

CFMFHSDTK J C NTMYBREHB EYBDTHCBNTNB  
GEORGIAN TECHNICAL UNIVERSITY  
ГРУЗИНСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

---

yovel kvartal uri gamocema  
QUARTERLY PUBLICATION  
ЕЖЕКВАРТАЛЬНОЕ ИЗДАНИЕ

ISSN 1512-0996

И Н Ж У Т < В  
WORKS  
ТРУДЫ

**№3 (501)**



Tbi l i si – TBILISI – ТБИЛИСИ

2016

daarsebulia 1924 wels.  
perioduloba - 4 nomeri weliwadSi.

saqarTvel os teqniki universitetis samecniero Sromebis krebularis yovelkvartaluri referirebadi perioduli gamocema, romelic registrirebulia ramdenime saerTasoris monacemTa bazaSi.

yvela uflaba daculia. am krebulSi gamoqveynebuli nebismeri statii (teqsti, foto, ilustracia Tu sxva) gamoyeneba arc erTi formiTa da saSualebiT (eleqtronuli Tu meqanikuri) ar SeiZleba gamomcemlis werilobiTi nebarTvis gareSe.

saavtoro ufl ebepis darRveva isjeba kanoniT.

avtori (avtorebi) pasuxismgebelia statii Si naarsze da saavtoro ufl ebepisa da samecniero eTikis sayovelTaod miRebuli sxva norme bis dacvaze.

statii avtoris (avtorebis) pozicia SeiZleba ar emTxveodes sagamomcemlo saxlis pozicias.

sagamomcemlo saxli `teqniki universiteti- gulwrfeli madlierebiT miRebs yvela konstruqciul Senisvnas, wi nadadebas da gamoiyenebs saqmi anobis Semdgomi srulyofisaTvis.

mogvwereT:  
sagamomcemlosakhli@yahoo.com

mTavari redaqtori  
a. frangi Svili

mTavari redaqtoris moadgil eebi:  
l. klimia Svili  
z. gasita Svili

saredaqcio kol egia:

a. abralava, g. abrami Svili, a. abSilava,  
T. ambrolaZe, e. baraTasvili, T. baci kaZe,  
j. beriZe, s. bielecki (poloneTi),  
p. bieliki (slovakeTi), T. gabadaZe,  
j. gaxokiZe, o. gelaSvili, a. giginei Svili,  
g. gobSi (germania), al. grigoli Svili,  
el. elizbaraSvili, s. esaZe, vl. vardosaniZe,  
u. zviadaZe, o. zumburiZe, h. zunkeli (avstria),  
d. TavxeliZe, p. Todua (ruseTi), b. imnaZe,  
i. kveselava, t. kviciani, a. keevaliki (estoneTi),  
z. ki knaZe, T. lomi naZe, i. lomi Ze,  
a. mamalisi (saberZneTi), m. macaberiZe,  
T. megrelize, m. mesxi, a. mowoneliZe,  
l. mZinari Svili, d. natroSvili,  
n. nacvli Svili, S. nemsaze, d. nozaZe,  
g. saluqvaZe, q. qoqraSvili, e. quTelia,  
a. SarvasiZe, s. Smidti (germania),  
h. Stroeri (germania), m. CxeiZe,  
z. wveraiZe, T. jagodni Svili, T. jiSkariani,

© sagamomcemlo saxli `teqniki universiteti-, 2016

ISSN 1512-0996



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 several international journal lists.

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

Infringement of copyright is punishable by law.

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

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

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

Contact us:  
sagamomcemlosakhli@yahoo.com

Editor in Chief  
A. Prangishvili

Deputy Editors in Chief  
L. Klimiashvili  
Z. Gasitashvili

Editorial Board:

A. Abzalava, G. Abramishvili, A. Abshilava,  
T. Ambroladze, E. Baratashvili, T. Batsikadze, J. Beridze,  
S. Bielecki (Poland), P. Bielik (Slovakia), M. Chkheidze,  
E. Elizbarashvili, S. Esadze, T. Gabadadze,  
J. Gakhokidze, O. Gelashvili, A. Gigineishvili, G. Gobsch  
(Germany), Al. Grigolishvili, B. Imnadze, T. Jagodnishvili,  
T. Jishkariani, A. Keevalik (Estonia), Z. Kiknadze,  
K. Kokrashvili, E. Kutelia, I. Kveselava, T. Kvitsiani,  
T. Lominadze, I. Lomidze, A.G. Mamalis (Greece),  
M. Matsaberidze, L. Mdzinarishvili, T. Megrelidze,  
M. Meskhi, A. Motzonelidze, D. Natroshvili,  
N. Natsvlivshvili, 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,  
VI. Vardosanidze, O. Zumburidze, U. Zviadadze.

© Publishing House "Technical University", 2016



Учрежден в 1924 году.  
Периодичность – 4 номера в год

Сборник научных трудов Грузинского технического университета является ежеквартальным реферируемым периодическим изданием, которое зарегистрировано в нескольких международных базах данных.

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

© Издательский дом «Технический университет», 2016

ISSN 1512-0996



# შინაარსი

## აბრარული და ბიოლოგიური მემცნიერებები

გ. კაიშაური, ნ. ჯაფარაშვილი. დასავლეთ საქართველოში მოყვანილი ბრევივრუტის ნაყოფის ტექნოლოგიური მარკინებლების კვლევის შედეგები.....	11
---	----

## ბიზნესი, მართვა და აღრიცხვა

ბ. ბარკალაია, ხ. კურტანიძე, ზ. კურტანიძე. ტურიზმისა და დაცული ტერიტორიების ურთიერთდამოკიდებულების პრინციპების განსაზღვრა.....	16
---	----

## ქიმიური მრეწველობა და ტექნოლოგიები

თ. გაგნიძე, მ. წვერავა. ძალაღსაფუძვლიანი დოკუმენტის რესტავრაციის – ბარმცხვა-ნეიტრალიზაციის ტექნოლოგიური პროცესი.....	22
--	----

## დემამიწა და კლანეტარული მემცნიერებები

დ. როგავა, დ. სირბილაძე. დეკრემისის საინჟინრო-ბეოლოგიური შეფასებისათვის.....	30
--	----

## ეკონომიკა, ეკონომეტრიკა და ფინანსები

დ. ჯაფარიძე, ი. ბიჭიაშვილი, ნ. გიორგიშვილი. საქართველოში საშუალოვადიან პერიოდში ენერგორესურსების წარმოების ოპტიმალური დაგეგმვა.....	42
---	----

## ენერგეტიკა

მ. გიუაშვილი. აჩქარების პიესოელექტრული ბარდამქმნელის დიაგნოსტიკა.....	55
მ. ცეცხლაძე. მუდმივი დენის ელექტრული ძრავას მართვის სისტემის ოპტიმიზაცია.....	62
გ. ჩაჩიბაია, ნ. სამსონია, მ. გუდიაშვილი. საქართველოს საპროექტო ჰიდროსაღებურების მოსალოდნელი გავლენა კლიმატის ცვლილებაზე.....	69
თ. საბელაშვილი, მ. გუდიაშვილი, მ. რადმერი. ბიომასაზე მომუშავე ბათობის სისტემის პროექტი.....	78

**ინჟინერია**

**რ. ენაგელი, მ. გამცემლიძე, გ. ჯავახიშვილი.** დიაგნოზიკური სალექსო მანქანის  
ოპტიმალური მართვის სისტემა ..... 84

**თ. მეგრელიძე, თ. ისაკაძე.** ტრანსკრიტიკული სამაცივრო სისტემები ..... 92

**თ. მეგრელიძე, თ. ისაკაძე.** ენერგოეფექტურობის ეკონომია გუნებრივი აირის  
ბათხევალებისას ორსაფეხურიანი ორთქლის მაცივარი მანქანის  
კომპონენტების ამოწმებისას ..... 97

**ბარემომცოდნეობა**

**მ. სოსელია, ზ. კურტანიძე.** ეკონომიკის ეკოლოგიზაციის ძირითადი  
მიმართულებები ..... 104

**მათემატიკა**

**ლ. ჯიქიძე, ვ. ცუცქერიძე.** ბამბარი სითხის დამცემი ნაკადით უსასრულო  
ფორმის ურთიერთობის ბრუნვის არასტაციონარული ამოცანის ამოხსნის  
მიხედვითი მეთოდი ამოწმების ცვლადი სიჩქარისა და  
ელექტრობამბარობის ცვლადი კოეფიციენტის დროს მაგნიტური ველისა  
და თბობადაცემის ბათვალისწინებით..... 110

# CONTENTS

## AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL SCIENCES

- G. Kaishauri, N. Japarashvili.** THE RESULTS OF THE RESEARCH OF TECHNICO - CHEMICAL INDICES OF THE GRAPEFRUIT, CULTIVATED IN THE WEST GEORGIA..... 11

## BUSINESS, MANAGEMENT AND ACCOUNTING

- B. Barkalaia, Kh. Kurtanidze, Z. Kurtanidze.** PRINCIPLES OF TOURISM DEVELOPMENT IN PROTECTED AREAS..... 16

## CHEMICAL ENGINEERING

- T. Gagnidze, M. Tsverava.** TECHNOLOGICAL PROCESS OF WASHING AND NEUTRALIZATION FOR THE RESTORATION OF PAPER-BASED DOCUMENTS..... 22

## EARTH AND PLANETARY SCIENCES

- D. Rogava, D. Sirbiladze.** ON ENGINEERING AND GEOLOGICAL ASSESSMENT OF DEPRESSION..... 30

## ECONOMICS, ECONOMETRICS AND FINANCE

- D. Japaridze, I. Bichiashvili, N. Giorgishvili.** MEDIUM TERM PLANNING OF ENERGY RESOURCES OPTIMUM PRODUCTION IN GEORGIA ..... 42

## ENERGY

- M. Giuashvili.** DIAGNOSTICS OF PIEZOELECTRIC ACCELEROMETER TRANSDUCER ..... 55
- M. Tsetskhladze.** OPTIMIZATION OF DC ELECTRIC MOTOR CONTROL SYSTEM ..... 62
- G. Chachibaia, N. Samsonia, M. Gudiashvili.** IMPACT OF GEORGIAN PROJECT HYDROPOWER STATIONS ON CLIMATE CHANGE ..... 69
- T. Sabelashvili, M. Gudiashvili, M. Radmehr.** BIOMASS HEATING SYSTEM PROJECT..... 78

**ENGINEERING**

**R. Enageli, M. Gamtsemlidze, G. Javakhishvili.** OPTIMAL CONTROL SYSTEM FOR DIAPHRAGM  
JIGGING MACHINE ..... 84

**T. Megrelidze, T. Isakadze.** TRANSCRITICAL REFRIGERANT SYSTEMS ..... 92

**T. Megrelidze, T. Isakadze.** REDUCTION OF ENERGY EXPENDITURE IN THE PROCESS OF NATURAL  
GAS LIQUEFACTION BY THE DRIVES FOR REFRIGERATION COMPRESSORS ..... 97

**ENVIRONMENTAL SCIENCE**

**M. Soselia, Z. Kurtanidze.** MAIN DIRECTIONS OF ECOLOGIZATION OF ECONOMICS..... 104

**MATHEMATICS**

**L. Jikidze, V. Tsutskiridze.** UNSTEADY ROTATION PROBLEM OF THE MOTION INFINITE POROUS  
PLATE WITH THE FALLING STREAM OF THE CONDUCTIVE FLUID WITH ACCOUNT OF MAGNETIC  
FIELD AND HEAT TRANSFER IN CASE OF VARIABLE ELECTRIC CONDUCTIVITY AND  
INJECTION VELOCITY ..... 110



# СОДЕРЖАНИЕ

## АГРАРНЫЕ И БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Г.Н. Кайшаури, Н.А. Джапарашвили.** РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНО-ХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПЛОДОВ ГРЕЙПФРУТА, ВЫРАЩЕННЫХ В ЗАПАДНОЙ ГРУЗИИ ..... 11

## БИЗНЕС, УПРАВЛЕНИЕ И УЧЕТ

- Б.К. Баркалаиа, Х.Дж. Куртанидзе, З.Дж. Куртанидзе.** ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИНЦИПОВ ВЗАИМОЗАВИСИМОСТИ ТУРИЗМА И ОХРАНЯЕМЫХ ТЕРРИТОРИЙ..... 16

## ХИМИЧЕСКАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ И ТЕХНОЛОГИИ

- Т.О. Гагнидзе, М.К. Цверава.** ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС РЕСТАВРАЦИИ- ПРОМЫВКИ И НЕЙТРАЛИЗАЦИИ ДОКУМЕНТОВ НА БУМАЖНОЙ ОСНОВЕ ..... 22

## ЗЕМЛЯ И ПЛАНЕТАРНЫЕ НАУКИ

- Д.В. Рogaва, Д.З. Сирбиладзе.** К ВОПРОСУ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ДЕПРЕССИИ ..... 30

## ЭКОНОМИКА, ЭКОНОМЕТРИКА И ФИНАНСЫ

- Д.А. Джапаридзе, И.Р. Бичиашвили, Н.И. Гиоргишвили.** ОПТИМАЛЬНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ В ГРУЗИИ ПРОИЗВОДСТВА ЭНЕРГОРЕСУРСОВ В СРЕДНЕСРОЧНОМ РЕЖИМЕ ..... 42

## ЭНЕРГЕТИКА

- М.А. Гиуашвили.** ДИАГНОСТИКА ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ УСКОРЕНИЯ..... 55
- М.К. Цецхладзе.** ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ ПОСТОЯННОГО ТОКА..... 62
- Г.Р. Чачибаиа, Н.М. Самсония, М.Н. Гудиашвили.** ВЛИЯНИЕ ГРУЗИНСКИХ ПРОЕКТНЫХ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НА ГЛОБАЛЬНОЕ ПОТЕПЛЕНИЕ ..... 69
- Т.И. Сабелашвили, М.Н. Гудиашвили, М.Р. Радмер.** ПРОЕКТ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ НА БИОМАССЕ ..... 78

## **ИНЖЕНЕРИЯ**

<b>Р.П. Энагели, М.Н. Гамцемлидзе, Г.В. Джавахишвили. СИСТЕМА ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДИАФРАГМОВОЙ ОТСАДОЧНОЙ МАШИНОЙ.....</b>	<b>84</b>
<b>Т.Я. Мегрелидзе, Т.А. Исакадзе. ТРАНСКРИТИЧЕСКИЕ ХОЛОДИЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ.....</b>	<b>92</b>
<b>Т.Я. Мегрелидзе, Т.А. Исакадзе. ЭКОНОМИЯ ЭНЕРГОЗАТРАТ НА ПРИВОД КОМПРЕССОРОВ ДВУХСТУПЕНЧАТОЙ ПАРОВОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНЫ ПРИ СЖИЖЕНИИ ПРИРОДНОГО ГАЗА .....</b>	<b>97</b>

## **НАУКА ОБ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ**

<b>М.Дж. Соселия, З.Дж. Куртанидзе. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ЭКОЛОГИЗАЦИИ ЭКОНОМИКИ .....</b>	<b>104</b>
---	------------

## **МАТЕМАТИКА**

<b>Л.Р. Джикидзе, В.Н. Цуцкиридзе. ПРИБЛИЖЕННЫЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ЗАДАЧИ ВРАЩЕНИЯ БЕСКОНЕЧНОЙ ПОРИСТОЙ ПЛАСТИНЫ НАБЕГАЮЩИМ ПОТОКОМ ЖИДКОСТИ ПРИ ПЕРЕМЕННОЙ СКОРОСТИ ОТСОСА И КОЭФФИЦИЕНТА ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ С УЧЕТОМ МАГНИТНОГО ПОЛЯ И ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ .....</b>	<b>110</b>
--	------------

UDC 634. 323. 5

SCOPUS CODE 1101

## დასავლეთ საქართველოში მოყვანილი ბრეიკვარშტის ნაყოფის ტექნოქიმიური მაჩვენებლების კვლევის შედეგები

- გ. კაიშაური ბიოტექნოლოგიის ცენტრი. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი. საქართველო, 0197, თბილისი, სარაჯიშვილის 1ა  
E-mail: g.kaishauri@mail.ru
- ნ. ჯაფარაშვილი სამრეწველო ბიოტექნოლოგიის ს/ს ცენტრი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 77  
E-mail: nanajaf@mail.ru

### რეცენზენტები:

- ნ. ბეგიაშვილი, სტუ-ის კვების მრეწველობის ინსტიტუტის სამეცნიერო საბჭოს თავმჯდომარე, ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი  
E-mail: nana-begi@mail.ru
- ა. ხოტივარი, სტუ-ის კვების მრეწველობის ინსტიტუტის უფროსი მეცნიერი თანამშრომელი, ტექნიკის მეცნიერებათა აკადემიური დოქტორი  
E-mail: ani-barbakadze1@gmail.com

**ანოტაცია:** ნაშრომში მოცემულია დასავლეთ საქართველოში, კერძოდ ლანჩხუთის რაიონის საკარმიდამო ნაკვეთში მოყვანილი გრეიპფრუტის ნაყოფის ტექნოქიმიური მაჩვენებლების კვლევის შედეგები.

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

გამოკვლეულია გრეიპფრუტის ნაყოფის ქიმიური შედგენილობაც, კერძოდ მშრალი ნივთიერების, შაქრების (მონოსაქარიდები, საქაროზა), მთრიმლავი და მღებავი ნივთიერებების, ას-

კორბინის მჟავას შემცველობა, საერთო მჟავიანობა. დადგენილია, რომ გრეიპფრუტის ნაყოფი ხასიათდება კარგი სასაქონლო თვისებებით. მისი რბილობი გამოირჩევა მაღალი მჟავიანობით (3,27 % ლიმონმჟავაზე გადაანგარიშებით) და ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერების – ასკორბინის მჟავას მაღალი შემცველობით (43,11·10<sup>-3</sup> %).

**საპზანძო სიტყვები:** ბიოქიმიური შემცველობა; გრეიპფრუტი; მექანიკური შედგენილობა; ტექნიკური მაჩვენებლები.

### შესავალი

დღეს დიდი მნიშვნელობა ენიჭება ადგილობრივი გამოუყენებელი მცენარეული ნედლეულის ბაზის შესწავლასა და ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებებით მდიდარი კულტურების გამოვლენას.

საქართველოს მასშტაბით ასეთი ნედლეული გრეიპფრუტია. ქიმიური შედგენილობის გამო ის ეფექტური მატონიზებელი და ანტიდეპრესიული საშუალებაა, აქვს დიეტური, სამკურნალო და სხვა თვისებები, თუმცა გასტრიტის, კოლიტის, კუჭისა და თორმეტგოჯა ნაწლავის წყლულოვანი დაავადებების, ასევე თირკმლების უკმარისობის დროს მისი გამოყენება არ არის მიზანშეწონილი; ასევე დაუშვებელია მისი გამოყენება სამკურნალო პრეპარატების მიღებისას.

გრეიპფრუტის კანს იყენებენ: საკონდიტრო მრეწველობაში, სხვადასხვა ნაყენის დასამზადებლად, პექტინისა და ეთერზეთის მისაღებად, ცედრიდან მიღებულ ეთერზეთს კი – შარდმდენად, ანტისეპტიკურ საშუალებად, საკონდიტრო წარმოებასა და სხვ. კანში შემცველი P ვიტამინი კბილებსა და ღრძილებს სიჯანსაღეს უნარჩუნებს.

გრეიპფრუტის ალბედოში შემავალი სიმსივნის საწინააღმდეგო აგენტები უზრუნველყოფს კუჭის, კუჭქვეშა და წინამდებარე ჯირკვლის კიბოს პროფილაქტიკას, განაპირობებს სისხლში ქოლესტერინის შემცირებას.

გრეიპფრუტი ანუ როგორც მას უწოდებენ „სამოთხის ციტრუსი“, წარმოადგენს ფორთოხლისა და პომპელმუსის ჰიბრიდს. გრეიპფრუტი კულტურებში მე-19 საუკუნეში იქნა შემოღებული. საქართველოში ძირითადად აჭარასა და აფხაზეთში გვხვდება. გრეიპფრუტის გავრცელებული ჯიშებია: დუნკანი, უთესლო მერში, საიუბილეო, ფოსტერი და სხვ.

გრეიპფრუტის ნაყოფი შეიცავს (%): 88,8 – 90 წყალს, 6,5 – 8,7 ნახშირწყლებს (მ.შ. 3,8 – 7,4 შაქრებს), 1,2 – 2,4 ორგანულ მჟავებს (ჭარბობს ლიმონმჟავა), 9,19 – 19,04 პექტინოვანი და მღებავ ნივთიერებებს, ვიტამინებს – 33,8 – 60,0 C ვიტამინი; (0,02 – 0,03 β-კაროტინი; 0,04 – 0,05 B<sub>1</sub>; 0,02 – 0,03 B<sub>2</sub>; 0,04 B<sub>6</sub>; 0,03 მგ% B<sub>3</sub> და B<sub>5</sub> და

სხვ.), მინერალურ ნივთიერებებსა (184 – 197 K, 23 – 34 Ca, 10 – 13 Na, 18 – 23 P, 0,5 Fe, 0,2მგ Zn, 2მკგ I და სხვ.) და სხვ. თუმცა მასში მცირე რაოდენობით გვხვდება ცილები (0,7%) და ცხიმები (0,2%). ნაყოფის კალორიულობაა 29 – 40 კკალ.

გრეიპფრუტის ნაყოფს იყენებენ ნედლი სახით, აშრობენ, ამზადებენ: მურაბას, წვეწვს, ლიქიორს, ჯემსა და სხვ. [1–5].

საქართველოს პირობებში მოყვანილი გრეიპფრუტის ჯიშებისა და მათი გადამამუშავების პროდუქტების ქიმიური შედგენილობის შესახებ მონაცემები მწირია.

### ძირითადი ნაწილი

კვლევის მიზანი იყო გრეიპფრუტის ნაყოფის ტექნოქიმიური მაჩვენებლების შესწავლა.

კვლევის ობიექტი იყო დასავლეთ საქართველოში, კერძოდ ლანჩხუთის რაიონის საკარმიდამო ნაკვეთში მოყვანილი გრეიპფრუტის ნაყოფები.

კვლევის სტანდარტული მეთოდებით ვიკვლევდით ნაყოფის ორგანოლექტიკურ და ტექნიკურ მაჩვენებლებს, მექანიკურ შედგენილობასა და ბიოქიმიურ შემცველობას [6, 7].

კვლევებმა გვიჩვენა, რომ ნაყოფებს ჰქონდა მომრგვალო ფორმა (ფორმის ინდექსი 0,75) და ხორკლიანი ზედაპირი, ნარინჯისფერი კანი და ღია ყვითელი წვნიანი რბილობი, მომჟავო გემო და ციტრუსისთვის დამახასიათებელი არომატი.

რბილობი შეადგენდა ნაყოფის საერთო მასის 69,6%-ს, კანი – 4,4%-ს, ალბედო – 21,7%-ს, ხოლო თესლი – 4,3%-ს. ნაყოფში საშუალოდ 20 თესლი იყო.

გრეიპფრუტის ნაყოფების ტექნიკური მაჩვენებლების კვლევის შედეგები მოცემულია პირველ ცხრილში.

**გრეიპფრუტის ნაყოფების საშუალო ტექნიკური მაჩვენებლები**

მასა, გ	მოცულობა, სმ <sup>3</sup>	კუთრი წონა, გ/სმ <sup>3</sup>	წრფივი ზომები, მმ		ფორმის ინდექსი
			სიმაღლე	დიამეტრი	
260	235	1,1	53,8	71,4	0,75

ორგანოლექტიკური და ტექნიკური მაჩვენებლების, ასევე მექანიკური შედგენილობის გარდა გამოვიკვლიეთ გრეიპფრუტის ნაყოფის ბიოქი-

მიური შემცველობა. კვლევის შედეგები მოცემულია მე-2 ცხრილში.

**გრეიპფრუტის ნაყოფის ქიმიური შემცველობა, %**

სხნადი მშრალი ნივთიერება	შაქრები			საერთო მჟავიანობა (ლიმონმჟავაზე გადაანგარიშებით)	ასკორბინის მჟავა, •10 <sup>-3</sup>	მთრიმლავი და მღებავი ნივთიერებები
	საერთო	მონოსაქარიდები	საქაროზა			
11	5,9	4,46	1,44	3,27	43,11	0,042

გრეიპფრუტის ნაყოფის ბიოქიმიური შემცველობის შესწავლის შედეგად დადგენილია, რომ ნაყოფი გამოირჩევა მშრალი ნივთიერების დიდი შემცველობით (11%). ნაყოფში შაქრებიდან ჭარბობს მონოსაქარიდები.

ლიტერატურული მონაცემების ანალოგიურად გრეიპფრუტის რბილობი გამოირჩევა მაღალი მჟავიანობით 3,27% (ლიმონმჟავაზე გადაანგარიშებით) და C ვიტამინის დიდი შემცველობით (43,11•10<sup>-3</sup> %), უმნიშვნელო რაოდენობით (0,042%) შეიცავს მთრიმლავ და მღებავ ნივთიერებებს.

ამრიგად, ჩვენ მიერ შესწავლილი გრეიპფრუ-

ტის ნაყოფი ხასიათდება კარგი ორგანოლექტიკური თვისებებით, მშრალი ნივთიერებისა და C ვიტამინის დიდი შემცველობით.

**დასკვნა**

ჩატარებული კვლევების საფუძველზე შეიძლება გამოვიტანოთ შემდეგი დასკვნა:

1. შესწავლილი გრეიპფრუტის ნაყოფი ხასიათდება კარგი სასაქონლო თვისებებით.
2. ნაყოფში ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერების (C ვიტამინის) შემცველობა 43,11•10<sup>-3</sup> %-ს შეადგენს.

**ლიტერატურა**

1. G. Chkhaidze. The subtropical cultures. Tb.1996. 531 p. (in Georgian).
2. N. Kekenadze, N. Janakashvili, G. Fishman. Essential oil of grapefruit cultivated in the Georgian SSR //The chemistry of natural connection. 1985. №1. (in Russian).
3. S. Sokolov, I. Zamotaev. Reference book on medicinal herbs (phytotherapy). 3-rd publ. M.: Meditsina. 1990. 464 p. (in Russian).

4. G. Kaishauri. The results of study of grapefruit chemical composition. International Scientific-Practical Conference “Actual Problems and Modern Technologies of Food Products”. Collection of Works. Kutaisi. Akaki Tsereteli State University. 2014, 53-55 pp. (in Georgian).
5. G. Kaishauri. The Medical importance and usage of Grapefruits. Scientific-informative magazine “Akhali agraruli Sakartvelo”. Tbilisi. 2015. 1 (45). 28–29 pp. (in Georgian).
6. Methodological manual for chemical-engineering strain testing of vegetables, fruits and berries for canned industry. M. 1977. 198 p. (in Russian).
7. V. Pleshkov. Practicum on Plant Biochemistry. M.: Kolos. 1976. 256 p. (in Russian).

**UDC 634. 323. 5**

**SCOPUS CODE 1101**

### **THE RESULTS OF THE RESEARCH OF TECHNICO - CHEMICAL INDICES OF THE GRAPEFRUIT, CULTIVATED IN THE WEST GEORGIA**

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

**N. Japarashvili** Educational-scientific industrial biocotechnology centre, Georgian Technical University, 77 M. Kostava str., 0175 Tbilisi, Georgia  
E-mail: nanajaf@mail.ru

#### **Reviewers:**

**N. Begiashvili**, Doctor of Technical Sciences, Chairman of Scientific Board of the Institute of Food Industry, GTU  
E-mail: nana-begi@mail.ru

**A. Khotivari**, PhD of Technical sciences, Senior scientific worker at the Institute of Food Industry, GTU  
E-mail: ani-barbakadze1@gmail.com

**ABSTRACT.** This work represents the results of the research of technico - chemical indices of the grapefruits, cultivated in Lanchkhuti, city in western Georgian region.

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

Chemical composition of grapefruits is studied as well, including dry matters, sugars (monosaccharides and sacharose), tanning and colouring matters, ascorbic acid, total acidity.

Research outcomes indicate that the grapefruit is characterized as a good commodity. Soft mass is distinguished by its high acidity (3,27 % calculated on lemon acid) and by high contents of biologically active matters – ascorbic acid ( $43,11 \cdot 10^{-3} \%$ ).

**KEY WORDS:** Biochemical composition; grapefruit; mechanical contents; technical indices.

UDC 634. 323. 5  
SCOPUS CODE 1101

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНО-ХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПЛОДОВ ГРЕЙПФРУТА, ВЫРАЩЕННЫХ В ЗАПАДНОЙ ГРУЗИИ

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

**Джапарашвили Н.А.** Научный центр промышленной биоэкологии, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава, 77  
E-mail: nanajaf@mail.ru

### Рецензенты:

**Н. Бегишвили**, доктор технических наук, председатель научного совета Института пищевой промышленности ГТУ

E-mail: nana-begi@mail.ru

**А. Хотивари**, акад. доктор технич. наук, ст. научный сотрудник Института пищевой промышленности ГТУ

E-mail: ani-barbakadze1@gmail.com

**АННОТАЦИЯ.** Приведены результаты исследования плодов грейпфрута. Плоды выращены в Западной Грузии, в частности, на приусадебном участке Ланчхутского района.

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

Из биохимических показателей определяли содержание растворимых сухих веществ, сахаров (моносахаров и сахарозы), дубильных и красящих веществ, аскорбиновой кислоты, а также общую кислотность.

Установлено, что плоды характеризуются хорошими товарными свойствами. Кислотность плодов высокая – 3,27% в пересчете на лимонную кислоту. В мякоти плодов грейпфрута содержится значительное количество биологически активного вещества, в частности аскорбиновой кислоты (43,11·10<sup>-3</sup> %).

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

UDC 796.51

SCOPUS CODE 1409

## ტურიზმისა და დაცული ტერიტორიების ურთიერთდამოკიდებულების პრინციპების განსაზღვრა

- ბ. ბარკალაია** ბიზნესის ადმინისტრირების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 77  
E-mail: beso2851@yahoo.com
- ხ. კურტანიძე** ბიზნესის ადმინისტრირების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 77  
E-mail: khatuna.kurtanidze@mail.ru
- ზ. კურტანიძე** ბიზნესის ადმინისტრირების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 77  
E-mail: zazakurtanidze@gmail.com

### რეცენზენტები:

**თ. როსტიაშვილი**, სტუ-ის ბიზნეს-ინჟინერინგის ფაკულტეტის ბიზნესის ადმინისტრირების დეპარტამენტის ასოცირებული პროფესორი

E-mail: tamar\_rostiasvili@mail.ru

**ნ. ნადარეიშვილი**, სტუ-ის ბიზნეს-ინჟინერინგის ფაკულტეტის ბიზნესის ადმინისტრირების დეპარტამენტის ასოცირებული პროფესორი

E-mail: n.nadareish3005@gmail.com

**ანოტაცია:** სტატიაში განხილულია დაცულ ტერიტორიებზე ტურიზმის განვითარების ძირითადი პრინციპები. კერძოდ, თუ როგორი ჰარმონიული დამოკიდებულება შეიძლება ჩამოყალიბდეს ტურიზმის განვითარებასა და დაცულ ტერიტორიებს შორის, რომელიც კავშირშია ბიოლოგიური რესურსების შენარჩუნებასთან, წყალმარეგულირებელ მნიშვნელობასთან, ნიადაგის დაცვასთან, კლიმატის სტაბილიზებასთან, გენეტიკური რესურსების დაცვასთან, რეკრეაციული საქმიანობის განვითარებასთან, მძლავრი ინფრასტრუქტურის ბაზაზე სამუშაო ადგილების შექმნასთან, ჯანმრთელი და უსაფრთხო სასიცოცხ-

ლო ბუნებრივი გარემოს არსებობასთან, ტრადიციული ფასეულობების და ეკოლოგიური წონასწორობის შენარჩუნებასთან, საგანმანათლებლო, მათ შორის ეკოლოგიური შეგნების ამაღლების ხელშეწყობას შორის. რა წინამძღვრებია საჭირო ეკოტურიზმის განვითარებისათვის და როგორი ფორმით უნდა წარიმართოს იგი. როგორია დაცულ ტერიტორიებზე ეკოტურიზმის განვითარებით გამოწვეული მოსალოდნელი შედეგები და მთლიანობაში ადგილობრივი მოსახლეობის მიერ სარგებლის მიღება.

**საკვანძო სიტყვები:** განათლება; ეკოლოგია; კულტურა; რესურსი; ტურიზმი.



**შესავალი**

ბუნების გლობალური დაბინძურების შესაკავებლად და სასიცოცხლო გარემოს შესანარჩუნებლად აუცილებელი ხდება დედამიწის სულ უფრო მეტი ნაწილის ბუნებრივი ტერიტორიის სახით გამოყოფა, დაცვა და მისი მდგრადი, ეკონომიკური გამოყენება. ასეთ ბუნებრივ ტერიტორიებს მნიშვნელოვანი წვლილი შეაქვს საზოგადოების განვითარებაში, ბუნებრივი და კულტურული მემკვიდრეობის გადარჩენაში, ეკოლოგიური წონასწორობის შენარჩუნებასა და ქვეყნის თუ რეგიონის სოციალურ-ეკონომიკური მდგომარეობის გაუმჯობესებაში.

ცივილიზაციის განვითარების დღევანდელ ეტაპზე მსოფლიოში აჩქარებული ტემპებით ვითარდება ტურიზმი, რომლის სამეურნეო ბრუნვაში ჩართულია ბუნებრივი თუ კულტურული კომპლექსები, მეურნეობის დარგები და ეკონომიკურად აქტიური მოსახლეობის მნიშვნელოვანი ნაწილი. ამიტომ, მეტად მნიშვნელოვანია ბუნებრივ საარსებო გარემოში ადამიანის მიერ ბუნებრივი რესურსების რაციონალური გამოყენება, რაც მიიღწევა ბუნებრივ ტერიტორიებზე ეკოტურიზმის განვითარებით.

ტურიზმს, როგორც მეურნეობის დარგს, ბუნებრივი რესურსების გამოყენების აშკარად გამოსატყობი ორიენტაცია აქვს. სხვა სამეურნეო დარგებისაგან განსხვავებით, რომელთა პროდუქცია ტრანსპორტით მიდის მომხმარებელამდე, ტურიზმი, პირიქით, ხელს უწყობს ადამიანის გადაადგილების მძლავრ მისწრაფებას რეკრეაციული რესურსების თავმოყრის ადგილებისაკენ. ტურისტული რესურსების მოხმარება მათი ლოკალიზაციის ცენტრებში ხდება, მაგრამ არა „ამოღების“ გზით. ტურიზმი ხშირად ბუნებრივი რესურსებით სარგებლობის პიონერად გვევლინება და სამეურნეო ბრუნვაში ითრევს ადრე გამოუყენებელ ბუნებრივ კომპლექსებსა და მათ ელემენტებს: მაღალ და მიუვალ მთებს, გამოქ-

ვაბულებსა და მღვიმეებს, მდინარეებსა და ტბებს, ეგზოტიკურ და უნიკალურ ლანდშაფტს და სხვა.

ტურიზმი, მსოფლიო გლობალურ სივრცეში, თავისი ინტერესების ორბიტაში სულ უფრო ახალ და რეკრეაციულად ჯერ კიდევ აუთვისებელ ტერიტორიებს აქცევს. ამიტომ, ბევრ დადებითთან ერთად, მას გარკვეული საფრთხეც მოაქვს, ეს ეხება ტურისტების მიმღები ქვეყნების მოსახლეობის კულტურას, ფსიქიკას და ბუნებას. ეს უკანასკნელი, რომელსაც ბევრი სპეციალისტი ეკოლოგიურ კატასტროფას უწინასწარმეტყველებს, გადარჩენის და დაცვის გადაუდებელ ღონისძიებებს ითხოვს. მათგან ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ღონისძიება კი დაცული ტერიტორიების ფართო ქსელის შექმნას გულისხმობს. ბევრ, სხვადასხვა სასიკეთო ფუნქციასთან ერთად (ბიოლოგიური რესურსების შენარჩუნება, წყალმარეგულირებელი მნიშვნელობა, ნიადაგის დაცვა, კლიმატის სტაბილიზება, გენეტიკური რესურსების დაცვა, რეკრეაციული საქმიანობის განვითარება, მძლავრი ინფრასტრუქტურის ბაზაზე სამუშაო ადგილების შექმნა, ჯანმრთელი და უსაფრთხო სასიცოცხლო ბუნებრივი გარემოს, ტრადიციული ფასეულობების და ეკოლოგიური წონასწორობის შენარჩუნება, საგანმანათლებლო, მათ შორის ეკოლოგიური შეგნების ამაღლების ხელშეწყობა და სხვ.), მისი ერთ-ერთი დანიშნულება, ტურიზმის მოწესრიგებულ განვითარებასაც ითვალისწინებს ეკოტურიზმის ჩარჩოებში.

**ძირითადი ნაწილი**

ტურიზმის სახეობებს შორის ერთ-ერთი ყველაზე გავრცელებული და პოპულარულია ბუნებრივი ტურიზმის კონტროლირებადი ფორმა – ეკოტურიზმი. მისი საფუძველია ბუნების შეცნობა, სადაც მთავარია ბუნების შედარებით ხელუხლებელ ზონებში განსაზღვრული რაოდენ-

ნობის ტურისტთა მოგზაურობის ორგანიზება იმ ადგილების მონახულების მიზნით, რომელიც კულტურულ-შემეცნებით ინტერესს იწვევს. ძირითადი აქცენტი კეთდება ბუნებისადმი სათუთ დამოკიდებულებასა და ბუნებრივი რესურსების გააზრებულ გამოყენებაზე მათი აღდგენის, მოვლის და დაცვის მიზნით. იგი განსხვავდება მასობრივი ტურიზმისაგან და გამოირჩევა სპეციფიკური ტურისტული რესურსების (უნიკალური და ნაკლებად შეცვლილი ბუნების, კულტურული ობიექტების) მდგრადი გამოყენებით, რეგიონების სოციალურ-ეკონომიკური განვითარების ხელშეწყობით და ეკოლოგიური განათლების ორგანიზაციით.

ეკოლოგიური ტურიზმი გაიაზრება როგორც დასვენების, ბუნებაში მოგზაურობის, საგანმანათლებლო, სათავგადასავლო, შემეცნებით-კულტურული და ეკონომიკურ საქმიანობათა ერთობლიობა, რომლის ზეგავლენა საზოგადოების ცხოველქმედებაზე მეტად მნიშვნელოვანი და სწრაფმზარდია. პრაქტიკულად, ყოველდღიურად ფართოვდება მისი სტრუქტურულ-ფუნქციური დიფერენციაცია, გავრცელების გეოგრაფია, დამთვალიერებელთა და რეკრეანტთა მომსახურების რიცხოვნობა, ძლიერდება მისი როლი კულტურული და ეკონომიკური ურთიერთობის განმტკიცებაში. ამიტომაც, ნებისმიერი ქვეყანა ცდილობს სრულყოფილად გამოიყენოს თავისი გეოგრაფიული მდებარეობა, ბუნებრივ-რეკრეაციული, კულტურული და დემოგრაფიულ-ეკონომიკური რესურსების პოტენციალი, აქტიურად ჩაერთოს სოციალურ-ეკონომიკურად ხელსაყრელ მსოფლიო სისტემაში.

ეკოტურიზმის წარმატებული განვითარება დიდად არის დამოკიდებული როგორც დაუზიანებელი ბუნების არსებობაზე, ისე გარემოს დაცვის კარგ ორგანიზაციაზე. ამ ორი ძირითადი ფაქტორის გარეშე ტურიზმის აღნიშნული სახეობა თავის ფუნქციას კარგავს, ამიტომაც მისი

ყველაზე მდგრადი განვითარება მიიღწევა ბუნებრივ-ტერიტორიულ კომპლექსებში ანუ ეროვნულ პარკებში, სადაც ცალ-ცალკეა განსაზღვრული ტურისტული და დაცვითი, ბუნებრივი და ეთნოგრაფიულ-კულტურული ზონების ფუნქციები. ეკოტურიზმს შეუძლია თვითონ გამოიმუშაოს სახსრები ბუნების დაცვისა და ეთნოგრაფიულ-კულტურული თავისებურებების შესანარჩუნებლად, რაც, თავის მხრივ, უზრუნველყოფს ტურისტული რესურსების აღდგენა-განახლებასაც.

ეკოტურიზმი ხელს უწყობს ქვეყნის რეგიონების სოციალურ-ეკონომიკურ განვითარებას, იძლევა ეკონომიკური ზრდისა და ბუნების დაცვის შეთავსების საშუალებას, რაც განსაკუთრებით აქტუალურია განვითარებადი ქვეყნებისათვის, სადაც მეურნეობის გაძლიერების ტრადიციული მეთოდები ნაკლებეფექტიანია და რესურსების მნიშვნელოვან დეგრადაციას იწვევს. ეკოტურიზმის განვითარებას ტურიზმის ინფრასტრუქტურის, მასთან დაკავშირებული სამეურნეო დარგების განვითარება და, შესაბამისად, ახალი სამუშაო ადგილების შექმნა მოჰყვება.

ბუნებრივი რესურსების გამოყენება ტურისტული მიზნებისათვის განსხვავდება სხვა სახის ბუნებრივი რესურსების გამოყენებისაგან, რაც ძირითადად ეყრდნობა ამოღების წესს, რის შედეგადაც მნიშვნელოვნად ზიანდება როგორც ლანდშაფტი, ისე ეკოსისტემები.

ტურისტული ბუნებრივი რესურსების ძირითადი გამოყენება ხდება:

- ა) ადამიანის მიერ მიმზიდველი ბუნებრივი ობიექტების დათვალიერებით (ვიზუალური შეხება გარემოსთან);
- ბ) ბუნებრივ ლანდშაფტზე ადამიანის მოძრაობის შედეგად გარკვეული ფიზიკური ზემოქმედებით (გადაადგილება);

პირველ შემთხვევაში ბუნებრივ რესურსებზე ზეგავლენა არ არსებობს, მეორე შემთხვევაში – გარკვეულწილად არსებობს. სხვა დარგებისაგან

განსხვავებით, ტურიზმის რეგლამენტირებული გამოყენებისას მცირდება ნეგატიური ფიზიკური ზეგავლენა რესურსებზე, რაც გარკვეულწილად ხელს უწყობს რესურსების კვლავწარმოების ბუნებრივ პროცესს.

ეკოტურიზმის განვითარება იძლევა ეკონომიკური ზრდისა და ბუნების დაცვის შეთავსების საშუალებას, რაც განსაკუთრებით აქტუალურია განვითარებადი ქვეყნებისათვის, სადაც მეურნეობის გაძღობის ტრადიციული მეთოდები ნაკლებეფექტიანია და რესურსების მნიშვნელოვან დეგრადაციას იწვევს.

ბუნებრივ ტურიზმს დადებითი ზეგავლენის მოხდენა შეუძლია ეკოლოგიაზე. კერძოდ, მას შეუძლია იზრუნოს გარემოს გაუმჯობესებაზე, რადგან ტურისტებს მოსწონთ მიმზიდველი, სუფთა და დაუბინძურებელი ადგილების ნახვა. ტურიზმი სტიმულირებს უკეთეს გარემოს დასუფთავებას, აკრძალვებით და საქმიანობით ზღუდავს საპაეო, წყლის, ხმაურის და ესთეტიკურ დაბინძურებას; ხელს უწყობს ლანდშაფტების გადატვირთვის შემცირებას და მათი გარეგნული სახის გაუმჯობესებას სათანადო დაპროექტების და მშენებლობის გზით. თვით მისი ობიექტები, თუკი ისინი კარგად არის განლაგებული და დაპროექტებული, ამშვენებს როგორც საქალაქო, ისე სასოფლო ლანდშაფტებს. გარემოს ხარისხობრივ გაუმჯობესებას ხელს უწყობს აგრეთვე ტურისტული ინფრასტრუქტურის სრულყოფა, განსაკუთრებით წყალმომარაგების, კანალიზაციის და მყარი ნარჩენების მოშორების სფეროში. მნიშვნელოვანია, აგრეთვე, მისი როლი ადგილობრივი მოსახლეობის, განსაკუთრებით ახალგაზრდების, ეკოლოგიური განათლების დონის ამაღლებაში. ხედავს რა ტურისტების დაინტერესებას გარემოს დაცვისადმი, მოსახლეობა უკეთ გრძნობს და ითვისებს მშობლიურ რაიონში ამ საკითხის მნიშვნელობას და ბუნებაზე ზრუნვის აუცილებლობას.

ასევე, მრავალმხრივ საყურადღებოა ტურიზმის სოციალურ-ეკონომიკური ზეგავლენა ეროვნული პარკების არსებობაზე. ბევრ, დიდი ფართობის მქონე განვითარებად ქვეყანაში ისინი შეიქმნა არა მარტო ბუნების დაცვის, არამედ ტურიზმის, როგორც ეკონომიკურად შემოსავლიანი დარგის განვითარების მიზნით. უფრო პატარა ქვეყნებში (მათ რიცხვს საქართველოც ეკუთვნის), სადაც ლამაზი ბუნებრივი ლანდშაფტები, იშვიათი მცენარეულობა და ფაუნის პოპულაციებია, ეროვნული პარკები ძირითადად ეკოსისტემების დასაცავად და ბუნებრივი გარემოს შესანარჩუნებლად გაიხზება. ამ შემთხვევაში ტურიზმი ასრულებს დამხმარე, მაგრამ აუცილებელი როლის როლს, საიდანაც მიღებული შემოსავლის ნაწილი შელახული ეკოსისტემების აღდგენას და დაცვას უნდა მოხმარდეს.

საქართველოში ეკოტურიზმის განვითარებისათვის დიდი გამოყენებელი პოტენციალი არსებობს. ეკოტურიზმის მომავალ განვითარებას ემსახურება როგორც დაცული ბუნებრივი ტერიტორიების ახალი კონცეფციის ამოქმედება და მასთან კავშირში ეროვნული პარკების ფორმირების საორგანიზაციო ღონისძიებები, ისე ნებისმიერი ბუნებრივი ტერიტორიის გამოყენება ტურისტული თვალსაზრისით. ასეთ ტერიტორიებზე ეკოტურიზმის განვითარება მნიშვნელოვნად შეუწყობს ხელს როგორც ბუნებრივი რესურსების აღდგენა-განახლებას, ისე ჩამორჩენილი რეგიონების სოციალურ-ეკონომიკური მდგომარეობის გაუმჯობესებას.

**დასკვნა**

ამრიგად, ეკოტურიზმი (ბუნებრივი ტურიზმის კონტროლირებადი ფორმა) გაიხზება როგორც ბუნებაში დასვენებისა და მოგზაურობის, ისე საგანმანათლებლო, შემეცნებით-კულტურულ და ეკონომიკურ საქმიანობათა ისეთი ურთიერთობა, რომელიც აქტიურ ზეგავლენას ახდენს საზო-

გადოების ცხოველქმედებაზე; განვითარებად ქვეყნებში, სადაც მეურნეობის გაძლიერების ტრადიციული მეთოდები ნაკლებეფექტიანია, ეკოტურიზმი ხელს უწყობს ინფრასტრუქტურული პროექტებისა და დასაქმების განვითარებას; ეკოტურიზმს შეუძლია დადებითი ზეგავლენის მოხდენა გარემოზე, სადაც სტიმულირებას უკეთებს გარემოს დასუფთავებას და ზღუდავს სხვადასხვა

სახის დაბინძურებას; ეკოტურიზმი ხელს უწყობს გარემოს პოპულაციების (ფლორა, ფაუნა) შენარჩუნებას; დაცული ტერიტორიების სისტემების განვითარება მნიშვნელოვნად უწყობს ხელს როგორც ჩამორჩენილი რეგიონების სოციალურ-ეკონომიკურ მდგრად, მნიშვნელოვან გაუმჯობესებას, ისე ქვეყნის მასშტაბით ეკოლოგიური წონასწორობის შენარჩუნებას.

### ლიტერატურა

1. B. Barkalaia, V. Neidze. Tourism and national parks. Tbilisi, WWF. 1999. (in Georgian).
2. B. Barkalaia. Tourism potential of Borjomi-Kharagauli National Park. Tbilisi, WWF. 2001. (in Georgian).
3. B. Barkalaia. Ecotourism and population. Tbilisi, WWF and CEPF. 2005. (in Georgian).

UDC 796.51

SCOPUS CODE 1409

## PRINCIPLES OF TOURISM DEVELOPMENT IN PROTECTED AREAS

- B. Barkalaia** Department of Business Administration, Georgian Technical University, 77 M. Kostava str., 0175 Tbilisi, Georgia  
E-mail: beso2851@yahoo.com
- Kh. Kurtanidze** Department of Business Administration, Georgian Technical University, 77 M. Kostava str., 0175 Tbilisi, Georgia  
E-mail: khatuna.kurtanidze@mail.ru
- Z. Kurtanidze** Department of Business Administration, Georgian Technical University, 77 M. Kostava str., 0175 Tbilisi, Georgia  
E-mail: zazakurtanidze@gmail.com

### Reviewers:

- T. Rostishvili**, Associate Professor, Department of Business Administration, Faculty of Business Engineering, GTU  
E-mail: tamar\_rostishvili@mail.ru
- N. Nadareishvili**, Associate Professor, Department of Business Administration, Faculty of Business Engineering, GTU  
E-mail: n.nadareish3005@gmail.com

**ABSTRACT.** The article refers to the basic principles of the development of tourism in protected areas, considering harmonious relationship within the development of tourism and protected areas. Such relationship includes maintenance of biological resources, importance of water supply regulation, soil protection, climate stabilization, protection of genetic resources, recreational activities development, creation of new workplaces within relevant infrastructure, securing a healthy natural environment, ecological balance as well as traditional values and promotion

of educational and environmental awareness among the people. The article considers preconditions for the development of ecotourism in protected areas and expected impact and benefits as well.

