведены во время сдачи исследуемыми курсового экзамена на профессиональную пригодность к избранной специальности. Неуверенность в успехе создавала ситуацию прагматической неопределенности, увеличивала тревогу. Учитывались индивидуально-личностные качества испытуемых и характер реагирования на конфликтную ситуацию.

При попадании человека в конфликтную ситуацию возможно несколько путей развития эмоционального напряжения. При имеющихся генетических и приобретенных механизмах устойчивости, конфликтная ситуация не приводит к существенному снижению работоспособности и даже, наоборот, через механизмы мотивации может приводить к повышению качества целенаправленной деятельности. Если же эмоциональное напряжение превышает возможности психической адаптации индивидуума, то работоспособность снижается.

**Анализ основных показателей мочи и крови.** У студентов-добровольцев, принимавших “Grail” в те-

чение трех месяцев, проводили общий клинический анализ мочи и крови. Анализ включает изучение количественного и качественного состава форменных элементов крови: определение числа эритроцитов и содержание в них гемоглобина, определение числа лейкоцитов и соотношение отдельных форм среди них. Лабораторные исследования мочи включали изучение физических и химических свойств мочи, а также микроскопическое исследование мочевого осадка. Исследование проводили с использованием общепринятых в клинике методик.

### Результаты и их обсуждение

#### результаты испытания на животных

#### Влияние на высшую нервную деятельность

Результаты исследований, представленные в табл. 1 и 2, свидетельствуют, что “Grail” в дозах 3 и 10 мл/кг в 1,5-2 раза повышает скорость выработки условного рефлекса при первом цикле обучения (коэффициент регрессии „в“ возрастает), при последующих испытаниях назначение “Grail” во всех испытанных дозах обеспечивает более успешное закрепление и воспроизведение условно-рефлекторного навыка.

Как видно из табл.1, “Grail” одновременно повышает скорость реакции животных на условный стимул.

Таблица 1

#### Влияние “Grail” на выработку, сохранение и воспроизведение условного рефлекса у крыс при введении перед тестированием

Дозы мл/кг	Сутки опыта	Параметры скорости обучения и консолидации условного рефлекса			
		Латентный период рефлекса, с	ОБ-50 <sup>1)</sup>	Регрессия У/Н <sup>2)</sup>	
				а	в
Контроль	1	25.8±0.69	45.8±11.3	0.13±0.08	0.09±0.01
1	То же	24.8±0.68	41.9±9.2	0.04±0.07	0.12±0.01
3	„	24.4±0.88	39.7±9.6	0.03±0.03	0.15±0.10*
10	„	24.2±0.74	35.3±8.2	0.68±0.38	0.18±0.04*

продолжение

Контроль	2	26.2±0.53	28.4±4.2	0.74±0.21	0.10±0.10
1	То же	23.8±0.59*	18.5±9.3	0.10±0.17	0.15±0.01*
3	„	25.6±0.60	16.1±4.1	0.32±0.18	0.18±0.10*
10	„	24.4±0.56*	3.5±4.5*	1.21±0.13	0.21±0.02*
Контроль	4	26.3±0.43	23.0±7.7	0.61±0.11	0.13±0.02
1	То же	23.1±0.49* <sup>0</sup>	14.9±7.6	0.57±0.12	0.19±0.10*
3	„	25.3±0.47	10.2±2.8	0.09±0.26	0.29±0.03*
10	„	24.7±0.47*	3.0±1.8*	0.13±0.38	0.32±0.04*

**Примечания:** <sup>1)</sup> – ОБ-50 – количество последовательных циклов тестирования до уровня 50% обученности; <sup>2)</sup> – регрессия отношения успех/неуспех, где а – свободный член, в – коэффициент регрессии (скорость обучения). Значками отмечены достоверные различия с контролем по t-критерию Стьюдента (\*) или медианному критерию Манна-Уитни (o).

Таблица 2

**Влияние многократного предварительного введения “Grail” (3 мл/кг) на выработку и консолидацию условного рефлекса у крыс**

Сутки испытаний	Группы	Показатели обучаемости		
		ОБ-50	а	в
1	Контроль	98±85	0.18±0.03	0.03±0.003
„	Опыт	55±50 <sup>0</sup>	0.15±0.01	0.08±0.01*
3	Контроль	30±10	0.04±0.16	0.13±0.02
„	Опыт	23±12 <sup>0</sup>	-0.18±0.23	0.24±0.02*
6	Контроль	32± 7	-0.05±0.12	0.19±0.01
„	Опыт	15± 5*	0.16±0.18	0.30±0.01*

<sup>x</sup> – отмечены достоверные различия в сравнении с контролем. (Обозначения см. в табл. 1)

Из табл. 2 видно, что “Grail” при предварительном 5-дневном введении обеспечивает более высокую скорость выработки условного рефлекса, чем в контроле, и способствует более эффективному закреплению и воспроизведению выработанного навыка.

Результаты проведенных исследований дают основание заключить, что испытуемая основа “Grail” при назначении внутрь в интервале доз 1-10 мл/кг оказывает стимулирующее влияние на когнитивные функции мозга (обучение, память, воспроизведение условных рефлексов).