**KEY WORDS:** ecology; tourism; culture; resource; education.

---

**UDC 796.51**

**SCOPUS CODE 1409**

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИНЦИПОВ ВЗАИМОЗАВИСИМОСТИ ТУРИЗМА И ОХРАНЯЕМЫХ ТЕРРИТОРИЙ**

- Баркалаია Б.К.** Департамент бизнес-администрирования, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава, 77  
E-mail: beso2851@yahoo.com
- Куртанидзе Х.Дж.** Департамент бизнес-администрирования, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава, 77  
E-mail: khatuna.kurtanidze@mail.ru
- Куртанидзе З.Дж.** Департамент бизнес-администрирования, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава, 77  
E-mail: zazakurtanidze@gmail.com

### **Рецензенты:**

**Т. Ростиашвили**, ассоц. профессор Департамента бизнес-администрирования факультета бизнес-инженеринга ГТУ

E-mail: tamar\_rostiasvili@mail.ru

**Н. Надареишвили**, ассоц. профессор Департамента бизнес-администрирования факультета бизнес-инженеринга ГТУ

E-mail: n.nadareish3005@gmail.com

**АННОТАЦИЯ.** Рассмотрены основные принципы развития туризма в охраняемых районах. В частности, исследуется какого рода гармоничные отношения могут быть сформированы при развитии туризма на охраняемой территории. Это связано с биологическими ресурсами, важностью охраны почв, генетической защитой ресурсов, рекреационной деятельностью для развития сильной базы инфраструктуры, а также с созданием новых рабочих мест.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** охраняемая территория; ресурсы; мероприятия; туризм.

UDC 661.29

SCOPUS CODE 1501

## ქაღალდსაფუძვლიანი დოკუმენტის რესტავრაციის – ბარმცხვა- ნეიტრალიზაციის ტექნოლოგიური პროცესი

- თ. გაგნიძე** ქიმიური და ბიოლოგიური ტექნოლოგიების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 69  
E-mail: tamriko.gagnidze@gmail.com
- მ. წვერავა** ქიმიური და ბიოლოგიური ტექნოლოგიების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 69  
E-mail: maiatsverava@yahoo.com

### რეცენზენტები:

- ლ. გვასალია**, სტუ-ის ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის ქიმიური და ბიოლოგიური ტექნოლოგიების დეპარტამენტის პროფესორი, ტექნიკურ მეცნიერებათა დოქტორი  
E-mail: l.gvasalia@gtu.ge
- რ. კლდიაშვილი**, სტუ-ის ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის ქიმიური და ბიოლოგიური ტექნოლოგიების დეპარტამენტის სრული პროფესორი  
E-mail: rezokdiashvili@yahoo.com

**ანოტაცია:** საარქივო დოკუმენტების დაცვისა და შენახვის სფეროში რესტავრაცია-კონსერვაციას წამყვანი როლი ეკისრება. მოცემული სტატია ქაღალდსაფუძვლიანი დოკუმენტების რესტავრაციის უმნიშვნელოვანესი საკითხის – გარეცხვა-ნეიტრალიზაციის პროცესის სამეცნიერო კვლევას ეხება. შემუშავებულია დოკუმენტის გარეცხვა-ნეიტრალიზაციის ახალი, ხუთსაფეხურიანი ტექნოლოგიური სქემა. მისი საშუალებით შესაძლებელია როგორც მერქნის, ისე ჩერის ცელულოზისაგან დამზადებული ქაღალდის დოკუმენტების დამუშავება. პროცესი მოითხოვს ქიმიური რეაქტივების მინიმალურ ხარჯს, რაც მის დიდ ეკონომიკურ ეფექტს განაპირობებს. მისი წარმართვისათვის არ არის საჭირო ძვირად ღირებული ლაბორატორიული აღჭურვილობა, იგი შე-

საძლოა წარმართოს ნებისმიერ საშუალო დონის სარესტავრაციო ლაბორატორიაში.

**საკვანძო სიტყვები:** გარეცხვა-ნეიტრალიზაცია; კონსერვაცია; რესტავრაცია; ქაღალდსაფუძვლიანი დოკუმენტი.

### შესავალი

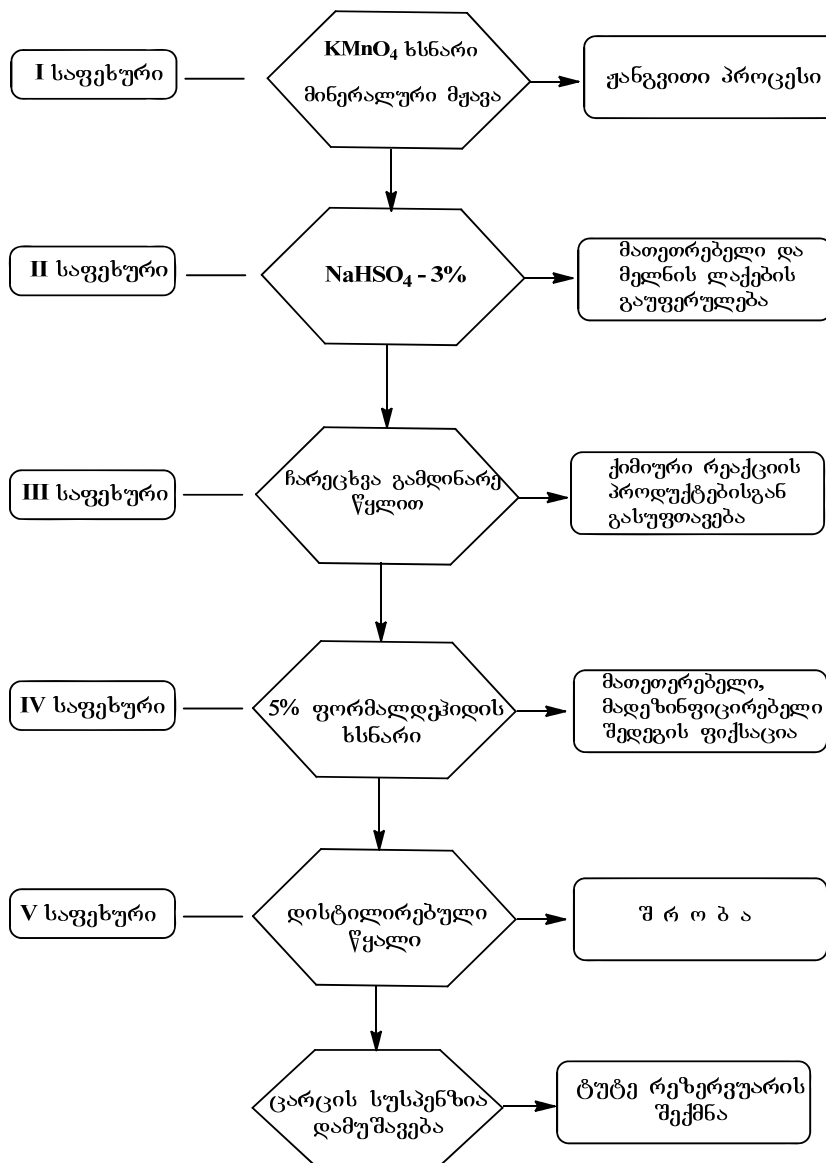
რესტავრაცია-კონსერვაციას წამყვანი როლი ეკისრება საარქივო დოკუმენტებისა და ისტორიული ხელნაწერი ძეგლების დაცვისა და შენახვის სფეროში. განუსაზღვრელად დიდია ქიმიის როლი საკონსერვაციო სამუშაოების კვალიფიციურად წარმართვაში, რადგან ყოველ ეტაპზე ქიმიურ სტრუქტურებთან და პროცესებთან გვაქვს საქმე, დაწყებული მასალის შედგენი-

ლობიდან (ქალაღი, ეტრტი, გამოსახული ტექსტი, ფერწერული ფენა, გამოყენებული ადგეზივები და სხვა), სადგინფექციო სამუშაოებით, გათეთრებით, ტექსტის სტაბილიზაციით გაგრძელებული და გარეცხვა-ნეიტრალიზაციით დასრულებული.

**ძირითადი ნაწილი**

კვლევის საგანი ხელნაწერი და სხვა სახის დოკუმენტების გარეცხვა-ნეიტრალიზაციის პრო-

ცესია. საბოლოო მიზანია დოკუმენტის მიყვანა დაბალ pH-მდე (pH 6,5–7-მდე, ნეიტრალურამდე). ამ დროს ქალაღის ზედაპირი მაქსიმალურად გასუფთავებული და მკვეთრად გაუფერულებულია. საჭიროების შემთხვევაში შესაძლებელია მისი მრავალჯერ გამეორება, თუმცა ამის საჭიროება იშვიათად დგება. ქვემოთ მოცემული სქემით შეიძლება ერთ ჯერზე რამდენიმე ფურცლის დამუშავება.



გარეცხვა-ნეიტრალიზაციის პროცესის ტექნოლოგიური სქემა

დასამუშავებელი მასალის რაოდენობა აბაზანის ზომით განისაზღვრება. პროცესის დაწყებამდე საჭიროა დოკუმენტის მექანიკური გაწმენდა – მტვრის მოცილება, ცხიმის ლაქების დაშლა და ტექსტის გამყარება.

ქაღალდსაფუძვლიანი დოკუმენტის გარეცხვა-ნეიტრალიზაციის შემუშავებული ტექნოლოგიური სქემა ხუთი საფეხურისგან შედგება. მხოლოდ ამ საფეხურების თანამიმდევრული განხორციელებით არის შესაძლებელი სასურველი შედეგის მიღწევა. პროცესი ძირითადად მიმდინარეობს ოთხ კიუვეტსა ან ემალირებულ აბაზანაში. პირობითად მათი თანამიმდევრობა გამოსახულია სქემაზე (გვ. 23).

I აბაზანაში, კალიუმის პერმანგანატის და არაორგანული მჟავას ხსნარში, მიმდინარეობს სუსტ მჟავა გარემოში  $KMnO_4$ -ის ჟანგვის პროცესი. იგი პირობითად შეგვიძლია გამოვსახოთ შემდეგი ქიმიური რეაქციის სახით:



პირველ აბაზანაში ჩაყურსული ნიმუში, ქაღალდის ფოროვანი სტრუქტურის გამო, ოდნავ მუქდება და საჭიროებს შემდგომ დაშლადასაფუძვლებს მიხედვით. ამასთან, კალიუმის პერმანგანატის ხსნარი ვერ ახდენს საბუთზე არსებული მელნის ლაქების გაუფერულებას - გაქრობას.

ნიმუში თავსდება II აბაზანაში, სადაც ნატრიუმის ჰიდროსულფატის ( $NaHSO_4$ ) 3%-იანი ხსნარია მომზადებული. დოკუმენტის გათეთრების პროცედურაში ამ ხსნარს იყენებენ მელნის ლაქების მოსაცილებლად.  $NaHSO_4$ -ის უფრო მაღალი კონცენტრაციის ხსნარის გამოყენება საფრთხეს უქმნის ქაღალდზე გამოსახულ ტექსტს.

შემდეგი პროცედურა (III აბაზანა) საბუთის გამდინარე წყლით ჩარეცხვას ითვალისწინებს და იგი 15–20 წუთს გრძელდება. ამ დროს სრულად ირეცხება მასალის ზედაპირიდან წინა ორ

აბაზანაში მიმდინარე პროცესის პროდუქტები, რამდენადმე ნეიტრალდება მჟავა გარემო. ნიმუში თავსდება IV აბაზანაში, რომელშიც დისტილირებული წყლით დამზადებული ფორმალინის 5%-იანი ხსნარია. ეს პროცესი, ერთი მხრივ, დამატებით მათეთრებელ ეფექტს ახდენს ნიმუშზე, მეორე მხრივ, მას დეზინფექტანტის ფუნქციაც აკისრია.

V საფეხურზე ნიმუში გადადის დისტილირებულ წყალში, სადაც 10–15 წუთს ყოვნდება.

წარმოდგენილი გარეცხვა-განეიტრალების პროცესის **განმსაზღვრელი ფაქტორებია:**

1. აბაზანაში  $KMnO_4$ -ის კონცენტრაცია; იგი განაპირობებს ქაღალდის ზედაპირზე სწორედ იმ ორგანული და არაორგანული ნივთიერებების ჟანგვით პროცესებს, რომლებიც ხანგრძლივი დროის განმავლობაში მიმდინარე გარდაქმნების შედეგად ზრდიან ქაღალდის მჟავიანობას;

2. ჟანგვის პროცესში მონაწილე მჟავა და შესაბამისი კონცენტრაცია;

3. სამუშაო ხსნარში ფურცლის დაყოვნების დრო; იგი განისაზღვრება ფურცლის ზედაპირზე ჟანგვის პროცესების მიმდინარეობის ხანგრძლივობით.

**ექსპერიმენტის მიზანი:**

1. ხელნაწერის გარეცხვა-გათეთრების პროცესის ერთდროულად წარმართვა, რაც ზოგადად ერთმანეთისგან დამოუკიდებელი პროცესებია;

2. ქაღალდზე არსებული საწყისი მჟავა გარემოს მაქსიმალური ნეიტრალიზაცია.

**ექსპერიმენტის I ეტაპის მიზანი** იყო I აბაზანაში  $KMnO_4$ -ის სამუშაო ხსნარის ოპტიმალური კონცენტრაციის დადგენა. მომზადდა  $KMnO_4$ -ის განსხვავებული კონცენტრაციის ხსნარები.

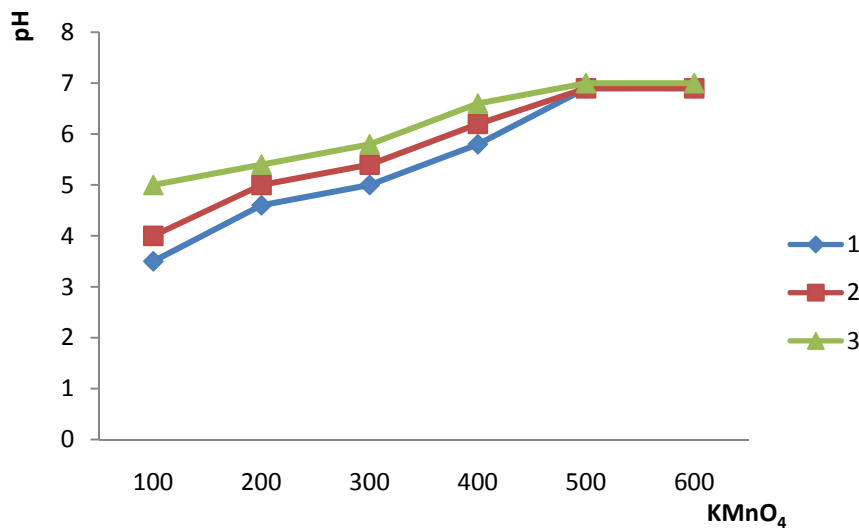
1.  $KMnO_4$ -ის ხსნარის კონცენტრაცია 300 მგ/ლ ანუ ექსპერიმენტის ქვედა ზღვარი შეირჩა იმ მოსაზრებით, რომ მასზე დაბალი კონცენტრაციის  $KMnO_4$ -ის ხსნარი ფაქტობრივად გამოუ-



სადეგარია ფურცლის ზედაპირსა და მის სიღრმეში მიმდინარე ჟანგვითი პროცესისათვის.

2. ექსპერიმენტის ზედა ზღვარი  $KMnO_4$ -ის 700 მგ/ლ კონცენტრაციაა. მართალია, ასეთი ხსნარის გამოყენების შემთხვევაში დასამუშავებელი მასალის ზედაპირზე სრულად წარიმართება ჟანგვითი პროცესები, რასაც ფურცლის ზედაპირის ნეიტრალიზაცია ადასტურებს, თუმცა მისი საწყისი შეფერილობა შესამჩნევად

მუქდება და შემდეგ აბაზანებში დამუშავებით ფურცლის ზედაპირის გათეთრება ვეღარ ხერხდება. ამრიგად,  $KMnO_4$ -ის ხსნარის ეს კონცენტრაცია მაღალია და ქაღალდის დამუშავების მიზნით მისი გამოყენება არ არის მიზანშეწონილი. შეირჩა განსხვავებული pH -ის (3.5; 4; 5) მქონე სამი ნიმუში. ფურცლის ხსნარში დაყოვნების დრო შეადგენდა 10 წთ-ს. მიღებული შედეგები მოცემულია ქვემოთ, სურათზე.



ნიმუშის ზედაპირის pH-ის დამოკიდებულება  $KMnO_4$ -ის ხსნარის კონცენტრაციაზე

3. ექსპერიმენტის შედეგებმა გამოავლინა, რომ I აბაზანისთვის  $KMnO_4$ -ის ყველაზე ოპტიმალური კონცენტრაციაა 500 მგ/ლ.

**ექსპერიმენტის II ეტაპის** მიზანი აბაზანაში  $KMnO_4$ -თან ერთად ჟანგვით პროცესში მონაწილე მჟავას შერჩევა იყო. კვლევები ჩავატარეთ ორი მჟავას, ფოსფორმჟავასა ( $H_3PO_4$ ) და გოგირდმჟავას ( $H_2SO_4$ ) მიმართ. ამავე დროს  $KMnO_4$ -ის კონცენტრაცია შეადგენდა 500 მგ/ლ-ს, ფურცლის დაყოვნების დრო კი – 5 წთ-ს. პარალელურ რეჟიმში ავიღეთ ერთნაირი ზომის, დაბინძურების სხვადასხვა ხარისხისა და, შესაბამისად, სხვადასხვა მჟავიანობის მქონე 4 ნიმუში (სარესტავრა-

ციო ფურცელი). დამზადდა ორი სახის სამუშაო ხსნარი: 1.  $KMnO_4$ -ისა და  $H_3PO_4$ -ის (მჟავას კონცენტრაცია – 0,1%); 2.  $KMnO_4$ -ისა და იმავე კონცენტრაციის  $H_2SO_4$ . მჟავას ცვლილების გავლენა ფურცლის საბოლოო pH-ზე მოცემულია პირველ ცხრილში.

როგორც ექსპერიმენტის შედეგებიდან ირკვევა მჟავას შეცვლას არსებითად არ უმოქმედია ნეიტრალიზაციის პროცესზე, მაგრამ გამოიკვეთა ერთი მნიშვნელოვანი ფაქტი –  $H_2SO_4$ -იან გარემოში უფრო ინტენსიურად წარიმართა ქაღალდის ზედაპირზე ჟანგვითი პროცესი.

**სხვადასხვა მჟავას გავლენა ნიმუშის საბოლოო pH-ზე**

№	ნიმუშის საწყისი pH	0,1% $H_3PO_4$	0,1% $H_2SO_4$
		ნიმუშის საბოლოო pH	ნიმუშის საბოლოო pH
1	3,8	6,6	6,6
2	4	6,7	6,8
3	4,7	6,7	6,8
4	5	6,8	6,9

ფოსფორმჟავას გამოყენებით ვერ მოხერხდა ნიმუშის ზედაპირზე ზოგიერთი ლაქის სრულად გაუფერულება-გაქრობა და საჭირო გახდა პროცესის გამეორება, რაც გოგირდმჟავას გამოყენების შემთხვევაში არ გამხდარა საჭირო. ცხადია გამოიკვეთა, ფურცლის საერთო გარეცხვა-გასუფთავების პროცესში გოგირდმჟავას გამოყენების უპირატესობა.

**ექსპერიმენტის III ეტაპის** მიზანი იყო I აბაზანაში ნიმუშის დაყოვნების ოპტიმალური დროის შერჩევა. პროცესის შესწავლის მიზნით ჩატარდა ექსპერიმენტი სამ სხვადასხვა დროის შუალედში: 5, 10 და 15 წთ. სამივე შემთხვევაში, I აბაზანაში,  $KMnO_4$ -ისა და  $H_2SO_4$ -ის ხსნარში,

II აბაზანაში,  $NaHSO_4$ -ის ხსნარში ფურცლები დამუშავდა ერთი და იმავე დროის შუალედში. ცდისთვის ავიღეთ განსხვავებული დაბინძურების ხარისხის, შეფერილობისა და საწყისი pH-ის მქონე ერთნაირი ზომის ოთხი ნიმუში. ექსპერიმენტის შედეგები მოცემულია მე-2 ცხრილში. გამოვლინდა, რომ ნიმუშის ხსნარში 10 წუთამდე დაყოვნება საკმარისია მისი ზედაპირის სრული ნეიტრალიზაციისათვის. ეს ექსპერიმენტი ქიმიურ რეაქტივებთან ნიმუშის კონტაქტის დროის ზუსტი განსაზღვრიდან გამომდინარე, უზრუნველყოფს მასალის სიცოცხლისუნარიანობის ზრდას.

**ხსნარში ნიმუშის დაყოვნების დროის გავლენა მის საბოლოო pH მაჩვენებელზე**

№	ნიმუშის საწყისი pH	დაყოვნების დრო 5 წუთი,	დაყოვნების დრო 10 წუთი,	დაყოვნების დრო 15 წუთი,
		საბოლოო pH	საბოლოო pH	საბოლოო pH
1	3,5	6	6,8	6,8
2	4	6,4	6,9	6,9
3	4,7	6,6	7	7
4	5	6,9	7	7

**ექსპერიმენტის IV ეტაპი** I აბაზანისათვის გოგირდმჟავას ოპტიმალური კონცენტრაციის შერჩევა იყო. ექსპერიმენტისთვის ავიღეთ ოთხი ერთნაირი ზომის ნიმუში, რომელთა საწყისი pH=4 და KMnO<sub>4</sub>-ის კონცენტრაცია იყო 500 მგ/ლ. ნიმუშის ხსნართან საკონტაქტო დრო განისაზღვრა 10 წთით. ექსპერიმენტის შედეგი შეფასდა ნიმუშების საბოლოო pH-ით და ნამუშევარ ხსნარში პერმანგანატის ჟანგით. მჟავას საწყისი კონცენტრაცია, ნიმუშების საბოლოო pH და ჟანგბადის ქიმიური შთანთქმა (დაჟანგულობა) მოცემულია მე-3 ცხრილში. პერმანგანატული ჟანგბადობა პროცესის პირობითი მაჩვენებელია. მისი სა-

შუალებით ხასიათდება ხსნარში დასაჟანგი ნაერთების (ორგანული თუ არაორგანული) შემცველობა. ამ სიდიდის ერთეული განისაზღვრება 1 ლ წყალში არსებული ნივთიერებების დასაჟანგად საჭირო ჟანგბადის რაოდენობით (მგ-ობით). ექსპერიმენტის შეფასებისთვის ვიხელმძღვანელებთ პერმანგანატის ჟანგვის განმსაზღვრელი, ე.წ. კუბელის მეთოდით. როგორც შედეგებიდან გამოიკვეთა, როდესაც გოგირდმჟავას კონცენტრაცია არის 0,1%, პროცესის შედეგი საუკეთესოა. აღსანიშნავია, რომ ეს პროცესი დასამუშავებელი მასალისათვის აბსოლუტურად უსაფრთხოა (არ იწვევს მის მეორეულ დაზიანებას).

ცხრილი 3

**I აბაზანისათვის კონცენტრაციის შესწავლა**

№	გოგირდმჟავას კონცენტრაცია, %	საბოლოო pH	ჟანგვა მგ/ლ, O <sub>2</sub> /ლ
1	0.025	7,8	12
2	0,05	7	13,26
3	0,075	6,7	13,8
4	0,1	6,7	13,8

**დასკვნა**

შესწავლილია დოკუმენტის გარეცხვა-ნეიტრალიზაციის პროცესის ყველა საფეხური: კალიუმის პერმანგანატის ოპტიმალური კონცენტრაცია სამუშაო ხსნარში; გამოსაყენებელი მჟავას, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> -ის უპირატესობა ფოსფორმჟავასთან შედარებით; პროცესში მონაწილე მჟავას ოპტიმალური კონცენტრაცია; გარეცხვა-ნეიტრალიზაციის პროცესში მონაწილე KMnO<sub>4</sub>-ის შემცველი 1 ლ ხსნარის მაქსიმალური ჟანგვითი შესაძლებლობა ფურცლის ზომასთან მიმართებით.

მიუხედავად იმისა, რომ პროცესის ბოლოს დასამუშავებელი ნიმუშის, დოკუმენტის pH-ის მაჩვენებელი 6,8–7-ს შეადგენს, მიზანშეწონილია ცარცის სუსპენზიაში მისი გარკვეული დროით მოთავსება, ვინაიდან ეს პროცესი ქალაქის სტრუქტურაში ქმნის ტუტე რეზერვს, რითაც უზრუნველყოფს მასალის ზედაპირის, დროის მიხედვით მოსალოდნელი შემდგომი მჟავიანობისგან დაცვას.

## ლიტერატურა

1. T. Sakhokia. Technology and characteristics of producing writing materials. "Saistorio Moambe". №69-70, Tbilisi, 1997. (in Georgian).
2. N. Nepenin. "Cellulose technology". Tutorial. Leningrad, 1956. (in Russian).
3. S. Dobrusina, E. Cherpina. "Scientific Bases for the preservation of documents". Saint Petersburg, 1993. (in Russian).
4. V. Privalov. "Restoration of paper based documents ". (Tutorial). Moscow, 1987. (in Russian).
5. A. Malishov. «Restoration and preservation of paper-based materials”. www. bonistikaweb.ru, 2010. (in Russian).
6. Z. Rogovin. Chemistry of wood and cellulose. M., 1972, 520 p. (in Russian).
7. D. Flyate. "Characteristics of paper". M., 1986, 679 p. (in Russian).
8. M.G. Blank, S.A. Dobrusina and N.B. Lebedeva. 1984. A Search of Procedures for Restoration and Stabilization of 16th and 17th Century Netherlands Atlases Damaged by Green Paint. 1984, *Restaurator* 6:127-138 pp. (in English).
9. M. Bernikov. Search of new methods for removing fat stains from the documents. «The theory and practice of the preservation of book in the library”. L., 1989, 57-67 pp. (in Russian).
10. N. Gerasimova, D. Flyate. Study of methods for removing old stains from the paper / The theory and practice of the preservation of book in the library: L., 1984, Edition 12. 68-85 pp. (in Russian).
11. F. Sheikhet. Materials Science of Chemicals, Dyes and Detergents. M., 1969, 324 p. (in Russian).

UDC 661.29

SCOPUS CODE 1501

## TECHNOLOGICAL PROCESS OF WASHING AND NEUTRALIZATION FOR THE RESTORATION OF PAPER-BASED DOCUMENTS

- T. Gagnidze** Department of Chemical Technology and Biotechnology, Georgian Technical University, 69 M. Kostava str., 0175 Tbilisi, Georgia  
E-mail: tamriko.gagnidze@gmail.com
- M. Tsverava** Department of Chemical Technology and Biotechnology, Georgian Technical University, 69 M. Kostava str., 0175 Tbilisi, Georgia  
E-mail: maiatsverava@yahoo.com

### Reviewers:

**L. Gvasalia**, Professor, Doctor of Technical Sciences, Department of Chemical Technology and Biotechnology, Faculty of Chemical Technology and Metallurgy, GTU

E-mail: l.gvasalia@gtu.ge

**R. Kldiashvili**, Professor, Department of Chemical Technology and Biotechnology, Faculty of Chemical Technology and Metallurgy, GTU

E-mail: rezokldiashvili@yahoo.com

**ABSTRACT.** Restoration-conservation is of utmost importance in terms of the protection and preservation of archival documents. The article refers to the scientific research of the paper-based documents restoration problems such as the study of washing and neutralization process. The article considers new five-step technological scheme for washing and neutralizing the documents. This method enables the processing of paper-based documents made of

wood and fabric cellulose as well. The most economical effectiveness of this process is provided by the minimal amount of chemical reagents used in the process. Moreover there is no need of any specific expensive laboratory facilities and equipment for the process implementation and the process may be performed at any restoration lab of medium-scale.

**KEY WORDS:** conservation, Paper-Based Document, restoration, Washing and Neutralization.

---

**UDC 661.29**

**SCOPUS CODE 1501**

## **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС РЕСТАВРАЦИИ- ПРОМЫВКИ И НЕЙТРАЛИЗАЦИИ ДОКУМЕНТОВ НА БУМАЖНОЙ ОСНОВЕ**

- Гагნიдзе Т.О.**                    Департамент химической и биологической технологий, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава, 69  
E-mail: tamriko.gagnidze@gmail.com
- Цверева М.К.**                    Департамент химической и биологической технологий, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава, 69  
E-mail: maiatsverava@yahoo.com

### **Рецензенты:**

**Л. Гвасалиа**, профессор, доктор технических наук Департамента химической и биологической технологий факультета химической технологии и металлургии ГТУ

E-mail: l.gvasalia@gtu.ge

**Р. Клдиашвили**, полный профессор Департамента химической и биологической технологий факультета химической технологии и металлургии ГТУ

E-mail: rezokldiashvili@yahoo.com

**АННОТАЦИЯ.** В сфере сохранности и защиты архивных документов реставрация-консервация играет главную роль. В статье представлено научное исследование наиважнейшего процесса реставрации документов на основе бумаги: процесс нейтрализации, пятиступенчатая технологическая схема промывки-нейтрализации документов, химико-лабораторные исследования и их итоги. По представленной схеме можно обработать документы как на основе тряпичной, так и на основе целлюлозной бумаги. Данная схема требует минимальных затрат химических реактивов и не нуждается в дорогостоящем лабораторном оборудовании, и поэтому её можно проводить в реставрационных мастерских среднего уровня.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** консервация; нейтрализация документов на бумажной основе; промывка; реставрация.

UDC 624.131.31

SCOPUS CODE 1909

## დეკრუსიის საინჟინრო-გეოლოგიური შიფასებისათვის

**დ. როგავა** გამოყენებითი გეოლოგიის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 75

E-mail: maikor@yahoo.com

**დ. სირბილაძე** შპს “ჯეოინჟინირინგი”, საქართველო, თბილისი, თამარაშვილის 15ა

E-mail: david-sirbiladze@rambler.ru

### რეცენზენტები:

**მ. ლაპიაშვილი**, სტუის სამთო-გეოლოგიური ფაკულტეტის გამოყენებითი გეოლოგიის დეპარტამენტის ასოცირებული პროფესორი

E-mail: m.Lapiashvili@gtu.ge

**გ. ჭოსონელიძე**, სტუის სამშენებლო ფაკულტეტის სამოქალაქო და სამრეწველო მშენებლობის დეპარტამენტის პროფესორი, ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი

E-mail: dep45@gtu.ge

**ანოტაცია:** დეპრესია (ქვაბული) რელიეფის უარყოფითი ფორმაა, რომელიც დედამიწის ქერქის ნაოჭა დისლოკაციებისა და რხევითი მოძრაობის შედეგია. საქართველოს ბევრ რეგიონში სხვადასხვა მასშტაბისა და სიღრმის დეპრესია არის შესწავლილი. მთლიანად ქვეყნის ტერიტორია განლაგებულია მთათაშუა ღრმულების ფარგლებში. მის ბუნებრივ გარემოში დედამიწის ქერქში თითქმის ყველა ტიპის ქანის არსებობა ქმნის რთულ საინჟინრო-გეოლოგიურ ფონს. სტატიაში მაგალითის სახით განხილულია, სოფელ ფსხუს, რიწის ტბის, „თბილისის ზღვის“, ახალციხის ქვაბულის გეოლოგიურ გარემოში განვითარებული მოვლენები. დეპრესიის საინჟინრო-გეოლოგიური რეგიონული შეფასება, მათი სამეურნეო ათვისება და ტექნოსფეროს გეოლოგიური წონასწორობის შენარჩუნება საინჟინრო დიების და კვლევის ძირითადი პრობლემაა.

**საკვანძო სიტყვები:** გეოლოგიური გარემო; დეპრესია; „თბილისის ზღვა“; მტკვრის დეპრესია; რიწა; ტერიტორიის ათვისება; ტექტონიკა; ფსხუ; ქვაბული; ღრმული.

### შესავალი

რელიეფის (როგორც დადებითის, ისე უარყოფითის) ფორმის შესწავლა ასათვისებელი ტერიტორიის საინჟინრო გეოლოგიური პირობების კვლევისა და შეფასების ერთ-ერთი მთავარი საკითხია. ცნობილია, რომ დადებითა ზღვის დონეზე მაღლა მდებარე რელიეფის ფორმები, უარყოფითი – დაბლა მდებარე – ჩახნექილი ე.წ. დეპრესია.

რელიეფის ფორმის გარკვევა იმ კრიტერიუმებითაა შესაძლებელი, რომლებიც გვიჩვენებენ ზედაპირის ხასიათს, ზოგად მოხაზულობას როგორც გეგმაში, ისე ჭრილში (ძირითადი მიმარ-

თულებით), მის ირგვლივ წარმოქმნილ ფორმებთან სიმადლეში თანაფარდობას, შიგა სტრუქტურას, ამგები ქანების (ნალექების) ან ნატეხების ხასიათს. რელიეფი თავისთავად, სხვადასხვა დაქანების ზედაპირების ერთობლიობაა.

პროფესორ ფ. ლახის მიხედვით ჩაკეტილი დეპრესია ტერმინოლოგიურად იგივე ქვაბულია [1]. ჩაკეტილი დეპრესია შეიძლება იყოს ღრმა ან თხელი, დიდი ან პატარა, უწყლო ან წყლით შევსებული. თუ დეპრესია არაა ჩაკეტილი, ის უკვე ხეობაა კლდოვანი ბორცებით. ხეობების ფსკერზე წარმოქმნილი შედარებით მცირე ქვაბულებიდან შესაძლებელია მუდმივი წყალდენა გეკონდეს. რელიეფის ამ ფორმის წარმოქმნის (გენეზისის) „გასაღებსაც“ იძლევა ავტორი ერთგვარი საცნობარო ჩამონათვალის სახით:

- ტექტონიკური ღრმული (ქვაბული) უშუალო შედეგია დიზიუნქციური ან პლიკატიური დისლოკაციების ან ქერქის სუსტი რხევითი მოძრაობის.
- შეტბორილი ქვაბული – დაკავშირებულია ხეობაში მდინარის გადახერგვით (ლაღის ნაკადით, მორენათი, ყინულით, ტალახის ნაკადით, ოკეანის სანაპიროზე ქვიშა-რიყნარის ბარით) წყლის შეტბორვასთან.
- ქვაბული, რომელიც არც ერთ ზემოხსენებულ მოვლენასთან არაა დაკავშირებული – იგი ყოველი მხრიდან შემოზღუდულია ძირითადი ქანებისაგან აგებული მაღლობებით ან დაშთენილი ფხვიერი მასალით.

საქართველოს ტერიტორია მდებარეობს მთაშუა ღრმულში – კავკასიონისა და მცირე კავკასიონის (ანტიკავკასიონის) ოროგრაფიულ ერთეულებს შორის, მსხვილი ოროგრაფიული ერთეულის სახით [2]. დასავლეთითაა კოლხეთის დაბლობი, ოკრიბის მთიანეთი და ძირულის მასივი; აღმოსავლეთით – ლიხის ქედიდან ქართლისკენ დამრეცი ვაკე და მუხრანის ხეობა,

შემდეგ – გარე კახეთის ზეგანი, იორის ზეგანი და მის სამხრეთით – მტკვრის დაბლობი. გეომორფოლოგიური განვითარების მთავარი მახვენებელია ლიხის ქედი – შავი ზღვისა და კასპიის ზღვის აუზების წყალგამყოფი. თუ პირველის მთავარი მდინარეა რ ი ო ნ ი, რომელიც კავკასიონის ქედიდან იღებს სათავეს, მეორის – კასპიის ზღვის აუზის მთავარი არტერია მდინარე მ ტ კ ვ ა რ ი ა, რომელიც ახალციხის ქვაბულში თურქეთიდან შემოედინება, ჯერ ერუშეთის ქედის და ჯავახეთის ზეგნის, შემდეგ ქართლის გავლით, ქ. თბილისთან მტკვრის დაბლობზე გამოდის.

ცნობილია, რომ ტექტონიკური ძალების მოქმედება ვლინდება დედამიწის ქერქის აწევით ან დაწევით, შრეთა წოდის პირობების ცვალებადობით, ქანების დეფორმაციით, რასაც თან ახლავს მასივში მათი მსხვრევისა და დაძაბულობის ზონების აღმოცენება. არსებითად, საინჟინრო-გეოლოგიური ძიების პროცესში შესაძლებელია გამოვალინოთ და შევისწავლოთ ტექტონიკური მოძრაობების დესტრუქციული შედეგები.

საქართველოში რელიეფის ფორმებიც მრავალფეროვანია, ხოლო დეპრესიები, სხვადასხვა მასშტაბისა და სიღრმის, თითქმის ყველა რეგიონშია. ისინი მრავალი წლის განმავლობაში არაერთი მკვლევრის შესწავლის ობიექტს წარმოადგენდა. მას სწავლობდნენ როგორც სპეციალურად, ისე კავკასიის, ამიერკავკასიისა და საქართველოს მთელი ტერიტორიის ფონზე. მიუხედავად ამისა, მეტად რთული და მრავალფეროვანი კომპლექსების არსებობის გამო, გამწვავებული გეოლოგიური ვითარების პირობებში, განსაკუთრებული ყურადღების საგანი ხდება ადამიანის საინჟინრო და სამეურნეო საქმიანობა ტერტორიების, კერძოდ დეპრესიების გამოყენების პერსპექტივაში. აქედან გამომდინარეობს, ზოგადად, აუცილებლობა ასეთი რეგიონის ტექტონიკური ფონის არსებითად გააზრებისა.

**ძირითადი ნაწილი**

აკადემიკოს პ. გამყრელიძის რედაქტორობით გამოცემულ კაპიტალურ ნაშრომში (მეათე ტომი) [2], საქართველოს არაერთ რაიონში ტექტონიკურად გართულებული მოვლენებითაა საყურადღებო დეპრესიები როგორც აღმოსავლეთით, ისე დასავლეთით; კერძოდ ამ ტომში აღწერილია ალაზნის, ახალციხის, გელათის, გორ-მუხრანის, გუდაუთის, გურიის, ჯავის, ქართლ-კახეთის, ყვირილის, სამეგრელოს, თიანეთის, ტირიფონის, წალკისა და სხვა დეპრესიები. მათი სამეურნეო გამოყენების პერსპექტივა, ტერიტორიის საინჟინრო-გეოლოგიური პირობების ან მასში ნაგებობის საძირკვლის ჩაყრის თუ მისი საფუძვლის ვარგისობის შეფასება, ყოველთვის არის და იქნება საძიებო კვლევის ამოცანა. ამ პუბლიკაციაში განვიხილავთ ზოგიერთ სხვა დეპრესიასაც, რომლის საველე კვლევაში ამ სტატიის ავტორებსაც აქვთ მიღებული მონაწილეობა.

ჭეშმარიტებაა, რომ რელიეფის სირთულეთა დინამიკაში არსებითად გარკვევის შესაძლებლობას იძლევა ცნობილ მეცნიერთა ფუნდამენტური შრომები კავკასიის შესახებ. ე. მილანოვსკი და ვ. ხაინი კავკასიის გეოსინკლინური ოლქის ჩამოყალიბების კანონზომიერებათა ანალიზისას, პერცინულ და ალპურ ეტაპზე, გამოთქვამენ ვარაუდს, რომ გეოსინკლინური ჩაზნექვების და გეოსინკლინური არეების გადაადგილება ზოგადად სამხრეთისკენაა მიმართული [3]. შემდეგ, ამიერკავკასიის ჩრდილოეთ ნაწილში ორი მოლასური მთათაშორისი როფია: დასავლეთით – რიონის და აღმოსავლეთით გაცილებით ვრცელი – მტკვრის. პირველი შავი ზღვის აღმოსავლეთ ღრმულში იხსნება, მეორე – კასპიის ზღვის სამხრეთ ღრმულში. როგორც ავტორები მიუთითებენ, მოლასურამდელი ფუნდამენტი დასავლეთ საქართველოში შიშვლდება, უფრო აშკარად და თვალსაჩინოდ ძირულის მასივში, უფრო მეტიც, კავკასიონი და აჭარა-

თრიალეთი შეცოცხებულია ქართლის როფზე, ამასთან, კავკასიონი – უფრო მეტი ინტენსიურობით. აქვეა ნახსენები, რომ თბილისის აღმოსავლეთით მიმდინარეობს თრიალეთის პალეოგენის დაძირვა მტკვრის მოლასების ქვეშ და, შესაბამისად, მკვეთრად ფართოვდება მთათაშორისი როფი; იგი ერთდროულად 12–15 კმ-ით ღრმავდება, მოლასების სიმძლავრის გაზრდის ხარჯზე. ღრმულის სტრუქტურა მკვეთრად ასიმეტრიული ხდება, ხოლო დეპრესიულ ხასიათს იგი მნიშვნელოვნად დღესაც ინარჩუნებს.

როგორც ცნობილია, ალპური ოროგენეტიკის სისტემის მთა-ნაოჭა რეგიონებში ძლიერი მიწისძვრებით გამოწვეული კატასტროფული შედეგები მრავალსპექტრიანია. ხშირად, მაღალი ენერგეტიკული კლასის მიწისძვრებით გამოწვეული დიდი მატერიალური ზარალი და ტრაგიკული შედეგები უფრო მეტად დააკავშირებულია მიწის ზედაპირზე წარმოქმნილ მეორეულ გრავიტაციულ მოვლენებთან. მისი ნათელი დადასტურებაა კავკასიაში გამოვლენილი მრავალი ათეული მილიონობით კუბური მეტრი მოცულობის კლდე-ზვავები და მეწყრები, წარმოქმნილი როგორც ისტორიულ პერიოდებში, ისე ამჟამად.

რაც შეეხება სხვა დამახასიათებელ მაგალითებს – კავკასიონის სამხრეთი ფერდობის ნაწილს მოიცავს და ვრცელდება ვიწრო ზოლად, სამხრეთით შავ ზღვამდე, მდინარე ბზიფის აუზი. იგი მკვეთრად გამოხატულ მთახეობიან რელიეფს ქმნის; ბზიფის აუზში ღრმა, ციცაბოფერდობიანი და ვიწროფსკერიანი ხეობებია, სამხრეთ ნაწილში კი იგი გორაკბორცვიანი და ვაკე რელიეფითაა წარმოდგენილი. ბევრ სხვა გარემობასთან ერთად, განსაკუთრებულ ინტერესს აქ იწვევს სუბსტრატის გეოლოგიური პირობები, რომლებიც ამ რეგიონის რელიეფის ფორმირებაში დიდ როლს ასრულებს [6]. მის ჩრდილოეთ საზღვარზე გამავალი მძლავრი რღვევის ხაზია, რომლის გავლენითაც რელიეფში მკვეთრი



გარდატეხაა მომხდარი – სახეზეა ვარდნობები, ცირკები, ტროგები და ქვაბულები (დეპრესიები); განსაკუთრებით თვალში მოსახვედრია ეს პროცესი მის ჩრდილოეთ და აღმოსავლეთ ნაწილში. მდინარე ბზიფის ხეობა ზემოთ, სათავეს ნაწილ-

ში სიმეტრიული, V-სებრია, მარჯვენა ნაპირი უფრო ციცაბოა, ვიდრე მარცხენა, მაშასადამე, მარჯვენა კლდოვანი ნაპირი უფრო ინტენსიურად ირეცხება (იხ. სურ. 1).



სურ. 1. მდ. ბზიფის ხეობა, მარჯვენა ნაპირი, მასიური დოლომიტიზებული კირქვები

ბზიფის აუზში მკვლევართა ყურადღებას იქცევს აფხაზეთის ჩრდილო-დასავლეთ ნაწილში ფსხუს ქვაბული, სადაც მდ. ბავიუს ქვემო წელში ფართო ვაკეა წარმოდგენილი. ფსხუს ვაკის სიგანე მდ. ბზიფის მახლობლად 2 კმ-მდე აღწევს, ხოლო უფრო ზემოთ 800–1000 მ-ის ფარგლებშია. ასეთივე ვაკე გვხვდება სოფ. რიგზას მიდამოებშიც (მდ. ბავიუს მარჯვენა მხარეს), მისი სიგრძე და სიგანე 1,5 კმ-ს აღწევს. ეს უკანასკნელი მდ. ბზიფის დონიდან დაახლოებით 20–25 მ სიმაღლეზე მდებარეობს. ფსხუს ვაკეც მდ. ბავიუს დონიდან ამავე სიმაღლეზეა. ფსხუსა და რიგზას ვაკეები ალუვიონით არის აგებული, რომლის სიმძლავრე სოფელ ფსხუს შუა ადგილის გადასწვრივ, მდ. ბავიუს ნაპირთან 20–25 მ-ს აღემატება. მდ. ბავიუს მარჯვნივ დედაქანებს რეცხავს, მარცხნივ და ფსკერზე კი

ალუვიონია წარმოდგენილი. ამ უკანასკნელს შრეებრიობა ეტყობა, მასალა დამუშავებულია. არის ვარაუდი, ფსხუს ვაკე მდ. ბზიფის შეგუბებით უნდა იყოს წარმოქმნილი; მდინარის გადახერგვა უნდა მომხდარიყო სოფ. რიგზის ქვემოთ, სადაც ბზიფი კირქვის მძლავრ ქანებში იჭრება და ვიწრო და ღრმა ხეობას ავითარებს. ბზიფის ჩაკეტვა უნდა მომხდარიყო რომელიმე ფერდობის, ალბათ უფრო მარჯვენისა ან ორივეს ერთდროულად ჩამოქცევის შედეგად. კლდის ჩამოქცევის კვალი ფერდობზე დადაბლებული ადგილებით ეტყობა; მაღალი კლდეების ჩამოქცევა უზარმაზარი კირქვის ლოდების სახით ახლაც ხდება, რაზედაც მდ. ბზიფის ფსკერზე მათი რაოდენობა მიუთითებს. ასეთი გეოლოგიური მოვლენის წარმოქმნის მიზეზი ციცაბო ფერდობებზე ქანების წონასწორობის დარღ-

ვევსა, რაც გამოწვეულია გამოფიტვის ნაპრა-  
ლების წარმოქმნით ან არსებული ტექტონიკური  
ძალების, ან მიწისძვრის შედეგად გაჩენილი ნაპ-  
რალების გასწვრივ ქანების სიმტკიცის შესუს-  
ტებით. არის ვარაუდი, რომ ბარიერის სიმაღლე  
70–80 მ-ზე მეტი უნდა ყოფილიყო, რის გამოც  
აქ წარმოიქმნებოდა ტბა. მდინარეები – ბზიფი  
და ბავიუ დროთა განმავლობაში ტბას ამოავსებ-  
და, ხოლო შემდეგ მდ. ბზიფი კირქვის ბარიერს  
ჩაჭრიდა – გარეცხავდა. ბავიუს ყოფილი ხეობა,  
რომელიც 20–30 მ-ის სიმაღლის ალუვიონით  
აივსო, ვაკის სახით დარჩა (იხ. სურ. 2), ხოლო  
მდ. ბავიუმ ახალი კალაპოტი ვაკის მარჯვენა

მხარეს ჩაჭრა. ქვაბულის ფსკერი მდებარეობს  
ზ.დ. 500 მ სიმაღლეზე – თვითონ სოფელი ფსხუ  
ზ.დ. 620 მ-ზეა, სოხუმიდან 150 კმ-ის დაშორებით  
და მასთან დაკავშირებულია აგრეთვე საჰაერო  
მიმოსვლით. საინჟინრო-გეოლოგიური დარაიონე-  
ბის მიხედვით [6] იგი მოქცეულია გეოაბაშქაცა-  
რას საინჟინრო-გეოლოგიური ზონის შუა იურის-  
ბაიოსის პორფირიტული წყების ვულკანოგენურ-  
დანალექი ქანების გავრცელების რაიონის ქვე-  
ზონაში. შემოზღუდულია კავკასიონის მთავარი  
ქედით და მის სამხრეთით შტოქედებით, მთების  
სიმაღლე 2200–3200 ფარგლებში მერყეობს  
(ჩელიძის ზ.დ. 2840 მ და ხიმსის ზ.დ. 3155 მ).



სურ. 2. სოფ. ფსხუ, ტერასა

მდ. ბზიფის აუზშია აგრეთვე ცნობილი დიდი  
რიწის ქვაბული, რომელშიც მოთავსებულია ამი-  
ერკავკასიაში უღრმესი რიწის ტბა. იგი მდინარე  
ლაშიფსეს ხეობაშია, რომლის სათავე კავკასიონის  
ქედზე 1458 მ სიმაღლეზეა, ხოლო თვით ტბა  
ზღვის დონიდან – 882 მ-ის სიმაღლეზე; მისი  
სარკის ფართობი 1,49 კვ.კმ-ს უდრის, აუზის ფარ-  
თობი 154 კვ.კმ-ია, მოცულობა – 94 მლნ.კუბ.მ,

მაქსიმალური სიღრმე 116 მ. ტბის მაქსიმალური  
სიგრძე 1700 მ-ია, სიგანე – 450 მ. ქვაბული  
წარმოიქმნა გარის ქედის სამხრეთ-აღმოსავლეთი  
კალთიდან (მთა ფშეგიშხა) ჩამოქცეული კლდე-  
ზვავით გადაკეტილი, მდ. ლაშიფსეს ხეობის  
დაგუბების შედეგად (იხ. სურ. 3). ტბა საზრდოობს  
მდ.ლაშიფსითა და ხუთი პატარა მდინარით.  
ტბიდან გამოედინება მდინარე იუფშარა.