**Влияние на психомоторную активность.** Результаты исследований представлены в табл.3.



**Влияние “Grail” на спонтанную двигательную активность и поведение  
 мышей в открытом поле**

Показатели	n	Дозы концентрата, мл/кг			
		Плацебо	1	3	10
Амбулаторная активность	7	1720±320	2150±350 <sup>U</sup>	23381±370 <sup>U</sup>	2430±520 <sup>U</sup>
Неамбулаторная активность	7	2330±250	2630±265	2240±150	2400±330
Число пробежек	7	121±16*	142±14*	178±15*	193±19*
Число стоек	7	75±10	90±9 <sup>U</sup>	113±10*	75±11
Число актов грумминга	7	6.1±1.6	5.9±1.3	3.5±1.1	6.4±1.3

**Примечания:** амбулаторная активность – суммарная дистанция пробежек, регистрируемая при освоении пространства по горизонтали (импульсы); неамбулаторная активность – число движений при перемещении животных в пределах размеров тела (повороты и т.п.); число пробежек – количество безостановочных перемещений по горизонтали; число стоек – количество вставаний на задние лапы (вертикальная активность); грумминг – акты умывания, почесывания, вылизывания.

\* - достоверные различия с плацебо по t-критерию Стьюдента, <sup>U</sup> – то же по критерию U.

Установлено, что “Grail” оказывает отчетливое нейростимулирующее действие у мышей по влиянию на параметры исследовательской активности животных в открытом поле. В дозах 3 и 10 мл/кг “Grail” повышает суммарную длину пробега животных, вертикальную активность и число пробежек, что свидетельствует об активации мотивированного двигательного поведения. Неамбулаторная активность, отражающая стереотипные двигательные реакции, которые характерны для состояний гипервозбуждения нигростриатного комплекса (например, при возбуждении фенамином, апоморфином и другими нейростимуляторами) при введении “Grail” существенно не изменяется. Не обнаружено также существенного влияния “Grail” на эмоциональные фобические реакции животных, которые отражаются актами грумминга.

Полученные результаты свидетельствуют, что “Grail” оказывает умеренно выраженное стимулирующее влияние на ЦНС, не вызывая при этом явлений гипервозбуждения и побочных эффектов, свойственных нейростимуляторам мобилизирующего и истощающего типа действия.

**Влияние на суточные биоритмы психомоторной активности.** Установлено, что “Grail” в дозах 1, 3 и 10 мл/кг при введении в утреннее время не оказывает существенного влияния на циркадианную ритмику психомоторной активности мышей. “Grail” несколько повышает активность животных в дневную фазу цикла (дневной покой) и не влияет на фазу бодрствования животных (ночное время). Периодичность циклов активности контрольных и подопытных животных полностью совпадает.

При введении “Grail” в дозах 1-10 мл/кг перед

наступлением фазы активного бодрствования ак-  
 рофаза двигательной активности заметно повыша-  
 лась, однако, циркадная ритмика активности мышей  
 также существенно не изменялась.

Результаты проведенных исследований позво-  
 ляют заключить, что систематический прием “Grail”

не приводит к существенным нарушениям суточных  
 ритмов жизнедеятельности, т.е. ритмов сна и бод-  
 рствования.

**Влияние на физическую работоспособность.**

Результаты испытаний представлены в табл. 4 в ви-  
 де относительных показателей в % к контролю.

Таблица 4

**Влияние “Grail” на физическую работоспособность мышей  
 в плавательном тесте на скорость**

Доза, мл/кг	Число мышей	Параметры работоспособности, в % к контролю			
		N <sub>ст</sub>	K	A <sub>100</sub>	A <sub>50</sub>
Контроль	10	100.0±4.5	100.0±5.3	100.0± 5.6	100.0± 7.4
1	10	117.9±7.2	115.3±8.4	112.0±11.9	120.9±16.7
3	10	125.1±5.8*	84.5±3.8*	129.1± 7.3*	134.6± 8.3*
10	10	119.5±4.2*	77.6±5.5*	134.0± 9.8*	142.1± 9.5*

**Примечания:** N<sub>ст</sub> – стартовая мощность; K – коэффициент утомления; A<sub>50</sub>, A<sub>100</sub> – объем работы до 50% и  
 полного утомления. \* - достоверное различие с контролем.

Как следует из полученных данных, “Grail” при  
 систематическом введении оказывает существенное  
 стимулирующее влияние на физическую работоспо-  
 собность мышей при введении в дозах 3 и 10 мл/кг, в  
 дозе 1 мл/кг это действие обнаруживается в виде тен-  
 денции.

Стимуляция работоспособности проявляется ув-  
 еличением стартовой мощности (до 25%), снижен-  
 ием коэффициента утомления (на 16-23%) и сущ-  
 ественным увеличением объема работы по крит-  
 ерию A<sub>50</sub> (на 34-42%) и критерию A<sub>100</sub> (на 29-34%).

Таким образом, испытуемый “Grail” при система-  
 тическом введении улучшает общее физическое  
 состояние животных, повышает скоростные харак-  
 теристики выполнения работы, объем работы и

выносливость к утомлению в условиях естественно  
 мотивированной нагрузки.

**Влияние на функциональное состояние серде-  
 чно-сосудистой системы.** Испытания показали, что  
 ежедневное интрагастральное введение “Grail” не  
 вызывает у крыс заметных изменений в общем  
 состоянии и не влияет на параметры артериального  
 давления и частоту пульса (табл. 5).

Установлено, что однократное введение “Grail” в  
 дозах 1 и 3 мл/кг не оказывает существенного влия-  
 ния на частоту сердечных сокращений, систоличес-  
 кое и диастолическое артериальное давление у со-  
 бак, как непосредственно после назначения, так и на  
 следующие сутки (табл. 6).