სურ. 3. დიდი რიწის ტბის ქვაბული

ქვაბული ლაშიფსე-გრიბზის საინჟინრო-გეოლოგიური ზონის თიხაფიქლების გავრცელების რაიონშია განლაგებული, სადაც მაღალმთიანი ეროზიულ-ტექტონიკური სელური განივი ხეობების სიჭარბეა უძველესი გამყინვარების ნიშნებით და განვითარებული ლიასის ასპიდური ფიქლების და ქვიშაქვების სუბსტრატზე [6]. ის, რომ რიწის ტბა წარმოქმნილია მდ. ლაშიფსეს დაგუბებით, მიუთითებს თვით ქვაბულის ფორმა და მის სამხრეთით მდებარე რელიეფის თავისებურება. ტბის სამხრეთით ხეობა ნგრეული ქანებით არის ავსებული, ტბიდან წყალი ამ ქანებში გადის და 2,2 კმ მანძილის გავლის შემდეგ კვლავ ზედაპირზე გამოდის მდ. იუფშარის სახელწოდებით და უერთდება მდ. ბზიფის მარჯვენა ნაპირს. იგი კვეთს რა მასიურ კირქვებს, წარმოქმნის გრანდიოზულ, რამდენიმე ასეული მეტრი სიმაღლის ვერტიკალურ და დაკიდებულ კარნიზებს და მდ. იუფშარის კანიონისებრ ხეობას. თვითონ რიწის ტბის წყალი მტკნარია (66 მგ/ლ). გაზაფხულზე მომწვანო ფერისაა, ზამთარში – მოციფრო-მოლურჯო.

გასული საუკუნის 60–70-იან წლებში საქართველოს მეცნიერებთა აკადემიის და გეოლოგიური საზოგადოების მკვლევართა მიერ აფხაზეთის ტერიტორიაზე ჩატარებული გეოლოგიური, გეომორფოლოგიური, ჰიდროგეოლოგიური და საინჟინრო-გეოლოგიური კვლევების შედეგად [7], ცხადი ხდება იმ პროცესთა სინქრონულობა, რომლებიც ხელს უწყობდა გეოლოგიური მოვლენების განვითარებას, რელიეფის ფორმების წარმოქმნას და ჩამოყალიბებას; კერძოდ, აღსტურებდა მეცნიერთა იმ მოსაზრებას, რომ დეპრესიებიც – ჩაკეტილი თუ ჩაუკეცავი, ბუნებრივი პროცესებისა და მათი მოვლენების ერთობლიობის შედეგია; ტექტონიკურ ფონზე, ამ მოვლენათაგან რომელიმეს წამყვანი როლი შესაძლებელია იცვლებოდეს სხვადასხვა დროს. საგულისხმოა, რომ კავკასიაში ყველა დიდი მოცულობის და ღრმა განლაგების გრავიტაციული მოვლენა დაკავშირებულია აქტიურ ნეოტექტონიკურ და თანამედროვე მოძრავი ბლოკების რღვევის ზონებთან. დიდი მასშტაბის გრავიტაციული მოვლენები წარმოიქმნება როგორც

ეპიცენტრული, ისე ტრანზიტული მიწისძვრების განვითარების პირობებში.

პ. გამყრელიძემ, ჯერ კიდევ გასული საუკუნის შუა წლებში, გამოთქვა მოსაზრება საქართველოს გეოლოგიური აგებულების განსაკუთრებული სირთულეების შესწავლაში როგორც ქართველი, ისე სხვა ეროვნების გამოჩენილი გეოლოგების მიერ უაღრესად ნაყოფიერი მეცნიერული კვლევის შედეგებზე [4]. სწორედ ამ ნაშრომში განმარტა ავტორმა, რომ დანაოჭების პირინეულ ფაზაში, ზედა ეოცენის თუ ოლიგოცენის დასაწყისში ხდება მთელი ქვეყნის საერთო აზევება, რომელიც მალევე დაძირვით შეიცვალა. მისი თვალთახედვით ასეთი სურათი შენარჩუნდა ქვედა მიოცენის ბოლომდე, ე.ი. შტირიული ფაზის გამოვლინებამდე, რომელიც ყველაზე უფრო მძლავრია მთელს ამიერკავკასიაში. ამ ფაზის თანამდევი აღმავალი მოძრაობების შემდეგ, აჭარა-თრიალეთის გეოსინკლინი, გურიის დეპრესიის გამოკლებით, საბოლოოდ თავს აღწევს დაძირვის სტადიას და გარდაიქმნება მთა-ნაოჭა სისტემად.

ამასთან, მ. ვარენცოვის მიხედვით, ოლიგოცენის დროიდან მტკვრის დეპრესიის დასავლეთი ნაწილი ვეებერთელა როფს წარმოადგენს, რომელიც ღრმა სინკლინებისა და განამარხებული ანტიკლინების სერიებისაგან შედგება, გასდევს მტკვრის სანაპიროს და გადაჭიმულია ჩრდილო-დასავლეთიდან სამხრეთ-აღმოსავლეთისაკენ ანუ კავკასიური მიმართებით [5]. აქ მას სამი სტრუქტურული ელემენტისაგან განიხილავენ: ჩრდილოეთით ნორიო-მცხეთის, სამხრეთით თელავ-ამღვეის ანტიკლინორიუმი და მათი გამყოფი – საბურთალოს სიკლინორიუმი. ამ უკანასკნელშია ორმოიანის (დიდმის) და საბურთალოს სინკლინი, გამოყოფილი ერთმანეთისაგან ლისის ანტიკლინით, რომელიც თბილისის წყალსაცავის დასავლეთითაა. ეს სინკლინორიუმი დასავლეთით მანგლისის მხარეს გრძელდება,

აღმოსავლეთით კი თანდათანობით აზევდება და იორის ხეობაში მთავრდება. ასევე თანდათანობით აღმოსავლეთით მცირდება ლისის ანტიკლინისა და საბურთალოს სინკლინის ფრთების მანძილი და საბოლოოდ, მათ დასასრული აქვს თბილისის წყალსაცავის აღმოსავლეთით.

დეპრესიების სიმრავლე თბილისის ტერიტორიაზე, რომელთაც ჩაკეტილ დეპრესებად მოიხსენიებენ, მეოთხეული ტბიური და ტბიურ-ჭაობური გრუნტების დაგროვების არეალია, განსაკუთრებული ნივთიერი შედგენილობითაც გამოირჩევა. ლაპარაკია, მათ ფიზიკურ-მექანიკურ თვისებებსა და სამშენებლო ვარგისობაზე. დიდი ქალაქის ფარგლებში – განაშენიანების სივრცეში, 10 ასეთი ჩაკეტილი დეპრესიაა: ოთხი მტკვრის მარცხენა სანაპიროზე, ექვსიც – მარჯვენაზე [8].

მთლიანობაში დენუდაციის არე კლდოვანი და ნახევრად კლდოვანი ქანებითაა აგებული, ხოლო აკუმულაციის არე – ფხვიერი და შეკავშირებული გრუნტებით. შუალედური ზონა კი (ტრანზიტული აკუმულაციის არე) აგებული არის, ძირითადად ჩონჩხის მაკროფოროვანი, ჯდომადი, შეკავშირებული გრუნტებით, რომელთაც სამხრეთი ექსპოზიციის ფერდობები უჭირავს.

ასე რომ, „თბილისის ზღვის“, იგივე მლაშე ტბების ჩაკეტილი დეპრესიაც გაწეილია ჩრდილო-დასავლეთიდან სამხრეთ-აღმოსავლეთისაკენ, მდინარე მტკვრის პარალელურად. ტბების ქვაბულები განმხოლოებულია კლდოვანი ბარიერებით და მათი საერთო დაქანება ჩრდილო-დასავლეთისკენაა, ე.ი. მტკვრის თანამედროვე დინების საპირისპიროდ. არც ჭაბურღილებმა, რომლებითაც ტბების ფსკერი იბურღებოდა, არ გამოავლინა მდინარეული კენჭნარ-ქვიშნარი ნატანი, მაშასადამე სამიდან არცერთი ტბის ქვაბული არ არის მდ. მტკვრის კალაპოტი. ეს არ ნიშნავს, რომ დეპრესია „პალეომტკვრის“ ვრცელი ეროზიული ველის ფარგლებში არ წარმოქმ-

ნილა, რომელიც კიდევ უფრო შორსაა აღმოსავლეთით გადაჭიმული [9]. ცხადია, რომ ერთმანეთთან ახლო მყოფმა უბნებმა განიცადა მსგავსი სახის მოძრაობა სხვადასხვა ამპლიტუდით, მაგრამ ჩაზნექის საერთო მიმართულებით.

გ. ჯაფარიძე არაერთ ფაქტს გეთავაზობს იმ ვარაუდის დასადასტურებლად, რომ ტექტონიკური ფაქტორი მლაშე ტბების ჩაკეტილი დეპრესიების წარმოქმნაში ერთადერთი შესაძლებელი ინტერპრეტაციაა. კლდოვანი ბარიერების არსებობა და დეპრესიის ზედაპირის მტკვრის კალაპოტის მიმართ შექცეული დაქანება ნეოტექტონიკის ნიშნებია, რომელთა დასტური, ძირითადად, ტბური ნალექების ქვეშ ჩამარხული დეპრესიის კლდოვანი ბარიერის ნაწილში უნდა ვეძებოთ [8]. ავტორი ასევე მიიხნევს ქალაქის ტერიტორიის დასავლეთ ნაწილის თანდათანობითი აზეგების მაუწყებლად, მეტეხის ციხესთან, მდ. მტკვრის დინების გზაზე შუა ეოცენის ტუფოგენურ ქანებში გაჭრილ ვიწრო კალაპოტს (30–35 მეტრამდე). ასეთი დაშვების გარეშე ძნელი წარმოსადგენია ყველაზე მაგარი ტუფოგენური ქვიშაქვებით აგებული მდინარის ხეობის გაკვეთა (სურ. 4).

ნიკის ნიშნებია, რომელთა დასტური, ძირითადად, ტბური ნალექების ქვეშ ჩამარხული დეპრესიის კლდოვანი ბარიერის ნაწილში უნდა ვეძებოთ [8]. ავტორი ასევე მიიხნევს ქალაქის ტერიტორიის დასავლეთ ნაწილის თანდათანობითი აზეგების მაუწყებლად, მეტეხის ციხესთან, მდ. მტკვრის დინების გზაზე შუა ეოცენის ტუფოგენურ ქანებში გაჭრილ ვიწრო კალაპოტს (30–35 მეტრამდე). ასეთი დაშვების გარეშე ძნელი წარმოსადგენია ყველაზე მაგარი ტუფოგენური ქვიშაქვებით აგებული მდინარის ხეობის გაკვეთა (სურ. 4).



სურ. 4. მტკვრის ხეობა. ვიწრო კალაპოტი მეტეხთან

თბილისის წყალსაცავის პერიმეტრზე, სენსიტიურ უბნებში თითქმის ყველა, სამოცდაათივე ჭაბურღილის მონაცემები ადასტურებს გრუნტში ქიმიური გამოტუტვის პროცესებსაც [10].

საინჟინრო-გეოლოგიური დაკვირვებები აქ, კაშხლების რაიონში ფილტრაციული წყლების რეჟიმზე 1954 წლიდან წარმოებს, რომლის მაჩვენებლები უშუალოდაა დაკავშირებული წყალსაცავში დონის ცვალებადობასთან და ქანებში სუფოზიური მოვლენების განვითარებასთან [11]. ბეტონის და მიწის კაშხლების სენსიტიური უბ-

ნების გამოკვლევებით კონტროლდება მათი გავლენა ქალაქის ამ ტერიტორიაზე არსებულ შენობა-ნაგებობათა ფუძე-საძირკვლების და მათი გრუნტების გეოტექნიკური თვისებების ცვალებადობაზე; შესაბამისად, გათვალისწინებულია თბილისის ზღვის ნაპირისა და მის გასწვრივ, პიეზომეტრული ჭაბურღილების ქსელში, წყლის დონეთა სისტემური მონიტორინგი.

ცხადია, ამ საკითხის შესწავლა ასეთი მთიანი-ნაოჭა რეგიონის სინამდვილეში კვლავაც უნდა გაგრძელდეს, ვინაიდან დეპრესია გაგრძე-

ლებული და დამახასიათებელი ფორმაა საქართველოს ტერიტორიისათვის და მისი საინჟინრო-სამეურნეო ათვისება და რაციონალური გამოყენება ეკოლოგიური გეოლოგიის მნიშვნელოვანი პრობლემაა. სპეციფიკურია ამ მხრივ აჭარათრიალეთის ნაოჭა სისტემაში, ამ მკაფიოდ შემოფარგლულ გეოტექტონიკურ ერთეულში, ე.წ. სამხრეთი ზონის ახალციხის ქვეზონა, რომელიც მორფოლოგიურად და ტექტონიკურად დებურესიას წარმოადგენს. მიუხედავად იმისა, რომ მეოთხეულში მისი აზეგება ხდებოდა, რაზეც მდინარეული ტერასები მეტყველებს - იგი მაინც დებურესიად რჩება [2]. ეს განპირობებული იყო როგორც საერთო ტექტონიკური აგებულებით, ისე მდინარე მტკვრის და მისი შენაკადების –

ფოცხოვისა და ქვაბლიანის ინტენსიური ეროზიული მოქმედებით.

საპროექტო მტკვარპეის გამოკვლეული ტერიტორიის დიდი ნაწილი თრიალეთის მთიანეთის ცენტრალურ ზონაშია განლაგებული, მხოლოდ ჩრდილოეთ ნაწილია ახალციხის დებურესიაში. აღმინისტრაციულად ჰიდროკანდის სამშენებლო ტერიტორია ახალციხისა და ასპინძის რაიონებშია. იგი მოიცავს მდ. მტკვრის ხეობის ნაწილს სოფ. რუსთავიდან სოფ. საყუნეთამდე. ამ მონაკვეთში მტკვარი გარს უვლის თრიალეთის ქედის დასავლეთ დაბოლოებას და ქმნის რკალური ფორმის ხეობას (სურ. 5 ). წყალსაცავის და სათავე ნაგებობის მოწყობა იგეგმება სოფ. რუსთავში, ხოლო მათანაბრებელი რეზერვუარის და პესის შენობისა – სოფ. საყუნეთში.



სურ. 5. მტკვარპეის საპროექტო წყალსაცავის ტერიტორია თრიალეთის ქედის დასავლეთ დაბოლოებაზე

ასეთი მოსახულობის პირობებში მდინარის კალაპოტის ამ მონაკვეთის ზედა და ქვედა დაბოლოებების ნიშნულებს შორის საკმაოდ დიდი სხვაობის გამო, ხელსაყრელი პირობები იქმნება ჰიდროელექტროსადგურის მშენებლობისათვის. გენერატორზე წყლის ნაკადის მიწოდებისათვის პროექტი ითვალისწინებს 10 კმ სიგრძის სადურიაციო გვირაბის მშენებლობას სოფ. რუსთავიდან სოფ. საყუნეთამდე, რომელიც გაკვეთს თრიალეთის ქედის უკიდურეს დასავლეთ დაბოლოებას მისი ზედაპირის შედარებით დადაბლებული ნიშნულების ზონაში [12]. იგი უმნიშვნელოვანესი კვლევის ობიექტი გახდა საინჟინრო-გეოლოგიური ძიებისათვის, კერძოდ, მისი ტექტო-გენურ-ეროზიული რელიეფი, გართულებული გეოდინამიკური პირობები, განსაკუთრებით კი კლდოვან ქანებში განვითარებული ნაპრალოვნება.

### დასკვნა

დეპრესიების გეოლოგიურ გარემოს კომპლექსური თავისებურებების, მათი ტერიტორიის საერთო მდგრადობის სირთულეთა გათვალისწინებით, საინჟინრო-გეოლოგიური კვლევებისა და

ძიების პრაქტიკაში არაერთი რაციონალური პროექტია განხორციელებული, რომლის ბაზაზეც შესაძლებელია ამ ტერიტორიების გამოყენების ვარგისობის, მათი პოტენციალის შეფასების დადგენა და სამეურნეო ათვისების უზრუნველყოფა. ამის თვალსაჩინო მაგალითია, ყველა სხვა დეპრესიათა შორის, ზემოთ ხსენებული ფსხუს, რიწის ტბის, თბილისის ზღვისა და მტკვარპეის შესწავლის, ანალიზისა და ათვისების შედეგები.

საინჟინრო-გეოლოგიური ძიებისა და კვლევის მრავალწლიანი გამოცდილება და სპეციალისტთა დიდი ნაწილის შრომები კიდევ უფრო აღრმავებს ზემოაღნიშნულ მოსაზრებას და მიგვაჩნია, რომ, მაგალითად, თბილისის მლაშე ტბების ჩაკეტილი დეპრესიის განვითარებას როგორც ტექტონიკური, ისე ეროზიული მოვლენების ს ი ნ ქ რ ო ნ უ ლ ი მოქმედებით მიეყავართ ასეთი ტიპური მორფოლოგიური სახეების წარმოქმნამდე – როცა დედამიწის ქერქის ამოხევებას თან ახლავს ინტენსიური ეროზიულ-დენუდაციური პროცესები.

### ლიტერატურა

1. F. Laksi. Field Geology. vol. 1. Moscow, "Mir", 1966. (In Russian).
2. Geology of the USSR, Vol. X, Georgian SSR, Pt. 1. Geological Description, P. Gamkrelidze (ed). Moscow, "Nedra". 1964. (in Russian).
3. E. Milanowski, V. Khain. Geological structure of the Caucasus. M. Muratov (ed). "Moskovski Universitet", 1963. (in Russian).
4. P. Gamkrelidze. Main features of the geological structure of Georgia. Geological Institute of the Academy of Sciences of GSSR. Vol. XV. 1957, 70-98 pp. (in Russian).
5. M. Varentsov. Selected Works. Geology and oil and gas content of intermountain troughs in the Alpine zone. Moscow. 1981, 69-129 pp. (in Russian).
6. D. Rogava. Engineering Geology of Western Abkhazia. "Teqniki universiteti". Tbilisi. 2005, 186 p. (in Georgian).
7. Academy of Sciences of GSSR. Geological Society of Georgia. Geological Problems of the North-western Part of Abkhazia. M. Rubinshtein (Ed). Tbilisi. "Metsniereba". 1977, 238 p. (in Georgian).
8. G. Japaridze. Engineering Geology of Tbilisi. Tbilisi. "Sabchota Sakartvelo". 1984, 155 p. (in Georgian).

9. S. Elerdashvili, I. Elerdashvili. For the origins of salt lakes troughs in mountainous region. "Problems of hydrogeology of engineering geology". Tbilisi, "Metsniereba". 1976. 397-404 pp. (in Russian).
  10. T. Tevzadze. Report. Geoecological research of sensitive areas of hydromelioration embankment dam and reservoir. Institute of Water Management and Engineering Ecology. Tbilisi. 2007, 95 p. (in Georgian).
  11. G. Chokhanelidze. Engineering – geological conditions for concrete dams deformation of the Tbilisi Sea. Proceedings of V.I. Lenin Georgian Polytechnical Institute, 2 (87). Tbilisi. 1963, 81-90 pp. (in Georgian).
  12. GeoEngineering Ltd. Engineering research, design, construction. Mtkvari hydro power plant (HPP) on the Mtkvari River in Georgia. The second stage of engineering-geological research. Technical report. 2009, 70 p. (in Georgian).
- 

**UDC 1909**

**SCOPUS CODE 624.131.31**

## **ON ENGINEERING AND GEOLOGICAL ASSESSMENT OF DEPRESSION**

- D. Rogava** Department of Applied Geology, Georgian Technical University, 75 M. Kostava str., 0175 Tbilisi, Georgia  
E-mail: maikor@yahoo.com
- D. Sirbiladze** GeoEngineering Ltd. 15a Tamarashvili Str., Tbilisi, Georgia  
E-mail: david-sirbiladze@rambler.ru

### **Reviewers:**

**M. Lapiashvili**, Associate Professor, Department of Applied Geology, Faculty of Mining and Geology, GTU  
E-mail: m.Lapiashvili@gtu.ge

**G. Chokhanelidze**, Professor, Department of Civil and Industrial Engineering, Faculty of Civil Engineering, GTU  
E-mail: dep45@gtu.ge

**ABSTRACT.** Depressions (troughs) are negative landforms of relief resulting from plicate dislocations and oscillations of the earth's crust. Different depressions of various scale and depth are studied almost in all regions of Georgia. Generally the entire territory of the country is located in the intermountain troughs. Complex engineering and geological background is created by the existence of almost all types of rocks in the crust of its geological environment. As an example, the article considers the phenomena in the geological environment of Pskhu village, the lake Ritsa, "Tbilisi Sea", Akhaltsikhe trough. Regional engineering - geological assessment of the depressions, their efficient utilization and maintenance of ecological balance in the technosphere are considered to be the main problems and challenges in engineering research.

**KEY WORDS:** basin; depression; geological environment; Mtkvari depression; Pskhu; Ritsa; "Tbilisi Sea"; utilization of the ground; trough; tectonics.



UDC 624.131.31

SCOPUS CODE 1909

## К ВОПРОСУ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ДЕПРЕССИИ

- Рогавა Д.В.** Департамент прикладной геологии, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава, 75  
E-mail: maikor@yahoo.com
- Сирбиладзе Д.З.** ООО «Джеоинжиниринг», Грузия, Тбилиси, ул. Тамарашвили 15<sup>а</sup>  
E-mail: david-sirbiladze@rambler.ru

### Рецензенты:

**М. Лапишвили**, ассоц. профессор Департамента прикладной геологии горно-геологического факультета ГТУ  
E-mail: m.Lapiashvili@gtu.ge

**Г. Чохонелидзе**, профессор, доктор технических наук Департамента гражданского и промышленного строительства строительного факультета ГТУ  
E-mail: dep45@gtu.ge

**АННОТАЦИЯ.** Депрессии (котловины) - отрицательные формы рельефа, сопутствующие результатам складчатых дислокаций и колебательных движений земной коры. Они разного масштаба и глубины, изучены почти во всех регионах Грузии. В целом, вся территория страны расположена в области межгорных впадин, возникновение и развитие которых дает основание предполагать синхронность воздействия как тектонических, так и эрозионных явлений. Сложный инженерно-геологический фон создается существованием почти всех типов пород в земной коре ее геологической среды. Из-за наличия многообразных комплексов и обострения экологической ситуации, предметом особого внимания считаются котловины, и в частности, перспективы рационального использования территории замкнутых депрессий. В статье в качестве примера рассматриваются явления в геологической среде котловины села Псху, озера Рица, Тбилисского моря, Ахалцихе.

Инженерно-геологическая региональная оценка депрессий, хозяйственное освоение их и сохранение экологического равновесия техносферы—основная проблема инженерного поиска и исследования.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** впадина; геологическая среда; депрессия; котловина; Куринская депрессия; освоение территорий; Псху; Рица; Тбилисское море; тектоника.

UDC 620.9

SCOPUS CODE 2001

## საქართველოში საშუალოვადიან პერიოდში ენერგორესურსების წარმოების ოპტიმალური დაგეგმვა

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

### რეცენზენტები:

**ნ. სამსონია**, სტუ-ის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის ელექტროენერგეტიკის და ელექტრომექანიკის დეპარტამენტის პროფესორი

E-mail: nanasamsonia@mail.ru

**ლ. ბოჭორიშვილი**, სტუ-ის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის ელექტროენერგეტიკის და ელექტრომექანიკის დეპარტამენტის პროფესორი

E-mail: lalibochorishvili@yahoo.com

**ანოტაცია:** სტატიაში საშუალოვადიან პერიოდში ენერგორესურსების წარმოების ოპტიმალური დაგეგმვის საერთაშორისო გამოცდილების ანალიზის საფუძველზე დასაბუთებულია დასმული პრობლემების თანამედროვე მოთხოვნების დონეზე გადაჭრის აქტუალურობა. საქართველოს მაგალითით, კორელაციური ანალიზით დადგენილია ენერგორესურსების წარმოებაზე მოქმედი ფაქტორები. პროგნოზირების ავტორეგრესული მოდელების გამოყენებით განხორციელებულია საშუალოვადიან პერიოდში ამ ფაქტორების პროგნოზირება. რეგრესული ანალიზისა და ხელოვნული ნეირონული ქსელების გამოყენებით ჩატარებულია

საქართველოში ელექტროენერჯის, შეშის, ნახშირის, ნავთობისა და ბუნებრივი აირის წარმოების საშუალოვადიანი პროგნოზირება. რეგულირებადი ტრენდით ექსპონენციალური გამოთანაბრების მეთოდით დაზუსტებულია წარმოების პარამეტრები, შესაბამისად, განსაზღვრულია პროგნოზული მაჩვენებლები. საქართველოში ენერგორესურსების წარმოების განვითარების პერსპექტივების სიღრმისეული ანალიზის მიხედვით ჩამოყალიბებულია საშუალოვადიან პერიოდში ენერგორესურსების წარმოების ოპტიმალურად დაგეგმვის მრავალფაქტორიანი მათემატიკური მოდელი და, შესაბამისად, შემუშავებულია ენერგორესურსების წარმოების ოპტიმალური დაგეგმვის ერთიანი მეთო-

ლიკა. აღნიშნული მეთოდის აპრობირებულია საქართველოს მაგალითზე და განსაზღვრულია საშუალოვადიანი პერიოდისთვის ენერგორესურსების წარმოების ოპტიმალური გეგმური პარამეტრები.

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

### შესავალი

საქართველოში საშუალოვადიან პერიოდში ენერგორესურსების წარმოების ოპტიმალური დაგეგმვის პრობლემისადმი მიძღვნილი მეცნიერული შრომების [8, 10, 11] ანალიზმა გვიჩვენა, რომ ამ საკითხის გადაწყვეტისადმი მიდგომა სხვადასხვაგვარია. ამ შრომებში ნაკლებად არის გამახვილებული ყურადღება პრობლემის კომპლექსურ ხასიათზე, ქვეყნებში ენერგორესურსების წარმოების განსხვავებულ სტრუქტურაზე, ენერგეტიკული დამოკიდებლობის დონეზე, ქვეყნების სოციალურ-ეკონომიკურ მდგომარეობაზე. შესაბამისად, შეიძლება გაკეთდეს ცალსახა დასკვნა, რომ საქართველოში ენერგორესურსების წარმოების საშუალოვადიან პერიოდში ოპტიმალური დაგეგმვის ამოცანა უნდა გადაიჭრას პრობლემისადმი კომპლექსური მიდგომით. კვლევაში პროგნოზირების თანამედროვე მათემატიკური და ექსპერტული შეფასების მეთოდების ერთობლივი გამოყენებით ოპტიმალური საგეგმო პარამეტრები უნდა დადგინდეს მათ სიდიდეზე მოქმედი ყველა შესაძლო ფაქტორის გათვალისწინებით. მრავალფაქტორიანი პროგნოზული და ექსპერტული ანალიზის საფუძველზე, კონკურენტუნარიანი ფასების შენარჩუნების პირობებში, საშუალოვადიან პერიოდში

უნდა განისაზღვროს ადგილობრივი ენერგორესურსების წარმოების ისეთი საგეგმო პარამეტრები, რომლებიც მაქსიმალურად უზრუნველყოფს მათზე ქვეყნის მოთხოვნის დაკმაყოფილებას, ექსპორტის ზრდას და შეამცირებს იმპორტზე დამოკიდებულებას.

საქართველოში საშუალოვადიან პერიოდში ენერგორესურსების წარმოების ოპტიმალური საგეგმო მანქვებლების განსაზღვრავად უპირველეს გადასაწყვეტ ამოცანად მიგვაჩნია რეგრესული ანალიზისა და ხელოვნური ნეირონული ქსელების გამოყენებით ენერგორესურსების წარმოების პროგნოზირების მრავალფაქტორიანი მათემატიკური მოდელის შემუშავება და დიდი სიზუსტით პროგნოზული პარამეტრების დადგენა, ამ გზით მიღებული პროგნოზული მანქვებლებით, ქვეყანაში ენერგორესურსების წარმოების ზრდის ტემპის გათვალისწინებით, საშუალოვადიანი პერიოდისთვის ენერგორესურსების წარმოების ოპტიმალური გეგმის ფორმირება.

### ძირითადი ნაწილი

ენერგორესურსების წარმოების საშუალოვადიანი პერიოდისთვის პროგნოზირების მრავალფაქტორიანი მათემატიკური მოდელის შემუშავების უზრუნველსაყოფად ექსპერტული შეფასების საფუძველზე განხორციელდა ენერგორესურსების წარმოებაზე მოქმედი ფაქტორების გარკვეული სპექტრის წინასწარ შერჩევა. ჩატარებულმა კვლევამ გვიჩვენა, რომ ელექტროენერჯისა და შემოსის წარმოებაზე, დიდი ალბათობით, შესაძლებელია გავლენას ახდენდეს ფაქტორთა მთელი სპექტრი, მათ შორის:

- ელექტროენერჯის იმპორტი;
- ელექტროენერჯის ექსპორტი;
- პირდაპირი უცხოური ინვესტიციები ენერგეტიკის სექტორში;
- ბუნებრივი გაზის მოხმარება;

- შეშის წარმოება;
- ელექტროენერჯის მოხმარება;
- ელექტროენერჯის სამომხმარებლო ტარიფი;
- ეროვნული ვალუტის საშუალო წლიური გაცვლითი კურსი;
- მშპ-ის რეალური ზრდის ტემპი;
- ბუნებრივი გაზის საყოფაცხოვრებო მოხმარება;
- ურბანიზაციის დონე.
- ელექტროენერჯისა და შეშის წარმოებაზე მოქმედი ფაქტორების დადგენის მიზნით ჩატარდა კორელაციური ანალიზი [12], რომელსაც საფუძვლად დაედო ზემოთ მოყვანილი ფაქტორების 2007–2015 წლების სტატისტიკური მონაცემები (ცხრილი 1, 2).

ცხრილი 1

**საქართველოს ენერგეტიკული რესურსების წარმოების სტატისტიკური მონაცემები 2007–2015 წწ. [1,2,3,4,5,6]**

ენერგორესურსი	ზომის ერთეული	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
ელ. ენერჯია	ერთეული	8,346	8,451	8,408	10,058	10,105	9,695	10,059	10,370	10,833
ნავთობ <sup>2</sup>	მლნ. კვტ.სთ.	63,850	51,660	52,731	50,413	48,942	44,061	51,018	52,120	50,047
ბუნებრივი აირი <sup>3</sup>	ტონა	17,776	13,828	12,165	8,148	5,758	5,380	5,424	8,657	10,148
ნახშირი	1000 მ <sup>3</sup>	18,891	58,275	168,451	267,664	352,872	421,755	371,847	275,058	177,560
შეშა	ტონა	805,423	818,231	697,461	798,881	595,433	447,479	626,243	595,359	445,020

ცხრილი 2

**ელექტროენერჯისა და შეშის წარმოებაზე მოქმედი ფაქტორების სტატისტიკური მონაცემები 2007–2015 წწ. [1,2,3,4,5,6,7]**

ენერგორესურსი	ზომის ერთეული	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
ელექტროენერჯის იმპორტი	მლნ. კვტ.სთ	433	649	255	222	471	615	484	59	699
ელექტროენერჯის ექსპორტი	მლნ. კვტ.სთ	626	680	749	1,524	931	528	450	604	660
პუი ენერჯეტიკის სექტორში	მლნ. აშშ დოლარი	362.58	294.86	-2.13	21.88	203.95	179.40	244.75	189.94	65.31
ბუნებრივი გაზის მოხმარება	მლნ. კუბური მეტრი	1,684	1,463	1,184	1,094	1,750	1,933	1,907	2,190	2,403
შეშის წარმოება	კუბური მეტრი	805,423	818,231	697,461	798,881	595,433	447,479	626,243	595,359	445,020
ელექტროენერჯის მოხმარება	მლნ. კვტ.სთ	8,603	8,930	8,533	10,141	10,383	10,087	10,345	11,006	11,292

<sup>1</sup> მთლიანი შიგა პროდუქტი

<sup>2</sup> ნავთობპროდუქტები და ნავთობი, მოპოვებული ბიტუმოვანი მინერალებისაგან, ნედლი

<sup>3</sup> ბუნებრივი გაზი თხევად ან გაზისებრ მდგომარეობაში

გაგრძელება

ელექტროენერჯის სამომხმარებლო ტარიფი	აშშ ცენტ/ კვტ.სთ დღე-ის ჩათვლით	8.12	8.12	8.12	7.97	7.97	7.58	7.58	8.20	8.62
საშუალო წლიური გაცვლითი კურსი	აშშ დოლარი / ლარი	1.6707	1.4902	1.6705	1.7826	1.6860	1.6513	1.6634	1.7659	2.2750
მშპ-ის რეალური ზრდა	პროცენტული ცვლილება (%)	12.58	2.61	-3.74	6.2	7.19	6.4	3.32	4.62	2.8
ბუნებრივი გაზის საყოფაცხოვრებო მოხმარება	მლნ. კუბური მეტრი	980.8	1078.5	886.8	889.2	1086.4	1189.8	1370.7	1579.2	1689.4
ურბანიზაციის დონე	%	53%	53%	53%	53%	53%	53%	54%	54%	57%

კორელაციური ანალიზის შედეგები ასახულია მე-3 და მე-4 ცხრილებში.

ცხრილი 3

ელექტროენერჯის წარმოების პროგნოზირებაზე მოქმედი ფაქტორების კორელაციური მატრიცა

ფაქტორები	ელექტროენერჯის წარმოება	ელექტროენერჯის იმპორტი	ელექტროენერჯის ექსპორტი	ჰუი ენერჯტიკის სექტორში	ბუნებრივი გაზის მოხმარება	შეშის წარმოება	ელექტროენერჯის მოხმარება	ელექტროენერჯის სამომხმარებლო ტარიფი	საშუალო წლიური გაცვლითი კურსი	მშპ-ის რეალური ზრდა
ელექტროენერჯის წარმოება	1.000									
ელექტროენერჯის იმპორტი	-0.020	1.000								
ელექტროენერჯის ექსპორტი	0.125	-0.356	1.000							

გაგრძელება

პუი ენერჯეტიკის სექტორში	-0.331	0.284	-0.502	1.000						
ბუნებრივი გაზის მოხმარება	0.615	0.304	-0.619	0.233	1.000					
შეშის წარმოება	-0.670	-0.313	0.413	0.250	-0.761	1.000				
ელექტროენერჯის მოხმარება	0.986	0.008	0.016	-0.244	0.706	-0.698	1.000			
ელექტროენერჯის სამომხმარებლო ტარიფი	0.096	0.007	0.099	-0.243	0.240	-0.004	0.139	1.000		
საშუალო წლიური გაცვლითი კურსი	0.662	0.161	0.072	-0.478	0.556	-0.551	0.646	0.652	1.000	
მშპ-ის რეალური ზრდა	0.050	0.079	0.089	0.617	0.176	0.127	0.053	-0.157	-0.075	1.000

ცხრილი 4

**შეშის წარმოების პროგნოზირებაზე მოქმედი ფაქტორების კორელაციური მატრიცა**

ფაქტორები	შეშის წარმოება	ბუნებრივი გაზის საყოფაცხოვრებო მოხმარება	ურბანიზაციის დონე
შეშის წარმოება	1.000		
ბუნებრივი გაზის საყოფაცხოვრებო მოხმარება	-0.690	1.000	
ურბანიზაციის დონე	-0.580	0.134	1.000

როგორც მე-3 და მე-4 ცხრილებიდან ჩანს, ექსპერტული შეფასება ენერჯეტიკის წარმოებაზე მოქმედ ფაქტორებზე ძირითადად ემთხვევა კორელაციური ანალიზის შედეგებს.

ვინაიდან საქართველოს ენერჯეტიკის მთლიან წარმოებაში, ნავთობს, ბუნებრივ გაზსა და ნახშირს უმნიშვნელო წილი უჭირავს, მათი

წარმოების საშუალოვადიანი პროგნოზირება ჩატარებულია ავტორეგრესული მეთოდით [13] პირველი ცხრილის მონაცემების საფუძველზე. ამავე მეთოდით არის ჩატარებული ელექტროენერჯისა და შეშის წარმოებაზე მოქმედი ფაქტორების საშუალოვადიანი პროგნოზირება. შედეგები შეტანილია მე-5 და მე-6 ცხრილებში.

**ნავთობის, ბუნებრივი აირისა და ნახშირის წარმოების პროგნოზირების ავტორეგრესული მოდელები**

ენერგორესურსი	პროგნოზირების ავტორეგრესული მოდელი
ნავთობი	$Y_t = 40432.8223631174 + 0.104320801026442Y_{t-1} + 0.0818645775241203Y_{t-2}$
ბუნებრივი გაზი	$Y_t = 2969.59353995853 + 1.11622294697542Y_{t-1} - 0.458041819975042Y_{t-2}$
ნახშირი	$Y_t = 97058.7319735181 + 1.44796250072751Y_{t-1} - 0.85457604756966Y_{t-2}$

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

ფაქტორი	პროგნოზირების ავტორეგრესული მოდელი
ელექტროენერჯის იმპორტი <sup>4</sup>	$Y_t = 0$
ელექტროენერჯის ექსპორტი	$Y_t = 789.975193574696 + 0.378938100723352Y_{t-1} - 0.392634997479875Y_{t-2}$
პუი ენერგეტიკის სექტორში	$Y_t = 210.495569984267 + 0.169196317323099Y_{t-1} - 0.583783984981085Y_{t-2}$
ბუნებრივი გაზის მოხმარება	$Y_t = 257.527676629157 + 0.686708072223146Y_{t-1} + 0.301623958879744Y_{t-2}$
შეშის წარმოება	გამოყენებულია ხელოვნური ნეირონული ქსელების მეთოდი
ელექტროენერჯის მოხმარება	$Y_t = 2392.06178642462 + 0.545458601047022Y_{t-1} + 0.256232484030564Y_{t-2}$
ელექტროენერჯის სამომხმარებლო ტარიფი	$Y_t = 9.73086896037924 + 0.891712900237678Y_{t-1} - 1.11067047743373Y_{t-2}$
საშუალო წლიური გაცვლითი კურსი	$Y_t = 0.804334990959998 + 1.04338625746767Y_{t-1} - 0.460932583109392Y_{t-2}$
მშპ-ის რეალური ზრდა	$Y_t = 6.56345784436357 + 0.0347220665215313Y_{t-1} - 0.580955204861623Y_{t-2}$
ბუნებრივი გაზის საყოფაცხოვრებო მოხმარება	$Y_t = -23.7375866716233 + 1.20956961320583Y_{t-1} - 0.122475356147879Y_{t-2}$
ურბანიზაციის დონე	$Y_t = 0.108 + 0.8Y_{t-1} + 0Y_{t-2}$

პროგნოზირების ავტორეგრესულ მოდელებში  $Y_{t-1}$ ,  $Y_{t-2}$  არის საპროგნოზო ფაქტორების წინა ორი წლის მანუალებები.

მე-5 და მე-6 ცხრილებში მოცემული პროგნოზირების ავტორეგრესული მოდელების გამო-

ყენებით გამოთვლილია შესაბამისი ენერგორესურსის წარმოების და ფაქტორების საპროგნოზო მანუალებები. შედეგები შეტანილია, შესაბამისად, მე-7 და მე-8 ცხრილებში.

<sup>4</sup>მე-3 ცხრილზე დაყრდნობით გაკეთებულია დაშვება, რომ ელექტროენერჯის იმპორტი მთლიანად უნდა ჩანაცვლდეს ადგილობრივი წარმოებით.

**ნავთობის, ბუნებრივი გაზისა და ნახშირის წარმოების პროგნოზული მაჩვენებლები 2016–2020წწ.**

ენერგორესურსი	ზომის ერთეული	2016	2017	2018	2019	2020
ნავთობი	ტონა	49,920	49,738	49,708	49,690	49,686
ბუნებრივი გაზი	1000 მ <sup>3</sup>	10,332	9,854	9,236	8,766	8,524
ნახშირი	ტონა	119,102	117,775	165,811	236,499	297,803

**ელექტროენერჯისა და შეშის წარმოებაზე მოქმედი ფაქტორების საპროგნოზო მაჩვენებლები 2016–2020წწ.**

ფაქტორი	ზომის ერთეული	2016	2017	2018	2019	2020
ელექტროენერჯის იმპორტი	მლნ. კვტ.სთ	0	0	0	0	0
ელექტროენერჯის ექსპორტი	მლნ. კვტ.სთ	803	835	791	762	768
პუი ენერჯეტიკის სექტორში	მლნ. აშშ დოლარი	110.66	191.09	178.23	129.09	128.29
ბუნებრივი გაზის მოხმარება	მლნ. კუბური მეტრი	2,568	2,746	2,918	3,089	3,259
შეშის წარმოება	კუბური მეტრი	437,871	425,101	412,706	400,699	389,048
ელექტროენერჯის მოხმარება	მლნ. კვტ.სთ	11,371	11,488	11,572	11,648	11,710
ელექტროენერჯის სამომხმარებლო ტარიფი	აშშ ცენტი/ კვტ.სთ.დღე-ის ჩათვლით	8.31	7.57	7.24	7.79	8.63
საშუალო წლიური გაცვლითი კურსი	აშშ დოლარი / ლარი	2.3641	2.2224	2.0334	1.9016	1.8512
მშპ-ის რეალური ზრდა	პროცენტული ცვლილება (%)	4.0	5.1	4.4	3.8	4.1
ბუნებრივი გაზის საყოფაცხოვრებო მოხმარება	მლნ. კუბური მეტრი	1,826.30	2,003.33	2,199.37	2,414.93	2,651.66
ურბანიზაციის დონე	%	56%	56%	56%	55%	55%

ელექტროენერჯისა და შეშის წარმოებაზე მოქმედი ფაქტორების პროგნოზული მაჩვენებლების დადგენის შემდეგ შესაძლებელი გახდა ელექტროენერჯისა და შეშის წარმოების პროგნოზირება ხელოვნური ნეირონული ქსელების მეთოდის საშუალებით [9,14].

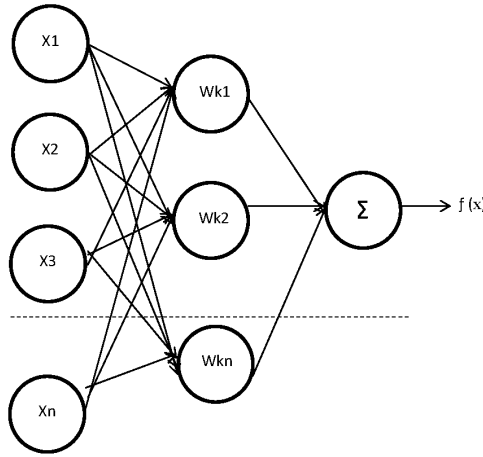
მე-7 და მე-8 ცხრილების მონაცემების საფუძველზე, Predictor X პროგრამული პაკეტის მეშ-

ვეობით, სხვადასხვა აქტივაციის ფუნქციის, ნეირონების არაფარული და ფარული შრეების სხვადასხვა რაოდენობის მიხედვით, ექსპერიმენტით დადგინდა პროგნოზული მაჩვენებლები. კვლევამ აჩვენა, რომ პროგნოზირების ყველაზე დიდი სიზუსტით განხორციელება შესაძლებელია ნეირონების ფარული შრეების – 1 და აქტივაციის ლოგისტიკურ-სიგმოიდური ფუნქციით. შე-



საბამისად, საშუალოვადიან პერიოდში ელექტროენერჯისა და შეშის წარმოების პროგნოზირების ხელგონური ნეირონული ქსელების მოდელი

მიიღებს სურათზე მოცემულ სახეს. ელექტროენერჯისა და შეშის წარმოების პროგნოზული პარამეტრები ასახულია მე-9 ცხრილში.



გრძელვადიან პერიოდში ელექტროენერჯისა და შეშის წარმოების მაჩვენებლების პროგნოზირების მოდელი

ცხრილი 9

**ელექტროენერჯისა და შეშის წარმოების პროგნოზული პარამეტრები**

ენერგორესურსი	ზომის ერთეული	2016	2017	2018	2019	2020
ელექტროენერჯია	მლნ. კვტ.სთ	11,226	11,578	11,948	12,266	12,675
შეშა	მ <sup>3</sup>	437,871	425,101	412,706	400,699	389,048

ცხრილი 10

**ენერგორესურსების წარმოების პროგნოზული პარამეტრები**

ენერგორესურსი	ზომის ერთეული	2016	2017	2018	2019	2020
ელექტროენერჯია	მლნ. კვტ.სთ.	11,226	11,578	11,948	12,266	12,675
შეშა	მ <sup>3</sup>	437,871	425,101	412,706	400,699	389,048
ნავთობი	ტონა	49,920	49,738	49,708	49,690	49,686
ბუნებრივი გაზი	1000 მ <sup>3</sup>	10,332	9,854	9,236	8,766	8,524
ნახშირი	ტონა	119,102	117,775	165,811	236,499	297,803

საშუალოვადიანი პერიოდისათვის საქართველოში ენერგეტიკული რესურსების წარმოების ოპტიმალური გეგმის ჩამოსაყალიბებლად აღნიშნული რესურსების შესახებ მე-9 და მე-10 ცხრილებში მოცემული პროგნოზული მაჩვენებლების

მიხედვით ჩატარდა ექსპერტული ანალიზი, დადგინდა ელექტროენერჯის, შეშის, ბუნებრივი გაზის, ნავთობისა და ქვანახშირის წარმოების ზრდის ტემპი. კვლევის შედეგები მოცემულია მე-11 ცხრილში.

**ელექტროენერჯის, შეშის, ბუნებრივი გაზის, ნავთობისა და ქვანახშირის წარმოების ზრდის ტემპი**

ენერგორესურსი	2016	2017	2018	2019	2020
ელექტროენერჯია	3.6%	3.1%	3.2%	2.7%	3.3%
შეშა	-1.6%	-2.9%	-2.9%	-2.9%	-2.9%
ნავთობი	-0.3%	-0.4%	-0.1%	0.0%	0.0%
ბუნებრივი გაზი	1.8%	-4.6%	-6.3%	-5.1%	-2.8%
ნახშირი	-32.9%	-1.1%	40.8%	42.6%	25.9%

დეტალურად იქნა შესწავლილი ქვეყანაში ელექტროენერჯის გენერაციის ობიექტების მშენებლობის მიმდინარეობა. აღნიშნულის საფუძველზე დაზუსტდა 2020 წლამდე მათი ექსპლუატაციაში გაშვების გრაფიკი [1], განისაზღვრა ელექტროენერჯის გამომუშავების შესაძლებ-

ლობები, ცალკე გაანალიზდა ამჟამად მოქმედი თბოელექტროსადგურების მიერ ელექტროენერჯის გამომუშავების გაზრდის პერსპექტივები. თვალსაჩინოების მიზნით კვლევის შედეგები შეტანილია მე-12 ცხრილში.

**საქართველოში 2016–2020 წლებში გენერაციის ახალი ობიექტების ექსპლუატაციაში შესვლის შედეგად დამატებითი ელექტროენერჯის გამომუშავების მაჩვენებლები**

ენერგორესურსი	ზომის ერთეული	წარმოება	2016	2017	2018	2019	2020
ელექტროენერჯია	მლნ. კვტ.სთ	ზედა, თეორიულად შესაძლებელი	1,365.5	2,370.5	2,872.0	3,212.1	3,376.3
		ქვედა, რეალურად შესაძლებელი	1,092.72	1,896.4	2,298.36	2,574.2	2,701.2

ზემოთ მოყვანილი კვლევის შედეგების კომპლექსურად შეფასების, ახალი საწარმოო სიმძლავრეების დადგენილ ვადებში ექსპლუატაციაში შეყვანის, ელექტროენერჯის წარმოებაში თბოსადგურების შესაძლებლობების მაქსიმალურად გამოყენების, მოსახლეობის გაზიფიკაციის შემდგომი გაფართოების ეფექტის გათვალისწი-

ნებით, რეგულირებადი ტრენდით ექსპონენციალური გამოთანაბრების [14] მეთოდის გათვალისწინებით, დადგინდა ენერგორესურსების წარმოების ზედა და ქვედა ზღვრები. შესაბამისად, საშუალოვადიან პერიოდში საქართველოში ენერგორესურსების წარმოების ოპტიმალური გეგმა მიიღებს მე-13 ცხრილში მოცემულ სახეს.