Таблица 5

**Частота отклонений от фона значений артериального давления и частоты  
 пульса у крыс при введении “Grail”**

Показатели	Дозы мл/кг	Сроки после введения, часы			
		1	3	6	24
Систолическое артериальное давление	1	0/5	0/5	0/5	0/5
	3	0/5	0/5	0/5	0/5
	10	0/5	0/5	0/5	0/5
Частота сердечных сокращений	1	0/5	0/5	0/5	0/5
	3	0/5	0/5	0/5	0/5
	10	0/5	0/5	0/5	0/5

**Примечания:** отклонением от фона считали достоверные изменения показателей при 3-кратном измерении параметра с интервалом 3-5 минут. В таблице приведены значения реакции на однократное введение, аналогичные результаты получены и при повторных введениях концентрата.

Таблица 6

**Частота отклонений от фона значений артериального давления и частоты  
 пульса у собак при введении “Grail”**

Показатели	Дозы мл/кг	Сроки после введения, часы			
		1	3	5	24
Систолическое артериальное давление	1	0/4	0/4	0/4	0/4
	3	1/4	0/4	0/4	0/4
Диастолическое артериальное давление	1	0/4	0/4	0/4	0/4
	3	1/4	0/4	0/4	0/4
Частота сердечных сокращений	1	0/4	0/4	0/4	0/4
	3	1/4	0/4	0/4	0/4

**Примечания:** отклонением от фона считали достоверные изменения показателей при 3-кратном измерении параметра с интервалом 3-5 минут.

**Влияние на биоэлектрическую активность сердца.** Результаты изучения гемодинамических и кардиотропных эффектов “Grail”, проведенного в экспериментах на здоровых бодрствующих крысах и собаках, свидетельствуют об отсутствии существенной реакции сердечно-сосудистой системы при приеме “Grail” в дозах до 3-10 мл/кг.

Положительные эффекты “Grail”, тем не менее, могут проявляться на фоне расстройств гомеостаза в системе кровообращения, что характерно для действия многочисленных кардиотропных лекарственных средств растительного происхождения с нормализующим влиянием на сердечно-сосудистые функции.

**Моторно-эвакуаторная функция желудка.** Одно-

кратное и трехкратное введение “Grail” в дозах 1-3 мл/кг не оказывало существенного влияния на эвакуаторную функцию желудка. В дозе 10 мл/кг отмечено замедление эвакуации содержимого желудка, которое, вероятно, связано с миотропным действием некоторых растительных компонентов “Grail”.

**Перистальтическая активность кишечника и влияние на функциональное состояние желудочно-**

**кишечного тракта.** Результаты экспериментов на крысах показывают, что как однократное, так и 3-кратное введение “Grail” в дозах 1 и 3 мл/кг не влияет на моторику тонкого кишечника, судя по скорости перистальтического транзита индикаторной взвеси в тонкой кишке, содержанию фекальных масс в слепой кишке и остальных отделах толстого кишечника (табл. 7 и 8).

Таблица 7

**Влияние однократного введения “Grail” на моторно-эвакуаторную функцию и другие показатели ЖКТ у крыс (M±m, n=7)**

Группы	Дозы мл/кг	Желудочная эвакуация BaSO <sub>4</sub> , %	Величина транзита BaSO <sub>4</sub> в тонкой кишке, %	Содержимое слепой кишки, г	Содержимое толстой кишки, г
Плацебо	3.0	64.6±3.2	57.5±3.5	1.68±0.19	0.12±0.04
“Grail”	1.0	63.3±3.6	55.2±3.6	1.46±0.14	0.10±0.04
То ж	3.0	57.0±4.2	45.3±2.7	1.43±0.13	0.15±0.05
“	10.0	38.0±3.1*	36.4±2.3*	1.80±0.26	0.20±0.11

*Примечание:* \* - достоверные различия с плацебо (P≤0.05)

Таблица 8

**Влияние 3-дневного введения “Grail” на функциональное состояние желудочно-кишечного тракта у крыс (M±m, n=7)**

Группы	Дозы мл/кг	Желудочная эвакуация BaSO <sub>4</sub>	Величина транзита BaSO <sub>4</sub> в тонкой кишке	Содержимое слепой кишки	Содержимое толстой кишки
		%	%	г	г
Плацебо	3.0	62.7±2.9	55.3±3.5	1.57±0.22	0.42±0.16
“Grail”	1.0	72.4±3.5	47.5±3.3	1.43±0.18	0.34±0.12
То же	3.0	53.6±2.5	41.6±3.3	1.64±0.19	0.47±0.17

*Примечание:* состояние желудочно-кишечного тракта исследовалось после 18-часового голодания (с исключением копрафагии), которому крысы подвергались сразу после последнего введения “Grail” или плацебо.

**Результаты Клинической апробации на человека**      полнения задания в контрольной и опытной гру-  
**Исследование умственной работоспособности и**      ппах отличалось незначительно.  
**устойчивости внимания.** После приема “Grail”      Таким образом, “Grail” улучшает умственную ра-  
 количество прокорректированных знаков увеличи-      ботоспособность и преимущественно влияет на ка-  
 вается на 24,4% (увеличение статистически досто-      чество умственной работы.  
 верно в сравнении с контролем) (табл.9). Время вы-

Таблица 9

**Влияние “Grail” на умственную работоспособность при выполнении  
 корректурного текста**

№	Контрольные показатели		“Grail”	
	Успешность выполнения задания, в %	Скорость выполнения задания, в с	Успешность выполнения задания, в %	Скорость выполнения задания, в с
1	79	245	82	275
2	85	315	96	320
3	31	390	87	355
4	81	205	96	307
5	70	295	96	300
6	80	270	98	240
7	97	370	91	300
8	98	280	77	290
9	79	315	97	330
10	79	330	98	385
11	84	230	89	295
12	83	280	92	330
13	87	270	96	338
14	92	300	98	300
15	37	220	95	305
16	65	245	84	270
17	88	315	87	295
18	88	260	97	310
19	85	333	90	350
20	61	360	92	312
M±m	77.5± 4,0	291,4±11,1	91,9 ± 1,3 <sup>x</sup>	310,4 ±8,7

<sup>x</sup> –отмечены достоверные различия в сравнении с контролем.

**Психический темп** Следовательно, “Grail” увеличивает скорость ориен-  
 Тест выявил достоверное уменьшение времени тировочно-поисковых движений взора (ускоряет  
 на отыскание чисел после приема “Grail” (табл.10). психологический темп).

Таблица 10

**Влияние “Grail” на скорость ориентировочно-поисковых  
 движения взора (время в с)**

№	Группы испытуемых	Количество наблюдений	Номера таблиц			Средние данные
			1	2	3	
1	Контрольная	20	47.2±1.9	53.5±1.9	47.0±2.2	49.2±1.6
2	Опытная	20	28.8±2.0*	35.1±2.3*	33.9±1.8	32.9±1.3*

\* - отмечены достоверные различия в сравнении с контролем.

**Влияние на память.** Анализ полученных резуль- долговременную память. После приема бальзама не  
 татов показал, что “Grail” улучшает кратковременную было допущено ошибок при заучивании слов (в конт-  
 память (достоверные различия в сравнении с конт- рольных опытах было сделано 62 ошибки) (табл.11).  
 роле), но не оказывает существенного влияния на

Таблица 11

**Влияние “Grail” на состояние, утомляемость и активность внимания  
 (средние из 20 наблюдений по количеству заученных слов в %)**

Число повторений	Показатели в контроле		Показатели после приема “Grail”	
	Количество заученных слов	Количество ошибок	Количество заученных слов	Количество ошибок
1	44.0±1.8	10	66.0±3.0	-
2	34.0±2.4	4	85.0±2.4*	-
3	54.0±1.8	12	93.01±1.2*	-
4	52.0±1.8	14	92.01±1.8*	-
5	64.0±1.2	14	96.0±0.6	-
Спустя час	85.0±1.9	8	87.0±4.2	-

\* - отмечены достоверные различия в сравнении с контролем.

**Влияние на состояние сердечно-сосудистой системы.** Результаты исследования не выявили изменений  
 частоты пульса, артериального давления, показателей ЭКГ у испытуемых, принимавших “Grail” в сравнении  
 с аналогичными показателями у испытуемых контрольной группы (табл. 12).

**Влияние “Grail” на состояние сердечно-сосудистой системы  
 (средние данные по результатам 20 наблюдений)**

№	Исследуемые показатели	Контрольная группа	Опытная
1	Частота пульса (в мин.)	67.8±1.4	67.8±1.1
2	Артериальное давление (мм.рт.ст.)		
	а) систолическое	108.5±1.8	105.5±1.5
	б) диастолическое	69.5±0.3	70.5±0.9
3	Показатели ЭКГ (продолжительность зубцов, сек)		
	а)Р	0.08	0.08
	б)PQ	0.148±0.004	0.151±0.004
	в) OPST	0.380±0.014	0.375±0.007
	г)R-R	0.81 ±0.02	0.80±0.03

**Выполнение физической нагрузки.** Анализ полученных результатов (табл.13 и 14) свидетельствует о том, что у испытуемых, принимавших “Grail”, отмечено по сравнению с контролем улучшение фун-

кциональных показателей (пульс, артериальное давление) в восстановительный период после физической нагрузки.

**Изменение физиологических показателей, частоты сердечных сокращений и АД при физической нагрузке (средние данные 20 испытаний)**

Показатели	Исходные показатели	Показатели частоты пульса и АД в восстановительный период после физической нагрузки		
		1 мин.	2 мин.	3 мин.
Контрольная группа: Частота пульса (мин.) АД систолическое (мм.рт.ст.) АД диастолическое мм.рт.ст.)	67.8±1.4 108.5±1.8 69.5±0.3	106.4±2.5 129.0±2.4* 75.11±1.8*	88.2±2.5* 120.511.5* 67.0±1.5	73.81±1.4* 111.5±1.8 66.0±1.2
Группа принимавшая “Grail” Частота пульса (мин.) АД систолическое (мм.рт.ст.) АД диастолическое (мм.рт.ст.)	67.8±1.1 105.5±1.5 70.5±0.9	101.4±1.4* 118.0±1.8** 69.0±1.2**	81.0±3.2* 112.5±1.2** 67.0±1.2	71.2±1.4 107.5±1.5 68.5±1.2

\* - отмечены достоверные различия в сравнении с исходными показателями.

\*\* -отмечены достоверные различия с контрольной группой.

**Изменение физиологических показателей (в %) в восстановительный период после физической нагрузки**

Показатели	Исходные показатели в%	Изменение показателей в %					
		1 мин.		2 мин.		3 мин.	
		контроль	опыт	Контроль	опыт	Контроль	опыт
Частота пульса	100	+56.9	+49.5	+30.0	+19.5	+8.8	+5.0
АД систолическое	100	+18.9	+11.8	+11.1	+6.6	+2.8	+1.9
АД диастолическое	100	+8.1	-2.1	-3.6	-4.9	-5.0	-2.8

Судя по частоте пульса и артериальному давлению в первую минуту, прием “Grail” способствовал улучшению ответного кровообращения на физическую нагрузку.