საშუალოვადიან პერიოდში საქართველოში ენერგორესურსების წარმოების ოპტიმალური გეგმა

ენერგორესურსი	ზომის ერთეული	ზღვარი	2016	2017	2018	2019	2020
ელექტროენერჯია	მლნ. კვტ.სთ.	ზედა	12,592	13,949	14,820	15,478	16,051
		საბაზისო	12,319	13,474	14,246	14,840	15,376
		ქვედა	11,226	11,578	11,948	12,266	12,675
შეშა	გპ	ზედა	459,765	446,356	433,341	420,734	408,500
		საბაზისო	437,871	425,101	412,706	400,699	389,048
		ქვედა	415,977	403,846	392,071	380,664	369,596
ნავთობი	ტონა	ზედა	52,416	52,225	52,193	52,175	52,170
		საბაზისო	49,920	49,738	49,708	49,690	49,686
		ქვედა	47,424	47,251	47,223	47,206	47,202
ბუნებრივი გაზი	1000 მ <sup>3</sup>	ზედა	10,849	10,347	9,698	9,204	8,950
		საბაზისო	10,332	9,854	9,236	8,766	8,524
		ქვედა	9,815	9,361	8,774	8,328	8,098
ნახშირი	ტონა	ზედა	125,057	123,664	174,102	248,324	312,693
		საბაზისო	119,102	117,775	165,811	236,499	297,803
		ქვედა	113,147	111,886	157,520	224,674	282,913

**დასკვნა**

1. კორელაციური ანალიზით დადგენილია საქართველოში ენერგორესურსების წარმოებაზე მოქმედი ფაქტორები პროგნოზირების ავტორეგრესული მოდელების გამოყენებით, განსაზღვრულია საშუალოვადიან პერიოდში ამ ფაქტორების პროგნოზული სიდიდეები;
2. პროგნოზირების დიდი სიზუსტით განხორციელების მიზნით რეგრესული ანალიზისა და ხელოვნური ნეირონული ქსელების მეშვეობით შესრულებულია საქართველოში ელექტროენერჯიის, შეშის, ნახშირის, ნავთობისა და ბუნებრივი გაზის წარმოების საშუალოვადიანი პროგნოზირება, ექსპონენციალური გამოთანაბრების მეთოდით დაზუსტებულია წარმოების პარამეტრები, შესაბამისად, განსაზღვრულია პროგნოზული მანველებლები;

3. საშუალოვადიან პერიოდში საქართველოში ენერგორესურსების წარმოების ოპტიმალურად დაგეგმვის უზრუნველსაყოფად ენერგორესურსების წარმოების შესახებ მეცნიერული კვლევებით მიღებული პროგნოზული პარამეტრების, ქვეყანაში ენერგორესურსების წარმოების განვითარების პერსპექტივების სიღრმისეული ანალიზისა და ზემოთ ჩამოყალიბებული დაგეგმვის ოპტიმალურობის კრიტერიუმით განსაზღვრული მოთხოვნების საფუძველზე ჩამოყალიბებულია საშუალოვადიან პერიოდში ქვეყანაში ენერგორესურსების წარმოების ოპტიმალურად დაგეგმვის მრავალფაქტორიანი მათემატიკური მოდელი;
4. პრობლემების გადაწყვეტისადმი კომპლექსური მიდგომით შემუშავებულია საქართველოში საშუალოვადიან პერიოდში ენერგორესურსების წარმოების ოპტიმალური და-

გეგმვის ერთიანი მეთოდოლოგია, რომელიც ატარებს უნივერსალურ ხასიათს და მისი გამოყენება შესაძლებელია ნებისმიერ დარგში, პროდუქციის წარმოების ოპტიმალურად დაგეგმვაში. აღნიშნული მეთოდოლოგია აპრობირებულია საქართველოს მაგალითზე და შესაბამისად, განსაზღვრულია საშუალოვადიან პერიოდში ენერგორესურსების წარმოების ოპტიმალური გეგმური პარამეტრები.

რეზიუმე

### ლიტერატურა

1. Website of the Ministry of Energy of Georgia <http://www.energy.gov.ge/>. (in Georgian).
2. Website of JSC Electricity System Commercial Operator ESCO. 2006-2015 Energy Balance [http://esco.ge/index.php?article\\_id=8&clang=0](http://esco.ge/index.php?article_id=8&clang=0). (in Georgian).
3. Website of National Statistics Office of Georgia <http://www.geostat.ge/>. (in Georgian).
4. Website of Georgian National Energy and Water Supply Regulatory Commission, annual reports <http://gnerc.org/ge/public-information/reports/tsliuri-angarishi>. (in Georgian).
5. US Energy Information Administration / International Energy Statistics. <http://www.eia.gov/cfapps/ipdbproject/iedindex3.cfm?tid=3&pid=26&aid=1&cid=GG,&syid=1980&eyid=2012&unit=BCF>. (in English).
6. International Energy Agency <http://www.iea.org/statistics/statisticsearch/report/?country=GEORGIA&product=balances&year=2010>. (in English).
7. World Bank Website <http://data.worldbank.org/country/georgia>. (in English).
8. Global and Russian energy outlook to 2040 / the energy research institute of the Russian academy of sciences / the analytical center for the government of the Russian federation. 2013. (in Russian). <http://ac.gov.ru/files/publication/a/789.pdf>.
9. Artificial Neural Networks: An Introduction to ANN Theory and Practice edited by P.J. Braspenning, F. Thuijsman, A.J.M.M. Weijters. (in English).
10. Energy Strategy of Russia for the period up to 2035. (in Russian).
11. International Energy Outlook 2013. DOE/EIA-0484 (2013). (in English).
12. [http://www.eia.gov/forecasts/ieo/pdf/0484\(2013\).pdf](http://www.eia.gov/forecasts/ieo/pdf/0484(2013).pdf). (in English).
13. J. Isotalo. „Basics of Statistics“. 79 p. 2008. (in English).
14. W. Penny and L. Harrison. Multivariate autoregressive models. In K. Friston, J. Ashburner, S. Kiebel, T. Nichols, and W. Penny, editors, Statistical Parametric Mapping: The analysis of functional brain images. Elsevier, London. 2006. (in English).
15. M. Hassoun, Fundamentals of Artificial Neural Networks (M.I.T. Press). 1995. (in English).

**UDC 620.9**

**SCOPUS CODE 2001**

## **MEDIUM TERM PLANNING OF ENERGY RESOURCES OPTIMUM PRODUCTION IN GEORGIA TRANSFORMATION**

- D. Japaridze** Department of electrical engineering and electromechanics, Georgian Technical University, 75 M. Kostava str, 0175 Tbilisi, Georgia  
E-mail: d.japaridze@gtu.ge
- I. Bichiashvili** Department of electrical engineering and electromechanics, Georgian Technical University, 75 M. Kostava str, 0175 Tbilisi, Georgia  
E-mail: irakli.bichiashvili@yahoo.com
- N. Giorgishvili** Department of electrical engineering and electromechanics, Georgian Technical University, 75 M. Kostava str, 0175 Tbilisi, Georgia  
E-mail: nino-niniaa@mail.ru

### **Reviewers:**

**N. Samsonia**, Professor, Department of electrical engineering and electromechanics Faculty of power engineering and telecommunication, GTU

E-mail: nanasamsonia@mail.ru

**L. Bochorishvili**, Professor, Department of electrical engineering and electromechanics Faculty of power engineering and telecommunication, GTU

E-mail: lalibochorishvili@yahoo.com

**ABSTRACT.** The actuality of the modern solution of the problems raised in the article is based on the analysis of the international experience of the optimal planning of energy resources production. Correlation analysis has revealed factors influencing production level of energy resources in Georgia. Mid-term forecasting of the factors has been done by using the auto regression model. Mid-term forecasting of electricity, fuel, coal, natural gas and firewood production in Georgia has been estimated by means of regression and artificial neural networks. Production parameters have been verified using trend-adjusted exponential smoothing method. Based on the obtained data, there has been developed a medium-term forecasting methodology for local energy resources production as well as the relevant mathematical model and, accordingly, medium-term forecast parameters for local energy resources have been defined.

**KEY WORDS:** artificial neural network; factor; forecasting; mathematical model; production of energy resources; regression.

UDC 620.9

SCOPUS CODE 2001

## ОПТИМАЛЬНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ В ГРУЗИИ ПРОИЗВОДСТВА ЭНЕРГОРЕСУРСОВ В СРЕДНЕСРОЧНОМ РЕЖИМЕ

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

### Рецензенты:

**Н. Самсония**, профессор Департамента электроэнергетики и электромеханики факультета энергетики и телекоммуникаций ГТУ

E-mail: nanasamsonia@mail.ru

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

E-mail: lalibochorishvili@yahoo.com

**АННОТАЦИЯ.** На основе анализа международного опыта оптимального планирования производства энергетических ресурсов в среднесрочном периоде обоснована актуальность решения возникших проблем на уровне современных требований. На примере Грузии с помощью корреляционного анализа установлены факторы, влияющие на производство энергетических ресурсов. Прогнозирование этих факторов в среднесрочном периоде выполнено с помощью авто-регрессивных моделей. Осуществлено прогнозирование производства электроэнергии, древесины, угля, нефти и природного газа в Грузии в среднесрочном периоде использованием регрессивного анализа и искусственной нейронной сети. Методом экспоненциального сглаживания регулируемым трендом уточнены параметры производства, соответственно определены прогнозируемые показатели. Разработаны многофакторная математическая модель и единая методика оптимального планирования производства энергетических ресурсов в Грузии в среднесрочной перспективе. Упомянутая методика апробирована на примере Грузии и определены оптимальные плановые параметры производства энергетических ресурсов в среднесрочном периоде.

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

UDC 620.9

SCOPUS CODE 2102

**აჩქარების პიეზოელექტრული გარდამქმნელის დიაგნოსტიკა**

**მ. გიუაშვილი** ელექტროტექნიკისა და ელექტრონიკის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 75  
E-mail: m\_giuashvili@mail.ru

**რეცენზენტები:**

**შ. ნემსაძე**, სტუ-ის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის ელექტროტექნიკისა და ელექტრონიკის დეპარტამენტის პროფესორი, ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი

E-mail: sh\_nemsadze@mail.ru

**გ. ცხომელიძე**, სტუ-ის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის ელექტრომომხმარების ტექნოლოგიების დეპარტამენტის ასოცირებული პროფესორი, აკადემიური დოქტორი

E-mail: guram.65@mail.ru

**ანოტაცია:** ცნობილია, რომ პიეზოელექტრული გამზომი გარდამქმნელი დარტყმითი აჩქარების დიდი სიზუსტით გაზომვის ეფექტური საშუალებაა. გაზომვის შედეგი მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული გარდამქმნელის წინასწარი დიაგნოსტიკური კვლევის შედეგზე. გამოკვლეულია, რომ ობიექტზე ძალიან ხანმოკლე იმპულსის ზემოქმედება იძლევა მისი სტრუქტურის, დინამიკური პარამეტრებისა და მეტროლოგიური მახასიათებლების დიდი სიზუსტით განსაზღვრის საშუალებას.

**საკვანძო სიტყვები:** აღმგზნები იმპულსი; გამზომი გარდამქმნელი; სიხშირული მახასიათებელი; სპექტრული სიმკვრივე.

**შესავალი**

დიდი სიჩქარის, ინტენსიური რეჟიმისათვის განკუთვნილი ტექნოლოგიური თუ დიაგნოსტი-

კური დანიშნულების დანადგარის გამოკვლევისას მასობრივად გამოიყენება სხვადასხვა სახის მაღალსიხშირული მინიატურული გამზომი გარდამქმნელები, მათ შორის – აჩქარების გამზომი პიეზოელექტრული გარდამქმნელი. მეცნიერებისა და ტექნიკის განვითარების თანამედროვე ეტაპზე მნიშვნელოვანი შედეგებია მიღწეული მძლავრ იმპულსურ ენერგეტიკაში ისეთი ტექნოლოგიების გამოყენებით, როგორცაა: ლითონის მაგნიტურ-იმპულსური მეთოდით დამუშავება; კონსტრუქციული მასალისა და ნაკეთობის დინამიკური გამოცდა; დაბალტემპერატურული პლაზმით მასალის ზედაპირის დაფარვა და დამუშავება; იონებისა და ელექტრონების ნაკადით მასალის დამუშავება და სხვა. აღსანიშნავია პროცესები, რომელთა დამუშავებაში სტუ-ში მიღწეულია გარკვეული შედეგები. მაგალითად, ლითონის დამუშავება ძლიერი, იმპულსური მაგნიტური ველით, როდესაც ხორციელდება ტექნოლოგიური ოპერაციები: მოჭერა, გაშლა, დატვიფვრა, შედუღება და აწყობა [1]; პიეზოე-

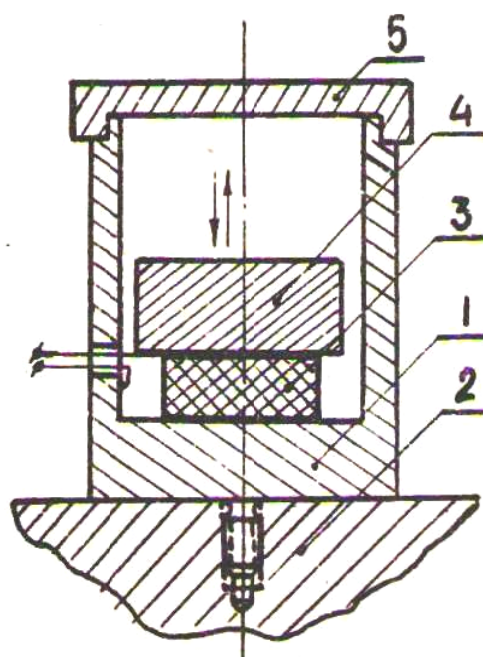
ლექტრული და სხვა სახის გამზომი გარდამქმნელების დინამიკური მახასიათებლების განსაზღვრა; ალუმინის, მაგნიუმის, ტიტანის და სხვა კონსტრუქციული მასალის დინამიკური მახასიათებლების გამოკვლევა [8].

დინამიკური გამოცდისას მიღებული ინფორმაციის სრულფასოვნად დამუშავებისათვის აუცილებელია გამოყენებული გამზომი გარდამქმნელის დინამიკური მახასიათებლების სრული სპექტრის ცოდნა, რისი მოპოვებაც შესაძლებელია თვით აჩქარების გამზომი გარდამქმნელის ყოველმხრივი გამოკვლევით მასზე ხანმოკლე დარტყმის საშუალებით, მსგავსად ელექტრული წრედის სისშირული მახასიათებლების კვლევის იმპულსური მეთოდით [2].

**ძირითადი ნაწილი**

დარტყმითი აჩქარების პიეზოელექტრული გამზომი გარდამქმნელი არის დიდი საკუთარი რხევითი სისშირის მქონე სისტემა. მოწყობილობის მოდელირება შესაძლებელია ერთი, ორი ან მრავალმასიანი განაწილებულპარამეტრებიანი რხევითი სისტემით. მისი პრაქტიკული გამოყენების დროს გაზომვის შედეგების დამუშავებისას, გაზომვის დიდი სიზუსტის უზრუნველსაყოფად, საჭიროა გვექონდეს ინფორმაცია გამზომი გარდამქმნელის ამპლიტუდურ-სისშირული მახასიათებლის შესახებ. ამ ინფორმაციის მოპოვება შეიძლება გარდამქმნელზე – მის მგრძნობიარობაზე აჩქარების ხანმოკლე იმპულსის ზემოქმედებით, კერძოდ გარდამქმნელის აღმზნები იმპულსისა და შესაბამისი რეაქციის რეგისტრაციის და მათი შემდგომი დამუშავებით. ცხადია, რომ მაღალსიხშირული გარდამქმნელის ეფექტური აღმზნებისათვის საჭიროა აღმზნები იმპულსის ხანგრძლივობა გარდამქმნელის საკუთარი რხევის პერიოდზე ნაკლები ან მისი თანაზომადი იყოს [8].

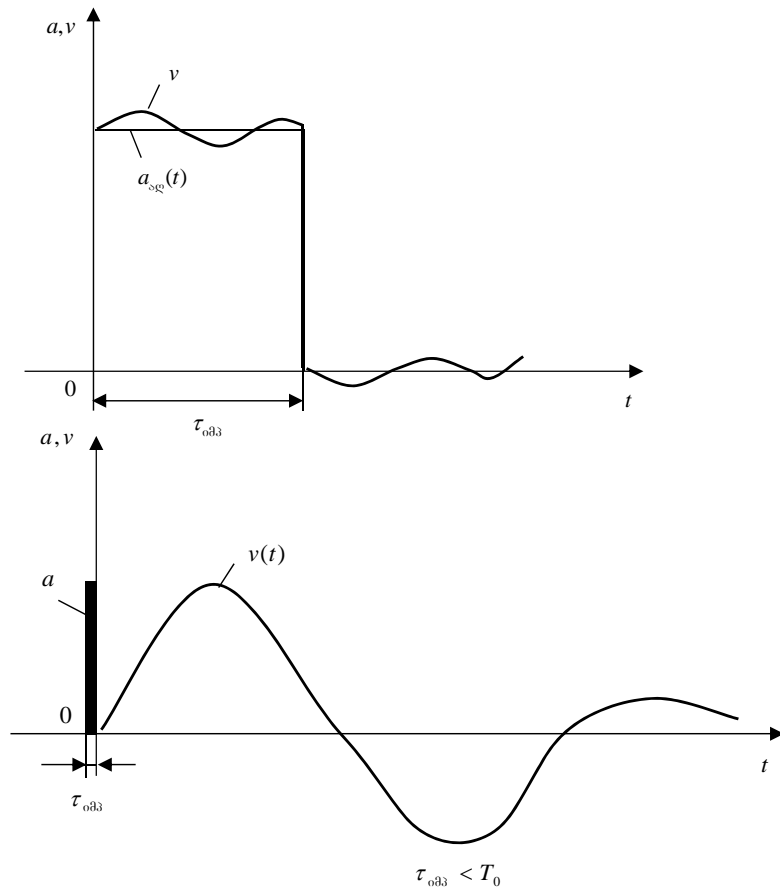
სტუ-ში არის სანქტ-პეტერბურგის მეტროლოგიის ინსტიტუტის მეცნიერთა მიერ აღნიშნული მასალების გამოყენებით შექმნილი დარტყმითი აჩქარების საზომი ПИ-93 სერიის აჩქარების გარდამქმნელის გამოკვლევის მდიდარი გამოცდილება. პირველ სურათზე ნაჩვენებია მისი კონსტრუქციული სქემა, მე-2 სურათზე კი – ობიექტის აჩქარების  $a(t)$  [აღზნების გარდამქმნელისთვის] და გარდამქმნელის რეაქციის  $v(t)$  ოსცილოგრამები სხვადასხვა შემთხვევისას. ობიექტის მოძრაობის პარამეტრები დგინდება შესაბამისი ოსცილოგრამის დამუშავების შედეგად [3].



სურ. 1 1 – კორპუსი; 2 – გარდამქმნელი, დამაგრებულია საკვლევ ობიექტზე, წებოთი ან სრახნით; 3 – მგრძნობიარე ელემენტი; 4 – m მასის ლითონის წრიული ან ოთხკუთხტვირთი; 5 – კორპუსი

დარტყმითი აჩქარების გამზომი გარდამქმნელის დინამიკური მახასიათებლების კვლევისას, განსაკუთრებით არაწრფივობის შესწავლისას, საჭიროა მისი აღმზნება იმპულსური აჩქარებით, რომლის პიკური მნიშვნელობა არის  $10^3-10^5$  მ/წმ<sup>2</sup> 10 მკწმ ხანგრძლივობით [4].





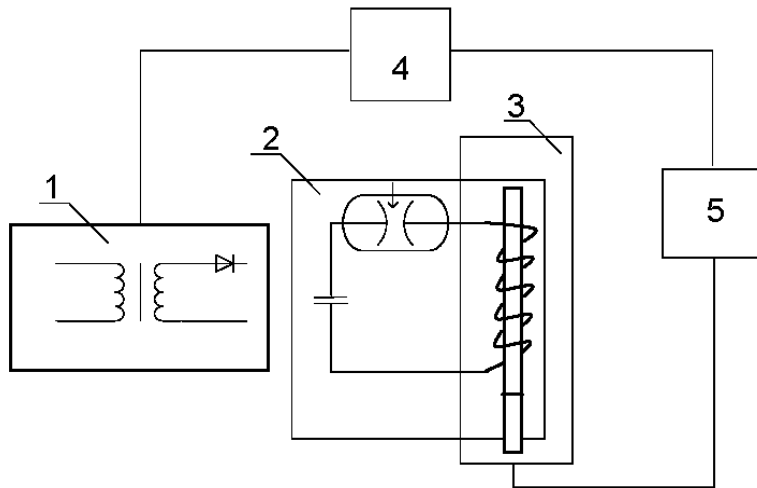
სურ. 2

ობიექტის აჩქარების  $a(t)$  და გარდამქმნელის რეაქციის  $v(t)$  ოსცილოგრამები სხვადასხვა შემთხვევისას

ამ თვალსაზრისით აქტუალურია შეიქმნას აჩქარების პიეზოელექტრული გამზომი გარდამქმნელის დინამიკური მახასიათებლების გამოსაკვლევი მოწყობილობა, რომელიც მოგვცემს საკვლევი ობიექტის სრულყოფილი დიაგნოსტიკის საშუალებას.

შემოთავაზებული მაგნიტურ-იმპულსური დიაგნოსტიკის დანადგარი (სურ. 3) შეიცავს: დამუხტავ მოწყობილობას; მცირე ინდუქციურობის მქონე იმპულსური კონდენსატორების ბატარეას; ინდუქტორს, რომელშიც მოთავსებულია ტალღაგამტარი ლითონის სხეული მასზე დამაგრებული აჩქარების პიეზოელექტრული გარდამქმნელითურთ; კომუტატორს, რვეერსულად ჩართვადი დინისტორის სქემით. დანადგარი მუშაობს

შემდეგნაირად: კომუტატორზე იმპულსის მიწოდებისას გაიღება დინისტორი და კონდენსატორების ბატარეა გადაიცლება ინდუქტორზე. დენის პირველი ნახევარტალღის გავლის შემდეგ დინისტორი იკეტება და აღარ ატარებს დენის უკუტალღას. ინდუქტორში მოთავსებულ ტალღაგამტარზე იმპულსური მექანიკური ზემოქმედების შედეგად მასზე დამაგრებული საკვლევი ობიექტი აღიზნება ერთჯერადი უნიპლარული იმპულსით. იმპულსის ხანგრძლივობა სტაბილურია და არ არის დამოკიდებული გარე ფაქტორებზე. იმპულსური ზემოქმედება (სიდიდე და ხანგრძლივობა) დამოკიდებულია მხოლოდ დამუხტვის ძაბვასა და განმუხტვის წრედის პარამეტრებზე [3; 8].



სურ. 3. მაგნიტურ-იმპულსური სისტემა

- 1 – დამმუხტველი მოწყობილობა ცვლადი დენის გამმართველი ასამაღლებელი ტრანსფორმატორით და ვენტილით;
- 2 – იმპულსური დენის გენერატორი, მაღალი ძაბვის იმპულსური კონდენსატორების ბატარეით, განმმუხტავით;
- 3 – ტექნოლოგიური კვანძი, რომელიც შეიცავს ინდუქტორსა და იმპულსური მაგნიტური ველის ზემოქმედების ობიექტს;
- 4 – სისტემის მართვის, სიგნალიზაციის, დაცვისა და ბლოკირების კვანძი; 5 – საინფორმაციო-საზომი სისტემა, რომელიც შეიცავს გამზომ გარდამქმნელებს, ანალოგურ-ციფრულ გარდამქმნელებს და გამოთვლითი ტექნიკის საშუალებებს

სადიაგნოსტიკო აჩქარების გამზომი გარდამქმნელი არის ელექტრომექანიკური რხევითი სისტემა, რომელიც აღიგზნება იმპულსური აჩქარებით. დიფერენციალური განტოლება, რომელზეც დაიყვანება აჩქარების გამზომი გარდამქმნელის განტოლებათა სისტემა, იქნება ასეთი:  $b_n \frac{d^n \varepsilon}{dt^n} + b_{n-1} \frac{d^{n-1} \varepsilon}{dt^{n-1}} + \dots + b_1 \frac{d\varepsilon}{dt} + b_0 \varepsilon = f(t)$ , სადაც  $b_n, b_{n-1}, \dots, b_0$  არის კოეფიციენტები, რომლებიც განისაზღვრება რხევითი სისტემის პარამეტრებით,  $f(t)$  – აღგზნების ფუნქცია, რომელიც განისაზღვრება იმპულსური აჩქარებით და რხევითი სისტემის პარამეტრებით,  $\varepsilon$  – გამზომი გარდამქმნელის რეაქცია იმპულსურ ზემოქმედებაზე [7].

გამზომი გარდამქმნელის საკუთარი რხევის სიხშირე განისაზღვრება ამპლიტუდურ-სიხშირული მახასიათებლით, რომელიც არის გარდამქმნელის გადაცემის ფუნქციის სპექტრული სიმკვრივის მოდული. გარდამქმნელის გადაცემის

ფუნქციის სპექტრული სიმკვრივე  $S(j\omega) = \frac{S_\varepsilon(j\omega)}{S_f(j\omega)} = \frac{1}{b_n(j\omega)^n + b_{n-1}(j\omega)^{n-1} + \dots + b_1 j\omega + b_0}$ , სადაც  $S_f(j\omega)$  და  $S_\varepsilon(j\omega)$  გარდამქმნელის აღგზნებისა და რეაქციის სპექტრული სიმკვრივეებია, შესაბამისად [5].

აჩქარების გამზომი გარდამქმნელის, როგორც მექანიკური რხევითი სისტემის, კომპლექსური სიხშირული მახასიათებელი  $S(j\omega) = \frac{S_\varepsilon(j\omega)}{S_a(j\omega)}$ , სადაც  $S_a(j\omega)$  გარდამქმნელის აღგზნების დარტყმითი აჩქარების სპექტრული სიმკვრივეა.

გამზომი გარდამქმნელის აღგზნებისას დელტა ან მასთან მიახლოებული იმპულსური ფუნქციით, რომლის სპექტრული სიმკვრივე ერთის ტოლია, გარდამქმნელის კომპლექსური სიხშირული მახასიათებელი განისაზღვრება, როგორც რეაქციის სპექტრული სიმკვრივე  $S(j\omega) = S_\varepsilon(j\omega)$ .

ამ შემთხვევაში გარდამქმნელის რეაქციაში

ფაქტობრივად არ არის იძულებითი მდგენელი. გარდამქმნელი ასრულებს თავისუფალ რხევებს ნულოვანი საწყისი გადაადგილებით და საწყისი სინქარით. რხევითი სისტემის კომპლექსური სისწორული მახასიათებელი არის სისტემის თავისუფალი რხევების კომპლექსური სიმკვრივე. როდესაც გამზომი გარდამქმნელის რეაქცია შეიცავს იძულებით მდგენელს, საკმარისია ვიცოდეთ დარტყმითი აჩქარების იმპულსის ხანგრძლივობა  $\tau_0$  და გარდამქმნელის რეაქციას მოვაცილოთ შესაბამისი საწყისი უბანი, მაშინ  $S_1(j\omega) = \exp(-j\omega\tau_0) \times S(j\omega)$ . ამ ტოლობიდან ჩანს, რომ სპექტრული  $S$  და  $S_1$  სიმკვრივების მოდულები ერთნაირია, ასე რომ, გარდამქმნელის რეაქციის დარჩენილი ნაწილის სპექტრი არის გარდამქმნელის ამპლიტუდურ-სისწორული მახასიათებელი [6].

ძალიან მნიშვნელოვანია, რომ სადიაგნოსტიკო ობიექტის პიეზოელექტრული დარტყმითი აჩქარების გამზომი გარდამქმნელის იმპულსური ადგენება იყოს ძალიან ხანმოკლე, მიახლოებულ დელტა იმპულსთან, რომლის სპექტრული სიმკვრივე ერთის ტოლია. ამ დროს ობიექტის რეაქციის სპექტრული სიმკვრივე პრაქტიკულად იგივეა, რაც ობიექტის კომპლექსური სისწორული მახასიათებელი და ობიექტის დიაგნოსტიკური კვლევა დადის მის იმპულსურ ზემოქმედებაზე რეაქციის ანალიზამდე.

### დასკვნა

სადიაგნოსტიკო ობიექტის, აჩქარების პიეზოელექტრული გამზომი გარდამქმნელის ძალზე ხანმოკლე იმპულსურ ადგენებაზე რეაქციის სპექტრული სიმკვრივის ანალიზით შესაძლებელია გარდამქმნელის სტრუქტურის დადგენა, ამპლიტუდურ-სისწორული, საკუთარი სისწორეების, დემპფირების, არაწრფივობის და სხვა მეტროლოგიური მახასიათებლების დიდი სიზუსტით განსაზღვრა.

### ლიტერატურა

1. Proceedings of The International Technical Conference. Magnetic Pulse Treatment of Materials, Ways of Improving and Developing. Samara. 2007, 274 p. (in Russian).
2. Sh. Nemsadze, G. Dolaberidze. Impulse Method of Determining the Natural Frequencies of the Shock Acceleration Measurement Transducers. //Metrology, №10. 1981, 32-35 pp. (in Russian).
3. Sh. Nemsadze, A. Toronjadze. Magnetic Pulse Setting. № 877855. (in Russian).
4. V. Tuchkevich, I. Grekhov. New Principles of Large Power Commutation by Semiconductor Devices. Leningrad, Nauka. 1988, 115 p. (in Russian).
5. I. Grekhov, S. Korotkov, A. Stepaniants, D. Khristyak, V. Voronkov, Y. Aristov. High-Power Semiconductor-Based Nano and Subnanosecond Pulse Generator with a Low Delay Time. IEEE TRANSACTIONS ON PLASMA SCIENCE, VOL.33, NO.4. AUGUST 2005, 1240-1244 pp. (in Russian).
6. I. Grekhov, S. Korotkov, N. Yakovchuk. The Study of Reverse-switched dynistors in high-current pulse mode / Elektrotehnika, №3. 1986, 44-46 pp. (in Russian).
7. V. Sidorov, E. Oshovskaya, N. Chentsov, S. Proskuryakov. Determination of Rational Time of Diagnosis. // UDC 669.02/ 09. 658.58. (in Russian).
8. Sh. Nemsadze, G. Dolaberidze. Analysis of the processes in the system of mechanical waveguide-acceleration transducer at impact motion. // "Izmeritelnaya tekhnika", 1978. №1, 60-61 pp. (in Russian).

**UDC 620.9**

**SCOPUS CODE 2102**

## **DIAGNOSTICS OF PIEZOELECTRIC ACCELEROMETER TRANSDUCER**

**M. Giuashvili**

Department of electrical engineering and electronics, Georgian Technical University, 75 M. Kostava str., 0175 Tbilisi, Georgia  
E-mail: m\_giuashvili@mail.ru

### **Reviewers:**

**Sh. Nemsadze**, Professor, Doctor of Technical Sciences, Department of electrical engineering and electronics, Faculty of Power Engineering and Telecommunication, GTU

E-mail: sh\_nemsadze@mail.ru

**G. Tskhomelidze**, PhD, Associate Professor, Department of power consumption technology, Faculty of Power Engineering and Telecommunication, GTU

E-mail: guram.65@mail.ru

**ABSTRACT.** In fact, piezoelectric measuring converters represent effective measures for shock accelerations with high accuracy. Measurement results basically depend on the preliminary diagnostic researches of transducer. The article considers short-term impulse influence on the object that enables to define structure, dynamic parameters and other metrological characteristics of the transducer to a high precision.

**KEY WORDS:** excitation impulse, measuring converter, frequency characteristic, spectral density.

UDC 620.9

SCOPUS CODE 2102

## ДИАГНОСТИКА ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ УСКОРЕНИЯ

**გიუაშვილი მ.ა.**                    Департамент электротехники и электроники, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава, 75  
E-mail: m\_giuashvili@mail.ru

### Рецензенты:

**Ш. Немсадзе**, д.т.н., профессор Департамента электротехники и электроники факультета энергетики и телекоммуникации ГТУ

E-mail: sh\_nemsadze@mail.ru

**В. Цхомелидзе**, академический доктор, асоц. профессор Департамента технологии электропотребления факультета энергетики и телекоммуникации ГТУ

E-mail: guram.65@mail.ru

**АННОТАЦИЯ.** Известно, что пьезоэлектрические измерительные преобразователи являются эффективным средством для измерения ударных ускорений с высокой точностью. Результаты измерения в значительной степени зависят от предварительных диагностических исследований преобразователей. Показано, что весьма кратковременное импульсное воздействие на объект дает возможность определить с высокой точностью структуру, динамические параметры и другие метрологические характеристики преобразователя.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** возбуждающие импульсы; измерительный преобразователь; спектральная плотность; частотные характеристики.

UDC 621.311

SCOPUS CODE 2102

## მუდმივი დენის ელექტრული ძრავას მართვის სისტემის ოპტიმიზაცია

**მ. ცეცხლაძე** ელექტროტექნიკისა და ელექტრონიკის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 75  
E-mail: merabi.tsetskhladze@mail.ru

### რეცენზენტები:

**შ. ნემსაძე**, სტუ-ის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის ელექტროტექნიკისა და ელექტრონიკის დეპარტამენტის პროფესორი, ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი

E-mail: sh\_nemsadze@mail.ru

**დ. ტურძელაძე**, სტუ-ის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის ელექტროტექნიკისა და ელექტრონიკის დეპარტამენტის ასოცირებული პროფესორი, ტექნიკის მეცნიერებათა კანდიდატი

E-mail: turdzeladze59@gmail.com

**ანოტაცია:** ცნობილია, რომ მუდმივი დენის ელექტრული ძრავას ბრუნვის სიჩქარის რეგულირების მანევრებლები საკმაოდ გაიზარდა ელექტრული ელემენტებისა და რეგულირების რელეური პრინციპის გამოყენებით, რაც, თავის მხრივ, დაკავშირებულია მიკროელექტრონიკის მიღწევებთან, შედარებით არაინერციული და სწრაფმოქმედი რეგულირების ბლოკების არსებობასთან და მართვაში ტირისტორის გამოყენებასთან, რამაც გააჩინა საშუალება შექმნილიყო პრაქტიკულად არაინერციული მართვის სქემა. ნაშრომში ნაჩვენებია მუდმივი დენის ელექტრული ძრავას სრიალის რეჟიმში მომუშავე ბრუნვის სიჩქარის რეგულირების სისტემა, რომელიც ხასიათდება დიდი სწრაფმოქმედებით და დიდი სიზუსტით სხვადასხვა ტიპის ელექტროამძრავში გამოყენებისას.

**საკვანძო სიტყვები:** რელეური რეგულირები; სიჩქარის რეგულირება; სრიალის რეჟიმი; სწრაფმოქმედება; სიზუსტე.

### შესავალი

მუდმივი დენის ელექტრული ძრავას რეგულირების სისტემა ძირითადად უნდა აკმაყოფილებდეს შემდეგ მოთხოვნებს – უნდა ახასიათებდეს მგრძობიარობა, რეგულირების სიზუსტე და სწრაფმოქმედება [1]. მიუხედავად იმისა, რომ მუდმივი დენის ელექტრულ ძრავას ახასიათებს არაერთი სპეციფიკური თავისებურება, ავტომატური რეგულირების თეორიის საერთო დებულების გამოყენება სავსებით შესაძლებელია მისი რეგულირების სისტემის შესაქმნელად, რომელიც წყვეტს ისეთ საკითხებს, როგორცაა ობიექტის და სისტემის სტატიკა და დინამიკა, ცალკეული

რგოლების და მთლიანი სისტემის მახასიათებლები, მდგრადობა და ხარისხი. ამასთან დაკავშირებით იქმნება მუდმივი დენის ელექტრული ძრავას ბრუნვის სიჩქარის რეგულირების სხვადასხვა ტიპის ავტომატური რეგულირების სისტემები, რომლებიც წყვეტენ ისეთ ამოცანებს, როგორცაა ოპტიმალური მართვა, ადაპტაცია და სხვა.

დღემდე არსებული მუდმივი დენის ელექტრული ძრავას მართვის სისტემები სრულად ვერ აკმაყოფილებს ისეთ თანამედროვე მოთხოვნებს, როგორცაა:

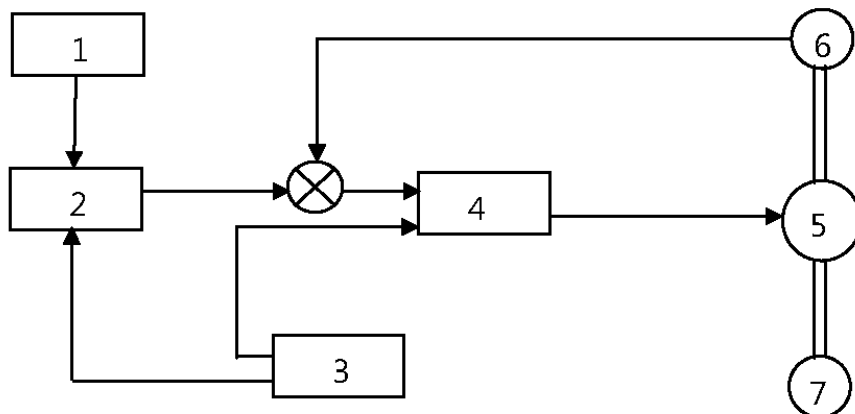
1. სარეგულირებელი პარამეტრის საკმარისი მგრძობიარობა;
2. ავტომატური რეგულირების სისტემის სწრაფმოქმედება, რაც უზრუნველყოფს მაქსიმალური შეშფოთებების აღმოფხვრას;
3. ავტომატური მართვიდან ხელით მართვაზე და პირიქით გადასვლის სწრაფი და მარტივი შესაძლებლობა;
4. მუშაობის საიმედოობა და ექსპლუატაციის სიმარტივე.

ზემოაღნიშნულთან დაკავშირებით, მუდმივი დენის ელექტრული ძრავას ბრუნვის სიჩქარის

რეგულირების სისტემის კვლევა და დამუშავება მნიშვნელოვანი სამეცნიერო-ტექნიკური ამოცანაა.

### ძირითადი ნაწილი

მიკროელექტრონული ტექნიკის განვითარებამ, მარტივი და იაფი იმპულსური ფოტოელექტრონული გადამწოდების არსებობამ, რომლებიც აღჭურვილია მართვის ციფრული სისტემებით, განაპირობა მუდმივი დენის ელექტრული ძრავას ბრუნვის სიჩქარის ავტომატური რეგულირების სისტემის ეკონომიკური, ენერგეტიკული და ტექნიკური მახასიათებლების გაზრდა [1]. მუდმივი დენის ელექტრული ძრავას ბრუნვის სიჩქარის რეგულირების ძირითადი მაჩვენებლების, როგორცაა მგრძობიარობა, სიზუსტე და სწრაფმოქმედება [3], მართვის სისტემის გაუმჯობესების მიზნით შევისწავლეთ ელექტრული ძრავას არსებული მართვის სისტემების დადებითი და უარყოფითი მხარეები და მათი მუშაობის ოპტიმიზაციის საკითხები. სამუშაოს გეგმის მიხედვით ჩავატარეთ მუდმივი დენის ელექტრული ძრავას მართვის სისტემის ლაბორატორიული კვლევა, რომლის სტრუქტურული სქემა მოცემულია პირველ სურათზე.



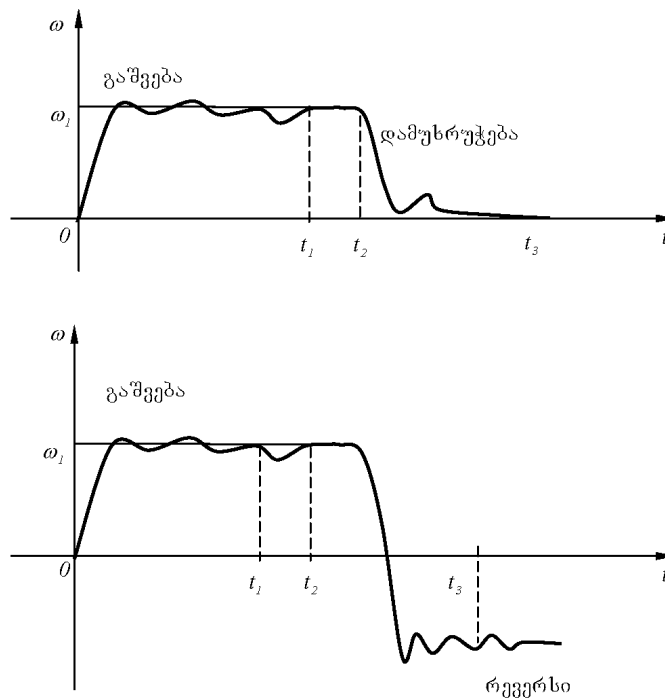
სურ. 1.1 – ძრავას სიჩქარის დავალება; 2 – პროპორციულ-ინტეგრალური რეგულატორი; 3 – მართვის მოწყობილობა; 4 – გარდამქმნელი; 5 – მუდმივი დენის ელექტრული ძრავა; 6 – ტაქოგენერატორი; 7 – ფოტოიმპულსური გადამწოდი

პირველ ცხრილში მოცემულია ექსპერიმენტული კვლევის შედეგები.

ცხრილი 1

№	ელექტრული ძრავას ბრუნთა რიცხვი, ბრ/წთ	გარდამავალი პროცესის სახეობა	გარდამავალი პროცესის ხანგრძლივობა, წმ
1	75	გაშვება-დამუხრუჭება უქმი სვლის დროს	0,07
2	75	გაშვება-დამუხრუჭება დატვირთვის დროს	0,08
3	75	რევერსი დატვირთვის დროს	0,12
4	6	გაშვება-დამუხრუჭება უქმი სვლის დროს	0,12
5	6	გაშვება-დამუხრუჭება დატვირთვის დროს	0,4

გარდამავალი პროცესის ამსახველ მრუდებს მე-2 სურათზე ნაჩვენებია სახე აქვს.



სურ. 2

ელექტრული ძრავას მართვის პრინციპებს შორის ბოლო დროს დიდი ყურადღება ექცევა მართვის ისეთ სისტემებს, რომლებშიც მართვადი ზემოქმედება მართვის სისტემის კოორდინატებისა და გარე ზემოქმედებების წყვეტილი

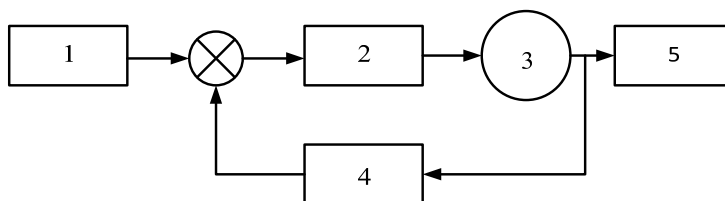
ფუნქციებია. გამოყენებული ავტომატური რეგულირების სისტემებიდან, როგორც ცნობილია, ზუსტად ასეთ სისტემებში შეიძლება მივიღოთ ნაწილობრივ მაქსიმალური ეფექტი და ოპტიმალურობა [2]. ასეთი მართვის სისტემების



კვლევა, უმრავლეს შემთხვევაში, ხორციელდება ფაზური სივრცის მეთოდის საფუძველზე [7]. ცნობილია, რომ წყვეტილი ხემოქმედების მართვის სისტემის სინთეზის ამოცანაა ფაზურ სივრცეში ისეთი ზედაპირის შერჩევა, რომელზედაც მართვის ფუნქცია განიცდის წყვეტას [6]. ასეთ მართვის სისტემებში შეიძლება წარმოიშვას მოძრაობის სპეციფიკური სახე – სრიალის რეჟიმი [2]. მართვის სისტემაში სრიალის რეჟიმის არსებობისათვის აუცილებელია ზედაპირის ფარგლებში, რომელზედაც მართვის ფუნქცია განიცდის წყვეტას, ფაზური ტრაექტორიები მიმართული იყოს ერთმანეთისაკენ, შემხვედრად. ასეთ შემთხვევაში მართვის ფუნქციის ამსახველი წერტილი, ფუნქციის წყვეტის ზედაპირზე მოხვედრისას, ასრიალდება მასზე და შეუძლე-

ბელი იქნება სულ მცირე დროის ინტერვალში კი იმოძრაოს ნებისმიერი იმ ტრაექტორიით, რომელიც ეხება მართვის ფუნქციის წყვეტის მოცემულ ზედაპირს, ვინაიდან ყოველი წანაცვლებისას წარმოიშობა მოძრაობა, რომელიც აბრუნებს მართვის ფუნქციის ამსახველ წერტილს ფუნქციის წყვეტის ზედაპირზე [5].

მუდმივი დენის ელექტრული ძრავას მართვის სისტემის დინამიკის გაუმჯობესების მიზნით ჩვენ წინაშე დაისვა მართვის სისტემის ოპტიმიზაციის ამოცანა. ქ. მოსკოვის ექსპერიმენტულ სამეცნიერო-კვლევით ინსტიტუტში (ЭНИИМС) დამუშავდა და გამოიცადა ძრავას მართვის სისტემა სრიალის რეჟიმში მომუშავე რელეური რეგულატორით, რომლის სტრუქტურული სქემა ნაჩვენებია მე-3 სურათზე.



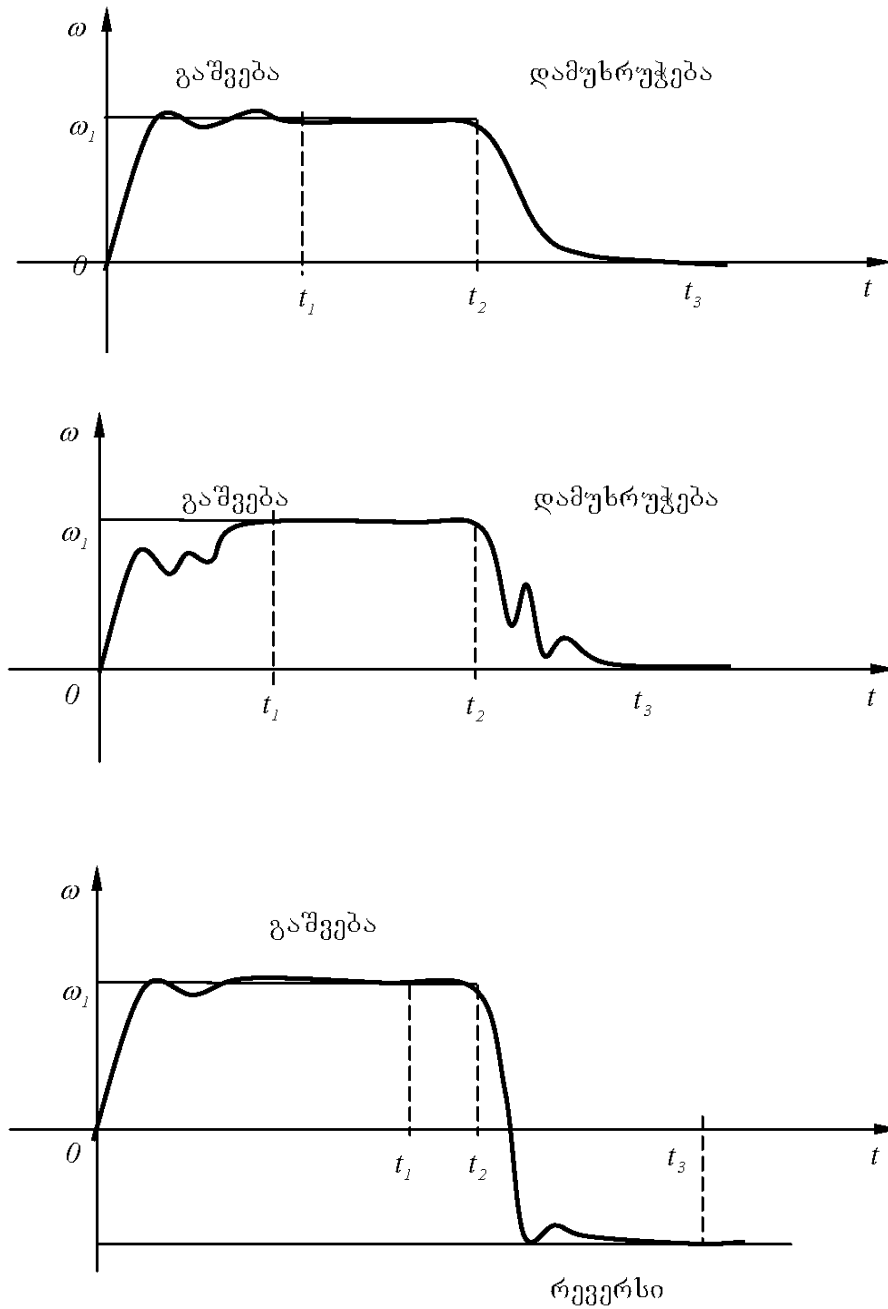
სურ. 3. 1 – პროგრამული მკონტროლებელი; 2 – სრიალის რეჟიმში მომუშავე რელეური რეგულატორი; 3 – მუდმივი დენის ელექტრული ძრავა; 4 – ტაქოგენერატორი; 5 – გადაადგილების მექანიზმი

ექსპერიმენტული კვლევის შედეგები მოცემულია მე-2 ცხრილში.

ცხრილი 2

№	ელექტრული ძრავას ბრუნთა რიცხვი, ბრ/წთ	გარდამავალი პროცესის სახეობა	გარდამავალი პროცესის ხანგრძლივობა, წმ
1	75	გაშვება-დამუხრუჭება უქმი სვლის დროს	0,04
2	75	გაშვება-დამუხრუჭება დატვირთვის დროს	0,06
3	75	რევერსი დატვირთვის დროს	0,1
4	6	გაშვება-დამუხრუჭება უქმი სვლის დროს	0,08
5	6	გაშვება-დამუხრუჭება დატვირთვის დროს	0,07
6	6	რევერსი დატვირთვის დროს	0,11

გარდამავალი პროცესის ამსახველ მრუდებს მე-4 სურათზე ნაჩვენებია სახე აქვს.