**Влияние на умственную работоспособность и функциональные показатели сердечно-сосудистой системы в условиях психологического стресса.** Полученные в результате проведенного эксперимента показатели подразделяются на „субъективные“, характеризующие самооценку состояния и

уровень реактивной тревожности, и „объективные“ – критерии работоспособности, состояние аппарата внимания, а также функциональные данные уровня АД и частоты сердечных сокращений. Самооценка состояния и уровня реактивной (ситуационной) тревожности показала высокий уровень от 47 и более баллов. Но в среднем уровень ситуационной тревожности был статистически значительно ниже в группе испытуемых (табл.15).

**Показатели умственной работоспособности, ситуационной тревожности, артериального давления и частоты пульса в контроле и опыте**

№	Корректирующий тест		УТ,(балл)	АДС	АДД	Частота пульса
	УВЗ, %	СВЗ, с				
К	82,3±2,0	237,7±14.4	59,4 ± 1,6	126,5±1,8	81,3±1,8	108,6±3,2
G	95,6±1,1*	250,8±6,3	53,2±0,9*	111.5±1.8*	74.5±1,5	98.6±2,5*

**Обозначения:** К-контроль; G –опыт; УВЗ –уровень выполнения задания; СВЗ- скорость выполнения задания; УТ-уровень тревожности; АДС- артериальное давление систолическое; АДД- артериальное давление диастолическое. \* - обозначены достоверные различия в сравнении с контролем.



Основные критерии умственной работоспособности (успешность выполнения задания) значительно выше после приема “Grail”, чем в контроле. Следовательно, “Grail” стимулирует мотивационные механизмы, что приводит к повышению объективных критериев работоспособности. Функциональные показатели артериального давления и частоты сердечных сокращений достоверно ниже аналогичных показателей у испытуемых, принимавших плацебо. Биологически активные вещества, содержащиеся в “Grail”, стимулируют развитие основных адаптационных процессов. Изменение метаболических процессов способствует более оптимальному функционированию эндогенной антистрессовой системы.

Таким образом, “Grail” обладает стресспротекторной активностью, что характеризуется повышением качества умственной деятельности и нормализацией вегетативных реакций. Особое значение последнее может иметь у людей, не устойчивых к стресс-воздействию, с риском возникновения сердечно-сосудистых заболеваний.

**Показатели мочи и крови у испытуемых.** Анализ полученных результатов клинического исследования не выявил изменений клеточного состава крови и физико-химических свойств мочи. Небольшие колебания некоторых показателей находятся в пределах физиологической нормы (табл.16).

Таблица 16

**Основные показатели мочи и крови у студентов-добровольцев, принимавших “Grail”  
 (средние данные 20 наблюдений)**

№ пп	Исследуемые показатели	Исходные показатели	Исследуемые показатели после приема
1.	<b>Анализ крови:</b>		
1.1	СОЭ, мм/час	5,4 ±0,7	6,9 ± 0,3
1.3	Гемоглобин, г%	125,9 ±1,7	127,6 ±1,8
1.3	Эритроциты, млн/мкл	8,2	9,3
1.4	Лейкоциты, тыс./мкл.	7,4 ±0,3	7,3 ± 0,4
2.	<b>Состав лейкоцитарной формулы крови, в %</b>		
2.1	Эозинофилы	2,7 ±0,4	2,8±0,2
2.2	Нейтрофилы	2,0 ±0,1	2,5 ± 0,4
а)	Палочкоядерные	54,1 ±1,9	53,5 ±1,9
б)	Сегментоядерные	35,9 ± 2,5	38,2 ±1,4
2.3	лимфоциты	5,9 ±0,5	4,3 ± 0,4
3.	<b>Анализ мочи:</b>		
3.1	Удельный вес	1017,2 ±1,3	1016,5±1,2
3.2	Белок	нет	нет
3.3	Сахар	нет	нет
3.4	Эпителий мочеполовых путей	единичное или незначительное	незначительное количество

## Заклучение

Испытания показали, что рассмотренная биоактивная добавка “Grail” обладает отчетливыми нейротонизирующими и нейростимулирующими эффектами, а конкретно:

- ❖ стимулирующим влиянием на когнитивные функции мозга – обучение, память, воспроизведение заученных навыков в условно-рефлекторном тесте (крысы);
- ❖ активирующим влиянием на адаптивное исследовательское поведение в условиях открытого поля (мышь);
- ❖ стимулирующим влиянием на физическую работоспособность, проявляющимся увеличением стартовой мощности, объема выполненной работы и устойчивости к утомлению в условиях естественно-мотивированной деятельности (мышь).

Нейротонизирующие дозы “Grail” для животных (мышей, крыс) лежат в диапазоне 3-10 мл/кг, что при экстраполяции переносит для человека дозы порядка 0.5-1.5 мл/кг.

В отличие от нейростимуляторов мобилизующего типа действия “Grail” не вызывает явлений гипертонического возбуждения мозга и нарушений нормальных суточных биоритмов жизнедеятельности животных, что является важными преимуществами данной рас-

тительной композиции в сравнении с возбуждающими средствами. “Grail” не оказывает существенно влияния на гемодинамику и сердечную деятельность у здоровых животных в покое в условиях бодрствования и не вызывает отклонений в функциональном желудочно-кишечного тракта у здоровых кондиционных животных.

Проведенные клинические исследования “Grail” на людях выявили, что:

- ❖ “Grail” предупреждает или полностью устраняет патологические проявления, обусловленные стрессовым воздействием.
- ❖ В условиях психической дезадаптации “Grail” повышает умственную работоспособность и адаптивные возможности организма.
- ❖ “Grail” оказывает благоприятное действие на высшую деятельность человека: увеличивает умственную работоспособность, улучшает память, повышает реакцию и активность организма.

Таким образом, “Grail” в дозах 0.5-1 мл/кг, рассчитанных на человека, – умеренно действующее нейротонизирующее средство, способное поддерживать активную умственную и физическую работоспособность и не обладающее возбуждающими и истощающими эффектами на нервную систему.

## Литература

1. Melkadze R.G. Ingredients composition of bioactive additive “Grail”. Patent 6516. Georgia. Bulletin #14(450). 2016. (in Georgian).
2. Melkadze R.G. Antioxidant potential and polyphenolic complex of “Georgian Elixir”. Journal “Novation”. #3. Kutaisi. 2008, 10-13 pp. (in English).
3. Melkadze R. Balm “Grael” - a potential antinarcotic and antialcoholic remedy. Journal “Health” (USA). Vol.2. Number 10. 2010, 1226-1231 pp. (in English).
4. Melkadze R., Kintsurashvili K. Radioprotective properties of bioactive additive "Grail". The proceedings of the 2nd European conference on biology and medical sciences. "East-west" Association for Advanced Studies and Higher Education GmbH. Vienna. 2014. 228-236 pp. (in English).

5. Melkadze R. Adaptive properties of bioactive additive "Grail". International journal of advanced multidisciplinary research. 2(3). 2015, 53-59 pp. (in English).
6. Melkadze R. Bioactive additive "Grail"- effective adaptogen. "The Modern Scientific Herald" Vol. 3. Number 2. 2016, 42-57 pp. (in English).
7. Lazarev N.V. Actual problems of the studies of the action of adaptogens, particularly preparations of Eleutherococcus. Symposium on Ginseng and Eleutherococcus. Vladivostok. 1962, 7-10 pp. (in Russian).
8. Lazarev N.V., Liublina E.I., Rozin M.A. The state of heightened nonspecific resistibility. Pathophysiology and experimental medicine. 3. 1959, 16-21 pp. (in Russian).
9. Coltheart M. Cognitive neuropsychology. Scholarpedia. 3(2). 2008. (in English).
10. Carlson N. R. Physiology of behavior. Boston: Pearson. 2013. (in English).
11. Miller G. A. The cognitive revolution: a historical perspective. Trends in cognitive sciences. 7(3). 2003, 141-144 pp. (in English).
12. Brekhman I.I. Materials of studies of ginseng and other medicinal plants of Far East. Issue 5. Vladivostok: "Primorye Publishing Press". 1963, 5-11 pp. (in Russian).
13. Brekhman I.I. Eleutherococcus. L.: "Nauka". 1968. (in Russian).
14. Brekhman I.I. Adaptation and adaptogens. Vladivostok. 1977, 135-141 pp. (in Russian).
15. URL: <https://medaboutme.ru> (in Russian).

UDC 615

SCOPUS CODE 3003

## ბიოაქტიურ დანამატ "GRAIL"-ის გავლენა ცხოველებისა და ადამიანის კოგნიტურ ფუნქციაზე

**რ. მელქაძე** კვების ინდუსტრიის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 68°  
E-mail: remeisi@mai.ru

### რეცენზენტები:

**გ. გუგულაშვილი**, სტუ-ის სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტის პროფესორი  
E-mail: givi.gugulashvili@gmail.com

**ლ. გულუა**, საქართველოს აგრარული უნივერსიტეტი, ბიოლოგიის მეცნიერებათა დოქტორი  
E-mail: l.gulua@agruni.edu.ge

**ანოტაცია.** მოცემულია კვლევის შედეგები ბიოაქტიურ დანამატ „Grail“-ის – სამკურნალო მცენარეების ექსტრაქტების და მეფუტკრეობისა და მეღვინეობის პროდუქტების კომპოზიტის – გავლენაზე ცხოველებისა (ვირთხები, თაგვები) და ადამიანის კოგნიტურ ფუნქციებზე.

ნაჩვენებია „Grail“-ის მასტიმულირებელი გავლენა ტვინის კოგნიტურ ფუნქციებზე (შესწავლა, მახსოვრობა, შეძენილი სიახლის აღწარმოება) პირობით-რეფლექტორული ტესტის ჩატარებით (ვირთხები).

პრეპარატი ააქტიურებს ადაპტურ კვლევით ქცევებს ღია სივრცის პირობებში (თაგვები), მასტიმულირებლად მოქმედებს ფიზიკური მუშაობის უნარზე, ხელს უწყობს სასტარტო სიმძლავრის გაზრდას, შესრულებული სამუშაოს მოცულობას და დადლისადმი მდგრადობას ბუნებრივ-მოტივირებული მოქმედების პირობებში (თაგვები).

„Grail“-ის ნეირომატონიზებელი დოზა ცხოველებისათვის არის 3-10 მლ/კგ, რაც ადამიანზე ექსტრაპოლაციური გადატანით შეადგენს 0,5-1,5 მლ/კგ დოზას.

ადამიანების კლინიკურმა კვლევამ გამოავლინა, რომ პრეპარატი „Grail“-ი ნაწილობრივ ან სრულად აღმოფხვრის სტრესული ზემოქმედებით გამოწვეულ პათოლოგიურ გამოვლინებებს.