სურ. 4

**დასკვნა**

ჩატარებული ექსპერიმენტული კვლევის საფუძველზე დგინდება, რომ არსებულ მართვის სისტემებთან შედარებით მუდმივი დენის ელექტრული ძრავას სრიალის რეჟიმში მომუშავე რეგულირების სისტემა ხასიათდება კარგი დინამი-

კური მახასიათებლებით. მართვის სისტემის სწრაფმოქმედების და სიზუსტის გაზრდით მიღწეულია გარდამავალი პროცესების ოპტიმალურობა და ელექტრულ ძრავაზე დატვირთვის ცვლილებისას მართვის სისტემის დინამიკური სიხისტე მნიშვნელოვნად გაზრდილია.

### ლიტერატურა

1. A. Shilin, V. Boukreev. Research and optimal sliding mode control switching element covered feedback. Bulletin of the Tomsk State University. Management, Computer Science and Informatics. 13 (28). 2014, p. 8. (in Russian).
  2. V. Utkin. Sliding modes and their application in systems of variable structure. M. 1974, p. 271. (in Russian).
  3. V. Moskalenko. Automatic Electric. M., Energoatomisdat, 1986. 416 p. (in Russian).
  4. M.Sokolova, M. Yunnikova. Automatic electrical drive. M., Energy, 1980, 256 p. (in Russian).
  5. V. Utkin. Systems with variable structure: the state of problems and prospects. M., Automatic and Remote Control, 1983, Key infrastructure 9, 5 – 25 pp. (in Russian).
  6. K. Pupkova. Synthesis regulators of automatic control systems. M., Bauman, 2004, 614 p. (in Russian).
  7. S. Emelyanov. Automatic control systems. M., 1967, 328 - 336 pp. (in Russian).
- 

**UDC 621.311**

**SCOPUS CODE 2102**

### **OPTIMIZATION OF DC ELECTRIC MOTOR CONTROL SYSTEM**

**M. Tsetskhladze**

Department of electrical engineering and electronics, Georgian Technical University, 75 M. Kostava str., 0175 Tbilisi, Georgia  
E-mail: merabi.tsetskhladze@mail.ru

#### **Reviewers:**

**Sh. Nemsadze**, Professor, Doctor of Technical Sciences, Department of electrical engineering and electronics, Faculty of Power Engineering and Telecommunication, GTU  
E-mail: sh\_nemsadze@mail.ru

**D. Turdzeladze**, Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, Department of electrical engineering and electronics, Faculty of Power Engineering and Telecommunication, GTU  
E-mail: turdzeladze59@gmail.com

**ABSTRACT.** It's known that the regulation indicators of DC motor rotation speed are significantly increased by using the electrical elements and the principles of relay regulator. This is connected to the achievements in microelectronics, existence of relatively non-inertial and high speed blocks as well as use of thyristor in control systems that enabled the development of actually non inertial management schemes. The article represents the rotation speed regulation system of the DC motor operating in the slipping mode, which is characterized with high speed and accuracy when used in electric drives of various types.

**KEY WORDS:** speed regulation; slipping mode; relay regulator; high speed and accuracy.

UDC 621.311

SCOPUS CODE 2102

## ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ ПОСТОЯННОГО ТОКА

**Цецхладзе М. К.** Департамент электротехники и электроники, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава, 75  
E-mail: merabi.tsetskhladze@mail.ru

### Рецензенты:

**Ш. Немсадзе**, профессор, доктор технических наук Департамента электротехники и электроники факультета энергетики и телекоммуникации ГТУ  
E-mail: sh\_nemsadze@mail.ru

**Д. Турдзеладзе**, ассоц. профессор, доктор технических наук Департамента электротехники и электроники факультета энергетики и телекоммуникации ГТУ  
E-mail: turdzeladze59@gmail.com

**АННОТАЦИЯ.** Известно, что показатели регулирования частоты вращения значительно увеличились с применением электрических элементов и закона о реле регулирования. Это, в свою очередь, связано с развитием микроэлектроники, с появлением относительно неинерционных и быстродействующих блоков и с применением тиристорных систем управления, которые позволили создать практически неинерционные управленческие схемы. Показана система регулирования частоты вращения двигателя постоянного тока, работающего в режиме скольжения, которая характеризуется высоким быстродействием и точностью при применении в электроприводах различных типов.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** быстродействие и точность; регулирование скорости; регулятор реле; режим скольжения.

UDC 620.9 : 504.7

SCOPUS CODE 2105

**საქართველოს საპროექტო ჰიდროსადგურების მოსალოდნელი  
გავლენა კლიმატის ცვლილებაზე**

- გ. ჩაჩიბაია** ელექტროენერგეტიკისა და ელექტრომექანიკის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 75  
E-mail: giorgi\_chachibaia@yahoo.com
- ბ. სამსონია** ელექტროენერგეტიკისა და ელექტრომექანიკის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 75  
E-mail: nanasamsonia@mail.ru
- მ. გუდიაშვილი** ელექტროენერგეტიკისა და ელექტრომექანიკის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 75  
E-mail: makagudiashvili@yahoo.com

**რეცენზენტები:**

**ნ. გიორგიშვილი**, სტუ-ის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის ელექტროენერგეტიკისა და ელექტრომექანიკის დეპარტამენტის ასისტენტ-პროფესორი, აკადემიური დოქტორი

E-mail: nino-niniaa@mail.ru

**თ. ჯიშკარიანი**, სტუ-ის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის თბოენერგეტიკისა და ენერგოეფექტურობის დეპარტამენტის პროფესორი, ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი

E-mail: tengish@yahoo.com

**ანოტაცია:** ნაშრომში გამოკვლეულია საქართველოში ასაშენებელი პოტენციური ჰიდროელექტროსადგურები, რომელთაც ექნება მარეგულირებელი წყალსაცავი, სწორედ ისინი ახდენენ ყველაზე უარყოფით ზემოქმედებას კლიმატზე, ვინაიდან ჰესს საკუთარი გლობალური დათბობის პოტენციალი (Global Warming Potential, GWP) აქვს. თითოეული ჰიდროსადგურისთვის განგარიშებულია სათბურის გაზების ემისია ნახშირორქანის ეკვივალენტით, რაც შეგვიქმნის წარმოდგენას თუ როგორი იქნება მოსალოდ-

ნელი გავლენა კლიმატის ცვლილებაზე მათი აშენების შემთხვევაში. მიუხედავად ამისა, სათბურის გაზების ემისია გაცილებით ნაკლებია თბოელექტროსადგურის (თესი) მიერ გაფრქვეული სათბურის გაზების ემისიაზე. მაგალითისთვის შედარებულია ნამახვანჰესის მიერ სათბურის გაზების ემისია იმავე სიმძლავრის და ელექტროენერჯის წლიური გამომუშავების შემთხვევაში პირობითი თბოელექტროსადგურის მიერ გაფრქვეული სათბურის გაზების რაოდენობასთან. თუნდაც ბუნებრივ გაზზე მომუშავე თბოელექტროსადგურის მიერ გაფრქვეული გა-

ზის რაოდენობა (348220 ტ CO<sub>2</sub>/წ) 344451 ტ-ით აღემატება ნამახვანჭესიდან ნახშირორჟანგის ემისიას (3769 ტ CO<sub>2</sub>/წელი).

**საკვანძო სიტყვები:** კლიმატის ცვლილება; ნახშირორჟანგის ემისია.

### შესავალი

მსოფლიო ენერგეტიკის ტექნოლოგიური განვითარება უპირატესობას ანიჭებს მდგრად განვითარებას და ხელს უწყობს ისეთი გარემოსდაცვითი საკითხების განხორციელებას, როგორცაა: განახლებადი ენერგოწყაროების უპირატესი გამოყენება, ახალი ენერგოტექნოლოგიების განვითარების პროცესის დაჩქარება, ჰიდროენერჯის წარმოებისა და მოხმარების ეკოლოგიურად უსაფრთხო ახალი ტექნოლოგიების ათვისება, რაც თავიდან აგვაცილებს სათბური გაზების გამოყოფასა და ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურებას.

საქართველოში ენერგეტიკის მდგრადი განვითარების მიღწევა დამოკიდებული იქნება არა მარტო ენერჯის ერთ წყაროზე, არამედ იმ ზომების ერთობლიობაზე, რომელიც მოიცავს რესურსების სპექტრს. საქართველოსთვის ალტერნატიული ენერჯის წყაროებია ქარის, მზის და გეოთერმული ენერჯიები, ხოლო ჰიდროენერჯია არის ენერჯის ფასეული წყარო. რაც შეეხება სხვა სახის ტექნოლოგიებს, ისინი ან მარგინალურია (ამჟამად მხოლოდ ექსპერიმენტის სტადიაზეა ან თავისი არსით ძალზე არაეკონომიურია), ან მათ კომერციალიზაციასა თუ განვითარებას ძალზე გრძელვადიანი პერსპექტივა აქვს.

გარემოზე გლობალური ზემოქმედების შედეგად, კლიმატის ცვლილებას აქვს პოტენციალი გახდეს ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურების

ყველაზე სერიოზული პრობლემა. ამ პრობლემაში თავისი წვლილი შეაქვს გაზის რამდენიმე სახეობას, მათ შორის ჰიდროფთორნახშირბადებს, რომლებიც პასუხს აგებენ ოზონის ფენის გამოფიტვაზე.

ამრიგად, გარკვეულწილად, ოზონის ფენის გამოფიტვის და კლიმატის ცვლილების პრობლემები ურთიერთდაკავშირებულია. თუმცა აღიარებულია, რომ კლიმატის ცვლილების ყველაზე დიდი პრობლემა ნახშირბადის მზარდი გამოყოფაა ატმოსფეროში, რისი ძირითადი წილიც გამოწვეულია ქვანახშირით მომუშავე ელექტროსადგურებით და საკმაოდ მნიშვნელოვანი წილი – ნავთობისა და გაზის გამოყენებით. მიუხედავად განსხვავებული გამოქვეყნებული სტატისტიკური მანველებებისა, ყველა თანხმდება, რომ კლიმატის ცვლილების პრობლემის უდიდესი ნაწილი გამოწვეულია ენერჯის მოხმარებითა და წარმოებით.

კლიმატის გლობალურმა ცვლილებამ უკვე მოახდინა ზეგავლენა მრავალ ფიზიკურ და ბიოლოგიურ სისტემაზე – მყინვარების დნობა, მრავალწლოვანი მზრალობის გაღებობა, მდინარეების და ტბების დაგვიანებული გაყინვა და ყინულის საფარის ნაადრევი რღვევა, ვეგეტაციური პერიოდის გახანგრძლივება, მცენარეთა და ცხოველთა გავრცელების არეალის ცვლა და მათი პოპულაციის შემცირება, ხეების ნაადრევი ყვავილობა, მწერებისა და კვერცხისმდებელი ფრინველების ნაადრევი გამოჩენა.

ბუნებრივი სისტემა მწვავედ განიცდის კლიმატის ცვლილებას და ზოგს ემუქრება შეუქცევი ზიანი ადაპტაციის შეზღუდული უნარის გამო. კლიმატის ცვლილების მიმართ მგრძობიარეა აგრეთვე ადამიანთან კავშირში მყოფი მრავალი ისეთი სისტემა, როგორცაა წყალი, სურსათის უვნებლობა, მეტეოლოგია, სანაპირო ზოლები და საზღვაო სისტემები (მეთევზეობა), ადამიანის დასახლებები (ზღვის დონის აწევა და დატ-

ბორცა), დაავადებები, ენერჯის, მრეწველობის, დაზღვევის და სხვა საფინანსო მომსახურების მიმართ მზარდი მოთხოვნილება.

**ძირითადი ნაწილი**

მიუხედავად იმისა, რომ ჰიდროელექტროსადგურების განვითარებას დიდი უპირატესობა აქვს ორგანული სათბობით (ნახშირი, მაზუთი, ბუნებრივი გაზი) მომუშავე თბოელექტროსადგურებთან შედარებით, გასათვალისწინებელია, რომ ჰიდროელექტროსადგურებს თავისი საკუთარი გლობალური დათბობის პოტენციალი (GWP) აქვს. ეს გამოწვეულია მარეგულირებელ წყალსაცავში დაღეკილი მცენარეული და ცხოველური ნარჩენების ღპობით. გარდა ამისა, ადგილი აქვს სასოფლო-სამეურნეო ან სხვა დანიშნულების მიწის დატბორვას და ხმელეთის გადაქცევას ჭარბტენიან ტერიტორიად. შედეგად, ხდება ისეთი სათბურის გაზების ემისია, როგორიცაა: ნახშირორჟანგი (CO<sub>2</sub>), მეთანი (CH<sub>4</sub>) და აზოტის ქვეჟანგი (N<sub>2</sub>O). ვინაიდან ნახშირორჟანგი და მეთანი იწვევს გლობალური დათბობის პროცესს, მათ სათბურის გაზები (Green House Gases, GHG) ეწოდება. მეთანი 21-ჯერ, ხოლო აზოტის ქვეჟანგი 310-ჯერ უფრო ძლიერი სათბურის გაზია, ვიდრე ნახშირორჟანგი. ემისიების შეფასებისა და აღრიცხვის უნიფიცირებისათვის ემისიის ერთეულად არჩეულია სათბურის გაზის ის რაოდენობა, რომლის სათბური ეფექტი ერთი ტონა ნახშირორჟანგის სათბურის ეფექტის ტოლია. ამ ერთეულს ეწოდება 1 ტონა ნახშირორჟანგის ეკვივალენტი (tCO<sub>2</sub>eq).

ნაშრომში განხილულია საქართველოში ასაშენებელი პერსპექტიული ჰიდროელექტროსადგურები, რომელთაც აქვთ მარეგულირებელი წყალსაცავი, რადგან ისინი ახდენენ გარკვეულ უარყოფით ზემოქმედებას კლიმატზე. თითოეული ჰიდროსადგურისთვის გაანგარიშებულია

ნახშირორჟანგის (CO<sub>2</sub>), მეთანის (CH<sub>4</sub>) და აზოტის ქვეჟანგის (NO<sub>2</sub>) ემისიები, t CO<sub>2</sub>-ის ეკვივალენტი.

წყალსაცავიდან CO<sub>2</sub>-ის ემისიის გამოსათვლელად გამოიყენება შემდეგი ფორმულა:

$$CO_{2emissionsWW\ flood} = P \times E(CO_2)_{diff} \times A_{flood, total\ surface},$$

სადაც CO<sub>2emissionsWW flood</sub> არის CO<sub>2</sub>-ის სრული ემისია დატბორილი ტერიტორიიდან, კგCO<sub>2</sub>/წ; P – პერიოდი, დღე (ჩვეულებრივ, 365 დღე წლიური შეფასებისთვის); E(CO<sub>2</sub>)<sub>diff</sub> – საშუალო დღიური დიფუზიური ემისიები, კგ(CO<sub>2</sub>)/(ჰა.დღე), „კლიმატის ცვლილების ექსპერტთა სამთავრობათშორისო ჯგუფის“ სახელმძღვანელო დოკუმენტის (International Panel on Climate Change, IPPCC) შესაბამისად, I დონის მიდგომის შემთხვევაში გამოყენებულია CO<sub>2</sub>-ის ემისიის დადგენილი ფაქტორი წლის იმ პერიოდისთვის, როდესაც წყლის ზედაპირი არ არის დაფარული ყინულით. ეს კოეფიციენტი საქართველოს ტერიტორიის ცივი, ზომიერად ნოტიო კლიმატისთვის უდრის 9.3 კგ(CO<sub>2</sub>)/(ჰა.დღე). A<sub>flood, total surface</sub> – დატბორილი ტერიტორიის სრული ფართობი, რომელიც მოიცავს დატბორილი ხმელეთის, ტბისა და მდინარის ფართობს, ჰა.

წყალსაცავიდან CH<sub>4</sub>-ის ემისიის გამოსათვლელად გამოიყენება ფორმულა:

$$CH_{4emissionsWW\ flood} = P \times E(CH_4)_{diff} \times A_{flood, total\ surface} + P \times E(CH_4)_{bubble} \times A_{flood, total\ surface},$$

სადაც CH<sub>4emissionsWW flood</sub> არის CH<sub>4</sub>-ის სრული ემისია დატბორილი ტერიტორიიდან, კგ(CH<sub>4</sub>)/წ; P – პერიოდი, დღე (ჩვეულებრივ, 365 წლიური შეფასებისთვის); E(CH<sub>4</sub>)<sub>diff</sub> – საშუალო დღიური დიფუზიური ემისიები კგ(CH<sub>4</sub>)/(ჰა.დღე). კოეფიციენტი 0.2 კგ არის დადგენილი სიდიდე საქართველოს ტერიტორიის ცივი, ზომიერად ნოტიო კლიმატისთვის წლის ყინულით დაუფარავ პერიოდში; E(CH<sub>4</sub>)<sub>bubble</sub> – საშუალო ბუშტუკოვანი ემისიები, კგ CH<sub>4</sub> / (ჰა.დღე). კოეფიციენტი 0.14 კგ

წარმოადგენს დადგენილ სიდიდეს საქართველოს ტერიტორიის ცივი, ზომიერად ნოტიო კლიმატისთვის წლის ყინულით დაუფარავ პერიოდში;  $A_{\text{flood, total surface}}$  – დატბორილი ტერიტორიის სრული ფართობი, ჰა.

ვინაიდან I დონის მიდგომისათვის საჭირო IPCC-ის მიერ დადგენილი ემისიის კოეფიციენტი ამ გაზისათვის არ არსებობს, ამიტომ, წყალსაცავიდან  $\text{NO}_2$ -ის წლიური ემისია ნულის ტოლად იქნა მიხნეული.

**აბულჰესი.** დასატბორი ხმელეთის ფართობი 100 ჰა-ს შეადგენს. გამოვიანგარიშოთ ნახშირორჟანგის ემისია:

$$\text{CO}_{2\text{emissionsWWflood}} = 365(\text{დღე}) \times 9,3 \text{ კგ}(\text{CO}_2) / (\text{ჰა.დღე}) \times 100 (\text{ჰა}) = 339\,450 \text{ კგ}(\text{CO}_2) / \text{წ}, \text{ დაახლოებით } 339 \text{ ტ.}$$

გამოვიანგარიშოთ მეთანის ემისია:

$$\text{CH}_{4\text{emissionsWWflood}} = 365(\text{დღე}) \times 0,2 \text{ კგ}(\text{CH}_4) / (\text{ჰა.დღე}) \times 100 (\text{ჰა}) + 365(\text{დღე}) \times 0,14 \text{ კგ}(\text{CH}_4) / (\text{ჰა.დღე}) \times 100 (\text{ჰა}) = 12\,410 \text{ კგ}(\text{CH}_4) / \text{წ}.$$

შემდეგ ეტაპზე გადავიყვანოთ ნახშირორჟანგის ეკვივალენტში:

$$12\,410 \text{ კგ}(\text{CH}_4) / \text{წ} \times 21 = 260\,610 \text{ კგ}(\text{CO}_2) / \text{წ} \approx 0,2 \times 10^6 \text{ კგ}(\text{CO}_2) / \text{წ}, \text{ დაახლოებით } 261 \text{ ტ. } \text{NO}_2\text{-ის წლიური ემისია ნულის ტოლად იქნა მიხნეული.}$$

აბულჰესიდან ჯამური ყოველწლიური ემისია ნახშირორჟანგის ეკვივალენტით შეადგენს  $339 + 261 + 0,0 = 600$  ტონას.

**კირნათჰესი.** დასატბორი ტერიტორიის ფართობი 140 ჰექტარია. გამოვიანგარიშოთ ნახშირორჟანგის ემისია:

$$\text{CO}_{2\text{emissionsWW flood}} = 365(\text{დღე}) \times 9,3 \text{ კგ}(\text{CO}_2) / (\text{ჰა.დღე}) \times 140 (\text{ჰა}) = 475\,230 \text{ კგ}(\text{CO}_2) / \text{წ}, \text{ დაახლოებით } 475 \text{ ტ.}$$

გამოვიანგარიშოთ მეთანის ემისია:

$$\text{CH}_{4\text{emissionsWWflood}} = 365(\text{დღე}) \times 0,2 \text{ კგ}(\text{CH}_4) / (\text{ჰა.დღე}) \times 140 (\text{ჰა}) + 365(\text{დღე}) \times 0,14 \text{ კგ}(\text{CH}_4) / (\text{ჰა.დღე}) \times 140 (\text{ჰა}) = 17\,374 \text{ კგ}(\text{CH}_4) / \text{წ}.$$

გადავიყვანოთ ნახშირორჟანგის ეკვივალენტში:

$$17374 \text{ კგ}(\text{CH}_4) / \text{წ} \times 21 = 364\,854 \text{ კგ}(\text{CO}_2) / \text{წ} \approx 0,3 \times 10^6 \text{ კგ}(\text{CO}_2) / \text{წ}, \text{ დაახლოებით } 365 \text{ ტ.}$$

წყალსაცავიდან  $\text{NO}_2$ -ის წლიური ემისია ნულის ტოლად იქნა მიხნეული. კირნათჰესიდან ჯამური ყოველწლიური ემისია ნახშირორჟანგის ეკვივალენტით შეადგენს  $475 + 365 + 0,0 = 840$  ტონას.

**მტკვარჰესის** წყალსაცავის დასატბორი ფართობი (0,00005 ჰა) უმნიშვნელოა, ამიტომ მასზე სათბურის გაზების ემისიებს არ განვიხილავთ.

**ნამახვანჰესი.** დასატბორი ხმელეთის ფართობი 628 ჰა-ს შეადგენს, საიდანაც 80 ჰექტარი წარმოადგენს სასოფლო-სამეურნეო დანიშნულების მიწას.

გამოვიანგარიშოთ ნახშირორჟანგის ემისია:

$$\text{CO}_{2\text{emissionsWW flood}} = 365(\text{დღე}) \times 9,3 \text{ კგ}(\text{CO}_2) / (\text{ჰა.დღე}) \times 628 (\text{ჰა}) = 2,1 \times 10^6 \text{ კგ}(\text{CO}_2) / \text{წ}, \text{ ე.ი. დაახლოებით } 2132 \text{ ტ.}$$

გამოვიანგარიშოთ მეთანის ემისია:

$$\text{CH}_{4\text{emissionsWW flood}} = 365(\text{დღე}) \times 0,2 \text{ კგ}(\text{CH}_4) / (\text{ჰა.დღე}) \times 628 (\text{ჰა}) + 365(\text{დღე}) \times 0,14 \text{ კგ}(\text{CH}_4) / (\text{ჰა.დღე}) \times 628 (\text{ჰა}) = 77,9 \times 10^3 \text{ კგ}(\text{CH}_4) / \text{წ}.$$

გადავიყვანოთ ნახშირორჟანგის ეკვივალენტში:

$$77\,900 \text{ კგ}(\text{CH}_4) / \text{წ} \times 21 = 1636631 \text{ კგ}(\text{CO}_2) / \text{წ} \approx 1,6 \times 10^6 \text{ კგ}(\text{CO}_2) / \text{წ}, \text{ დაახლოებით } 1637 \text{ ტ.}$$

ნამახვანჰესიდან ჯამური ყოველწლიური ემისია ნახშირორჟანგის ეკვივალენტით შეადგენს  $2132 + 1637 + 0,0 = 3769$  ტ-ს.

**ნენსკრჰესი.** დასატბორი ხმელეთის ფართობი 370 ჰა-ს შეადგენს. გამოვიანგარიშოთ ნახშირორჟანგის ემისია:

$$\text{CO}_{2\text{emissionsWW flood}} = 365(\text{დღე}) \times 9,3 \text{ კგ}(\text{CO}_2) / (\text{ჰა.დღე}) \times 370 (\text{ჰა}) = 1\,255\,965 \text{ კგ}(\text{CO}_2) / \text{წ}; \text{ ე.ი. დაახლოებით } 1\,256 \text{ ტონა.}$$

გამოვიანგარიშოთ მეთანის ემისია:

$$\text{CH}_{4\text{emissionsWW flood}} = 365(\text{დღე}) \times 0,2 \text{ კგ}(\text{CH}_4) / (\text{ჰა.დღე}) \times 370 (\text{ჰა}) + 365(\text{დღე}) \times 0,14 \text{ კგ}(\text{CH}_4) / (\text{ჰა.დღე}) \times 370 (\text{ჰა}) = 45\,917 \text{ კგ}(\text{CH}_4) / \text{წ}.$$



გადავიყვანოთ ნახშირორქანის ეკვივალენტში:  
 $45\ 917\ \text{კგ}(\text{CH}_4)/\text{წ} \times 21 = 964\ 257\ \text{კგ}(\text{CO}_2)/\text{წ} \approx$   
 $\approx 0,9 \times 10^6\ \text{კგ}(\text{CO}_2)/\text{წ}$ , დაახლოებით 964 ტ.

ნენსკრპსიდან ჯამური ყოველწლიური ემისია ნახშირორქანის ეკვივალენტში შეადგენს  
 $1256 + 964 + 0,0 = 2220$  ტონას.

**ფარავანძესი.** დასატბორი ხმელეთის ფართობი 0,5 ჰა-ს შეადგენს. გამოვითვალოთ ნახშირორქანის ემისია:

$\text{CO}_2\ \text{emissions}_{\text{WW flood}} = 365(\text{დღე}) \times 9,3\ \text{კგ}(\text{CO}_2)/(\text{ჰა.დღე}) \times 0,5\ (\text{ჰა}) = 1\ 697\ \text{კგ}(\text{CO}_2)/\text{წ}$ , დაახლოებით 1,7 ტ.

გამოვიანგარიშოთ მეთანის ემისია:

$\text{CH}_4\ \text{emissions}_{\text{WW flood}} = 365(\text{დღე}) \times 0,2\ \text{კგ}(\text{CH}_4)/(\text{ჰა.დღე}) \times 0,5\ (\text{ჰა}) + 365\ (\text{დღე}) \times 0,14\ \text{კგ}(\text{CH}_4)/(\text{ჰა.დღე}) \times 0,5\ (\text{ჰა}) = 62\ \text{კგ}(\text{CH}_4)/\text{წ}$ .

გადავიყვანოთ ნახშირორქანის ეკვივალენტში:  
 $62\ \text{კგ}(\text{CH}_4)/\text{წ} \times 21 = 1303\ \text{კგ}(\text{CO}_2)/\text{წ} \approx 1,3 \times 10^3\ \text{კგ}(\text{CO}_2)/\text{წ}$ ,  
 დაახლოებით 1,3 ტ.

NO<sub>2</sub>-ის წლიური ემისია ნულის ტოლად იქნა მიჩნეული.

ფარავანძესიდან ჯამური ყოველწლიური ემისია ნახშირორქანის ეკვივალენტში შეადგენს  $1,7 + 1,3 + 0,0 = 3$  ტონას.

**შუახევესი.** დასატბორი ხმელეთის ფართობი 17 ჰა-ს შეადგენს. გამოვიანგარიშოთ ნახშირორქანის ემისია:

$\text{CO}_2\ \text{emissions}_{\text{WW flood}} = 365(\text{დღე}) \times 9,3\ \text{კგ}(\text{CO}_2)/(\text{ჰა.დღე}) \times 17\ (\text{ჰა}) = 57\ 707\ \text{კგ}(\text{CO}_2)/\text{წ}$ , დაახლოებით 58 ტ.

გამოვიანგარიშოთ მეთანის ემისია:

$\text{CH}_4\ \text{emissions}_{\text{WW flood}} = 365(\text{დღე}) \times 0,2\ \text{კგ}(\text{CH}_4)/(\text{ჰა.დღე}) \times 17\ (\text{ჰა}) + 365\ (\text{დღე}) \times 0,14\ \text{კგ}(\text{CH}_4)/(\text{ჰა.დღე}) \times 17\ (\text{ჰა}) = 2\ 110\ \text{კგ}(\text{CH}_4)/\text{წ}$ .

გადავიყვანოთ ნახშირორქანის ეკვივალენტში:  
 $2110\ \text{კგ}(\text{CH}_4)/\text{წ} \times 21 = 44304\ \text{კგ}(\text{CO}_2)/\text{წ} \approx 0,04 \times 10^6\ \text{კგ}(\text{CO}_2)/\text{წ}$ .  
 მაშასადამე, შუახევესის შემთხვევაში მეთანის ყოველწლიური ემისია წყალსაცავიდან, გამოსა-

ხული CO<sub>2</sub>-ის ეკვივალენტით, შეადგენს 44 ტ-ს.

NO<sub>2</sub>-ის წლიური ემისია ნულის ტოლად იქნა მიჩნეული.

ჯამური ყოველწლიური ემისია ნახშირორქანის ეკვივალენტით შეადგენს  $58 + 44 + 0,0 = 102$  ტონას.

**ხუდონძესი.** ხუდონძესის შემთხვევაში დაიტბორება 528 ჰექტარი და მოიცავს ტყეებს, სახნავ მიწებს, მდელოებსა და მდინარეს.

გამოვიანგარიშოთ ნახშირორქანის ემისია:

$\text{CO}_2\ \text{emissions}_{\text{WW flood}} = 365(\text{დღე}) \times 9,3\ \text{კგ}(\text{CO}_2)/(\text{ჰა.დღე}) \times 528\ (\text{ჰა}) = 1,79 \times 10^6\ \text{კგ}(\text{CO}_2)/\text{წ}$ .

მაშასადამე, ხუდონძესის შემთხვევაში CO<sub>2</sub>-ის ყოველწლიური ემისია წყალსაცავიდან შეადგენს დაახლოებით 1792 ტ-ს.

ხუდონძესიდან მეთანის ემისია იქნება:

$\text{CH}_4\ \text{emissions}_{\text{WW flood}} = 365(\text{დღე}) \times 0,2\ \text{კგ}(\text{CH}_4)/(\text{ჰა.დღე}) \times 528\ (\text{ჰა}) + 365\ (\text{დღე}) \times 0,14\ \text{კგ}(\text{CH}_4)/(\text{ჰა.დღე}) \times 528\ (\text{ჰა}) = 65,5 \times 10^3\ \text{კგ}(\text{CH}_4)/\text{წ}$ ;

ხუდონძესიდან მეთანის ემისია გადავიყვანოთ ნახშირორქანის ეკვივალენტში:

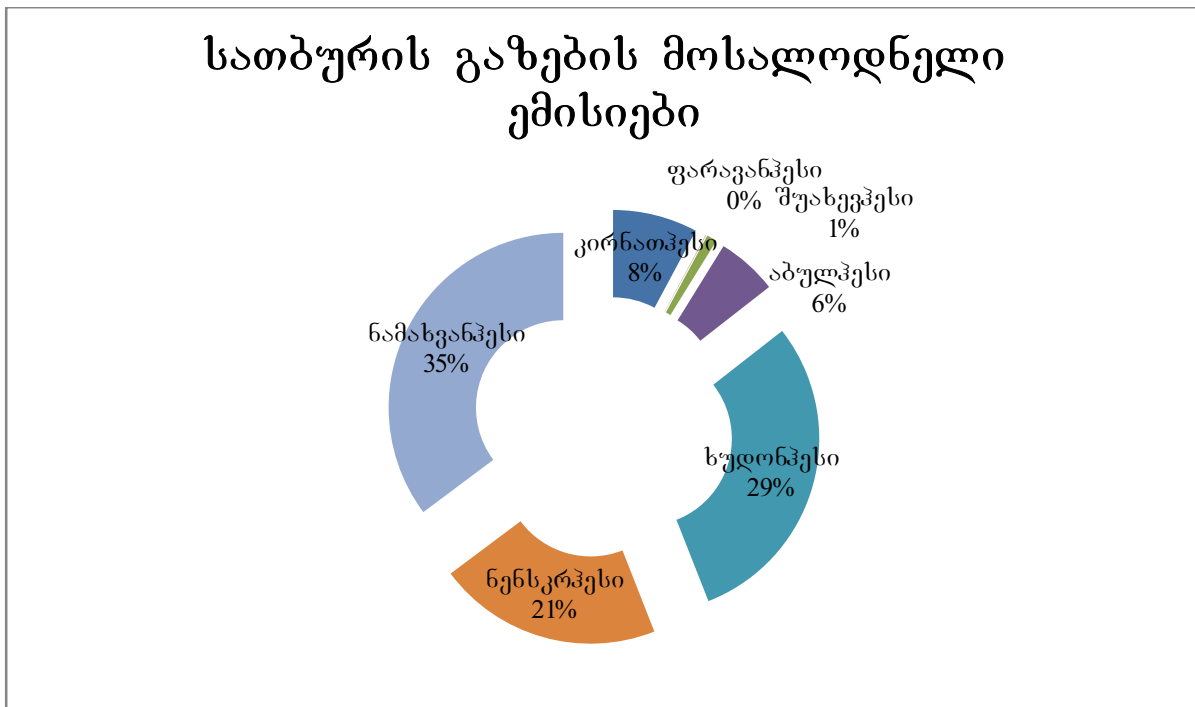
$65,5 \times 10^3\ \text{კგ}(\text{CH}_4)/\text{წ} \times 21 = 1376021\ \text{კგ}(\text{CO}_2)/\text{წ} \approx 1,4 \times 10^6\ \text{კგ}(\text{CO}_2)/\text{წ}$  ანუ 1376 ტ.

ვინაიდან I დონის მიდგომისათვის საჭირო IPCC-ის მიერ დადგენილი ემისიის კოეფიციენტი ამ გაზისათვის არ არსებობს, ამიტომ, წყალსაცავიდან NO<sub>2</sub>-ის წლიური ემისია ნულის ტოლად იქნა მიჩნეული.

მაშასადამე, ხუდონძესის წყალსაცავიდან ნახშირორქანის (CO<sub>2</sub>), მეთანის (CH<sub>4</sub>) და აზოტის ქვეყანის (NO<sub>2</sub>) ჯამური ყოველწლიური ემისია ნახშირორქანის ეკვივალენტით შეადგენს  $1792 + 1376 + 0,0 = 3168$  ტონას.

პერსპექტიული ჰესების სიმძლავრე, დასატბორი ტერიტორიის ფართობი და სათბურის გაზების ემისიები იხილეთ პირველ ცხრილში.

	პესის დასახელება	პესის დადგმული სიმძლავრე, მგტ	დასატბორი ხმელეთის ფართობი, ჰა	CO <sub>2</sub> -ის ემისია, ტ	CH <sub>4</sub> -ის ემისია, ტ	NO <sub>2</sub> -ის ემისია, ტ	ემისიების ჯამი, ტ CO <sub>2</sub> -ის ეკვ-წელი
1	აბულჰესი	22.2	100	339	261	0,0	600
2	კირნათჰესი	51.2	140	475	365	0,0	840
3	მტკვარჰესი	43	0,00005	-	-	0,0	-
4	ნამახვანჰესი	433	628	2132	1637	0,0	3769
5	ნენსკრჰესი	300	370	1256	964	0,0	2220
6	ფარავანჰესი	85	0,5	1,7	1,3	0,0	3
7	შუახევჰესი	175	17	58	44	0,0	102
8	ხულონჰესი	702	528	1792	1376	0,0	3168



სურ. 1. პერსპექტიული ჰიდროელექტროსადგურებიდან მოსალოდნელი სათბურის გაზების ემისიები პროცენტული მაჩვენებლებით

**დასკვნა**

საბოლოოდ, როგორც სურათიდან ჩანს, სათბურის გაზების ყველაზე დიდი ხვედრითი წილი – 35% მოდის ნამახვანჰესის, 29% – ხულონჰესის და 21% – ნენსკრჰესის წილად (იხ. სურ. 1).

მიუხედავად აღნიშნულისა, სათბურის გაზე-

ბის ემისია გაცილებით ნაკლებია თბოელექტროსადგურის (თესი) შემთხვევაში. მაგალითისათვის შევადაროთ ნამახვანჰესის (დადგმული სიმძლავრე 433 მგტ, ელექტროენერჯის წლიური გამომუშავება 1514 გიგავატ. საათი) მიერ სათბურის გაზების ემისია (3769 ტCO<sub>2</sub>-ის ეკვივალენტი

წელიწადში) იმავე სიმძლავრის და ელექტროენერჯის წლიური გამომუშავების შემთხვევაში პირობითი თბოელექტროსადგურის მიერ გაფრქვეული სათბურის გაზების რაოდენობას.

ნახშირორქანის ემისიის კოეფიციენტის გამოსათვლელი ფორმულა შემდეგია:

$$CO_2 = C_{fuel} / h_{fuel} \times (C_{CO_2} / C_m) \text{ (კგ } CO_2 \text{ / კვტ.სთ)}$$

სადაც  $CO_2$  არის ნახშირორქანის ემისიის კოეფიციენტი (კგ  $CO_2$  / კვტ.სთ),  $C_{fuel}$  – ნახშირბადის

შემცველობა სათბობში (კგ C/კგ სათბობში),  $h_{fuel}$  – ენერჯის შემცველობა (კვტსთ/კგ სათბობი),  $C_{CO_2}$  – ნახშირორქანის მოლეკულური წონა (კგ/მოლი  $CO_2$ ),  $C_m$  – ნახშირბადის მოლეკულური წონა (კგ/მოლი C).

თითოეული ტიპის სათბობის ნახშირორქანის ემისიის კოეფიციენტი წარმოდგენილია მე-2 ცხრილში.

ცხრილი 2

სათბობი	$C_{fuel}$ (კგC/კგ სათბობი)	$h_{fuel}$ (კვტსთ/კგ სათბობი)	$C_m$ (კგ/მოლი C)	$C_{CO_2}$ (კგ/მოლი $CO_2$ )	$CO_2$ ნახშირორქანის ემისიის კოეფიციენტი, ( $CO_2$ / კვტსთ)
ნახშირი	0,75	7,5	12	44	0,37
ნავთობი	0,82	11,7	12	44	0,26
ბუნებრივი გაზი	0,75	12	12	44	0,23

თუ პირობითი თბოელექტროსადგური გამოიყენებს ნახშირს, წლიური ემისია იქნება:  $CO_2 = 1514 \times 10^6 \text{ კვტ.სთ} \times 0,37 = 560180000 \text{ კგ} = 560180 \text{ ტონა}$ ;

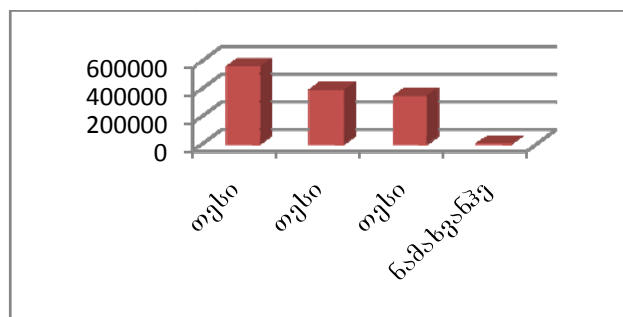
თუ პირობითი თბოელექტროსადგური გამოიყენებს ნავთობს, წლიური ემისია იქნება:

$$CO_2 = 1514 \times 10^6 \text{ კვტ.სთ} \times 0,26 = 393640000 \text{ კგ} = 393640 \text{ ტონა};$$

თუ პირობითი თბოელექტროსადგური გამოიყენებს ბუნებრივ გაზს, წლიური ემისია იქნება:  $CO_2 = 1514 \times 10^6 \text{ კვტ.სთ} \times 0,23 = 348220000 \text{ კგ} = 348220 \text{ ტონა}$ ;

აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ გამოანგარიშებისას პირობითი თბოელექტროსადგურის მარგი ქმედების კოეფიციენტი არ გავითვალისწინებია.

ამრიგად, თუნდაც ბუნებრივ გაზზე მომუშავე თბოელექტროსადგურის მიერ გაფრქვეული ემისიის რაოდენობა (348220ტ  $CO_2$ /წელი) 344451 ტ  $CO_2$ /წ.-ით აღემატება ნამახვანჯისიდან ნახშირორქანის ემისიას (3769 ტ $CO_2$ /წელი) (სურ. 2).



სურ. 2. სათბურის გაზების ემისია ტ  $CO_2$ -ის ეკვივალენტში წელიწადში

დედამიწის კლიმატი და მასზე მავნე ზემოქმედების შერბილება კაცობრიობის საერთო საზრუნავია. სათბურის ეფექტი გამოიწვევს დედამიწის ზედაპირის და ატმოსფეროს დათბობას, რაც საფრთხის მატარებელია ბუნებრივი ეკოსისტემებისა და კაცობრიობისათვის. კლიმატის სისტემა დაცული უნდა იყოს ამჟამინდელი და მომავალი თაობებისათვის და კლიმატის ცვლილებაზე რეაგირება კოორდინირებული უნდა იყოს სოციალურ და ეკონომიკურ განვითარებასთან.

ლიტერატურა

1. G. Arabidze, M. Gudiashvili, T. Jishkariani. Energy and Climate Change. Sakartvelos teqnikuri universitetis gamomcemloba. Tbilisi, 185 p. (In Georgian).
2. R. Lyster, A. Bradbrook. Energy law and the Environment. Cambridge University Press, 2006, 239 p. (In English).
3. K. E. Makuch, R. Pereira. Environmental and Energy Law. A. John Wiley & Sons, Ltd, Publication, 2012, 651p. (In English).
4. Official website of Ministry of Energy of Georgia: [www.minenergy.gov.ge](http://www.minenergy.gov.ge). (In Georgian).
5. International Panel on Climate Change, IPPCC, Guidelines 2006. (In English).

UDC 620.9 : 504.7

SCOPUS CODE 2105

**IMPACT OF GEORGIAN PROJECT HYDROPOWER STATIONS ON CLIMATE CHANGE**

- |                       |  |
|-----------------------|--|
| <b>G. Chachibaia</b>  | Department of electric power and electromechanics, Georgian Technical University, 75 M. Kostava str, 0175 Tbilisi, Georgia<br>E-mail: <a href="mailto:giorgi_chachibaia@yahoo.com">giorgi_chachibaia@yahoo.com</a> |
| <b>N. Samsonia</b>    | Department of electric power and electromechanics, Georgian Technical University, 75 M. Kostava str, 0175 Tbilisi, Georgia<br>E-mail: <a href="mailto:nanasamsonia@mail.ru">nanasamsonia@mail.ru</a>               |
| <b>M. Gudiashvili</b> | Department of electric power and electromechanics, Georgian Technical University, 75 M. Kostava str., 0175 Tbilisi, Georgia<br>E-mail: <a href="mailto:makagudiashvili@yahoo.com">makagudiashvili@yahoo.com</a>    |

**Reviewers:**

**N. Giorgishvili**, PhD, Assistant Professor, Department of electric power and electromechanics, Faculty of Power Engineering and Telecommunication, GTU, 75 M. Kostava str, 0175 Tbilisi, Georgia  
E-mail: [nino-niniaa@mail.ru](mailto:nino-niniaa@mail.ru)

**T. Jishkariani**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of electric power and electromechanics, Faculty of Power Engineering and Telecommunication, GTU, 75 M. Kostava str, 0175 Tbilisi, Georgia  
E-mail: [tengish@yahoo.com](mailto:tengish@yahoo.com)

**ABSTRACT.** The work analyzes the potential hydropower plants (HPP), that are to be built in Georgia, and which have a regulating reservoir. Generally, such hydropower plants have the most negative impact on the climate, as HPPs have own global warming potential (GWP). There has been calculated carbon dioxide emission for each HPP, equivalent in carbon dioxides. As a result these calculations will help us to estimate expected impact on climate change in case of their construction. For example, we have made comparison of the emissions of greenhouse gases from Namakhvani Hydro Power Plant to the same capacity and annual electricity generation thermal power plant emissions of greenhouse gases. From the natural gas-fired thermal power plants carbon dioxide emissions are (348220 tCO<sub>2</sub> / year), that is 344451 tCO<sub>2</sub> / year more than of carbon dioxide emissions from Namakhvani Hydro Power Plant (3769 tCO<sub>2</sub> / year ).

**KEY WORDS:** climate change; carbon dioxide emission.

UDC 620.9 : 504.7  
SCOPUS CODE 2105

## ВЛИЯНИЕ ГРУЗИНСКИХ ПРОЕКТНЫХ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НА ГЛОБАЛЬНОЕ ПОТЕПЛЕНИЕ

<b>Чачიბაია Г.Р.</b>	Департамент электроэнергетики и электромеханики, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава, 75 E-mail: giorgi_chachibaia@yahoo.com
<b>Самсония Н.М.</b>	Департамент электроэнергетики и электромеханики, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава, 75 <sup>а</sup> E-mail: nanasamsonia@mail.ru
<b>Гудиашвили М.Н.</b>	Департамент электроэнергетики и электромеханики, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава, 75 <sup>а</sup> E-mail: makagudiashvili@yahoo.com

### Рецензенты:

**Н. Гиоргишвили**, акад. доктор, ассист.- профессор Департамента электроэнергетики и электромеханики факультета энергетики и телекоммуникации ГТУ

E-mail: nino-ninia@mail.ru

**Т. Джишқариани**, д.т.н., профессор Департамента теплоэнергетики и энергоэффективности факультета энергетики и телекоммуникации ГТУ

E-mail: tengish@yahoo.com

**АННОТАЦИЯ.** Грузия обладает потенциалом возобновляемых источников энергии, особенно гидропотенциалом. Развитие сектора возобновляемой энергии будет удовлетворять внутренний спрос и страна станет крупным региональным экспортером электроэнергии. Работа анализирует ГЭС-ы Грузии, которые имеют регулирующий резервуар, оказывают наиболее негативное влияние на климат, как ГЭС обладают собственным потенциалом глобального потепления (GWP). Рассчитаны выбросы парниковых газов эквивалентной двуокиси углерода для каждой из потенциальных ГЭС. В результате этот расчет поможет нам оценить влияние грузинских проектных гидроэлектростанций на глобальное потепление в случае их строительства.

Например, сделано сравнение выброса парниковых газов гидростанции Намахвани с тепловых электростанций той же мощности и годовой выработки электроэнергии. Даже если тепловая электростанция работала на природном газе, выбросы двуокиси углерода (348220 т CO<sub>2</sub>/год) на 344451 т CO<sub>2</sub> / год больше чем выбросы от гидростанции Намахвани (3769 т CO<sub>2</sub>/ год).

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** выбросы двуокиси углерода; глобальное потепление.

UDC 621:311.1

SCOPUS CODE 2105

## BIOMASS HEATING SYSTEM PROJECT

- T. Sabelashvili** Department of Thermal Power Engineering and Energy Efficiency, Georgian Technical University, 75 M. Kostava str., 0175 Tbilisi, Georgia  
E-mail: tamar.sabelashvili@gmail.com
- M. Gudiashvili** Department of Power Engineering, Electronics and Electromechanics, Georgian Technical University, 75 M. Kostava str., 0175 Tbilisi, Georgia  
E-mail: makagudiashvili@yahoo.com
- M. Radmehr** Department of Power Engineering, Electronics and Electromechanics, Georgian Technical University, 75 M. Kostava str., 0175 Tbilisi, Georgia  
E-mail: mehrshad.radmehr@gmail.com

### Reviewers:

**L. Bochorishvili**, Professor, Department of Power Engineering, Electronics and Electromechanics, Faculty of power engineering and Telecommunication, GTU

E-mail: lalibochorishvili@yahoo.com

**G. Gigineishvili**, Associate Professor, Department of Thermal Power Engineering and Energy Efficiency, Faculty of power engineering and Telecommunication GTU

E-mail: g.gigineishvili@gtu.ge

**ABSTRACT.** The hazard of deforestation or cutting down the trees for heating purposes is not legally secured and controlled in Georgia. This problem can be solved by the replacement of firewood with alternative natural resources and energy efficient technologies. The alternative form of organic fuel is the residual biomass, as a renewable source of energy. The residual biomass has a number of advantages: 1) it is a kind of renewable energy sources; 2) it is spread almost over the entire country; 3) it is relatively inexpensive in comparison with fossil fuel; it significantly reduces greenhouse gas emissions. Therefore, in this study we have considered an energy audit project for Napareuli public school of Kakheti region as a case study. The project examined the replacement of firewood furnace with the device of biomass. Pyrolytic boiler made by Georgian Technical University scientists has been chosen in the process of selecting of residual biomass combustion technologies. Relevant economic analysis was conducted based on the

obtained data and information and appropriate NPV, PI, IRR, PB were calculated as well.

**KEY WORDS:** Economic analysis, Residual biomass, Pyrolytic boiler.

### INTRODUCTION

The hazard of deforestation or cutting down the trees for heating purposes is not secured and legally controlled in Georgia. It should be noted that the main user of firewood is rural population. This includes 47.5 percent of the total population (approximately 2 million people in Georgia). Obviously the current consumption of wood across the country is facing an ecological catastrophe.

Unfortunately, firewood has been widely consumed in the regional schools of Georgia. The exploitation of wood for heating purposes not only endangers environment and forest but also the wellbeing of the

school students and staff. This makes the adoption of energy efficient technologies for the use of natural resources necessary.

The alternative form of organic fuel so called residual biomass is a kind of renewable energy source. The term biomass is derived from the plants and animals organic waste. It can be divided into primary sources including plants, animals and micro-organisms and secondary sources - recycling of primary biomass and waste biomass.