ფსიქიკური დეზადაპტაციის პირობებში „Grail“-ი აუმჯობესებს გონებრივი მუშაობის ხარისხს და ზრდის ორგანიზმის ადაპტურ შესაძლებლობებს, კარგად მოქმედებს ადამიანის ტვინის მუშაობაზე, აუმჯობესებს მახსოვრობას, ზრდის ორგანიზმის რეაქციასა და აქტივობას.

ამრიგად „Grail“-ი 0,5-1 მლ/კგ დოზით ზომიერად მოქმედი ნეირომატონიზებელი საშუალებაა, რომელიც უზრუნველყოფს აქტიური, გონებრივი და ფიზიკური მუშაობის უნარის შენარჩუნებას და არ ახასიათებს ნერვულ სისტემაზე აღმგზნები და გამომფიტავი ზემოქმედება.

**საკვანძო სიტყვები:** ადაპტაცია; იმუნომოდულაცია; ნოოტროპული თვისებები; რეზისტენტობა.

UDC 615

SCOPUS CODE 3003

## Influence of bioactive additives "GRAIL" on cognitive function in animals and humans

**R. Melkadze** Department of Food industry, Georgian Technical University, 68a M. Kostava str, 0175,  
Tbilisi, Georgia  
E-mail: remeisi@mai.ru

### Reviewers:

**G. Gugulashvili**, Professor, Faculty of Transportation and Mechanical Engineering, GTU

E-mail: givi.gugulashvili@gmail.com

**L. Gulua**, Doctor of Biological Sciences, Agricultural University of Georgia

E-mail: l.gulua@agruni.edu.ge

**Abstract.** The article considers the results of the study of the influence of the bioactive additive "Grail" (hereinafter "Grail") - a composite of extracts of curative plants and products of beekeeping and winemaking on cognitive functions in animals (rats, mice) and humans.

It shows its stimulating effect on the cognitive functions of the brain - learning, memory, the reproduction of learned skills in the conditioned reflex test (rats);

The drug activates adaptive research behavior in conditions of an open field (mouse), stimulating acts on physical working capacity, contributes to an increase in the starting capacity, the amount of work performed and the resistance to fatigue in a naturally motivated activity (mouse).

Neurotonizing doses of "Grail" for animals lie in the range of 3-10 ml / kg, which for extrapolation transfer will be about 0,5-1,5 ml / kg for a person.

Conducted clinical studies of the "Grail" revealed that the drug prevents or completely eliminates pathological manifestations, caused by stress.

In mental disadaptation conditions, the "Grail" raises the mental capacity for work and adaptive capabilities of the body, has a beneficial effect on the higher activity of man: increases mental efficiency, improves memory, increases the reaction and activity of the organism.

Thus, "Grail" in doses of 0,5-1 ml / kg, calculated per person, is a moderately effective neurotonic agent capable of maintaining active mental and physical performance and not having exciting and debilitating effects on the nervous system.

**Key words:** Adaptation; immunomodulation; nootropic properties; resistance.

*Дата рассмотрения 14.05.2018*

*Дата поступления 19.06.2018*

*Подписано к печати 28.12.2018*

## ავტორთა საძიებელი

### Author's index

### Указатель авторов

აბზიანიძე ე. 42	ჩალაძე მ. 51
არაბიძე გ. 74	ჩოქური ქ. 11
გვასალია ბ. 24	ჩხეიძე ი. 42
გუგულაშვილი გ. 68, 88	ცომაია ზ. 59
ვეფხვაძე ლ. 74	Jikidze L. 126
ისაკაძე თ. 68, 68	Tsutskiridze V. 126
კვაჭაძე თ. 24	Абзианидзе В.В. 117
მარდაშოვა მ. 59	Абзианидзе Д.В. 117
მეგრელიძე თ. 68, 88	Манагадзе Р.Г. 117
მუხიგულაშვილი ნ. 51	Махарадзе Л.И. 97
პაპასკირი მ. 51	Мелкадзе Р.Г. 136
ტომარაძე ო. 42	Мерабишвили Г.Г. 109
ფოფორაძე ნ. 59	Нозадзе Н.И. 109
	Чхаидзе Т.А. 109

## რეცენზენტთა საძიებელი

### Reviewer's index

### Указатель рецензентов

ბარამიძე ს. 74

ბერუაშვილი გ. 88

ბუაძე ტ. 11

გოჩოლეიშვილი ა. 59

დუნდუა ა. 51

კაკულია ზ. 59

კეშელავა გ. 51

კვირიკაშვილი გ. 68

კვირიკაშვილი გ. 88

კოტრიკაძე ო., 24

კუბლაშვილი მ. 24

ნარიმანაშვილი ნ. 42

ფიფია გ. 11

ჩხაიძე ბ. 74

ხუნწარია ჯ. 42

ჯაფარიძე ზ. 68

Elerdashvili E. 126

Kvitsiani T. 126

Барабадзе Т. 117

Блуашвили Д. 117

Гугулашвили Г. 136

Гулуа Л. 136

Кирмелашвили Г. 97

Кисишвили Л. 109

Табатадзе Г. 97

Шарвашидзе А. 109

## ავტორთა საყურადღებოდ

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამეცნიერო შრომების კრებული არის ყოველკვარტალური რეგულირებადი მულტიდისციპლინური პერიოდული გამოცემა, რომელიც რეგისტრირებულია საერთაშორისო ელექტრონულ მონაცემთა ბაზაში – Index Copernicus International.