The diversity of biomass can be listed as follows:

- Wood;
- Waste of forestry exploitation;
- Waste of wood industrial production;
- Agricultural crop residues;
- Waste of agro processing industry;
- Animal waste;
- Waste of water treatment equipment;
- Municipal household waste and others.

The biomass has been used for many years for its benefits such as:

- Its resource in the biosphere cycle is actually inexhaustible;
- It is spread across almost the entire earth territory;
- Biomass is cheaper than fossil fuel;
- Biomass can be directly used as a fuel or converted to other fuels, it can be stored and used when needed;
- The alternative use of biomass significantly reduces emission of greenhouse gases in the atmosphere.

## MAIN PART

There are different methods to get energy out of biomass. The selection of the method is based on the biomass moisture. If the biomass humidity is less than 50 percent, then thermo chemical processes can be used for the conversion. When biomass humidity is more than 50 percent, it is recommended to use biological or bio-technological processes.

Note that the thermo-chemical and bio-technological processes are comprised of different methods as it is explained below:

The thermo-chemical process includes:

1. Direct burning to get the heat;
2. Pyrolysis (thermal decomposition of organic compounds in non-oxygen environment);

3. Gasification;
4. Liquidity (to get liquid fuel).

The bio-technological process includes:

1. Methane boiling;
2. Ethane fermentation;
3. Anaerobic fermentation with getting hydrogen.

Biomass direct burning is the oldest and developed method. However, the possibilities of improvement are not fully realized yet. Biomass direct combustion for the household stoves is the most common device, whose perfection is far from desired results. Biomass Pyrolysis is a process in which the carbohydrates involve in biomass, break down into the non-oxygen from 450 to 550 OC temperature conditions environment. Pyrolysis can be used in any forms of solid organic substances. During one ton of wood processing 300 kg of wood coal, 140 m<sup>3</sup> natural gas with 10 MJ/m<sup>3</sup> thermal capacity, 50 liters of acetic acid, 3 liters of acetone, 70 liters of wood oil and others can be received. The wood coal which is derived from Pyrolysis does not contain sulfur and phosphorus. Therefore, it has been widely used for the production of high-quality steel. The wood coal can be used instead of wood, the wood coal stoves are more efficient than the common wood stoves. Accordingly, the use of wood coal reduces emissions of harmful substances for human health in the atmosphere.

In the paper we examined the Napareuli public school of Kakheti region and set up an energy audit project. The project considers the replacement of firewood furnace with the device of biomass. For the beginning, we analyzed the characteristics of the school and collected the information mentioned below:

The three-story brick building was put into the operation in 1966. The school total heating area is 2,583 m<sup>2</sup>, while 861 m<sup>2</sup> is the total floors and ceilings space. The walls' total area is 1,082 m<sup>2</sup>, the double glazing windows' total area equals 206 m<sup>2</sup>, while the total volume of the building is 8,266 m<sup>3</sup>.

There are 280 pupils and 24 staff in the building on a daily basis. The heating season lasts from November 15 to April 15.

The analysis of the abovementioned data which were gathered during the energy audit revealed that the required energy for heating the Napareuli school is 159,158kWh/year.

However, the firewood energy potential is 2,852 kWh/m<sup>3</sup> and the efficiency of the furnace is 0.6. Therefore, the basic energy corresponds to 159, 158 /

$(2,852 * 0.6) = 93.0 \text{ m}^3$  of firewood, which costs  $93.0 * 120 = 11,169$  GEL (one cubic meter of firewood costs 120 GEL). The Carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions in these conditions would be equal to  $159,158 * 0.42 / 1000 = 66.8$  ton / year, (0.42 kg CO<sub>2</sub>/kWh is CO<sub>2</sub> kilograms per kWh energy).

The residual biomass energy potential equals to 4.1 kWh/kg and the efficiency of the Pyrolytic boiler is 0.9, so the energy corresponds to  $159,158 / (4.1 * 0.9) = 43,132$  kg of biomass, which costs  $43,132 * 0.15 = 6,500$  GEL (one kg residual biomass bale costs 0.15 GEL). In this case, carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emission is zero.

Thus, the introduction of a new technology makes the  $11,169 - 6,500 = 4,669$  GEL savings possible.

For waste biomass utilization assessment, selection of its optimum burning technologies and modes would be necessary. Pyrolytic boiler made by Georgian Technical University scientists has been chosen in the process of selecting of residual biomass combustion technologies. The device costs 10,000 GEL.

- Biomass device cost - 10,000 GEL;
- Working period is 10 years;
- The annual electricity savings - 4,669 GEL;
- Repair costs 500 GEL/year;
- Discount rate is 10%;
- By the end of 10 years, the liquidation value will be 500 GEL.

Using economic analysis procedure enables us to calculate the economic benefit of the energy efficient technologies project.

**Calculation of the project Net Present Value, (NPV)**

The Net Present Value (NPV) is the difference between initial investment and sum of the discounted cash flows. If NPV is positive, investment is acceptable. An investment typically involves putting in an initial amount and then, earns periodically benefits (cash inflow) or saves money that ensures the pay back of investment plus yields interest.

$$NPV = \sum_{n=1} \frac{CF}{(1+r)^n} - IC$$

Where the NPV is net present value, GEL; Cash Flow(CF) - the savings, GEL; n - the specific investment period, year; r - the discount/interest rate, %; IC- one time investment, GEL.

$NPV = 4,669 (PVA10\%, 10) - 10,000 = [4,669 (6.1446) - 10,000] = 15,810$  GEL.

The Net Present Value of this project is 15,810 GEL.

**Calculation of the project Internal Rate of Return, (IRR)**

The Internal Rate of Return (IRR) is defined as the discount rate (r), when the present value of expected incomes equals to the costs of the investments:  $IRR=r$ , When  $NPV=0$ .

Cash inflow, outflow and net cash flow of the project is presented in table 1.

Table 1

**Cash inflow, outflow and net cash flow**

year	cash inflow	cash inflow	cash outflow	net cash flow
0	-10,000	-10,000	-10,000	-10,000
1	4,669		-500	4,169
2	4,669		-500	4,169
3	4,669		-500	4,169
4	4,669		-500	4,169
5	4,669		-500	4,169
6	4,669		-500	4,169
7	4,669		-500	4,169
8	4,669		-500	4,169
9	4,669		-500	4,169
10	4,669	500	-500	4,669

The Internal Rate of Return (IRR) of this project is 40%.



**Calculation of the project Profitability Index, (PI)**

The Profitability index (PI) is the ratio of the net present value to investment of a proposed project.

It is a useful tool for ranking projects as it allows to quantify the amount of value created per unit of the investment. The ratio is calculated as follows:

**PI=NPV/IC ≥1,**

Where PI is the profitability index; NPV is the net present value of a proposed project/GEL; and IC- initial investment/GEL. Rules for selection or rejection of a project:

**PI > 1**, the project is acceptable;

**PI < 1**, the project must be rejected.

**PI=1**, no revenue, no loss.

PI=NPV/IC=15,810/10,000= **1.58**

Profitability index (PI) of this project is 1.58.

**Calculation of the project Payback Period, (PB)**

The payback period is the time required for the company to recover its initial investment. It is calculated as ratio of investment to savings, received as a result of energy efficient event.

PB=IC/ES, year

Where PB is a payback period, year; IC- initial investment, GEL; ES- annual savings, GEL

PB=IC/ES=10,000/4,669 = **2** years.

The payback period of this project is 2 year.

The profitability of the project is presented in Table 2

Table 2

**Profitability**

Project	IC (GEL)	PB (Year)	IRR (%)	NPV (GEL)	PI
<b>Biomass Heating System</b>	10,000	2	40	15,810	1.58

The results of this calculation indicate that project’s all indicators of conducted economical analysis are acceptable.

**CONCLUSION**

In general, the spread of energy-efficient technologies and energy efficiency measurement across Georgia is obvious.

The energy efficiency technologies are subject to economical impacts and saving money as well as ecological effects. It reduces the forest destruction and carbon dioxide emissions, contributing to climate change. In this work, we calculated NPV, IRR, PI and PB for using biomass (preferably than firewood) at Napareuli school. In this case, the results are economically promising for the use of efficient technology of biomass.

**References**

1. Kh. Sichinava, G. Arabidze, T. Jishkariani. Heating problems and their solutions at public schools in the regions of Georgia. Proceedings of Georgian Technical University and Archil Eliashvili Institute of Control Systems. Tbilisi, 2014, 97-104 pp. (In Georgian).
2. G. Arabidze, N. Arabidze, S. Zarandia, O. Kiguradze, T. Miqashvili, B. Chkhaidze, V. Jamarjashvili, T. Jishkariani. Energy potential of residual biomass in Georgia. (Cadaster), Tbilisi, 2013. (In Georgian).

UDC 621:311.1  
SCOPUS CODE 2105

**ბიომასაზე მომუშავე ბათუმის სისტემის პროექტი**

- თ. საბელაშვილი** თბოენერგეტიკისა და ენერგოეფექტურობის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 55  
E-mail: tamar.sabelashvili@gmail.com
- მ. გუდიაშვილი** ელექტროენერგეტიკისა და ელექტრომექანიკის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 75  
E-mail: makagudiashvili@yahoo.com
- მ. რადმერი** ელექტროენერგეტიკისა და ელექტრომექანიკის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 75  
E-mail: mehrshad.radmehr@gmail.com

**რეცენზენტები:**

**ლ. ბოჭორიშვილი**, სტუ-ის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის ელექტროენერგეტიკისა და ელექტრომექანიკის დეპარტამენტის პროფესორი

E-mail: l.bochorishvili@yahoo.com

**გ. გიგინეიშვილი**, სტუ-ის ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის ფაკულტეტის თბოენერგეტიკისა და ენერგოეფექტურობის დეპარტამენტის ასოცირებული პროფესორი, აკადემიური დოქტორი

E-mail: g.gigineishvili@gtu.ge

**ანოტაცია:** საქართველოს რეგიონებში თბომომარაგების მიზნით მიმდინარეობს ხე-ტყის უსისტემო და უკონტროლო ჭრა. აღნიშნული პრობლემის გადასაჭრელად საჭიროა საშეშე მერქნის ჩანაცვლება ალტერნატიული ორგანული სათბობით და ენერგოეფექტური ტექნოლოგიებით. ნარჩენი ბიომასა განიხილება როგორც ყოველწლიურად განახლებადი ენერჯის წყარო, მას აქვს არაერთი უპირატესობა: ენერჯის განახლებადი წყაროა და ამიტომ ამოუწურავია; გავრცელებულია ქვეყნის თითქმის მთელ ტერიტორიაზე; წიაღისეულ სათბობთან შედარებით იაფია; მნიშვნელოვნად ამცირებს სათბური გაზების ემისიას. ნაშრომში კახეთის რეგიონის სოფელ ნაფარეულის საჯარო სკოლის მაგალითზე შედგენილია ენერგოაუდიტის პროექტი. პროექტი გულისხმობს საშეშე მერქნის ღუმლის ჩანაცვლებას ბიომასის დანადგარით. ნარჩენი ბიომასის წვის ოპტიმალური ტექნოლოგიების შერჩევის პროცესში არჩევანი შეჩერდა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის მეცნიერთა მიერ შექმნილ პიროლიზურ წყალსათბობ ქვაბზე.

ენერგოაუდიტის დროს მოპოვებულ ინფორმაციაზე დაყრდნობით, შენობის გათბობისათვის ენერჯის საჭირო რაოდენობის და სხვა აუცილებელი მონაცემების საფუძველზე ჩატარებულია ეკონომიკური ანალიზი, სადაც გამოთვლილია პროექტის წმინდა დისკონტირებული შემოსავალი, ინვესტიციის გამოსყიდვის შიგა ნორმა, უკუგების პერიოდი და რენტაბელურობის ინდექსი.

**საკვანძო სიტყვები:** ეკონომიკური ანალიზი; ნარჩენი ბიომასა; პიროლიზური ბოილერი.

UDC 621:311.1  
SCOPUS CODE 2105

**ПРОЕКТ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ НА БИОМАССЕ**

- Сабелашвили Т.И.** Департамент теплоэнергетики и энергоэффективности, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава 75  
E-mail: tamar.sabelashvili@gmail.com
- Гудиашвили М.Н.** Департамент электроэнергетики и электромеханики, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава 75  
E-mail: makagudiashvili@yahoo.com
- Радмер М.Р.** Департамент электроэнергетики и электромеханики, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава 75  
E-mail: mehrshad.radmehr@gmail.com

**Рецензенты:**

**Л. Бочоришвили**, академический доктор, профессор Департамента электроэнергетики и электромеханики факультета энергетики и телекоммуникации ГТУ

E-mail: l.bochorishvili@yahoo.com

**Г. Гигинеишвили**, академический доктор, ассоц. профессор Департамента теплоэнергетики и энергоэффективности факультета энергетики и телекоммуникаций ГТУ

E-mail: g.gigineishvili@gtu.ge

**АННОТАЦИЯ.** В регионах Грузии с целью обогрева происходит бессистемная и бесконтрольная вырубка леса. Для решения проблемы необходимо заменить дрова альтернативным органическим видом топлива и энергосберегающей технологией. Биомасса рассматривается в качестве нового источника энергии каждый год, она имеет целый ряд преимуществ: возобновляемые источники энергии и следовательно, неисчерпаемость. Почти по всей территории страны имеет распространение относительно недорогое ископаемое топливо, которое дает значительное уменьшение выбросов парниковых газов. В исследовании дан проект энергетического аудита государственной школы. Проект предполагает замену печи, работающей на дровах, на печь, работающую на биомассе растений. Был выбран пиролистический бойлер, созданный представителем Технического университета.

На основе информации, полученной в ходе энергетического аудита, для необходимого количества энергии при отоплении здания и других необходимых данных производится экономический анализ: были рассчитаны дисконтированный чистый доход, внутренняя норма доходности, срок окупаемости и индекс рентабельности.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** остаточная биомасса; пиролистический бойлер; экономический анализ.

UDC 625. 75. 4

SCOPUS CODE 2207

## დიაფრაგმული სალექი მანქანის ოპტიმალური მართვის სისტემა

- რ. ენაგელი** სამთო ტექნოლოგიების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 75  
E-mail: Enageli@mail.ru
- მ. გამცემლიძე** გ. წულუკიძის სამთო ინსტიტუტი, საქართველო, 0186, თბილისი, ე. მინდელის 7  
E-mail: Mananatutberidze@rambler.ru
- გ. ჯავახიშვილი** სამთო ტექნოლოგიების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 75  
E-mail: giorgi18@gmail.com

### რეცენზენტები:

**მ. წერეთელი**, სტუ-ის სამთო-გეოლოგიური ფაკულტეტის სამთო ტექნოლოგიების დეპარტამენტის პროფესორი

E-mail: mi-tseret@rambler.ru

**მ. ქიტოშვილი**, სტუ-ის სამთო-გეოლოგიური ფაკულტეტის შრომის უსაფრთხოებისა და საგანგებო სიტუაციების მართვის დეპარტამენტის ასოცირებული პროფესორი

E-mail: m.qitoshvili@gtu.ge

**ანოტაცია:** სტატიაში განხილულია მანგანუმის მადნის მამლიძრებელი დიაფრაგმული სალექი მანქანის ოპტიმალური მართვის სისტემის აგების საკითხები. პროცესის მათემატიკური მოდელისა და წრფივი დაპროგრამების მეთოდის გრაფიკული ვარიანტის საშუალებით ჩატარებული ოპტიმიზაციის შედეგების საფუძველზე შედგენილია მმართველი ზემოქმედებების – წყლის ძირითადი რხევის ამპლიტუდის, დამატებითი დაბალამპლიტუდიანი რხევების და მიწოდებული წყლის რაოდენობის ცვალებადობის მუშა განტოლებები და ოპტიმალური მართვის ალგორითმი. შედეგად შევადგინეთ დალექვის პროცესის ოპტიმალური მართვის სისტემის ფუნქციური სტრუქტურა, რომლის მიხედვითაც აგებული

მართვის სისტემა უზრუნველყოფს პროცესის მართვას ტექნოლოგიური კრიტერიუმის მიხედვით, რომელიც გულისხმობს შემაშფოთებელი ზემოქმედებების ცვალებადობის მიუხედავად კონდიციური კონცენტრატის მაქსიმალური გამოსავლის მიღებას.

**საკვანძო სიტყვები:** გაფხვიერება; დიაფრაგმული სალექი მანქანა; მათემატიკური მოდელი; მართვის სისტემა; ოპტიმიზაცია.

### შესავალი

თანამედროვე პირობებში, როდესაც მცირდება გასამდიდრებელ მადანში სასარგებლო მი-

ნერალის შემცველობა, აქტუალურობას იძენს მისი გადამუშავების პროცესების ოპტიმიზაცია. ტექნოლოგიის ოპტიმიზაციის გარდა, სასურველი შედეგის – გეგმური ხარისხის კონცენტრატის მაქსიმალური გამოსავლის, მიღება განუხრელადაა დაკავშირებული ოპტიმალური მართვის სისტემით პროცესის მართვასთან.

**ძირითადი ნაწილი**

მანგანუმის მადნის დიაფრაგმულ სალექ მანქანაში დალექვის პროცესის ოპტიმიზაციის მიზნით მიღებულია ტექნოლოგიური კრიტერიუმი, რომელიც გულისხმობს მაქსიმალური რაოდენობის კონდიციური კონცენტრატის მიღებას ექსპერიმენტის დროს მმართველი ზემოქმედებების დადგენილ ზღვრებში ცვალებადობის პირობებში. ეს წარმოდგენილია შემდეგი სახით [1]:

$$\gamma = 8.65 \cdot 10^8 \cdot A^{0.598} \cdot B^{-0.519} \times F^{-0.517} \cdot e^{(-0.078A+0.0028B+0.128F)} \rightarrow \max, \quad (1)$$

$$\beta = \alpha + 1.82 \cdot 10^{-8} \cdot A^{0.3639} \cdot B^{0.3138} \times F^{-1.041} \cdot Q^{-1.45} \cdot \alpha^{6.616} = \beta_{\text{გ}}, \quad (2)$$

$$4 \leq A \leq 14 ; 40 \leq B \leq 180; 35 \leq F \leq 58 \quad (3)$$

ამ გამოსახულებებში  $\gamma$  % კონცენტრატის გამოსავალი და  $\beta$  % სასარგებლო კომპონენტის (მანგანუმის) შემცველობა კონცენტრატში ( $\beta_{\text{გ}}$  მისი გეგმური სიდიდე) გამდიდრების ხარისხობრივი მაჩვენებლებია; სალექი მანქანის საგების ძირითადი რხევის  $A$  ამპლიტუდა, მმ, პროცესზე მიწოდებული წყლის  $B$  რაოდენობა, ლ, დასაგების რხევის აღმძვრელი  $F$  დარტყმის ძალა, კგ (რომელიც იწვევს წყლის მცირეამპლიტუდიან დამატებით რხევებს) მმართველი ზემოქმედებებია;  $\alpha$  გასამდიდრებელ მადანში სასარგებლო კომპონენტის (მანგანუმის) შემცველობა, %, და  $Q$ , კგ გასამდიდრებლად მიწოდებული მადნის რაოდენობა შემაშფოთებელი ზემოქმედებებია.

მოყვანილი გამოსახულებების პრაქტიკული რეალიზაციის მიზნით ისინი ჩავწერეთ თითოეული მმართველი ზემოქმედების მიმართ:

$$\gamma(A) = 2610.72 \cdot A^{0.598} \cdot e^{-0.078 \cdot A}$$

$$\beta(A) = 29.8 + A^{0.3639} \quad (4)$$

$$\gamma(B) = 367.91 \cdot B^{-0.5167} \cdot e^{-0.0028 \cdot B}$$

$$\beta(B) = 29.8 + 2.7 \cdot B^{0.3138} \quad (5)$$

$$\gamma(F) = 2.06 \cdot 10^{10} \cdot F^{-5.5241} \cdot e^{0.128 \cdot F}$$

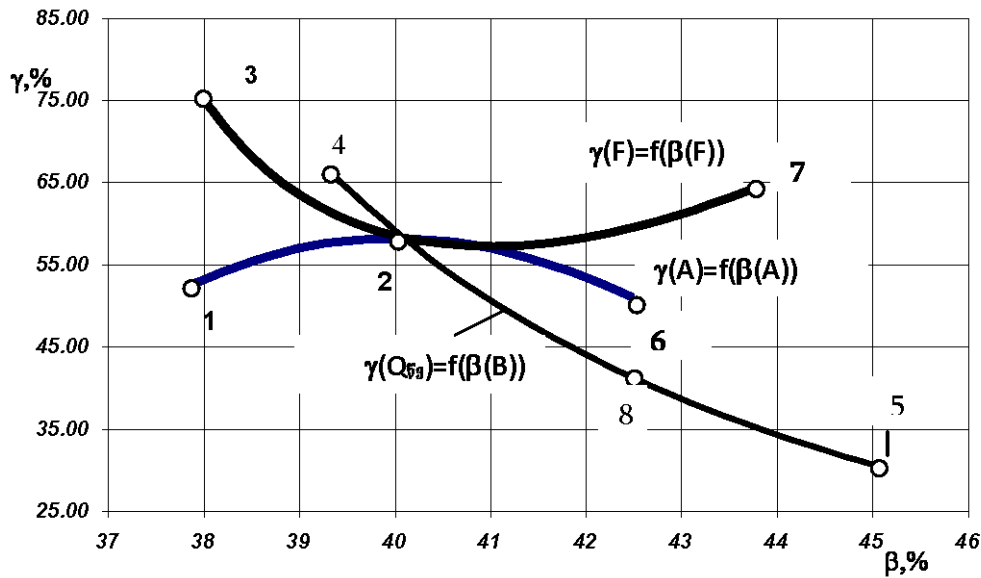
$$\beta(F) = 29.8 + 563.12 \cdot F^{-1.0409} \quad (6)$$

მიღებულის მიხედვით ჩავატარეთ ოპტიმიზაცია წრფივი დაპროგრამების მეთოდის გრაფიკული ვარიანტის გამოყენებით. შედეგად ავაგეთ ოპტიმუმის ძებნის ჯამური (საბოლოო) გრაფიკი (სურ. 1) [1,2,3]:

როგორც ვხედავთ, სამივე გრაფიკი ერთმანეთს კვეთს მე-2 წერტილში (კოორდინატები  $\beta=40, \gamma=58.6$ ). ამ წერტილის შემდეგ ოპტიმუმის წერტილის მოსაძებნად საჭიროა ვიცოდეთ მოთხოვნები  $\beta$ -ს დავალებული სიდიდის შესახებ. თუ, მაგალითად, კონცენტრატის ხარისხი უნდა იყოს  $\beta=38\%$  ან  $\beta=39\%$ , ძებნას ვაგრძელებთ  $\gamma(F)=f(\beta(F))$  გრაფიკით მე-3 წერტილისაკენ. ამ შემთხვევაში შესაბამისად გვექნება  $\gamma=75\%$  და  $\gamma=63\%$ . თუ გვჭირდება  $\beta=39.5\%$ -იანი კონცენტრატი, მაშინ მიზანშეწონილია მე-2 წერტილის შემდეგ ძებნა ვაწარმოოთ  $\gamma(B)=f(\beta(B))$  მრუდზე მე-4 წერტილისკენ, სადაც მივიღებთ  $\gamma=65.8\%$ -იან გამოსავალს. თუ გვჭირდება 40-42%-იანი კონცენტრატი უნდა ვიმოძრაოთ 2-6 უბანზე, ვინაიდან უფრო მეტ გამოსავალს მივიღებთ, ვიდრე 2-5 უბანზე. მე-6 წერტილში  $\gamma=50.9\%$  და  $\beta=42.5\%$ . თუ გვჭირდება  $\beta=42.5-45\%$ -იანი კონცენტრატი, უნდა ვიმოძრაოთ  $\gamma(B)=f(\beta(B))$  მრუდზე მე-8 წერტილიდან მე-5 წერტილისკენ. მე-8 წერტილში გამოსავალი შეადგენს 41%-ს, ხოლო

მე-5 წერტილში – 31%-ს.  $\gamma(F)=f(\beta(F))$  გრაფიკის 2–7 უბანი არ განიხილება, რადგან არარეალურია – ტექნოლოგიურად შეუძლებელია ერთდოულად გაიზარდოს კონცენტრატის როგორც ხარისხი, ისე მისი გამოსავალი. როგორც ვხედავთ, მმართველი სიდიდეების ოპტიმალური მნიშვნელობების განსაზღვრა დამოკიდებულია იმაზე, თუ როგორი ხარისხის კონცენტრატის მიღება გეჭირდება.

იმის მიხედვით, თუ ოპტიუმის ძებნის როგორ თანამიმდევრობას შევირჩევთ, მივიღებთ გრაფიკების ერთმანეთზე გადასვლის სხვადასხვა ვარიანტს (როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ), მაგრამ ყოველ შემთხვევაში საჭიროა მიღებულ ალგორითმში გავითვალისწინოთ შემაშფოთებელი ზემოქმედებების (Q და  $\alpha$ ) ცვალებადობა.



სურ. 1. ოპტიუმის ძებნის გრაფიკები

თითოეული მმართველი ზემოქმედების ოპტიმალური ცვალებადობის კანონების (მუშა განტოლებების) განსაზღვრისათვის აუცილებელია მიზნის და შეზღუდვის ფუნქციაში (1), (2) შემაგალი სიდიდეების უწყვეტი გაზომვა. A, B, F და Q პარამეტრების უწყვეტი გაზომვის ტექნიკური საშუალებები (გადამწოდები) არსებობს, რასაც ვერ ვიტყვით გასამდიდრებელ მადანში სასარგებლო კომპონენტის უწყვეტად გამზომ საშუალებაზე. როგორც ცნობილია, სადექ მანქანაში დადექვის პროცესის მიმდინარეობა ფასდება მისი შიგა, რეჟიმული სიდიდით – R საგების გაფხვიერებით. მიმდინარე გრანტის წინა ეტაპზე დამუშავდა და დამზადდა საგების გაფხვიერების გამზომი მოწყობილობა [2,3]. ლაბო-

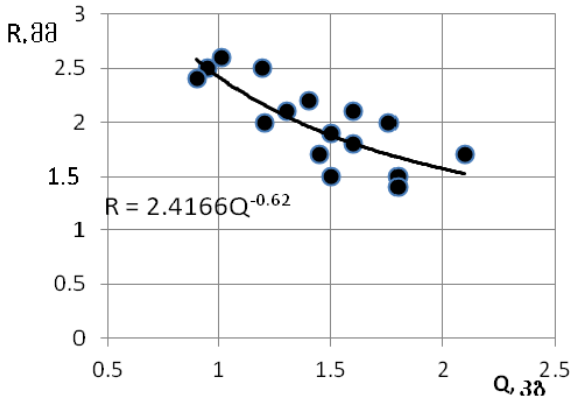
რატორიულ პირობებში გამოცდამ აჩვენა მისი მუშაუნარიანობა და კარგი მგრძობიარობა. ექსპერიმენტული მონაცემების მიხედვით მივიღეთ შესაბამისი დამოკიდებულებები:

$$R = 2.42Q^{-0.62}, \quad R = 2 \cdot 10^7 \cdot \alpha^{-4.81} \quad (7)$$

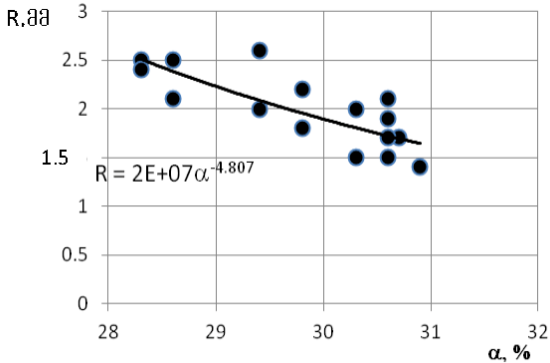
შესაბამისი გრაფიკები გამოსახულია მე-2 და მე-3 სურთებზე.

ორივე კორელაციურ ველზე წერტილების განლაგება მიუთითებს კავშირის სიმჭიდროვეზე. მახასიათებლების დადგენილი ხასიათი კი განისაზღვრება დადექვის პროცესის კანონზომიერებით: საგების დამდიმებით, რასაც ადგილი აქვს გასამდიდრებელი მასალის რაოდენობის ან მასში სასარგებლო მინერალის შემცველობის გაზრ-

დით. საგების დამძიმებით მასალის ვერტიკალური აშლის ამპლიტუდა მცირდება, ასევე მცირდება მასალა-საგების ნარევის გაფხვიერება და, შესაბამისად მცირდება გადამწოდის გასვლის სიგნალი.



სურ. 2. გაფხვიერების გადამწოდის მახასიათებელი  $R=f(Q)$



სურ. 3. გაფხვიერების გადამწოდის მახასიათებელი  $R=f(\alpha)$

(7) გამოსახულებებიდან განვსაზღვროთ Q და  $\alpha$ :

$$Q = 4.16 \cdot R^{-1.61}, \quad \alpha = 34.14 \cdot R^{-0.21} \quad (8)$$

(8)-ის გათვალისწინებით შეზღუდვის ფუნქცია (2) მიიღებს სახეს:

$$\beta_{\rho} = 34.14R^{-0.21} + 1.82 \cdot 10^{-8} A^{0.3639} B^{0.3138} F^{-1.041} \times (4.16 \cdot R^{-1.61})^{-1.45} (34.14 \cdot R^{-0.21})^{6.616} \quad (9)$$

ამ გამოსახულებაში შევიტანოთ საშუალო მნიშვნელობები  $\bar{B} = 88.75$ ლ/წთ და  $\bar{F} = 43.73$ კგ. გარდავქმნათ (9) და ჩავწეროთ ის A-ს მიმართ:

$$\beta_{\rho} = 34.14 \cdot R^{-0.21} + 2.57 \cdot R^{0.95} \cdot A^{0.3639} \quad (10)$$

$$A^{0.3639} = (\beta_{\rho} - 34.14 \cdot R^{-0.21}) \cdot 0.389 \cdot R^{-0.95}$$

$$A = 0.075(\beta_{\rho} - 34.14 \cdot R^{-0.21})^{2.748} \cdot R^{-2.61}$$

(9) გამოსახულებაში შევიტანოთ საშუალო მნიშვნელობები  $\bar{A} = 9.5$ მმ და  $\bar{F} = 43.73$ კგ. გარდავქმნათ (9) და ჩავწეროთ B-ს მიმართ:

$$\beta_{\rho} = 34.14 \cdot R^{-0.21} + 1.41 \cdot B^{0.3138} \cdot R^{0.95} \quad (11)$$

$$B^{0.3138} = 0.71 \cdot (\beta_{\rho} - 34.14 \cdot R^{-0.21}) \cdot R^{-0.95}$$

$$B = 0.3357 \cdot (\beta_{\rho} - 34.14 \cdot R^{-0.21})^{3.187} \cdot R^{-3.027}$$

გარდავქმნათ და ჩავწეროთ (9) F-ის მიმართ:

$$\beta_{\rho} = 34.14 \cdot R^{-0.21} + 297.5 \cdot F^{-1.041} \cdot R^{0.95} \quad (12)$$

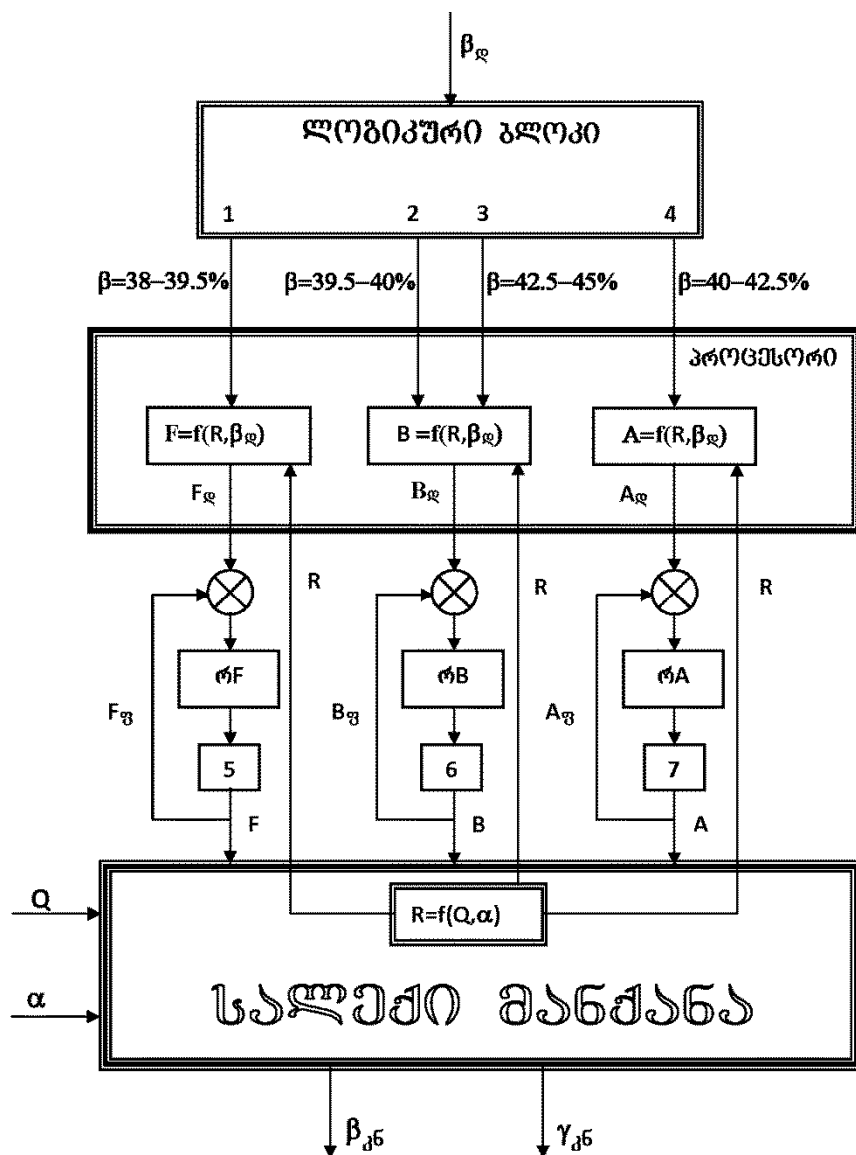
$$F^{-1.041} = 0.0034(\beta_{\rho} - 34.14 \cdot R^{-0.21}) \cdot R^{-0.95}$$

$$F = 235.12(\beta_{\rho} - 34.14 \cdot R^{-0.21})^{-0.96} \cdot R^{0.913}$$

(10), (11) და (12) გამოსახულებები მანგანუმის მადნის უდგუშო სალექ მანქანაში დალექვის პროცესის ოპტიმალური მართვის სისტემის მუშა განტოლებებია, რომელთა მიხედვითაც უნდა მოხდეს მართვის სისტემის მიერ მმართველი A,B,F ზემოქმედებების ცვალებადობა მანგანუმის კონცენტრატის დავალებული  $\beta_{\rho}$  ხარისხის და სალექი მანქანის საგების R გაფხვიერების სიდიდის მიხედვით. ამ განტოლებების და პირველ სურათზე გამოსახული ოპტიმიზაციის გრაფიკების ანალიზის საფუძველზე შეიძლება ჩამოვყალიბოთ პროცესის ოპტიმალური მართვის ალგორითმი (13). ამ ალგორითმის მიხედვით:

$$\left. \begin{aligned}
 &\text{როდესაც } \beta_{\text{ღ}} = 38-39.5\%, \text{ მაშინ } F = 235.12(\beta_{\text{ღ}} - 34.14 \cdot R^{-0.21})^{-0.96} \cdot R^{0.913} \\
 &\text{როდესაც } \beta_{\text{ღ}} = 39.5-40\%, \text{ მაშინ } B = 0.3357(\beta_{\text{ღ}} - 34.14 \cdot R^{-0.21})^{3.187} \cdot R^{-3.027} \\
 &\text{როდესაც } \beta_{\text{ღ}} = 40-42.5\%, \text{ მაშინ } A = 0.075(\beta_{\text{ღ}} - 34.14 \cdot R^{-0.21})^{2.748} \cdot R^{-2.61} \\
 &\text{როდესაც } \beta_{\text{ღ}} = 42.5-45\%, \text{ მაშინ } B = 0.3357(\beta_{\text{ღ}} - 34.14 \cdot R^{-0.21})^{3.187} \cdot R^{-3.027}
 \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

- როდესაც კონცენტრატის დავალეხული ხარისხი იცვლება  $\beta_{\text{ღ}}=38-39.5\%$  შუალედში, F უნდა ვცვალოთ (12) მუშა განტოლების მიხედვით.
- როდესაც კონცენტრატის დავალეხული ხარისხი იცვლება  $\beta_{\text{ღ}}=39.5-40\%$  შუალედში B უნდა ვცვალოთ (11) მუშა განტოლების მიხედვით.



სურ.4. საღებო მანქანის ოპტიმალური მართვის სისტემის ფუნქციური სტრუქტურა



– როდესაც კონცენტრატის დავალებული ხარისხი იცვლება  $\beta_{\text{ღ}}=40-42.5\%$  შუალედში, A უნდა ვცვალოთ (10) მუშა განტოლების მიხედვით.

– როდესაც კონცენტრატის დავალებული ხარისხი იცვლება  $\beta_{\text{ღ}}=42.5-45\%$  შუალედში, B უნდა ვცვალოთ (11) მუშა განტოლების მიხედვით.

მიღებული ოპტიმალური მართვის (13) ალგორითმის მიხედვით შეგვიძლია შევადგინოთ დალექვის პროცესის ოპტიმალური მართვის სისტემის ფუნქციური სტრუქტურა (სურ. 4.) (13) მართვის ალგორითმის რეალიზაცია ხდება ლოგიკური ბლოკისა და პროცესორის მეშვეობით. ლოგიკურ ბლოკში განისაზღვრება, თუ მოყვანილი ოთხი შუალედიდან რომელში იყო მოთავსებული კონცენტრატის ხარისხის  $\beta_{\text{ღ}}$  დავალებული სიდიდე. ლოგიკური ბლოკის ოთხიდან ერთ-ერთ გამოსასვლელზე განდება შესაბამისი სიგნალი, რომელიც მიეწოდება პროცესორს. თუ  $\beta_{\text{ღ}}$  მოთავსებულია  $38-39.5\%$  შუალედში, 1 გამოსასვლელიდან შესაბამისი სიგნალი შევა პროცესორის  $F=f(R,\beta_{\text{ღ}})$  კვანძში, რომელშიც ფორმირდება (12) მართვის კანონი. ამ კვანძიდან  $F_{\text{ღ}}$  მმართველი ზემოქმედების პროგრამული სიდიდე მიეწოდება საგების რხევის აღმკვეთი დარტყმის ძალის  $R_F$  რეგულატორს. რეგულატორი 5 შემსრულებელი მექანიზმის საშუალებით აყენებს დარტყმის ძალას შესაბამის მნიშვნელობაზე. შემსრულებელი მექანიზმიდან F ძალის ფაქტობრივი  $F_{\text{ფ}}$  სიდიდე უკუკავშირის სახით უბრუნდება  $R_F$  რეგულატორს. რეგულატორის შესასვლელზე ერთმანეთს შედარდება  $F_{\text{ღ}}$  და  $F_{\text{ფ}}$  სიდიდეები. რეგულატორი აკომპენსირებს ამ სიდიდეების განთანხმებას, რითაც მიიღწევა  $F_{\text{ღ}}$  პროგრამის რეალიზაცია.

როდესაც  $\beta_{\text{ღ}}$  მოთავსებულია  $39.5-40$  ან  $42.5-45$ -დან ერთ-ერთ შუალედში, ლოგიკური ბლოკის 2 ან 3 გამოსასვლელიდან მართვის სიგნალი მიეწოდება პროცესორის  $B=f(R,\beta_{\text{ღ}})$  კვანძს, რომელიც ახდენს მართვის (11) კანონის ფორმი-

რებას.  $B_{\text{ღ}}$  მმართველი ზემოქმედების პროგრამული სიდიდე მიეწოდება წყლის  $R_B$  რეგულატორს. რეგულატორი 6 შემსრულებელი მექანიზმის საშუალებით აყენებს წყლის ხარჯის განსაზღვრულ სიდიდეს. შემსრულებელი მექანიზმიდან B წყლის ხარჯის ფაქტობრივი  $B_{\text{ფ}}$  სიდიდე უკუკავშირის სახით უბრუნდება  $R_B$  რეგულატორს. რეგულატორის შესასვლელზე ხდება  $B_{\text{ღ}}$  და  $B_{\text{ფ}}$  სიდიდეების შედარება. რეგულატორი აკომპენსირებს ამ სიდიდეების განთანხმებას, რითაც მიიღწევა  $B_{\text{ღ}}$  პროგრამის რეალიზაცია.

როდესაც  $\beta_{\text{ღ}}$  მოთავსებულია  $40-42.5$  შუალედში, ლოგიკური ბლოკის 4 გამოსასვლელიდან მართვის სიგნალი მიეწოდება პროცესორის  $A=f(R,\beta_{\text{ღ}})$  კვანძს, რომელიც ახდენს მართვის (10) კანონის ფორმირებას.  $A_{\text{ღ}}$  მმართველი ზემოქმედების პროგრამული სიდიდე მიეწოდება წყლის ძირითადი რხევის ამპლიტუდის  $R_A$  რეგულატორს. რეგულატორი 7 შემსრულებელი მექანიზმის საშუალებით აყენებს რხევის ამპლიტუდის განსაზღვრულ სიდიდეს. შემსრულებელი მექანიზმიდან A ამპლიტუდის ფაქტობრივი  $A_{\text{ფ}}$  სიდიდე უკუკავშირის სახით უბრუნდება  $R_A$  რეგულატორს. რეგულატორის შესასვლელზე ხდება  $A_{\text{ღ}}$  და  $A_{\text{ფ}}$  სიდიდეების შედარება. რეგულატორი აკომპენსირებს ამ სიდიდეების განთანხმებას, რითაც მიიღწევა  $A_{\text{ღ}}$  პროგრამის რეალიზაცია.

სალექი მანქანის ცხავზე განლაგებულია R საგების გაფხვიერების გადამწოლი [2,3], რომლის გასვლის სიგნალი არის შემამფოთებელი ზემოქმედებების – მანქანის გასამდიდრებელი მადნის მიხედვით Q მწარმოებლურობისა და გასამდიდრებელ მადანში მანგანუმის  $\alpha$  შემცველობის პროპორციული  $R=f(Q,\alpha)$ . ეს სიგნალი მიეწოდება პროცესორის  $A_{\text{ღ}}$ ,  $B_{\text{ღ}}$ ,  $F_{\text{ღ}}$  მმართველი ზემოქმედებების ფორმირების კვანძებს  $A=f(R,\beta_{\text{ღ}})$ ,  $B=f(R,\beta_{\text{ღ}})$  და  $F=f(R,\beta_{\text{ღ}})$ .

## დასკვნა

სასარგებლო წიაღისეულის გადამუშავება და, მათ შორის დალექვის პროცესი, ხასიათდება მრავალი მმართველი და შემაშფოთებელი ზემოქმედებით. მანგანუმის მადნის დალექვის პროცესის ოპტიმალური მართვის სისტემის აგების მიზნით ექსპერიმენტული მონაცემების საფუძველზე აიგო პროცესის მათემატიკური მოდელი. წრფივი დაპ-

როგრამების მეთოდის გრაფიკული ვარიანტით ჩატარებული ოპტიმიზაციის საფუძველზე აგებული ოპტიმალური მართვის სისტემა უზრუნველყოფს პროცესის მართვას ტექნოლოგიური კრიტერიუმის მიხედვით, რომელიც გულისხმობს შემაშფოთებელი ზემოქმედებების ცვალებადობის გათვალისწინებით კონდიციური კონცენტრატის მაქსიმალური გამოსავლის მიღებას.

## ლიტერატურა

1. R. Enageli, G. Javakhishvili, G. Gamtsemlidze and others. Optimization of the process of the enrichment of manganese ore by diaphragm jigging machine. „Sakartvelos sainzhinro siakhleni“, #1(77). 2016, 70-80 pp. (in Georgian).
2. G. Gamtsemlidze, R. Enageli, D. Abzianidze, G. Chkareuli. Estimation device for the scarification of underlayer in jigging machine. “Metsniereba da tehnologiebi“, #1-3, Tbilisi. 2011, 56-61 pp. (in Georgian).
3. A. Stepanov, G. Butskhrikidze, M. Gamtsemlidze, R. Enageli, N. Babuadze. Estimation device for the sedimentation process. Technical information. “Samtamadno mretsveloba“, #1, Tbilisi. 1980. (in Georgian).
4. R. Enageli, M. Kitoshvili. Optimal control system for the sedimentation process. „Metsniereba da tehnologiebi“. #1(714) Tbilisi. 2013, 94-98 pp. (in Georgian).

UDC 625. 75. 4

SCOPUS CODE 2207

## OPTIMAL CONTROL SYSTEM FOR DIAPHRAGM JIGGING MACHINE

<b>R. Enageli</b>	Department of Mining Technology, Georgian Technical University, 75 M. Kostava str, 0175 Tbilisi, Georgia E-mail: Enageli@mail.ru
<b>M. Gamtsemlidze</b>	G.Tsulukidze Mining Institute, 7 E. Mindeli str., 0186 Tbilisi, Georgia E-mail: Mananatutberidze@rambler.ru
<b>G. Javakhishvili</b>	Department of Mining Technology, Georgian Technical University, 77 M. Kostava str., 0175 Tbilisi, Georgia E-mail: giorgi18@gmail.com

### Reviewers:

**M. Tsereteli**, Professor, Department of Mining Technology, Faculty of Mining and Geology, GTU  
E-mail: mi-tseret@rambler.ru

**M. Kitoshvili**, Professor, Department of labor safety and emergency control, Faculty of Mining and Geology, GTU  
E-mail: m.qitoshvili@gtu.ge

**ABSTRACT.** The article describes the issues of development of the optimal control system for diaphragm jigging machine for the enrichment of manganese ore. Based on the optimization results, obtained from the mathematical

model and linear programming graphical method of the process, the working variation equations of controlling actions (such as water main oscillation amplitude, additional low-amplitude oscillations and quantity of water supply) and optimal control algorithm have been elaborated and as a result, the functional structure of the optimal control system of jiggling process was developed. The control system designed on the basis of this structure provides process control according to the technological criterion, which implies maximum yield of saleable concentrate in spite of disturbing effect variability.

**KEY WORDS:** diaphragm jiggling machine; loosening; optimal; control system.

**UDC 625. 75. 4**

**SCOPUS CODE 2207**

## **СИСТЕМА ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДИАФРАГМОВОЙ ОТСАДОЧНОЙ МАШИНОЙ**

- Энагели Р.П.** Департамент горных технологий, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава, 75  
E-mail: Enageli@mail.ru
- Гамцемлидзе М.Н.** Горный институт им. Г. Цулукидзе, Грузия, 0186, Тбилиси, Э. Миндели 7  
E-mail: Mananatutberidze@rambler.ru
- Джавахишвили Г.В.** Департамент горных технологий, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава, 75  
E-mail: giorgi18@gmail.com

### **Рецензенты:**

**М. Церетели**, профессор Департамента горных технологий горно-геологического факультета ГТУ

E-mail: mi-tseret@rambler.ru

**М. Китошвили**, ассоц. профессор Департамента безопасности труда и чрезвычайных ситуаций горно-геологического факультета ГТУ

E-mail: m.qitoshvili@gtu.ge

**АННОТАЦИЯ.** Рассмотрены вопросы построения системы оптимального управления процессом обогащения марганцевой руды в диафрагмовой отсадочной машине. На основе математической модели и с помощью графического варианта метода линейного программирования проведена оптимизация процесса. На основе результатов оптимизации составлены алгоритмы оптимального управления и рабочие уравнения управляющих воздействий – амплитуды основного колебания воды, дополнительных низкоамплитудных колебаний и изменения количества подаваемой воды. В результате составлена функциональная структура системы оптимального управления процессом отсадки. Построенная система управления обеспечивает управление процессом по технологическому критерию, который позволяет получение максимального выхода кондиционного продукта независимо от изменений возмущающих воздействий.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** диафрагмовая отсадочная машина; оптимальная; разрыхленность; система управления.

UDC 621.56

SCOPUS CODE 2210

**ტრანსკრიტიკული სამაცივრო სისტემები**

- თ. მეგრელიძე** კვების ინდუსტრიის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 68<sup>ა</sup>  
E-mail: tmegrelidze@yahoo.com
- თ. ისაკაძე** კვების ინდუსტრიის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 68<sup>ა</sup>  
E-mail: tamazisakadze@gmail.com

**რეკენზენტები:**

- გ. გუგულაშვილი**, სტუ-ის სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტის კვების ინდუსტრიის დეპარტამენტის ასოცირებული პროფესორი  
E-mail: givi.gugulashvili@gmail.com
- ი. ფონხიძე**, შპს “ამიგას“ დამფუძნებელი, აკადემიური დოქტორი  
E-mail: info@hitech-villa.ge

**ანოტაცია:** ნახშირბადის დიოქსიდზე R744 მომუშავე ტრანსკრიტიკული მაცივარი მანქანა გამოირჩევა: დიდი მოცულობითი მწარმოებლობით, კომპრესორის ცილინდრის გაბარიტებით, სამაცივრო მილგაყვანილობის მცირე დიამეტრით, სითბოს რეგენერაციის დიდი პოტენციალით და ენერგოეფექტურობით. მუშა სხეულის მახასიათებლების მიხედვით ასეთი მაცივარი დანადგარი გამოირჩევა: ოზონდამშლელი ნულოვანი პოტენციალით, გლობალური დატბობის დაბალი პოტენციალით, ძალზე იაფი, არატოქსიკური და არააალებადია. ნახშირბადის დიოქსიდი R744 ერთ-ერთი პირველი მაცივარაგენტია, რომელიც გამოიყენებოდა სამაცივრო სისტემებში. ქლორფთორ-ნახშირბადების გამოჩენის შემდეგ ნახშირბადის დიოქსიდმა გადაინაცვლა მეორე ადგილზე მანამ, სანამ მსოფლიომ არ გააცნობიერა ოზონის შრის დაშლის პრობლემები, რის შემდეგაც ნახშირბადის დიოქსიდის სამაცივრო სისტემებში გამოყენება კვლავ დადგა დღის წესრიგში.

უნდა გვახსოვდეს, რომ იმ არაერთი თვისების გამო, რომლითაც გამოირჩევა ნახშირბადის დიოქსიდი სხვა მაცივარაგენტებისაგან, ამ მაცივარაგენტზე მომუშავე მაცივარი მანქანა-დანადგარის დაპროექტება, მონტაჟი და ექსპლუატაცია მოითხოვს სპეციალურ მომზადებას.

**საკვანძო სიტყვები:** აგენტი; დიოქსიდი; ეფექტურობა; მაცივარი მანქანა; ნახშირბადი.

**შესავალი**

ნახშირბადის დიოქსიდი გამოირჩევა არაერთი უარყოფითი თვისებითაც: ძალიან დიდი მუშა წნევა, რაც დიდ საშიშროებას უქმნის მაცივარი

მანქანის უსაფრთხოებას, დაბალი კრიტიკული წერტილი (+31°C), დიდი კაპიტალური დანახარჯები. ნახშირბადის დიოქსიდს წაყენებული აქვს უსაფრთხოების განსაკუთრებული მოთხოვნები: მაცივარ მანქანას ხანგრძლივი გაჩერებისათვის მოეთხოვება სპეციალური სამაცივრო მოწყობილობები. დასასრულ კი კომპანიას, რომელიც მუშაობს ნახშირბადის დიოქსიდზე, მოეთხოვება მაცივარი მანქანების მომსახურების გამოცდილების მაღალი დონე.

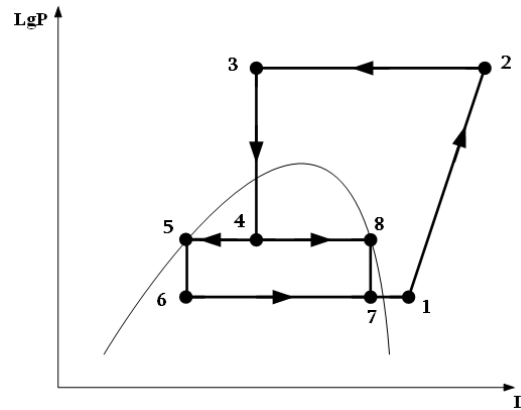
**ძირითადი ნაწილი**

როგორც ცნობილია, CO<sub>2</sub> (R744)-სათვის კრიტიკული ტემპერატურა (ორთქლის მაქსიმალური ტემპერატურა, რომლის დროსაც შეუძლებელია აირის გათხევადება) 31,1°C-ია. ეს ნიშნავს იმას, რომ თბოგაცემა კონდენსაციის გზით ამ მაცივარაგენტისათვის შესაძლებელია მისი გაცივებით 31,1°C-ზე ქვემოთ. თუ გავითვალისწინებთ იმას, რომ თბომცვლელში კონდენსაციისათვის გარემო პარამეტრების ტემპერატურა უნდა იყოს 5 ÷ 10°C-ით ნაკლები კრიტიკულ ტემპერატურაზე, მაშინ სისტემისათვის, რომელიც მუშაობს CO<sub>2</sub>-ზე კონდენსაცია შეწყდება 25°C-ზე.

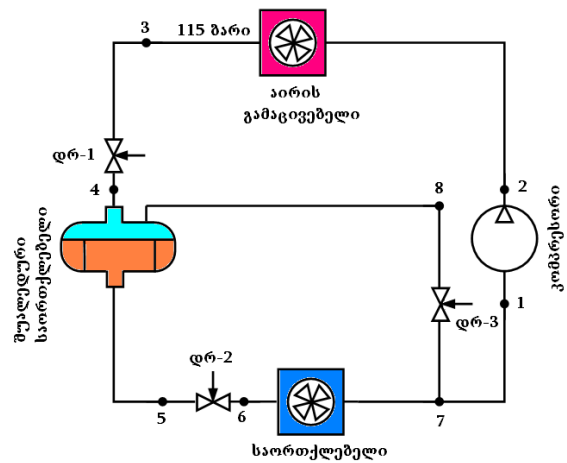
ნიშნავს თუ არა ეს იმას, რომ ნახშირბადის დიოქსიდის გამოყენება უფრო მაღალ ტემპერატურაზე შეუძლებელია? რა თქმა უნდა – არა. უბრალოდ თბოგაცემა ასეთ დანადგარში არ უნდა მოხდეს კონდენსაციის გზით. სამაცივრო სისტემას, სადაც მუშა სხეული გადის სუბკრიტიკულ და სუპერკრიტიკულ მდგომარეობებს ტრანსკრიტიკული სამაცივრო სისტემა ეწოდება.

ინოვაციური მაცივარი დანადგარის სამაცივრო ციკლი I-LgP დიაგრამაზე ნაჩვენებია პირველ სურათზე, ხოლო მაცივარი მანქანის პრინციპული სქემა მოცემულია მე-2 სურათზე. წარმოდგენილ ინოვაციურ ტრანსკრიტიკულ სამაცივრო სისტემაში, რომელიც მუშაობს CO<sub>2</sub>-ზე, კომპრე-

სორი ჭირხნის აირს კრიტიკული წნევის (74 ბარი) ზევით (წირი 1–2). ამ შემთხვევაში კონდენსატორი ასრულებს აირის გამაცივებლის როლს და ამცირებს დაჭირხნული აირის ტემპერატურას სითხის ფაზაში გადასვლის გარეშე (წირი 2-3).



სურ.1. ტრანსკრიტიკული სამაცივრო ციკლი CO<sub>2</sub> (R744)-ისათვის I-LgP დიაგრამაზე



სურ.2. ტრანსკრიტიკული ციკლით მომუშავე მაცივარი დანადგარი

გაცივებული CO<sub>2</sub> გადის სარედუქციო სარქველში (წირი 3–4). ამ დროს მისი ნაწილი გარდაიქმნება სითხედ, ნაწილი კი რჩება აირად მდგომარეობაში. საორთქლებელ მოცულობაში წნევის ვარდნის მაკონტროლებელი სარქველით საშუალებდო წნევაზე ხდება სითხისა და აირის განცალკევება ერთმანეთისაგან (წირები 4–5 და 4–8). სითხე დროულად მოწყობილობის გავ-

ლით მიეწოდება საორთქლებელს (წირი 5–6), აირი კი დროსელური მოწყობილობის გავლით – კომპრესორის შემწოვ მილს (წირი 8–7). საორთქლებელში სითხე დუღს (წირი 6–7) და მიღებულ ორთქლს 8–7 წირზე, დროსელირებისას მიღებულ ორთქლთან შერევის შემდეგ, შეიწოვს კომპრესორი (წირი 7–1).

### დასკვნა

ნახშირბადის დიოქსიდი ერთ-ერთი ოზონუსაფრთხო ალტერნატიული მაცივარაგენტი და,

ვინაიდან მსოფლიოში ეტაპობრივად მიმდინარეობს ოზონდამშლელი მაცივარაგენტების ამოღების პროცესი, ამიტომ ამ მაცივარაგენტზე გადასვლის გზების ძიება და ტექნოლოგიების შემუშავება მონრეალის ოქმის და ვენის კონვენციის წვერი ქვეყნების ძირითადი ამოცანაა.

წარმოდგენილი ინოვაციური ტრანსკრიტიკულ ციკლზე მომუშავე მაცივარი დანადგარების გამოყენება, რომლებშიც მაცივარაგენტი CO<sub>2</sub>-ია, შეიძლება ჰაერის კონდიციონირებისას თბურ ტუმბოებსა და მცირე სამაცივრო დანადგარებში.

### ლიტერატურა

1. T. Megrelidze, Z. Japaridze, S. Suladze, G. Gugulashvili, G. Goletiani, A. Tepnadze, G. Kvirikashvili, Z. Omiadze. Refrigerator machines (Piston compressors). Tbilisi. Teqniki Universiteti. 2009, 52-53 pp. (in Georgian).
2. T. Megrelidze, E. Sadagashvili, G. Beruashvili, G. Gugulashvili. Study of the optimal working regimes of refrigerator machines with difficult cycle. Transactions of Georgian Technical University. Tbilisi, Teqniki Universiteti. 2011, № 2 (480). 91-96 pp. (in Georgian).
3. Meyer. Training Manual Refrigeration-AC, ICCT, 2004. (in English).
4. System Trouble Shooting Measuring Instruments. Danfoss A/S (RC-SM/MWA), 09-2002. (in English).
5. Refrigerant Properties Honeywel. Honeywell International Inc., USA. 2006. (in English).

UDC 621.56

SCOPUS CODE 2210

## TRANSCRITICAL REFRIGERANT SYSTEMS

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

### Reviewers:

**G. Gugulashvili**, Associate Professor, Department of Food Industry, Faculty of Transportation and Mechanical Engineering, GTU

E-mail: givi.gugulashvili@gmail.com

**Iv. Pochkhidze**, PhD, Founder of LTD “Amiga”

E-mail: info@hitech-villa.ge

**ABSTRACT.** Running on carbon dioxide ( in the R 744 ) transcritical refrigeration machine is characterized by high volumetric efficiency, small size compressor cylinders, small diameter refrigeration piping, with high heat recovery potential and high energy efficiency. Due to the working fluid characteristics such chillers are distinguished by the lack of ozone-depleting potential, low global warming potential, low cost, absence of toxicity and flammability. Carbon dioxide is one of the first refrigerant used in the first refrigeration system. After the appearance of CFCs, carbon dioxide has been relegated to the background. Nevertheless nowadays, when the world realized the danger of the destruction of the protective ozone layer Freon, usage of carbon dioxide in refrigeration systems has become actual.

Noteworthy that for the specific features of carbon dioxide, design, installation and maintenance of refrigeration systems with carbon dioxide require special provision.

**KEY WORDS:** agent; dioxide; carbon; effectiveness; refrigerator.

UDC 621.56

SCOPUS CODE 2210

## ТРАНСКРИТИЧЕСКИЕ ХОЛОДИЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

**Мегрелидзе Т.Я.** Департамент пищевой индустрии, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава, 68<sup>ა</sup>  
E-mail: tmegrelidze@yahoo.com

**Исакадзе Т.А.** Департамент пищевой индустрии, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава, 68<sup>ა</sup>  
E-mail: tamazisakadze@gmail.com

### Рецензенты:

**Г. Гугулашвили**, асоц. профессор Департамента пищевой индустрии факультета транспорта и машиностроения ГТУ

E-mail: givi.gugulashvili@gmail.com

**И. Почхидзе**, академический доктор ООО «Амига»

E-mail: info@hitech-villa.ge

**АННОТАЦИЯ.** Работающая на диоксиде углерода (на R 744) транскритическая холодильная машина отличается объемной производительностью, малым габаритом цилиндров компрессора, малым диаметром холодильных трубопроводов, высоким потенциалом регенерации тепла и высокой энергетической эффективностью. По характеристикам рабочего тела такие холодильные установки выделяются отсутствием озоноразрушающего потенциала, малым потенциалом глобального потепления, низкой стоимостью, отсутствием токсичности и воспламеняемости. Диоксид углерода является одним из первых холодильных агентов, применяемых в первых холодильных системах. После появления фреонов диоксид углерода был отодвинут на второй план. Однако сегодня, когда весь мир осознал опасность разрушения фреонами защитного озонового слоя, вопрос использования в холодильных системах диоксида углерода вновь стал актуальным.

Необходимо учитывать, что в связи с рядом характеризующих диоксид углерода свойств, отличающих его от других холодильных агентов, проектирование, монтаж и эксплуатация работающих на диоксиде углерода холодильных установок связаны со специальными условиями.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** агент; диоксид; углерод; холодильная машина; эффективность.



UDC 662.76

SCOPUS CODE 2210

**ენერგოდანახარჯის ეკონომია ბუნებრივი აირის ბათხევადებისას  
ორსაფეხურიანი ორთქლის მაცივარი მანქანის კომპრესორის ამძრავზე**

**თ. მეგრელიძე** კვების ინდუსტრიის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 68<sup>ა</sup>

E-mail: tmegrelidze@yahoo.com

**თ. ისაკაძე** კვების ინდუსტრიის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 68<sup>ა</sup>

E-mail: tamazisakadze@gmail.com

**რეცენზენტები:**

**გ. გუგულაშვილი**, სტუ-ის სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტის კვების ინდუსტრიის დეპარტამენტის ასოცირებული პროფესორი

E-mail: givi.gugulashvili@gmail.com

**გ. მაზანიშვილი**, შპს “ამიგას“ დირექტორი, აკადემიური დოქტორი

E-mail: givi-mazanishvili@gmail.com

**ანოტაცია:** გათხევადებული ბუნებრივი აირი ძრავასათვის პერსპექტიული საწვავია. გათხევადებული ბუნებრივი აირის წარმოებისას ქარხნები იყენებენ ერთჯერადი დროსელირების ციკლს წინასწარი გაცივებით, რაზეც მუშაობს ორსაფეხურიანი ორთქლის მაცივარი მანქანა. დღესდღეობით აქტუალურია ენერგოდანახარჯების შემცირება ორთქლის მაცივარი მანქანის კომპრესორის ამძრავზე. გათხევადებული ბუნებრივი აირი ძრავასათვის ალტერნატიული საწვავის ერთ-ერთი ეფექტური სახეა, რომელიც გამოიყენება: საავეტომობილო, სარკინიგზო, საზღვაო და საავიაციო ტრანსპორტში. ამჟამად საზღვარგარეთ გაიზარდა გათხევადებული ბუნებრივი აირის მოხმარების ტენდენცია ტრანსპორტში.

სამუშაო, რომელიც ჩაატარეს ცნობილმა ფირმებმა: Ford, MAN, Saviem, Toyota Menka ადასტურებს გათხევადებული ბუნებრივი აირის ტრანსპორტში საწვავად გამოყენების შესაძლებლობებს. ამერიკული კომპანია Mask-ი Waste Manage Inc. ფირმასთან ერთად 20 წელია აწარმოებს ავეტომობილის ძრავებს, რომლებიც მუშაობენ გათხევადებულ ბუნებრივ აირზე. Mack CH/LNG მზიდს, რომელიც მუშაობს გათხევადებულ ბუნებრივ აირზე, აქვს სვლის დიდი მარაგი – 1000 კმ-მდე. ჩვენ ჩავატარეთ გამოთვლები, რომლებიც გვაძლევს ენერგოდანახარჯის 20%-ით შემცირების საშუალებას.

**საკვანძო სიტყვები:** ამძრავი; ბუნებრივი აირი; ენერგია; კომპრესორი; კონდენსატორი.

**შესავალი**

დღესდღეობით გათხევადებული ბუნებრივი აირი გადაიქცა ერთ-ერთ ფართო მოხმარების საწვავად, რასაც დიდი რაოდენობით აწარმოებენ დასავლეთის წამყვანი ქვეყნები. აშშ-ის კიდევ ერთმა წარმოების ლიდერმა United Parcel Service-მა დაიწყო გათხევადებული ბუნებრივი აირის გამოყენება ძრავას საწვავად. გათხევადებული ბუნებრივი აირის გამოყენება ძრავას საწვავად დაიწყო: ბელგიაში, დიდმა ბრიტანეთმა, საფრანგეთმა, გერმანიამ, ჰოლანდიამ, ესპანეთმა, ნორვეგიამ და ფინეთმა. რუსეთის მინიქარხანა ЗАО "Сигма-газ" თხევადი ბუნებრივი აირის საწარმოებლად იყენებს ერთჯერადი დროსელირების ციკლს ერთსაფეხურიანი წინასწარი გაცივებით.

**ძირითადი ნაწილი**

სტატიაში წარმოდგენილია ინოვაცია: ერთსაფეხურიანი წინასწარი გაცივების ციკლის შეცვლა ორსაფეხურიანი ციკლით. ბუნებრივი აირის გათხევადების ციკლის სქემა ორსაფეხურიანი შუალედური გაცივებით მოცემულია პირველ სურათზე.

მაღალი წნევის აირი 1 კომპრესორიდან იჭირხნება 2 საშუალოდ მაცივარში, სადაც ცივდება წყლით ან ჰაერით. შემდეგ აირი თანამიმდევრობით ცივდება 3 რეგენერაციულ თბომცვლელში, 4 საორთქლებელში, 5 რეგენერაციულ თბომცვლელში, 6 საორთქლებელში და 7 რეგენერაციულ თბომცვლელში.

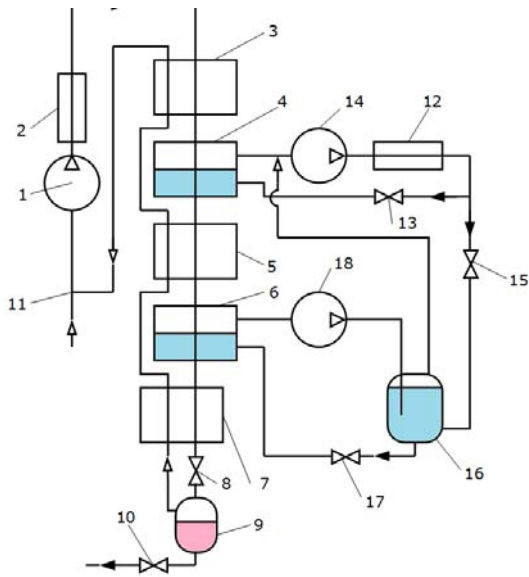
მაღალი წნევის ბუნებრივი აირი 7 თბომცვლელიდან გამოსვლისას დროსელირებას განიცდის 8 დროსელში, რის შემდეგაც წარმოიქმნება სითხის და ორთქლის ნარევი. ეს ნარევი 9

სითხის გამომყოფში იყოფა ორთქლის და სითხის ნაკადებად ცალ-ცალკე. გათხევადებული ბუნებრივი აირი 10 ვენტილით მიეწოდება მოხმარებელს, ხოლო ორთქლი თანამიმდევრობით გაივლის 7, 5 და 3 თბომცვლელებს მაღალი წნევის აირთან რეგენერაციული თბომცვლით და მიემართება 11 შემრევისაკენ. შემრევიში მას უერთდება ბუნებრივი აირის მილგაყვანილობიდან მომდენი აირი და ნარევი ისევ მიემართება 1 კომპრესორში.

ორთქლის მაცივარი მანქანა მუშაობს შემდეგი თანამიმდევრობით: 12 კონდენსატორში მიმდინარეობს მაცივარაგენტის ორთქლის კონდენსაცია.

კონდენსატორის შემდეგ სითხე იყოფა ორ ნაკადად: სითხის ნაწილი 13 სარეგულირებელი ვენტილის გავლით შედის 4 საორთქლებელში, სადაც ის დუღს და აცივებს მაღალი წნევის ბუნებრივი აირის ნაკადს. 4 საორთქლებელიდან მაცივარაგენტის ორთქლს შეიწოვს მაღალი წნევის 14 კომპრესორი. სითხის მეორე ნაწილი კონდენსატორიდან 15 სარეგულირებელი ვენტილის გავლით მიემართება 16 საშუალოდ ჭურჭელში, რომელშიც არ არის ჩამონტაჟებული კლაკინლა. სითხე საშუალოდ ჭურჭლიდან 17 სარეგულირებელი ვენტილის გავლით გადადის 6 საორთქლებელში. 6 საორთქლებელში წარმოქმნილი მაცივარაგენტის ორთქლი შეიწოვება დაბალი წნევის საფეხურის 18 კომპრესორის მიერ. ორთქლი 18 კომპრესორიდან იჭირხნება საშუალოდ ჭურჭელში. საშუალოდ ჭურჭლიდან გამომავალი ორთქლი ერევა 4 საორთქლებელიდან გამომავალ ორთქლს და ნარევს შეიწოვს 14 კომპრესორი.

14 კომპრესორიდან კი ორთქლი იჭირხნება 12 კონდენსატორში.



სურ.1. ბუნებრივი აირის გათხევადების ციკლი ორსაფეხურიანი შუალედური გაცივებით.

1-ბუნებრივი აირის კომპრესორი, 2-შუალედური მაცივარი, 3, 5, 7-რეგენერაციული თბომცვლელები, 4-აირის მაცივარი მანქანის მაღალი წნევის საფეხურის საორთქლებელი, 6-აირის მაცივარი მანქანის დაბალი წნევის საფეხურის საორთქლებელი, 8-დროსელი, 9-სითხის გამოყოფი, 10-ვენტილი, 11-შემრევი, 12-კონდენსატორი, 13, 15, 17-სარეგულირებელი ვენტილები, 14-აირის მაცივარი მანქანის მაღალი წნევის საფეხურის კომპრესორი, 16-საშუალედო ჭურჭელი, 18-აირის მაცივარი მანქანის დაბალი წნევის საფეხურის კომპრესორი

ორთქლის მაცივარი მანქანის ენერგოდანახარჯების ეკონომიის მნიშვნელობა დამოკიდებულია 4 საორთქლებელში დუღილის  $t_2$  ტემპერატურაზე. 3 თბომცვლელის შესასვლელზე მაღალი წნევის ხაზზე ბუნებრივი აირის წნევა 120 ბარია, ტემპერატურა კი  $-40^{\circ}\text{C}$ . 3 თბომცვლელის გამოსასვლელზე ბუნებრივი აირის დაბალი წნევის ხაზზე წნევა 1 ბარია.

ბუნებრივი აირის მაღალი წნევის ნაკადის ტემპერატურა 7 თბომცვლელის შესასვლელზე  $t = -50^{\circ}\text{C}$ . სისტემაში მაცივარაგენტად გამოიყენება R410a. მაცივარი მანქანის კონდენსაციის

ტემპერატურა  $t_2 = 40^{\circ}\text{C}$ . 14 და 18 კომპრესორების იზოენტროპიული და მექანიკური მქკ 97%-ია.

თხევადი ბუნებრივი აირისათვის  $x$  კგ/კგ, რომელიც გამოდის 1 კომპრესორიდან, თბური ბალანსის განტოლება როგორც თბომცვლელის, ისე სითხის გამოყოფისათვის დაიწერება შემდეგნაირად:

$$x = \frac{i_{11} - i_6}{i_{11} - i_{10}}$$

სადაც  $i_{11}$  დაბალი წნევის აირის ენთალპიაა 7 თბომცვლელის თბილი ბოლოს გამოსასვლელზე,  $i_6$  - მაღალი წნევის აირის ენთალპია 7 თბომცვლელის თბილი ბოლოს შესასვლელზე,  $i_{10}$  - სითხის გამოყოფაში მყოფი სითხის ენთალპია. 3 თბომცვლელისა და 4 საორთქლებლისათვის თბური ბალანსის მიხედვით 4 საორთქლებელში 1 კომპრესორიდან გამომავალი აირის სიცივის ხვედრითი ხარჯი  $q_{02}$  გამოითვლება ფორმულით:

$$q_{01} = i_2 - i_4 - (1 - x) \times (i_{13} - i_{12}),$$

სადაც  $i_2$  მაღალი წნევის აირის ენთალპიაა 3 თბომცვლელის თბილი ბოლოს შესასვლელზე,  $i_4$  - მაღალი წნევის აირის ენთალპია 4 საორთქლებლის გამოსასვლელზე,  $i_{13}$  - დაბალი წნევის აირის ენთალპია 3 თბომცვლელის თბილი ბოლოს გამოსასვლელზე,  $i_{12}$  - დაბალი წნევის აირის ენთალპია 3 თბომცვლელის ცივი ბოლოს შესასვლელზე.

თბომცვლელისა და საორთქლებლისათვის თბური ბალანსის მიხედვით 6 საორთქლებელში 1 კომპრესორიდან გამომავალი აირის სიცივის ხვედრითი ხარჯი  $q_{02}$  კგ/კგ გამოითვლება ფორმულით:

$$q_{02} = i_4 - i_6 - (1 - x) \times (i_{13} - i_{12}).$$

$q_{01}$  და  $q_{02}$  სიცივის ხარჯის შედეგები მოცემულია პირველ ცხრილში.

**$q_{01}$  და  $q_{02}$  სიცივის ხვედრითი ხარჯების დამოკიდებულება მაღალი წნევის საფეხურის საორთქლებელში დუღილის ტემპერატურებთან**

$t^{\circ}\text{C}$	20	15	10	5	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30
$q_{01}$	34,75	44,24	54,15	64,56	77,55	87,24	99,73	113,2	127,78	143,67	160,97
$q_{02}$	207,95	198,46	188,55	178,14	167,15	155,46	142,97	129,5	114,92	99,03	81,73

ერთსაფეხურიანი შუალედური გაცივების დროს, როდესაც თხევადი მაცივარაგენტი R410a არ მიეწოდება 4 საორთქლებელს, მთელი სიცივე ორთქლის მაცივარ მანქანაში იწარმოება მხოლოდ 6 საორთქლებელში. თერმოდინამიკური სისტემის თბური ბალანსის მიხედვით, რომელიც მოიცავს რეგენერაციულ 3, 5, 7 თბომცვლელებს, 4 და 6 საორთქლებლებს, 9 სითხის გამომყოფს და 10 სარეგულირებელ ვენტილს, ხვედრითი სიცივის ხარჯი  $q_{03}$  (კვ/კგ) კომპრესორიდან 1

საორთქლებელში 6 გამომავალი აირისათვის ერთსაფეხურიანი შუალედური გაცივებისას გამოითვლება ფორმულით:

$$q_{03} = i_2 - i_{13} + x \times (i_{13} - i_{10}).$$

აირის ხვედრითი ენერგოდანახარჯების  $i_{14}$  (კვ/კგ) ანგარიში ჩავატარეთ კომპიუტერული პროგრამა Coolpack-ის მეშვეობით 4 საორთქლებელში სხვადასხვა დუღილის ტემპერატურისათვის და მიღებული სიდიდეები შევიტანეთ მე-2 ცხრილში.

**ხვედრითი ენერგოდანახარჯების დამოკიდებულება  $i_{18}$  დაბალი წნევის საფეხურის 18 ამძრავზე,  $i_{14}$  მაღალი წნევის საფეხურის კომპრესორის ამძრავზე, კომპრესორების  $L = i_{14} + i_{18}$  ამძრავებზე, მათი ჯამური ხვედრითი ენერგოდანახარჯების დამოკიდებულება მაღალი წნევის საფეხურის საორთქლებლის 4 დუღილის ტემპერატურაზე**

$t^{\circ}\text{C}$	20	15	10	5	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30
$i_{18}$	93,01	79,21	67,01	56,14	46,49	37,85	30,16	23,34	17,36	12,2	7,9
$i_{14}$	28,13	35,09	42,19	49,48	57,43	64,95	73,29	82,16	91,68	101,99	113,26
$L = i_{14} + i_{18}$	111,14	114,3	109,2	105,62	103,92	102,8	103,45	105,5	109,04	114,19	121,16

ენერგოდანახარჯების ეკონომია  $e$  % ორსაფეხურიანი ორთქლის მაცივარი მანქანის კომპრესორების ამძრავებზე ერთსაფეხურიანიდან ორსაფეხურიან წინასწარ გაცივებაზე გადასვლისას გამოითვლება ფორმულით:

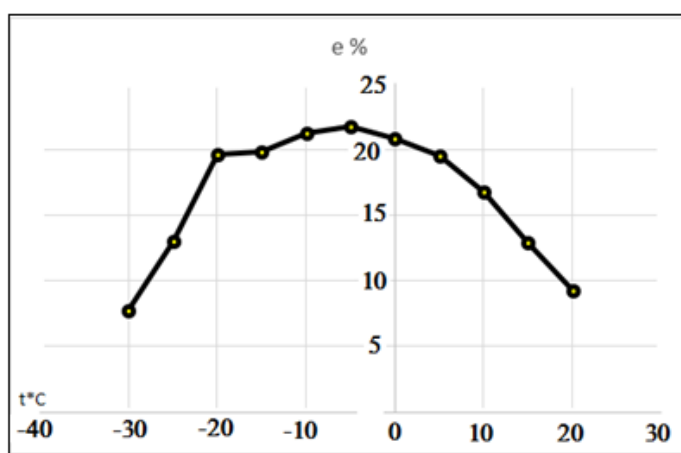
$$e = \left[ 1 - \left( \frac{i_{14} + i_{18}}{i_3} \right) \right] \times 100\%.$$

ენერგოდანაკარგების გაანგარიშების მნიშვნელობები მოცემული მე-3 ცხრილში.

ცხრილი 3

**ენერგოდანაკარგების მნიშვნელობები პროცენტებით**

$t^{\circ}\text{C}$	20	15	10	5	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30
$e$ %	9,2	12,9	16,8	19,5	20,8	21,7	21,2	19,8	19,6	13	7,7



სურ. 2. ორთქლის მაცივარი მანქანის მაღალი წნევის საფეხურის საორთქლებელზე ენერგოდანახარჯების ეკონომიის დამოკიდებულება დუღილის ტემპერატურაზე

**დასკვნა**

გაანგარიშებიდან თვალნათლივ ჩანს, რომ ბუნებრივი აირის გამათხევადებელ დანადგარში ერთსაფეხურიანი წინასწარი გაცივების სქემის ორსაფეხურიანი სქემით შეცვლისას, რომელშიც

გამოიყენება ერთჯერადი დროსელირება და საშუალოდ ჭურჭელი კლასილას გარეშე, მაცივარაგენტად კი – R410A, ენერგოდანახარჯების ეკონომია ორთქლის მაცივარი მანქანის კომპრესორის ამძრავზე 20%-ს შეადგენს.

**ლიტერატურა**

1. T. Megrelidze, Z. Japaridze, S. Suladze, G. Gugulashvili, G. Goletiani, A. Tepnadze, G. Kvirikashvili, Z. Omiadze. Refrigerator machines (Piston compressors). Teqnikuri Universiteti. Tbilisi. 2009, 52-53 pp. (In Georgian).
2. T. Megrelidze, Z. Japaridze, G. Beruashvili, I. Pochkhidze, G. Goletiani, G. Kvirikashvili, G. Gugulashvili. The Refrigerator Machines Heat Equipment. Teqnikuri Universiteti. Tbilisi. 2007, 97 p. (in Georgian).
3. T. Megrelidze, Z. Japaridze, G. Gugulashvili, G. Goletiani, A. Tepnadze, G. Kvirikashvili, Z. Omiadze. Refrigerant technic (The living refrigerators). Teqnikuri Universiteti. Tbilisi. 2008, 144 p. (in Georgian).

4. T. Megrelidze, V. Gvachliani, T. Gugulashvili, G. Megrelidze, L. Gugulashvili, G. Gugulashvili. The Refrigerant Equipment of Transport. Georgian Patent # GE P 5075 B. 09.10.2010. cl. F 25 B 27/02, B 60 P 3/20. (In Georgian).
5. Meyer. Training Manual Refrigeration-AC, ICCT, 2004. (in English).
6. System Trouble Shooting Measuring Instruments. Danfoss A/S (RC-SM/MWA), 09-2002. (in English).

UDC 662.76

SCOPUS CODE 2210

## REDUCTION OF ENERGY EXPENDITURE IN THE PROCESS OF NATURAL GAS LIQUEFACTION BY THE DRIVES FOR REFRIGERATION COMPRESSORS

**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

### Reviewers:

**G. Gugulashvili**, Associate Professor, Department of Food Industry, Faculty of Transportation and Mechanical Engineering, GTU  
E-mail: givi.gugulashvili@gmail.com

**G. Mazanishvili**, PhD, Director of LTD "Amiga"  
E-mail: givi-mazanishvili@gmail.com

**ABSTRACT.** The liquefied natural gas is very promising fuel for the internal combustion engines, representing one of the most effective types of alternative fuels that can be used in a motor, railway, sea and air transportation. Currently the tendency of use of liquefied natural gas in transportation has been sharply increased abroad. Well known companies (Ford, Man, Saviem, Toyota, Menka, etc.) have carried out activities confirming high efficiency of use of liquefied natural gas in transportation. During 20 years the company Mask (USA) together with Waste Manage Inc. is producing car engines using liquefied natural gas. CH / LNG industrial tractor operating on liquefied natural gas has a significant cruising range (up to 1000 km.).

Nowadays the issue related to the reduction of energy expenditure by the drives for refrigeration compressors is of great importance. Based on our calculations conducted we are able to provide specific possibilities for the reduction of energy expenditure up to 20 % .

**KEY WORDS:** compressor; condenser; drive; energy; natural gas.

UDC 662.76

SCOPUS CODE 2210

## ЭКОНОМИЯ ЭНЕРГОЗАТРАТ НА ПРИВОД КОМПРЕССОРОВ ДВУХСТУПЕНЧАТОЙ ПАРОВОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНЫ ПРИ СЖИЖЕНИИ ПРИРОДНОГО ГАЗА

**Мегрелидзе Т.Я.** Департамент пищевой индустрии, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава, 68<sup>ა</sup>  
E-mail: tmegrelidze@yahoo.com

**Исакадзе Т.А.** Департамент пищевой индустрии, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава, 68<sup>ა</sup>  
E-mail: tamazisakadze@gmail.com

### Рецензенты:

**Г. Гугулашвили**, ассоц. профессор Департамента пищевой индустрии факультета транспорта и машиностроения ГТУ

E-mail: givi.gugulashvili@gmail.com

**Г. Мазанишвили**, академич.доктор, директор ООО «Амига»

E-mail: givi-mazanishvili@gmail.com

**АННОТАЦИЯ.** Ожиженный природный газ является весьма перспективной жидкостью для двигателей внутреннего сгорания. Он является одним из эффективных видов альтернативных топлив, который может использоваться в автомобильном, железнодорожном, морском и авиационном транспорте. В настоящее время за рубежом резко увеличилась тенденция использования природного газа на транспорте. Проведенные в известных фирмах (Ford, Man, Saviem, Toyota, Menka и др.) испытания подтвердили высокую эффективность использования ожиженного природного газа на транспорте. Американская фирма Mask совместно с фирмой Waste Manage Inc. в течение 20 лет производит автомобильные двигатели, работающие на природном газе. Тягач марки CH/LNG, работающий на ожиженном природном газе, имеет значительный запас хода (до 1000 км).

Для производства топлива из ожиженного природного газа в настоящее время на заводах используется цикл с одноразовым дросселированием и предварительным охлаждением, для проведения которого используется паровая двухступенчатая холодильная машина. На сегодняшний день уменьшение энергозатрат на привод компрессоров холодильных машин является весьма актуальным вопросом. Проведенные нами экономические расчеты позволяют утверждать возможность уменьшения экономических затрат до 20%.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** компрессор; конденсатор; привод; природный газ; энергия.

UDC 577.4:33

SCOPUS CODE 2301

## ეკონომიკის ეკოლოგიზაციის ძირითადი მიმართულებები

- მ. სოსელია** ბიზნესის ადმინისტრირების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 77  
E-mail: mariami-soselia@rambler.ru
- ზ. კურტანიძე** ბიზნესის ადმინისტრირების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 77  
E-mail: zazakurtanidze@gmail.com

### რეცენზენტები:

- რ. ქინქლაძე**, სტუ-ის ბიზნეს-ინჟინერინგის ფაკულტეტის ბიზნესის ადმინისტრირების დეპარტამენტის ასოცირებული პროფესორი  
E-mail: rusudan1103@yahoo.com
- ს. ბლიაძე**, სტუ-ის ბიზნეს-ინჟინერინგის ფაკულტეტის ბიზნესის ადმინისტრირების დეპარტამენტის ასოცირებული პროფესორი  
E-mail: sofo\_4@mail.ru

**ანოტაცია:** "ეკონომიკის ეკოლოგიზაციის" ცნება XX საუკუნის 90-იანი წლებიდან მოყოლებული იხმარება მდგრად განვითარებასთან დაკავშირებულ საერთაშორისო დოკუმენტებში. იოჰანესბურგის საერთაშორისო ფორუმზე წარდგინილ მოხსენებაში მოცემულია ეკოლოგიზაციის შემდეგი განმარტება: ეკოლოგიზაცია ნიშნავს ბუნებრივი გარემოს ხარისხის შენარჩუნებასა და გაუმჯობესებაზე ორიენტირებულ პროცესს, რომელიც გულისხმობს ტექნოლოგიური, მმართველობითი, იურიდიული და სხვა მეთოდების დანერგვას, რაც შესაძლებელს ხდის მნიშვნელოვნად გაიზარდოს ბუნებრივი რესურსების მოხმარების ეფექტურობა და შემცირდეს ანთროპოგენური დატვირთვა ბუნებრივ გარემოზე.

ეკონომიკის ეკოლოგიზაციისას მიზანშეწონილია საკითხთა შემდეგი თანამიმდევრობა და პრიორიტეტულობა:

- ეკოლოგიური პრობლემის გადაწყვეტის ალტერნატიული ვარიანტები;
  - მცირეწარჩენიანი და რესურსდამზოგავი ტექნოლოგიების განვითარება;
  - პირდაპირი გარემოსდაცვითი ღონისძიებები.
- ეკონომიკური მეცნიერების მიერ უნდა შემუშავდეს შესაბამისი თეორიული პრინციპები და მეთოდები, რათა მათი საშუალებით ადეკვატურად აისახოს სამეურნეო საქმიანობის მაკრო- და მიკროდონეზე ეკოლოგიური ფაქტორი და ეკოლოგიური და ეკონომიკური პირობები გაერთიანდეს ერთიან ეკოსისტემაში. პირველ რიგში უნდა განვითარდეს ეკონომიკური კვლევები საწარმოს დონეზე სამეურნეო საქმიანობის ეკოლოგიზაციის მიმართულებით. სწორედ მიკროდონეზე ხდება გარემოზე ნეგატიურ ზემოქმედებასთან, ეკოლოგიურ დანახარჯებსა და სხვა გარემოებებთან დაკავშირებული პირველადი ინფორმაციის შეგროვება.



**საკვანძო სიტყვები:** გარემო; ეკონომიკა; კონცეფცია; მექანიზმი; პრობლემა.

### შესავალი

თანამედროვე ეტაპზე საერთაშორისო ურთიერთობებში იქმნება ახალი ეკონომიკური მექანიზმები და იკვეთება საერთაშორისო თანამშრომლობის ახალი ფორმები საზოგადოების მდგრადი განვითარების მისაღწევად.

გარემოსა და განვითარებასთან დაკავშირებით გაეროს მიერ მიღებული და მოწონებული დოკუმენტების გაანალიზებით შეიძლება დავასკვნათ, რომ ყოველი მათგანი ეფუძნება ე.წ. "რესურსულ კონცეფციას". ამ კონცეფციას აგრეთვე შეესაბამება დოკუმენტებში განმარტებული "მდგრადი განვითარების" განსაზღვრაც:

*"მდგრადი განვითარება ნიშნავს ისეთ განვითარებას, რომელიც აკმაყოფილებს ამჟამინდელ მოთხოვნებს, მაგრამ იმავედროულად საფრთხეს არ უქმნის მომავალი თაობების შესაძლებლობას დააკმაყოფილონ საკუთარი მოთხოვნები".*

### ძირითადი ნაწილი

მდგრადი განვითარების ცნების ანალიზი აჩვენებს, რომ ის მოიცავს რამდენიმე ასპექტს და შემადგენელ ელემენტს, რომელთაგან განსაკუთრებულ ყურადღებას იმსახურებს შემდეგი:

1. პოლიტიკურ-სამართლებრივი ასპექტი;
2. ეკონომიკური ასპექტი;
3. ეკოლოგიური ასპექტი;
4. სოციალური ასპექტი;
5. საერთაშორისო ასპექტი;
6. საინფორმაციო ასპექტი.

დიდი ხანი არაა, რაც მეცნიერებაში გაჩნდა "ეკონომიკის ეკოლოგიზაციის" ცნება, რომელსაც XX საუკუნის 90-იანი წლებიდან მო-

ყოლებული იყენებენ მდგრად განვითარებასთან დაკავშირებულ საერთაშორისო დოკუმენტებში. იოჰანესბურგის საერთაშორისო ფორუმზე წარდგენილ მოხსენებაში მოცემულია ეკოლოგიზაციის შემდეგი განმარტება: ეკოლოგიზაცია ნიშნავს ბუნებრივი გარემოს ხარისხის შენარჩუნებასა და გაუმჯობესებაზე ორიენტირებულ პროცესს, რომელიც გულისხმობს ტექნოლოგიური, მმართველობითი, იურიდიული და სხვა მეთოდების დანერგვას, რაც შესაძლებელს ხდის მნიშვნელოვნად გაიზარდოს ბუნებრივი რესურსების მოხმარების ეფექტურობა და შემცირდეს ანთროპოგენური დატვირთვა ბუნებრივ გარემოზე. ეკოლოგიზაციის წინაპირობაა ძირითადი ტექნოლოგიური პროცესებისა და უშუალოდ გარემოსდაცვითი ღონისძიებების სრულყოფა, მათი ეკოლოგიური ეფექტურობის გაზრდის მიზნით. მოხსენებაში ხაზგასმითაა აღინიშნული, რომ ამ ამოცანის რეალიზაცია მთლიანადაა დამოკიდებული იმ წარმატებებზე, რომლებიც მიიღწევა მართვის ეკონომიკური მექანიზმებისა და მოქმედი კანონმდებლობის მეშვეობით ეკოლოგიზაციის სფეროში.

ეკონომიკის ეკოლოგიზაციისას მიზანშეწონილია საკითხთა შემდეგი თანამიმდევრობა და პრიორიტეტულობა:

- ეკოლოგიური პრობლემის გადაწყვეტის ალტერნატიული ვარიანტები;
- მცირენარჩენიანი და რესურსდამზოგავი ტექნოლოგიების განვითარება;
- პირდაპირი გარემოსდაცვითი ღონისძიებები.

იმ შემთხვევაში, თუ ინვესტიციები მიმართული იქნება ეკონომიკის სტრუქტურულ, რესურსდამზოგავ გარდაქმნასა და ბუნებატევადობის შემცირებაზე, შემცირდება პირდაპირ გარემოსდაცვით ღონისძიებებზე გაწეული ხარჯები, რომლებიც გასაწევია ტექნოგენური განვითარების ნეგატიური შედეგების ლიკვიდაციის მიზნით.

<b>მდგრადი განვითარების კრიტერიუმები</b>	
↓	↓
<b>საფუძველი: ბუნებრივი რესურსებისა და მათი აღწარმოების დინამიკის კლასიფიკაცია</b>	<b>საფუძველი: ეკონომიკის ბუნებატევალობა</b>
1. განახლებადი ბუნებრივი რესურსების მარტივი აღწარმოების რეჟიმის უზრუნველყოფა	1. ბუნებრივი რესურსების ხვედრითი ხარჯი საბოლოო შედეგის (პროდუქტის) ერთეულზე გაანგარიშებით
2. არაგანახლებადი ბუნებრივი რესურსების ამოწურვის ტემპების მაქსიმალურად შენელება და პერსპექტივაში მათი შეცვლა არალიმიტირებული რესურსებით (ალტერნატიული ენერჯის წყაროები და სხვ.)	ა) მაკროდონეზე – მთელი ეკონომიკის დონეზე; ბ) კომპლექსების, დარგების დონეზე (პროდუქციის დონეზე)
3. ნარჩენების მინიმიზაცია მცირენარჩენიანი, რესურსდამზოგავი ტექნოლოგიების დანერგვის საფუძველზე	2. დაბინძურების ხვედრითი წილი საბოლოო შედეგის (პროდუქტის) ერთეულზე გაანგარიშებით
4. გარემოს დაბინძურება არ უნდა აღემატებოდეს აშუამდ არსებულ დონეს. დაბინძურების დაყვანა სოციალურად და ეკონომიკურად მისაღებ დონემდე	ა) მაკროდონეზე; ბ) კომპლექსების, დარგების დონეზე (პროდუქციის დონეზე)

**ეკონომიკის მდგრადი განვითარების კრიტერიუმები  
ეკოლოგიური ფაქტორის გათვალისწინებით**

აქამდე გარემოს დაცვის საქმეში ძირითადი ყურადღება გამახვილებული იყო მხოლოდ თვით გარემოსდაცვითი ღონისძიებების რაციონალიზაციაზე, მაშინ, როდესაც ეკონომიკის სტრუქტურული გარდაქმნის საკითხებისაგან იზოლირებულად გარემოსდაცვითი საქმიანობა ვერ გადაწყვეტს გარემოზე ნეგატიური ტექნოგენური ზემოქმედების პრობლემას. ამისათვის აუცილებელია ეკონომიკური საქმიანობის სრულყოფის პროცესში ეკოლოგიური ფაქტორის ჩართვა. უპირველეს ყოვლისა, უნდა განისაზღვროს გარემოს მდგომარეობაზე მოხდენილი ზემოქმედების რაოდენობრივი მახასიათებლები: საწარმოო ნარჩენებისა და მავნე ნივთიერებათა გამონაფრქვევების რაოდენობა და შედგენილობა; მათი

გაუვნებლებისა და უტილიზაციისათვის აუცილებელი გარემოსდაცვითი ხარჯი; ნარჩენის გაფრქვევა და ამით გამოწვეული ეკონომიკური ზარალი.

მაკროდონეზე სამეურნეო სტრუქტურის ეკოლოგიურად მისაღები ვარიანტის მომზადებისათვის შესაძლებელია დარგთაშორისი ბალანსის ეკოლოგიზებული სქემების გამოყენება, ხოლო მაკროეკონომიკური მანველებლების კორექტირება შეიძლება ეროვნული ანგარიშების სისტემის ჩარჩოებში. ეროვნულ ანგარიშებში ეკონომიკური საქმიანობის, გარემოს მდგომარეობისა და მისი დაცვის მანველებლების შესაბამისობაში მოყვანით შესაძლებელია მდგრადი ეროვნული შემოსავლის ოდენობის გაანგარიშება და გარე-

მოს რაციონალურ გამოყენებაზე გადასვლის მე-  
თოდების განსაზღვრა.

მდგრადი განვითარების კონცეფციის ერთ-  
ერთი უმნიშვნელოვანესი მოთხოვნაა ეკოლო-  
გიური დანახარჯების სრულად აღრიცხვა საწარ-  
მოს საქმიანობის ეკონომიკური მანევრებლობით.  
ხაზგასმით აღინიშნება, რომ მაკროეკონომიკური  
მანევრებლობის სრულყოფა მთლიანი ეკოლოგიუ-  
რი დანახარჯების გათვალისწინებით, უნიფიცირე-  
ბულად უნდა განხორციელდეს ყველა ქვეყანაში,  
სარეკომენდაციო საკანონმდებლო დოკუმენტების  
მომზადებისა და შეთანხმების საფუძველზე.

საწარმოთა სამეურნეო პრაქტიკის ანალიზი  
გვიჩვენებს, რომ დღეისათვის დაბინძურებით გა-  
მოწვეული ეკონომიკური ზარალი დამაბინძურე-  
ბელი საწარმოსათვის გარე ხარჯია, ე.ი. ვლინ-  
დება მის ფარგლებს გარეთ და ნაკლებად აისა-  
ხება მისი კომერციული საქმიანობის ეფექტიან-  
ობაზე. ამიტომაც, დაბინძურებით გამოწვეული  
ეკონომიკური ზარალი უნდა გადაიქცეს საწარ-  
მოს შიგა ხარჯად. ამ შემთხვევაში ისინი პირ-  
დაპირ აისახება საწარმოს კომერციულ ეფექტუ-  
რობაზე და ხელს შეუწყობს მოქმედი გარემოს-  
დაცვითი ტექნოლოგიების დანერგვას. მაგრამ  
ამისათვის საჭირო იქნება ეკოლოგიური ნორმი-  
რების სრულყოფა, ნორმატიული და ზენორ-  
მატიული დაბინძურების განსაზღვრა.