- სტატია (მიიღება ქართულ, ინგლისურ, რუსულ ენებზე) ქვეყნდება ორიგინალის ენაზე.
- სტატიის ავტორთა რაოდენობა არ უნდა აღემატებოდეს სამს.
- ავტორს შეუძლია საგამომცემლო სახელში პუბლიკაციისათვის მოგვარდოს ან ელექტრონული ფოსტით sagamomcemlosakhli@yahoo.com მისამართზე გამოგვიგზავნოს ერთი ან რამდენიმე სტატია, აგრეთვე თანდართული დოკუმენტაციის დასკანერებული ფაილები, მაგრამ კრებულის ერთ ნომერში გამოქვეყნდება მხოლოდ ორი ნამუშევარი.

**ელ. ფოსტით სტატიის გამოგზავნის შემთხვევაში გთხოვთ გაითვალისწინოთ შემდეგი მოთხოვნები:**

- Subject ველში (თემა) მიუთითეთ კრებულის დასახელება და ავტორის (ავტორების) გვარი.
- გამოიყენეთ ფაილის მიმაგრება (Attach).
- დიდი მოცულობის ფაილის შემთხვევაში გამოიყენეთ არქივატორი (ZIP, RAR).

• სტატია შედგენილი უნდა იყოს მართლმეტყველებისა და ტერმინოლოგიის დაცვით. ავტორი (ავტორები) და რეცენზენტები პასუხს აგებენ სტატიის შინაარსსა და ხარისხზე.

• ვინაიდან საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის შრომების კრებული არის არაკომერციული გამოცემა, ჩვენი მეცნიერი თანამშრომლებისა და დოქტორანტებისთვის სტატიის გამოქვეყნება უფასოა.

• საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის აკადემიური საბჭოს № 200 დადგენილებით (22.01.2010წ.), ფიზიკურმა პირმა, რომელიც არ არის საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის თანამშრომელი, შრომების კრებულში სტატიის გამოქვეყნებისთვის წინასწარ უნდა შეიტანოს ან გადმორიცხოს საჭირო თანხა (1 გვერდი – 10 ლარი) და სტატიის დოკუმენტაციას (ორი რეცენზია და ორგანიზაციის სამეცნიერო საბჭოს მიმართვა სტატიის სტუ-ის შრომების კრებულში გამოქვეყნების შესახებ) დაურთოს გადახდის ქვითარი. გრაფაში „გადახდის დანიშნულება“ უნდა ჩაიწეროს „სტატიის გამოქვეყნების ღირებულება“.

**სტუ-ის საბანკო რეკვიზიტებია: სსიპ საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი; საიდენტიფიკაციო კოდი 211349192; მიმღების ბანკი: სახელმწიფო ხაზინა; მიმღების დასახელება: ხაზინის ერთიანი ანგარიში; ბანკის კოდი: TRESGE22; მიმღების ანგარიში: სახაზინო 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 ათობითი 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, დაიწყოთ 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 multidisciplinary quarterly refereed periodical included in Index Copernicus International.

- An article (accepted in Georgian, English or Russian) is published in the original language;
- The number of authors of an article should not exceed three;
- Authors should submit original copies of one or more articles for publication to the publishing house or send scan versions to [sagamomcemlosakhli@yahoo.com](mailto:sagamomcemlosakhli@yahoo.com) along with supporting documentation, but only two articles from the same author(s) will be published in one edition;

### **To submit scan versions via email please follow the instructions:**

- *In the Subject line indicate the collection of works and the name(s) of author(s).*
  - *Attach the file(s) properly;*
  - *Use ZIP or RAR file compressors in case of large files to attach.*
- The article should be literal, well-structured and apply proper terminology to convey the author's constructive arguments relevant to the subject. The authors and reviewers are responsible for the content and quality of an article;
  - The collection of works of GTU is a non-commercial publication and running the articles of our researchers and for PhD students is free of charge;
  - According to the Resolution No.200 of GTU Academic Council (22.01.2010), authors who are not the employees at the University, should make the preliminary payment by cash or transfer to have their paper published (10 GEL per page). Copy of the payment receipt should be enclosed with the supporting documentation (two reviews and a reference by the organization's academic board on publishing the article in GTU collection of scientific papers). "Cost of article publication" shall appear as subject in the "purpose of payment" field.

**GTU bank details: LEPL Georgian Technical University; organization's identification number 211349192; beneficiary bank: State Treasury; beneficiary: joint treasury account; bank code: TRESGE22; Account number: treasury code 708977259.**

### **How to form an academic article:**

- The text should be presented in print-out form (A4), no less than 5 pages (margins - 2 cm, line spacing - 1,5);
- Only MS Word versions of texts are accepted (doc or docx) presented electronically on any magnetic carrier;
- For Georgian texts: font - 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 мультидисциплинарным реферируемым периодическим изданием, которое зарегистрировано в международной базе электронных данных – Index Copernicus International.

- Статьи (принимаются на грузинском, английском, русском языках) публикуются на языке оригинала.
- Количество авторов статьи не должно превышать 3.
- Автор может предоставлять для публикации в Издательском доме или по электронной почте (на следующий адрес: 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 Teqnikuri 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: მ. ბაზაძე, ნ. ყიფილაშვილი, მ. პრეობრაჟენსკაია  
კომპიუტერული უზრუნველყოფა ე. ქარჩავასი

გადაეცა წარმოებას 01.10.2018. ხელმოწერილია დასაბეჭდად 28.12.2018. ქაღალდის ზომა  
60X84 1/8. პირობითი ნაბეჭდი თაბახი 10,5.

საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, თბილისი, კოსტავას 77



Verba voiant,  
scripta manent