დასასრულად, ადამიანის სამეურნეო საქმიანო-  
ბის ეკოლოგიური ასპექტები უნდა გადაიქცეს  
სამეურნეო საქმიანობის განუყოფელ ნაწილად.  
ეს არის ეკოლოგიზაციის პროცესის არსი. ჩვენ  
სრულად ვიზიარებთ ამ დასკვნას. მაგრამ, ამ  
პრობლემის გადასაწყვეტად ეკონომიკური მეც-

ნიერების მიერ უნდა შემუშავდეს შესაბამისი  
თეორიული და მეთოდური პრინციპები და  
მეთოდები, რათა მათი საშუალებით მოხდეს სა-  
მეურნეო საქმიანობის მაკრო- და მიკროდონეზე  
ეკოლოგიური ფაქტორის ადეკვატური ასახვა,  
აგრეთვე ეკოლოგიური და ეკონომიკური პირო-  
ბების გაერთიანება ერთიან ეკოსისტემაში. მო-  
ცემულ ეტაპზე აღნიშნული პრობლემები ნაკლე-  
ბად არის შესწავლილი როგორც თეორიულ, ისე  
მეთოდურ ასპექტში. ჩვენი აზრით, პირველ  
რიგში უნდა განვაითაროთ ეკონომიკური კვლე-  
ვები საწარმოს დონეზე სამეურნეო საქმიანობის  
ეკოლოგიზაციის მიმართულებით. სწორედ მიკ-  
როდონეზე ხდება პირველადი ინფორმაციის შეგ-  
როვება გარემოზე ნეგატიურ ზემოქმედებასთან,  
ეკოლოგიურ დანახარჯებსა და სხვა გარემოე-  
ბებთან დაკავშირებით. შესაბამისად, დიდ მნიშე-  
ნელობას იძენს იმ ეკოლოგიურ-ეკონომიკური მან-  
ევრებლობის განსაზღვრა, რომლებიც ახასიათებს  
როგორც საწარმოს სამეურნეო საქმიანობით გა-  
მოწვეული ნეგატიური ზემოქმედების დონეს, მის  
ეკოლოგიურ ეფექტურობას, ისე საწარმოს ეკო-  
ლოგიური დანახარჯების გავლენას მის კო-  
მერციულ ეფექტურობაზე.

### დასკვნა

ამრიგად, გარემოს დაცვის, ბუნებრივი რე-  
სურსების მოპოვება-მოხმარების სფეროში უნდა  
გაძლიერდეს სახელმწიფოს მარეგულირებელი  
როლი. გარემოს შენარჩუნებისა და სახელმწიფო  
ბიუჯეტის შემოსავლების გაზრდის მიზნით  
აუცილებელია ბუნებათსარგებლობის მექანიზმე-  
ბის სრულყოფა.

### ლიტერატურა

1. V. Bezrukov, V. Novoselski. "Economic Development Potential and Scientific and Technical Progress". *Ekonomist*. 2002. №1. (in Russian).
2. A. Belousov. *Effective economic growth in 2002-2010. Conditions and restrictions*. M., 2001. (in Russian).
3. A. Bobrov. *Sustainable development and environmental economics*. M., 2002. (in Russian).
4. M. Khuskivadze. *Some issues of development of economic mechanism of state regulation of environmental protection actions*. Proceedings of the Institute of Economics of the Georgian Academy of Sciences. Vol. 4. 2004. (in Georgian).
5. T. Chikvaidze. *New paradigm of Georgia: safe and sustainable development strategy in XXI c*. Proceedings of scientific research institute of social-economic problems of Georgia. Vol. 2. Tb., 1997. (in Georgian).
6. *Georgia: National Security Concept and National Security*. (in Georgian).
7. *Project of National Security Concept of Georgia*. (in Georgian).
8. *On Approval of Threat Assessment for 2010-2013, National Security Council of Georgia, Decree of the President of Georgia N 707*. (in Georgian).
9. *Law of Georgia on National Security Policy Planning and Coordination*. (in Georgian).
10. M. Greb, K. Vralik, D. Break. *The Kyoto Protocol: analysis and interpretation*. M., 2001. (in Russian).
11. Frank F. Skillern. *Environmental Protection Deskbook (Environmental Law Series)*, McGraw hill, Inc., 1995. (in English).
12. Furnado Y. I. *Belt Tamara. Economic development and environmental sustainability*. Washington, D. G.: World Bank 2000. (in English).
13. *Earth Summit in Rio de Janeiro. Conference proceedings*. Geneva. 1993. (in English).

UDC 577.4:33

SCOPUS CODE 2301

### MAIN DIRECTIONS OF ECOLOGIZATION OF ECONOMICS

- M. Soselia** Department of Business Administration, Georgian Technical University, 77 M. Kostava str., 0175 Tbilisi, Georgia  
E-mail: mariamsoselia@gmail.com
- Z. Kurtanidze** Department of Business Administration, Georgian Technical University, 77 M. Kostava str., 0175 Tbilisi, Georgia  
E-mail: zazakurtanidze@gmail.com

#### Reviewers:

- R. Kinkladze**, Associate Professor, Department of Business Administration, Faculty of Business Technology, GTU  
E-mail: rusudan1103@yahoo.com
- S. Bliadze**, Associate Professor, Department of Business Administration, Faculty of Business Technology, GTU  
E-mail: sofo\_4@mail.ru

**ABSTRACT.** Appropriate theoretical and methodological principles and methods are to be developed in order to ensure adequate reflection of macro and micro environmental factors of economic activities, as well as to integrate

environmental and economic conditions in one ecosystem. For the beginning it should be encouraged the economic research (on enterprise level) towards the ecologization of economic activity. Primary information about the existing environment, negative impact on the environment, environmental expenditures and other relevant data are collected at micro level. Environmental protection, rational use of natural resources require further development of appropriate state regulatory frameworks.

**KEY WORDS:** economics; environment; problem; concept; mechanism.

---

**UDC 577.4:33**

**SCOPUS CODE 2301**

### **ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ЭКОЛОГИЗАЦИИ ЭКОНОМИКИ**

- Соселия М.Дж.** Департамент бизнес-администрирования, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава, 77  
E-mail: mariamsoselia@gmail.com
- Куртанидзе З. Дж.** Департамент бизнес-администрирования, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава, 77  
E-mail: zazakurtanidze@gmail.com

#### **Рецензенты:**

- Р. Кикнадзе**, ассоц. профессор Департамента бизнес-администрирования факультета бизнес-инженеринга ГТУ  
E-mail: rusudan1103@yahoo.com
- С. Блиадзе**, ассоц. профессор Департамента бизнес-администрирования факультета бизнес-инженеринга ГТУ  
E-mail: sofo\_4@mail.ru

**АННОТАЦИЯ.** При экологизации экономики целесообразно учесть следующую последовательность и приоритетность вопросов:

- Альтернативные варианты решения экологических проблем.
- Развитие малоотходной и ресурсосберегающей технологии.
- Прямые природоохранные мероприятия.

Ученым-экономистам необходимо выработать теоретические принципы и методы, с помощью которых произойдет адекватное отражение экологического фактора на микро- и макроуровне хозяйствования, при этом также произойдет объединение экологических и экономических условий в единую экосистему.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** концепция; механизм; окружающая среда; проблема; экономика.

UDC 008

SCOPUS CODE 2604

**UNSTEADY ROTATION PROBLEM OF THE MOTION INFINITE POROUS PLATE WITH THE FALLING STREAM OF THE CONDUCTIVE FLUID WITH ACCOUNT OF MAGNETIC FIELD AND HEAT TRANSFER IN CASE OF VARIABLE ELECTRIC CONDUCTIVITY AND INJECTION VELOCITY**

- L. Jikidze** Department of engineering mechanics and technical expertise in construction, Georgian Technical University, 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:**

- Z. Tsitskishvili**, Professor, Department of engineering mechanics and technical expertise in construction, Faculty of Civil Engineering, GTU  
E-mail: cicgishvilizura@yahoo.com
- E. Elerdashvili**, Associate Professor, Department of mathematics, Faculty of Informatics and Control Systems, GTU  
E-mail: ek.elerdashvili@yahoo.com

**ABSTRACT.** By using the method of successive approximation there has been studied the unsteady rotation problem of the motion infinite porous plate with the falling stream of the conductive fluid with the components of velocity  $v_r = ar$ ,  $v_\phi = 0$ ,  $v_z = -2az$ , with account of magnetic field and heat transfer in case when the coefficient of electric conductivity and injection velocity are functions of temperature as a form-  
$$\sigma = \sigma_0 \left(1 - \frac{T}{T_\infty}\right), v_w = v_0 \left(1 - \frac{T}{T_\infty}\right).$$

To determine the thickness of the dynamic and thermal boundary layers, relevant differential equations are obtained and written their exact solutions for the particular cases when the injection velocity varies according to different laws and between the thicknesses of a functional dependence of the form  $\delta_T(t) = \gamma\delta(t)$ .

All physical characteristics of the flow are calculated.

**KEY WORDS:** boundary layer, conductivity, falling stream, injection velocity, magnetic field, porosity, heat transfer.

**INTRODUCTION**

As it is known, injection of fluid through the plate is used to reduce the growth of unstable perturbation in the boundary layer and for delaying its separation. It can also be considered as the effective means of intensifying processes using heat transfer [1].

In papers [2] and [3] by means of the method of consistent approximation the unsteady problems of the motion infinite porous plate with falling stream of the conductive fluid with account of magnetic field and heat transfer, have been studied.

In paper [2] was discussed the case when the injection velocity is a function of the time and in paper [3] was discussed a similar problem in case when the coefficient of electric conductivity and injection velocity are variables, depending on the temperature and time accordingly.

**MAIN PART**

In this paper by means of the method of successive approximation we have studied the unsteady rotation problem of the motion infinite porous plate with the falling stream of the conductive fluid with the components of velocity  $v_r = ar$ ,  $v_\phi = 0$ ,  $v_z = -2az$ , with account of magnetic field and heat transfer in case when the coefficient of electric conductivity and injection velocity are functions of temperature. It is understood, that  $a$ -is a given quantity, independent of the external magnetic field and is expressed in terms of

the velocity of uniform flow falling on the plate perpendicular to its surface [4].

We will assume that the influence of dissipative effects on the fluid flow and heat transfer are negligibly small and the intensive injection leads to a significant reduction of the radial velocity of the fluid near the plate and the temperature difference in the main stream and the plate is relatively small.

With this in mind, to solve the problem, we use the following system of equations of unsteady motion of a conducting fluid in a uniform magnetic field and the energy equation:

$$\begin{cases} \frac{\partial v_r}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_r}{\partial r} + v_z \frac{\partial v_r}{\partial z} - \frac{v_\phi^2}{r} = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} + \nu \left( \Delta v_r - \frac{v_r}{r^2} \right) - \frac{\sigma}{\rho} B_0^2 v_r, \\ \frac{\partial v_\phi}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_\phi}{\partial r} + v_z \frac{\partial v_\phi}{\partial z} + \frac{v_r v_\phi}{r} = \nu \left( \Delta v_\phi - \frac{v_\phi}{r^2} \right) - \frac{\sigma}{\rho} B_0^2 v_\phi, \\ \frac{\partial v_z}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_z}{\partial r} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \Delta v_z, \\ \frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{v_r}{r} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0, \\ \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \rho c_p \left( \frac{\partial T}{\partial t} + v_r \frac{\partial T}{\partial r} + v_z \frac{\partial T}{\partial z} \right), \end{cases} \quad (1)$$

where  $\Delta = \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ .

We will note that  $v_r(r, z, t)$ ,  $v_\phi(r, z, t)$ ,  $v_z(r, z, t)$  are the components of fluid velocity,  $\sigma$  - coefficient of electric conductivity,  $\nu$  -viscosity,  $\rho$  - density,  $B_0$  - the magnetic field,  $T$  - temperature,  $c_p$  - heat capacity for constant pressure and  $\lambda$  - thermal conductivity.

System (1) must be integrated with the following initial and boundary conditions:

$$\begin{cases} t = 0, & v_r = v_\phi = v_z = 0, & T = T_w(z, 0), \\ t > 0, & z = 0, & v_r = 0, & v_\phi = s\omega r, & v_z = -v_w(z, t), & T = T_w(0, t), \\ & z = \infty, & v_r = ar, & v_\phi = 0, & v_z = -2az, & T = T_\infty. \end{cases} \quad (2)$$

Here  $v_w(z, t)$  is injection velocity,  $s$  - parameter rotation,  $\omega(t)$  - angular velocity of the plate,  $T_w$  - temperature of the plate and  $T_\infty$  - temperature of the fluid away from the plate. For geometric and mechanical reasons, the solution of system (1) is considered in the form of:

$$\begin{cases} v_r = \omega_0 r f(\eta, t'), & v_\phi = \omega_0 r q(\eta, t'), & v_z = \sqrt{\nu \omega_0} [g(\eta, t') - v'_w(\eta, t')] \\ z = \sqrt{\frac{\nu}{\omega_0}} \eta, & t' = \omega_0 t, & \omega(t) = \omega_0 \omega'(t'), & v_w(z, t) = \sqrt{\nu \omega_0} v'_w(\eta, t'), & p = -\rho \nu \omega_0 p'(\eta, t'). \end{cases} \quad (3)$$

We assume that the injection velocity and coefficient of electric conductivity are variables depending on the temperature in the form of

$$v_w = v_0 \left(1 - \frac{T}{T_\infty}\right), \quad \sigma = \sigma_0 \left(1 - \frac{T}{T_\infty}\right) \quad (4)$$

Taking into account the conditions (3), (4) and  $a^2 r = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r}$ , and for simplicity use of unprimed quantities, from the (1) we obtain the following system of equations:

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 f}{\partial \eta^2} - \frac{\partial f}{\partial t} + \left(1 - \frac{T}{T_\infty}\right) \left(v_0 \frac{\partial f}{\partial \eta} - m^2 f\right) = g \frac{\partial f}{\partial \eta} + f^2 - q^2 - a^2, \\ \frac{\partial^2 q}{\partial \eta^2} - \frac{\partial q}{\partial t} + \left(1 - \frac{T}{T_\infty}\right) \left(v_0 \frac{\partial q}{\partial \eta} - m^2 q\right) = g \frac{\partial q}{\partial \eta} + 2fq, \\ \frac{\partial g}{\partial \eta} = -2f - \frac{v_0}{T_\infty} \frac{\partial T}{\partial \eta}, \\ \frac{\partial p}{\partial \eta} = \frac{\partial}{\partial t} \left[ g - v_0 \left(1 - \frac{T}{T_\infty}\right) \right] - \frac{\partial^2 g}{\partial \eta^2} + g \frac{\partial g}{\partial \eta} - v_0 \frac{\partial}{\partial \eta} \left[ g \left(1 - \frac{T}{T_\infty}\right) - \frac{\partial}{\partial \eta} \left(1 - \frac{T}{T_\infty}\right) \right] + v_0^2 \left(1 - \frac{T}{T_\infty}\right) \frac{\partial}{\partial \eta} \left(1 - \frac{T}{T_\infty}\right), \\ \frac{\partial^2 T}{\partial \eta^2} = P_r \left[ \frac{\partial T}{\partial t} + g \frac{\partial T}{\partial \eta} - v_0 \left(1 - \frac{T}{T_\infty}\right) \frac{\partial T}{\partial \eta} \right], \end{cases} \quad (5)$$

where  $m^2 = \frac{\sigma_0 B_0^2}{\rho \omega_0}$  and  $P_r = \frac{\mu c_p}{\lambda}$  - Prandtl's number.

To determine the thickness of the dynamic and thermal boundary layers formed in the rotating plate, instead of the asymptotic layers considered the layers of finite thickness, which will change over time. To determine them we use the following conditions

$$\eta = \delta(t), \quad \frac{\partial q}{\partial \eta} = 0, \quad \eta = \delta_T(t), \quad \frac{\partial T}{\partial \eta} = 0. \quad (6)$$

Thus for the solution (5) we have the following initial and boundary conditions:

$$\begin{cases} t = 0, & f = q = g = 0, & T = T_w(\eta, 0), & \delta(0) = 0, & \delta_T(0) = 0, \\ t > 0, & \eta = 0, & f = 0, & q = s\omega(t), & g = 0, & T = T_w(0, t), \\ & \eta = \delta(t), & f = a, & q = 0, & \frac{\partial q}{\partial \eta} = 0, \\ & \eta = \delta_T(t), & T = T_\infty, & \frac{\partial T}{\partial \eta} = 0. \end{cases} \quad (7)$$

Problem (5)-(7) will be solved by the method of successive approximation and let us search solutions of this problem in the form of series



$$f = \sum_{k=0}^{\infty} f_k(\eta, t), \quad q = \sum_{k=0}^{\infty} q_k(\eta, t), \quad g = \sum_{k=0}^{\infty} g_k(\eta, t), \quad T = \sum_{k=0}^{\infty} T_k(\eta, t). \quad (8)$$

To determine the unknown functions there required only the first two approximations. Options  $f_0, q_0, g_0, T_0, f_1, q_1, g_1, T_1$  respectively are solutions

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 f_0}{\partial \eta^2} = 0, \quad \frac{\partial^2 q_0}{\partial \eta^2} = 0, \quad \frac{\partial^2 T_0}{\partial \eta^2} = 0, \quad & \begin{cases} \eta = 0, & f_0 = 0, & q_0 = s\omega(t), & T_0 = T_w(0, t), \\ \eta = \delta(t), & f_0 = a, & q_0 = 0, \\ \eta = \delta_T(t), & T_0 = T_\infty, \end{cases} \\ \begin{cases} \eta = 0, & f_1 = 0, & q_1 = 0, & T_1 = 0, \\ \eta = \delta(t), & f_1 = 0, & q_1 = 0, \\ \eta = \delta_T(t), & T_1 = 0, \end{cases} & \begin{cases} \eta = 0, & f_1 = 0, & q_1 = 0, & T_1 = 0, \\ \eta = \delta(t), & f_1 = 0, & q_1 = 0, \\ \eta = \delta_T(t), & T_1 = 0, \end{cases} \end{aligned}$$

and functions  $g_0$  and  $g_1$  determined from the expressions

$$g_0 = -\int_0^\eta \left( \frac{\nu_0}{T_\infty} \frac{\partial T_0}{\partial \zeta} + 2f_0 \right) d\zeta, \quad g_1 = -\int_0^\eta \left( \frac{\nu_0}{T_\infty} \frac{\partial T_1}{\partial \zeta} + 2f_1 \right) d\zeta.$$

Functions  $f_0, q_0, g_0, T_0, f_1, q_1, g_1, T_1$  are as follows:

$$\begin{aligned} f_0 &= \frac{a}{\delta} \eta, \quad q_0 = s\omega \left( 1 - \frac{\eta}{\delta} \right), \quad g_0 = -\frac{\nu_0 \theta}{T_\infty} \frac{\eta}{\delta}, \quad T_0 = \frac{\theta}{\delta_T} \eta + T_w, \\ f_1 &= -\left( \frac{a\theta}{T_\infty \delta \delta_T} \frac{m^2}{\delta^2} + \frac{s^2 \omega^2}{\delta^2} \right) \left( \frac{\eta^4}{12} - \frac{\delta^3}{12} \eta \right) + \left( \frac{\nu_0 a \theta}{T_\infty \delta \delta_T} - \frac{\nu_0 a \theta}{T_\infty \delta^2} + \frac{a\theta}{T_\infty \delta} \frac{m^2}{\delta} + \frac{2s^2 \omega^2}{\delta} - \frac{a\delta'}{\delta^2} \right) \left( \frac{\eta^3}{6} - \frac{\delta^2}{6} \eta \right) - \\ &\quad - \left( s^2 \omega^2 + a^2 + \frac{\nu_0 a \theta}{T_\infty \delta} \right) \left( \frac{\eta^2}{2} - \frac{\delta}{2} \eta \right), \\ q_1 &= \left( \frac{s\omega \theta}{T_\infty \delta \delta_T} \frac{m^2}{\delta^2} - \frac{as\omega}{\delta^2} \right) \left( \frac{\eta^4}{12} - \frac{\delta^3}{12} \eta \right) + \left[ \frac{2as\omega}{\delta} - \frac{s\omega}{\delta} \left( \ln \frac{\omega}{\delta} \right)' - \frac{s\omega \theta}{T_\infty \delta \delta_T} \frac{m^2 (\delta + \delta_T)}{\delta} \right] \left( \frac{\eta^3}{6} - \frac{\delta^2}{6} \eta \right) + \\ &\quad + \left[ s\omega' + \frac{s\omega \theta \nu_0}{T_\infty \delta} + \frac{s\omega \theta}{T_\infty} \frac{m^2}{\delta} \right] \left( \frac{\eta^2}{2} - \frac{\delta}{2} \eta \right), \\ g_1 &= -\frac{\nu_0 P_r}{T_\infty} \left\{ -\frac{a\theta}{\delta \delta_T} \left( \frac{\eta^4}{12} - \frac{\delta_T^3}{12} \eta \right) + \left[ \frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{\theta}{\delta_T} \right) + \frac{\theta^2 \nu_0 (\delta - \delta_T)}{T_\infty \delta \delta_T^2} \right] \left( \frac{\eta^3}{6} - \frac{\delta_T^2}{6} \eta \right) + \left( \frac{\partial T_w}{\partial t} - \frac{\theta^2 \nu_0}{T_\infty \delta_T} \right) \times \right. \\ &\quad \times \left. \left( \frac{\eta^2}{2} - \frac{\delta_T}{2} \eta \right) \right\} + \left( \frac{a\theta}{T_\infty \delta \delta_T} \frac{m^2}{\delta^2} + \frac{s^2 \omega^2}{\delta^2} \right) \left( \frac{\eta^5}{30} - \frac{\delta^3}{12} \eta^2 \right) - \left( \frac{a\theta \nu_0}{T_\infty \delta \delta_T} - \frac{a\theta \nu_0}{T_\infty \delta^2} + \frac{a\theta}{T_\infty \delta} \frac{m^2}{\delta} + \frac{2s^2 \omega^2}{\delta} - \frac{a\delta'}{\delta^2} \right) \times \\ &\quad \times \left( \frac{\eta^4}{12} - \frac{\delta^2}{6} \eta^2 \right) + \left( a^2 + s^2 \omega^2 + \frac{a\theta \nu_0}{T_\infty \delta} \right) \left( \frac{\eta^3}{3} - \frac{\delta}{2} \eta^2 \right), \\ T_1 &= P_r \left\{ -\frac{a\theta}{\delta \delta_T} \left( \frac{\eta^4}{12} - \frac{\delta_T^3}{12} \eta \right) + \left[ \frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{\theta}{\delta_T} \right) + \frac{\theta^2 \nu_0 (\delta - \delta_T)}{T_\infty \delta \delta_T^2} \right] \left( \frac{\eta^3}{6} - \frac{\delta_T^2}{6} \eta \right) + \left( \frac{\partial T_w}{\partial t} - \frac{\theta^2 \nu_0}{T_\infty \delta_T} \right) \left( \frac{\eta^2}{2} - \frac{\delta_T}{2} \eta \right) \right\}. \end{aligned}$$

where  $\theta = T_\infty - T_w$ .

To determine the unknown thicknesses  $\delta(t)$  and  $\delta_T(t)$  use the condition (6) continuous transition of velocity and temperature boundary layer, velocity and temperature of external flow, assuming that they are functions of time only.

To determine the thicknesses of the dynamic and thermal boundary layers, we obtain the following system of equations:

$$\begin{cases} \left(\delta^2\right)' + \left(\frac{5a}{2} + \ln'\omega + \frac{m^2\theta}{T_\infty}\right) \delta^2 - \frac{m^2\theta}{2T_\infty} \frac{\delta^3}{\delta_T} + \frac{3\theta v_0}{T_\infty} \delta = 6, \\ \left(\delta_T^2\right)' - \left[2(\ln\theta)' + \frac{3}{\theta} \frac{\partial T_w}{\partial t}\right] \delta_T^2 + \frac{3a}{2} \frac{\delta_T^3}{\delta} + \frac{2\theta v_0}{T_\infty} \frac{\delta_T^2}{\delta} + \frac{\theta v_0}{T_\infty} \delta_T = \frac{6}{Pr}. \end{cases} \quad (9)$$

Let us consider some special cases, when it will be possible to obtain expressions  $\delta(t)$  and  $\delta_T(t)$  explicitly. Consider the case when the thickness between  $\delta_T(t)$  and  $\delta(t)$  is a functional relationship of the form  $\delta_T(t) = \gamma\delta(t)$ , where  $\gamma = const$ .

I) a) Let us assume that  $v_0(t) = \beta_T \delta_T(t)$ , where  $\beta_T = const$ . Then from the second equation of the (9) we obtain the following differential equation:

$$\left(\delta_T^2\right)' - \left[2(\ln\theta)' + \frac{3}{\theta} \frac{\partial T_w}{\partial t} - \frac{3a\gamma}{2} - \frac{\beta_T\theta(2\gamma+1)}{T_\infty}\right] \delta_T^2 = \frac{6}{Pr}.$$

The solution of this equation can be written as:

$$\delta_T^2 = \frac{6\theta^2}{Pr} e^{\int_0^t \left(\frac{3}{\theta} \frac{\partial T_w}{\partial \tau} - \frac{3a\gamma}{2} - \frac{\beta_T\theta(2\gamma+1)}{T_\infty}\right) d\tau} \int_0^t \frac{1}{\theta^2(\tau)} e^{-\int_0^\alpha \left(\frac{3}{\theta} \frac{\partial T_w}{\partial \alpha} - \frac{3a\gamma}{2} - \frac{\beta_T\theta(2\gamma+1)}{T_\infty}\right) d\alpha} d\tau.$$

In particular, if  $\theta = const$ , then

$$\delta_T = \sqrt{\frac{12T_\infty}{Pr [3a\gamma T_\infty + 2\beta_T\theta(2\gamma+1)]} \left\{1 - e^{-\left[\frac{3a\gamma}{2} + \frac{\beta_T\theta(2\gamma+1)}{T_\infty}\right] t}\right\}}.$$

b) If  $\beta_T = \frac{T_\infty}{\theta(2\gamma+1)} \left(2\ln'\theta + \frac{3}{\theta} \frac{\partial T_w}{\partial t} - \frac{3a\gamma}{2}\right)$ , then for any  $\theta(t)$  we have:  $\delta_T(t) = \sqrt{\frac{6}{Pr}} t$ .

II) a) Let us assume that  $v_0(t) = \beta\delta(t)$ . Here  $\beta = const$ . Then to determine the dynamic boundary layer, from the first equation of (9) we obtain the following differential equation:

$$\left(\delta^2\right)' + \left[\ln'\omega + \frac{\theta(2\gamma-1)m^2 + 6\beta\gamma\theta}{2\gamma T_\infty} + \frac{5a}{2}\right] \delta^2 = 6,$$

And the solution may be written as follows

$$\delta^2 = 6\omega(t)e^{-\int_0^t \left[ \frac{\theta(2\gamma-1)m^2 + 6\beta\gamma\theta}{2\gamma T_\infty} + \frac{5a}{2} \right] d\tau} \int_0^t \frac{1}{\omega(\tau)} e^{\int_0^\tau \left[ \frac{\theta(2\gamma-1)m^2 + 6\beta\gamma\theta}{2\gamma T_\infty} + \frac{5a}{2} \right] d\alpha} d\tau.$$

If  $\omega = const$  and  $\theta = const$ , then we obtain

$$\delta(t) = \sqrt{\frac{12\gamma T_\infty}{m^2\theta(2\gamma-1) + \gamma(6\beta\theta + 5aT_\infty)} \left( 1 - e^{-\frac{m^2\theta(2\gamma-1) + \gamma(6\beta\theta + 5aT_\infty)}{2\gamma T_\infty} t} \right)},$$

b) if  $\omega = const$  and  $\beta = -\frac{T_\infty}{3\theta} \left[ \frac{5a}{2} + \frac{\theta(2\gamma-1)m^2}{2\gamma T_\infty} \right]$ , then for any  $\theta(t)$  we have:  $\delta(t) = \sqrt{6t}$ .

If the obtained expressions  $\delta_T(t)$  and  $\delta(t)$  calculate the circumferential component of shear stress-  $\tau_{z\varphi}$ , moment of resistance to rotation of the plate-  $M$ , moment coefficient of resistance-  $C_M$  and heat transfer coefficient-  $N$ , we have:

- a) for circumferential component of shear stress  
b)

$$\tau_{z\varphi} = \frac{\rho\omega}{12R^3} rsv^2\sqrt{R_e^3} \left[ -\frac{12}{\delta} + \frac{m^2\theta}{T_\infty} \left( \frac{\delta^2}{\delta_T} - 4\delta - \frac{6\nu_0}{m^2} \right) - (2\ln'\delta + 4\ln'\omega + 3a) \delta \right],$$

- b) for the moment of resistance to rotation of the plate

$$M = -\frac{\pi\rho\omega}{24} sv^2R\sqrt{R_e^3} \left[ -\frac{12}{\delta} + \frac{m^2\theta}{T_\infty} \left( \frac{\delta^2}{\delta_T} - 4\delta - \frac{6\nu_0}{m^2} \right) - (2\ln'\delta + 4\ln'\omega + 3a) \delta \right],$$

- c) for the torque coefficient of resistance

$$C_M = -\frac{\pi}{6\omega\sqrt{R_e}} \frac{s}{R} \left[ -\frac{12}{\delta} + \frac{m^2\theta}{T_\infty} \left( \frac{\delta^2}{\delta_T} - 4\delta - \frac{6\nu_0}{m^2} \right) - (2\ln'\delta + 4\ln'\omega + 3a) \delta \right],$$

- d) for the heat transfer coefficient

$$N = -\frac{r\sqrt{R_e}}{T_w R} \left\{ \frac{\theta}{\delta_T} + Pr \left[ \frac{\theta}{12\delta} \left( a\delta_T + \frac{2\theta\nu_0}{T_\infty} \right) - \frac{\delta_T}{2} \left( \frac{1}{3} \frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{\theta}{\delta_T} \right) \delta_T + \frac{\theta^2\nu_0}{3T_\infty} \right) \right] \right\},$$

where  $R_e = \frac{R^2\omega_0}{\nu}$  - Reynolds number.

## CONCLUSION

From the above mentioned formulas we can easily discern the influence of the magnetic field, injection

velocity of the fluid, angular velocity of the plate, Reynolds and Prandtl's numbers on the physical characteristics of the flow and heat transfer.

**References**

1. A.S. Thomas, K.K. Cornelius. Study slotted suction boundary layer. Aerospace engineering. 1983, vol.1, №1, 98-107 pp. (in English).
2. L. Jikidze. Unsteady rotation problem of the motion infinite porous plate with the falling stream of the conductive fluid with account of magnetic field and heat transfer. International conference “Non--classic problems of mechanics”. MATERIALS. Volume II. 2007, 35-42 pp. (in Russian).
3. L. Jikidze, V. Tsutskiridze. Unsteady rotation problem of the motion infinite porous plate with the falling stream of the conductive fluid with account of magnetic field and heat transfer in case of variable electric conductivity. Basic paradigms in science and technology development for the 21<sup>st</sup> century. TRANSACTIONS. 2012, 56-60 pp. (in English).
4. L. A. Dorfman. Hydrodynamic resistance and a heat transfer of rotating bodies. Fizmatgiz. 1960. (in Russian).

**UDC 008**

**SCOPUS CODE 2604**

**გამტარი სითხის დამცემი ნაკადით უსასრულო ფოროვანი ფირფიტის ბრუნვის არასტაციონარული ამოცანის ამოხსნის მიახლოებითი მეთოდი ამოწოვის ცვლადი სიჩქარისა და ელექტროგამტარობის ცვლადი კოეფიციენტის დროს 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. ცუცქერიძე** მათემატიკის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, მ. კოსტავას 77  
E-mail: b.tsutskiridze@mail.ru

**რეცენზენტები:**

- ზ. ციციშვილი**, სტუ-ის სამშენებლო ფაკულტეტის საინჟინრო მექანიკისა და მშენებლობის ტექნიკური ექსპერტიზის დეპარტამენტის პროფესორი  
E-mail: cicgishvilizura@yahoo.com
- ე. ელერდაშვილი**, სტუ-ის ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის მათემატიკის დეპარტამენტის ასოცირებული პროფესორი  
E-mail: E-mail: ek.elderdashvili@yahoo.com

**ანოტაცია:** ნაშრომში შესწავლილია სიჩქარის  $v_r = ar$ ,  $v_\phi = 0$ ,  $v_z = -2az$  კომპონენტების მქონე გამტარი სითხის დამცემი ნაკადით უსასრულო ფოროვანი ფირფიტის ბრუნვის არასტაციონარული ამოცანა მაგნიტური ველისა და თბოგადაცემის გათვალისწინებით. იგულისხმება, რომ ფირფიტის

მართობულად მოქმედებს ერთგვაროვანი მაგნიტური ველი, ფირფიტაში ხდება იმავე სითხის გამოჟონვა  $\nu_w$  სიჩქარით და ფირფიტასა და სითხეს შორის მიმდინარეობს თბოგადაცემის პროცესი. ამოცანაში განხილულია შემთხვევა, როცა ელექტროგამტარობის კოეფიციენტი და გამოჟონვის სიჩქარე ტემპერატურაზე დამოკიდებული  $\sigma = \sigma_0 \left(1 - \frac{T}{T_\infty}\right)$ ,  $\nu_w = \nu_0 \left(1 - \frac{T}{T_\infty}\right)$  სახის ფუნქციებია.

ამოცანის ამოსახსნელად გამოყენებულია გამტარი სითხის მოძრაობის ნავიე-სტოქსის განტოლებები და ენერგიის განტოლება, რომელიც ჩაწერილია ცილინდრული კორდინატებით. კარმანის განზოგადებული ჩასმების გამოყენებით ეს არაწრფივი კერძოწარმოებულებიანი დიფერენციალური განტოლებები დაყვანილია ჩვეულებრივ არაწრფივ დიფერენციალურ განტოლებებზე და ამოხსნილია მიმდევრობითი მიახლოების მეთოდით.

დინამიკური და სითბური სასაზღვრო ფენების სისქეების განსასაზღვრავად მიღებულია შესაბამისი დიფერენციალური განტოლებები და ჩაწერილია მათი ზუსტი ამოხსნა ზოგიერთ კერძო შემთხვევაში, როდესაც გამოჟონვის სიჩქარე იცვლება სხვადასხვა კანონით და სასაზღვრო ფენათა სისქეებს შორის არსებობს  $\delta_T(t) = \gamma \delta(t)$  სახის დამოკიდებულება. გამოთვლილია დინების ყველა ფიზიკური მახასიათებელი.

**საკვანძო სიტყვები:** გამოჟონვის სიჩქარე; გამტარობა; დამცემი ნაკადი; დინება; თბოგადაცემა; მაგნიტური ველი; სასაზღვრო ფენა; ფორიანობა.

UDC 008

SCOPUS CODE 2604

**ПРИБЛИЖЕННЫЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ЗАДАЧИ ВРАЩЕНИЯ БЕСКОНЕЧНОЙ ПОРИСТОЙ ПЛАСТИНЫ НАБЕГАЮЩИМ ПОТОКОМ ЖИДКОСТИ ПРИ ПЕРЕМЕННОЙ СКОРОСТИ ОТСОСА И КОЭФФИЦИЕНТА ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ С УЧЕТОМ МАГНИТНОГО ПОЛЯ И ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ**

**Джикидзе Л.Р.** Департамент инженерной механики и технической экспертизы строительства, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава 68<sup>б</sup>  
E-mail: levanjkidze@yahoo.com

**Цуцкиридзе В.Н.** Департамент математики, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. М. Костава 77  
E-mail: b.tsutskiridze@mail.ru

**Рецензенты:**

**З. Цицкишвили**, профессор Департамента технической экспертизы инженерной механики и строительства строительного факультета ГТУ

E-mail: cicgishvilizura@yahoo.com

**Э. Элердашвили**, ассоц. профессор Департамента математики факультета информатики и систем управления ГТУ

E-mail: ek.elerdashvili@yahoo.com

**АННОТАЦИЯ.** Методом последовательных приближений в работе изучена нестационарная задача вращения бесконечной пористой пластины набегающим потоком проводящей жидкости с компонентами скорости  $v_r = ar$ ,  $v_\phi = 0$ ,  $v_z = -2az$  с учетом магнитного поля и теплопередачи. Предполагается, что перпендикулярно пластине действует однородное магнитное поле, через пластины происходит отсос той же жидкости со скоростью  $v_w$  и между пластиной и жидкостью идет процесс теплопередачи. В задаче рассмотрен случай, когда коэффициент электропроводности и скорость отсоса являются функциями температуры вида

$$\sigma = \sigma_0 \left( 1 - \frac{T}{T_\infty} \right), \quad v_w = v_0 \left( 1 - \frac{T}{T_\infty} \right).$$

Для решения задачи использованы уравнения движения Навье-Стокса для проводящей жидкости и уравнение энергии, записанные в цилиндрических координатах. С помощью обобщенных подстановок Кармана эти нелинейные дифференциальные уравнения в частных производных приведены к обыкновенным нелинейным дифференциальным уравнениям и решены методом последовательных приближений.

Для определения толщин динамического и теплового пограничных слоев получены дифференциальные уравнения и найдены их точные решения в частных случаях, когда скорость отсоса меняется по разным законам и между толщин пограничных слоев существует зависимость вида  $\delta_T(t) = \gamma\delta(t)$ . Вычислены все физические характеристики течения.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** магнитное поле; набегающий поток; пограничный слой; пористость; проводимость; скорость отсоса; теплопередача; течение.

## ავტორთა საძიებელი

### Author's index

### Указатель авторов

ბარკალაია ბ. 16	როგავა დ. 30
ბიჭიაშვილი ი. 42	სამსონია ნ. 69
გაგნიძე თ. 22	სირბილაძე დ. 30
გამცემლიძე მ. 84	სოსელია მ. 104
გიორგიშვილი ნ. 42	ჩაჩიბაია გ. 69
გიუაშვილი მ. 55	ცეცხლაძე მ. 62
გუდიაშვილი მ. 69	წვერავა მ. 22
ენაგელი რ. 84	ჯაფარაშვილი ნ. 11
ისაკაძე თ. 92	ჯაფარიძე დ. 42
ისაკაძე თ. 97	ჯაფახიშვილი გ. 84
კაიშაური გ. 11	Gudiashvili M. 78
კურტანიძე ხ. 16	Jikidze L. 110
კურტანიძე ზ. 104	Radmehr M. 78
კურტანიძე ზ. 16	Sabelashvili T. 78
მეგრელიძე თ. 92	Tsutskiridze V.110
მეგრელიძე თ. 97	

## ავტორთა საყურადღებოდ!

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამეცნიერო შრომების კრებული არის ყოველკვარტალური რეფერირებადი პერიოდული გამოცემა, რომელიც რეგისტრირებულია რამდენიმე საერთაშორისო მონაცემთა ბაზაში.

- სტატია (მიიღება ქართულ, ინგლისურ, რუსულ ენებზე) ქვეყნდება ორიგინალის ენაზე.
- სტატიის ავტორთა რაოდენობა არ უნდა აღემატებოდეს სამს.
- ავტორს შეუძლია საგამომცემლო სახლში 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, დაიწყოს დისკუსია ავტორთან, გამოითხოვოს სტატიის სრული ტექსტი და ა.შ.*

#### ანოტაცია უნდა იყოს:

- ინფორმაციული (არ უნდა შეიცავდეს ზოგად სიტყვებსა და ფრაზებს);
- ტექსტი ინგლისურ და რუსულ ენებზე უნდა იყოს ორიგინალური;
- უნდა ასახავდეს სტატიის ძირითად შინაარსსა და კვლევის შედეგებს;
- სტრუქტურირებული (მიჰყვებოდეს სტატიაში შედეგების აღწერის ლოგიკას).

#### უნდა შეიცავდეს:

- სტატიის საგანს, თემას, მიზანს (რომლებსაც უთითებთ იმ შემთხვევაში, თუ ეს არ არის ცხადი სტატიის სათაურიდან);
- კვლევის ჩატარების მეთოდს ან მეთოდოლოგიას (სამუშაოს ჩატარების მეთოდის ან მეთოდოლოგიის აღწერა მიზანშეწონილია იმ შემთხვევაში, თუ იგი გამოირჩევა სიახლით, საინტერესოა მოცემული ნაშრომის თვალსაზრისით);
- კვლევის შედეგებს;
- შედეგების გამოყენების არეალს;
- დასკვნას;

- საკვანძო სიტყვებს, დალაგებულს ანბანის მიხედვით (ქართულ, ინგლისურ და რუსულ ენებზე);
- სტატიაში ქვესათაურებით გამოკვეთილ შესავალს, ძირითად ნაწილს და დასკვნას;
- სურათების ან ფოტოების კომპიუტერულ ვარიანტს, შესრულებულს ნებისმიერი გრაფიკული ფორმატით, გარჩევადობა – არანაკლებ 150 dpi-სა.
- ლიტერატურა
  - საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალების მონაცემთა ბაზების რეკომენდაციით, გამოყენებული ლიტერატურის რაოდენობა სასურველია იყოს არანაკლებ ათისა.

### **წარმოდგენთ გამოსაქვეყნებელ სტატიაში გამოყენებული ლიტერატურის გაფორმების წესს:**

ყველა ავტორის გვარი და ინიციალები მოცემული უნდა იყოს ლათინური ანბანის ასოებით, ე.ი. ტრანსლიტერაციით, სტატიის სახელწოდება – თარგმნილი ინგლისურად, წყაროს (ჟურნალის, შრომების კრებულის, კონფერენციის მასალების) სახელწოდება – ტრანსლიტერაციით; გამოსასვლელი მონაცემები – ინგლისურ ენაზე (სტატიის ენა მიეთითება ფრჩხილებში).

### **ლიტერატურა (ნიმუში)**

1. Jacques Sapir. Energy security as a common advantages.  
[http://www.globalaffairs.ru/rumbler/n\\_7780](http://www.globalaffairs.ru/rumbler/n_7780) (In Russian).
2. “Official website of the International Energy Agency:  
<http://www.iea.org/topics/energysecurity/>” (In English).
3. International Energy Agency “Key World Energy Statistics” 2014 (In English).
4. Energy strategy of France McDoleg\_butenko20 May, 2009 (In Russian)
5. G.G. Svanidze, V.P. Gagua, E.V. Sukhishvili “Rene-wable energy resources of Georgia”, Leningrad, Hydrometizdat, 1987, pp. 75-76 (In Russian).
6. Revaz Arveladze, Tengiz Kereselidze “The Georgian Full Independence of Electry Power Is Supported By Hydropower”. Sakartvelos Teqnikuri Universitetis Archil Eliashvilis Saxelobis Martvis sistemebis Institutis Proceedings. N18 2014. Tbilisi (In Georgian).

გთავაზობთ სტატიის წარმოდგენისთვის საჭირო დოკუმენტაციის ჩამონათვალს საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის თანამშრომლებისა და დოქტორანტებისთვის:

- ორი რეცენზია (იხ. ნიმუში)  
[http://publishhouse.gtu.ge/site\\_files/recenziis\\_nimushi.docx](http://publishhouse.gtu.ge/site_files/recenziis_nimushi.docx)
- ფაკულტეტის საგამომცემლო საქმის დარგობრივი კომისიის ოქმის ამონაწერი (იხ. ნიმუში) [http://publishhouse.gtu.ge/site\\_files/aqtis\\_forma.docx](http://publishhouse.gtu.ge/site_files/aqtis_forma.docx)  
დოკუმენტები დამოწმებული უნდა იყოს ფაკულტეტის ბეჭდით.

## Guidelines for Authors!

Collection of Academic Works of Georgian Technical University is a quarterly refereed periodical included in several international journal lists.

- An article (accepted in Georgian, English or Russian) is published in the original language;
- The number of authors of an article should not exceed three;
- Authors should submit original copies of one or more articles for publication to the publishing house or send scan versions to [sagamomcemlosakhli@yahoo.com](mailto:sagamomcemlosakhli@yahoo.com) along with supporting documentation, but only two articles from the same author(s) will be published in one edition;

### ***To submit scan versions via email please follow the instructions:***

- *In the Subject line indicate the collection of works and the name(s) of author(s).*
- *Attach the file(s) properly;*
- *Use ZIP or RAR file compressors in case of large files to attach.*

- The article should be literal, well-structured and apply proper terminology to convey the author's constructive arguments relevant to the subject. The authors and reviewers are responsible for the content and quality of an article;
- The collection of works of GTU is a non-commercial publication and running the articles of our researchers and for PhD students is free of charge;
- According to the Resolution No.200 of GTU Academic Council (22.01.2010), authors who are not the employees at the University, should make the preliminary payment by cash or transfer to have their paper published (10 GEL per page). Copy of the payment receipt should be enclosed with the supporting documentation (two reviews and a reference by the organization's academic board on publishing the article in GTU collection of scientific papers). "Cost of article publication" shall appear as subject in the "purpose of payment" field.

***GTU bank details: LEPL Georgian Technical University; organization's identification number 211349192; beneficiary bank: State Treasury; beneficiary: joint treasury account; bank code: TRESGE22; Account number: treasury code 708977259.***

### **How to form an academic article:**

- The text should be presented in print-out form (A4), no less than 5 pages (margins - 2 cm, line spacing - 1,5);
- Only MS Word versions of texts are accepted (doc or docx) presented electronically on any magnetic carrier;
- For Georgian texts: font - Acadnux, font size - 12 pt;
- For English and Russian texts: font - Times New Roman, font size - 12 pt.

### **The accompanying information to the article should include:**

- Universal Decimal Classification (UDC)

- Information about the author(s) and reviewers in Georgian, English and Russian:
  - Full name, academic title, email and phone number of each author;
  - Department, full name of organization – place of employment of each author, area/town, country;
  - Full name, email, academic title, department or place of employment of each reviewer.

**The article should include:**

- An abstract in Georgian, English and Russian (100-150 words long). **For foreign readers an abstract is the only source of information about the content of an article and results of the research conveyed by it. An abstract therefore defines the reader's interest towards the article and possibility of further outreach to the author for the full text, etc.**

An abstract should be:

- Informative (free of generalized terms and statements);
- Original (with quality translations in English and Russian with the proper application of terminology);
- Specific (conveying the core content of an article);
- Properly structured (consistent with the research results given in the article).

**An abstract should contain:**

- The subject, topic and objective of an article (indicated in case if these are not clear from the title);
- Method or methodology of research performed (expected to be described when and if this method or methodology are new and interesting with reference to the article);
- Research results;
- Area of application of research results;
- Conclusion.

- Key words sorted by alphabet (Georgian, English and Russian);
- Sections should be outlined Introduction, Main Part and Conclusion;
- Digital version of drawings or images in any graphic format, resolution 150 dpi;

- Reference

- By the recommendations of Databases of International Scientific Journals the number of references should be no less than ten.

**How to form the reference section in the article:**

Name and surname of each author should be given in Latin letter initials, title of the articles – translated in English, name of the source (journal, collection of works, conference materials) – with transliteration (original language of the article should be indicated in brackets).

**References (sample)**

1. Jacques Sapir. Energy security as a common advantages.  
[http://www.globalaffairs.ru/rumbler/n\\_7780](http://www.globalaffairs.ru/rumbler/n_7780) (In Russian).
2. "Official website of the International Energy Agency:  
<http://www.iea.org/topics/energysecurity/>" (In English).

3. International Energy Agency “Key World Energy Statistics” 2014 (In English).
4. Energy strategy of France McDoleg\_butenko20 May, 2009 (In Russian).
5. 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).

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.

## К сведению авторов!

Сборник научных трудов Грузинского технического университета является ежеквартальным реферируемым периодическим изданием, которое зарегистрировано в нескольких международных базах данных.

- Статьи (принимаются на грузинском, английском, русском языках) публикуются на языке оригинала.
- Количество авторов статьи не должно превышать 3.
- Автор может предоставлять для публикации в Издательском доме или по электронной почте (на следующий адрес: sagatomcemlosakhli@yahoo.com) одну или несколько статей, а также в сканированных файлах сопутствующую документацию, но в одном номере могут быть опубликованы только две работы.

- **В случае статей, присылаемых по эл. почте, просьба предусмотреть следующие требования:**

- указать в эл. Subject-е название сборника (тема) и фамилию автора (авторов);
- использовать Attach (приложить файл);
- в случае большого объема файла применить архиватор (ZIP, RAR).

- Статья должна быть составлена грамотно, с соблюдением терминологии. Автор (авторы) и рецензенты несут ответственность за содержание и качество статьи.

- Поскольку сборник трудов Грузинского технического университета является некоммерческим изданием, для сотрудников статьи публикуются бесплатно.

- Согласно постановлению академического совета №200 (22.01.2010 г.), физическое лицо, не являющееся сотрудником университета, для публикации статьи в сборнике трудов должно заранее внести или перечислить необходимую сумму (1 страница стоит 10 лари) за статью и соответствующую документацию (две рецензии и направление научного совета организации о публикации статьи в сборнике трудов ГТУ), приложив справку об оплате. В графе «Назначение оплаты» следует записать «стоимость публикации статьи».

**Банковские реквизиты ГТУ: Юридическое лицо публичного права (ЮЛПП); Грузинский технический университет; идентификационный код 211349192; банк приема; государственная казна; название получателя: единый счет казны; код банка: TRESGE22; счет получателя: код казны 708977259.**

### Предлагаем порядок оформления научной статьи:

- статья должна быть представлена в напечатанном виде на странице формата А4, содержать не меньше 5 страниц (поля – 2 см, интервал – 1,5);
- статья должна быть выполнена в виде файла doc или docx (MS Word) и записана на любом магнитном носителе;
- для грузинского текста применять шрифт Acadnux, 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 качественным, 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.



რედაქტორები: მ. ბაზაძე, ნ. ყიფილაშვილი, მ. პრობრაჟუნსკაია  
კომპიუტერული უზრუნველყოფა ე. ქარჩავასი

გადაეცა წარმოებას 05.07.2016. ხელმოწერილია დასაბეჭდად 30.09.2016. ქაღალდის ზომა  
60X84 1/8. პირობითი ნაბეჭდი თაბახი 8. ტირაჟი 100 ეგზ.

საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, თბილისი, კოსტავას 77

