

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი  
GEORGIAN TECHNICAL UNIVERSITY  
ГРУЗИНСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

---

ISSN 1512-0996

უ რ თ ე ბ ი  
TRANSACTIONS  
Т Р У Д Ы

№1(479)



თბილისი – TBILISI – ТБИЛИСИ  
2011

## სარედაქციო კოლეგია:

ა. ფრანგიშვილი (თავმჯდომარე), ლ. კლიშიაშვილი (თავმჯდომარის მოადგილე), ზ. გასიტაშვილი (თავმჯდომარის მოადგილე), ა. აბრალავა, გ. აბრამიშვილი, ა. აბშილავა, თ. ამბროლაძე, თ. ბაციკაძე, ჯ. ბერიძე, თ. გაბადაძე, ჯ. გახოკიძე, ო. გელაშვილი, ა. გიგინეიშვილი, აღ. გრიგოლიშვილი, ე. ელიზბარაშვილი, ს. ესაძე, ვლ. ვარდოსანიძე, უ. ზვიადაძე, ო. ზუმბურიძე, დ. თავხელიძე, ე. თევზაძე, მ. თევზაძე, ს. თოფურია, ბ. იმნაძე, ი. კვესელავა, ტ. კვიციანი, თ. ლომინაძე, ი. ლომიძე, მ. მაცაბერძე, თ. მეგრელიძე, ა. მოწონელიძე, ლ. მძინარიშვილი, დ. ნატროშვილი, შ. ნემსაძე, დ. ნოზაძე, გ. სალუკვაძე, ქ. ქოქრაშვილი, ე. ქუთელია, ა. შავგულიძე, მ. ჩხეიძე, თ. ჯაგოდნიშვილი, ნ. ჯიბლაძე, თ. ჯიშკარიანი.

## EDITORIAL BOARD:

A. Prangishvili (chairman), L. Klimiashvili (vice-chairman), Z. Gasitashvili (vice-chairman), A. Abalava, G. Abramishvili, A. Abshilava, T. Ambroladze, T. Bacikadze, J. Beridze, T. Gabadadze, J. Gakhokidze, O. gelashvili, A. Giginishvili, Al. Grigolishvili, E. Elizbarashvili, S. Esadze, Vl. Vardosanidze, U. Zviadadze, O. Zumburidze, D. Tavxelidze, E. Tevzadze, M. Tevzadze, S. Tofuria, B. ImnaZe, I. Kveselava, T. Kviciani, T. Lominadze, I. Lomidze, M. Macaberidze, T. MegreliZe, A. Motzonelidze, L. Mdzinarishvili, D. Natroshvili, Sh. Nemsadze, D. Nozadze, G. Saluqvadze, K. Kokrashvili, E. Qutelia, A. Shavgulidze, M. Chkheidze, T. Jagodnishvili, N. Jibladze, T. Jishkariani.

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

А. Прангишвили (председатель), Л. Климиашвили (зам. председателя), З. Гаситашвили (зам. председателя), А. Абралава, Г. Абрамишвили, А. Абшилава, Т. Амбролаძე, Т. Бациკაძე, Дж. Беридзе, Т. Габаდაძე, Дж. Гахокиძე, О. Гелашвили, А. Гигинеишвили, Ал. Григолишвили, Е. Елизбарашвили, С. Есадзе, Вл. Вардосаниძე, У. Звиадაძე, О. Зумбуриძე, Д. Тавхелиძე, Е. Тевзаძე, М. Тевзаძე, С. Топурия, Б. Имнаძე, И. Квеселავა, Т. Квициანი, Т. Ломинаძე, И. Ломидзе, М. Мацаберидзе, Т. Мегрелиძე, А. Моцонелиძე, Л. Мдзинаришвили, Д. Натрошвили, Ш. Немсаძე, Д. Нозაძე, Г. Салукваძე, К. Кокрашвили, В. Кутелия, А. Шавгулиძე, М. Чхеიძე, Т. Джагоднишвили, Н. Джибლაძე, Т. Джишкარიანი.



საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 2011

Publishing House “Technical University”, 2011

Издательский дом “Технический Университет”, 2011

<http://www.gtu.ge/publishinghouse/>



# შინაარსი

## სამშენებლო

ნ. ბერიშვილი, თ. ხმელიძე, რ. გორგობიანი. ვირფიტების სუფთა ღუნვის ახლებური ბაზარება .....	9
ნ. ბერიშვილი, თ. ხმელიძე, რ. გორგობიანი. სობიერთი წინააღმდეგობანი ვირფიტების სუფთა ღუნვის თეორიაში .....	12
ლ. ბერიძე. კონტროლისა და მართვის ბოჭკოვან-ოპტიკური სისტემები ვიბრატორისათვის .....	15

## სამთო-გეოლოგია

ხ. ავალიანი, უ. ზვიადაძე. სუფსა - ომზარეთის ნავთობსაძიებო მოედნის ჰიდროგეოლოგიური ზრილი, - კოლხეთის დაბლობზე ჰიდროგეოქიმიური ინვესიის ბამონათულება .....	20
ი. მშვენიერაძე. ბიოტიტის მინერალოგია და გეოქიმია ძირულის კრისტალური მასივის კალიუმთან ბრანიტებში .....	25

## ქიმიური ტექნოლოგია და მეტალურგია

რ. გვეტაძე, დ. გვეტაძე. ისტორიული სახელწოდებები ასახული ასომთავრულ ანბანურ სისტემაში .....	29
ზ. სიმონგულაშვილი, მ. ცირდავა, ვ. კლდიაშვილი, შ. ნემსაძე, ნ. ჩიქოვანი. საკახემ მასალაში ბამავალი დენების დამოკიდებულება ვეროქმენადნობთა ღუმლის გეომეტრიულ ზომებზე .....	36
ო. მიქაძე, გ. დარსაველიძე, ნ. მაისურაძე, მ. დარჩიაშვილი. ქრომის ოქსიდების ახალი სტრუქტურები და თვისებები მეტალ-ოქსიდ-ნახევარგამტარის სისტემაში .....	42

## ინფორმატიკა, მართვის სისტემები

გ. ამილახვარი, დ. გულუა, გ. ფიფია. M/M/4+3 სისტემის მოდელირება და ანალიზი .....	46
ი. ჩხეიძე, მ. ბერიშვილი, ლ. ტოკაძე. კარდირთმის სინშირის დინამიკური სისტემის ანალიზი კომპიუტერული ვიზუალიზებული მეთოდების საფუძველზე .....	51
ს. თოფურია, ვ. ხოჭოლავა. სფეროზე ლაპლასის ლაუნარული მწკრივების შესახებ .....	55
ი. ზედგინიძე, თ. მენაბდე. სასწავლო პროცესის ხარისხის შეფასების ინტელექტუალური სისტემა .....	61

## სატრანსპორტო, მანძანათმშენებლობა

გ. შარაშენიძე, პ. კურტანიძე, ნ. მღებრიშვილი. თ. დუნდუა, ს. შარაშენიძე. ოპტიმალური სამუხრუჭო გერკეტული გადაცემის დამატებითი თავისუფალი მოძრაობის დიფერენციალური განტოლებები .....	67
--	----

<b>დ. თავხელიძე, ზ. მჭედლიშვილი, ზ. კუბლაშვილი.</b> მოძრაობის ორი თავისუფლების ხარისხის ხუთბოლა ბერკეტულ მქანნიზმში პირდაპირი გეომეტრიული ამოცანის ამოხსნის საკითხისათვის .....	72
<b>გ. შარაშენიძე, თ. ღუნდუა, ნ. მღებრიშვილი, პ. კურტანიძე, ს. შარაშენიძე.</b> ვაბონების სამუხრუჭო ბერკეტული ბალანსის ელემენტების სამქსალშატაციო მუშაობის ანალიზი ცვეთების ბათვალისწინებით .....	78
<b>თ. ბუხნიკაშვილი, პ. ბუხნიკაშვილი.</b> მიწისმჭრელი მანქანების მუშა ორბანობის მოღერნიზაცია .....	82

**ჰუმანიტარულ-სოციალური**

<b>რ. ქუთათელაძე, ა. კობიაშვილი.</b> ენერბოსისტემის ჰვმსაღზრეპზე ბალარტვების მიმღევრობის ბმნერაციის მოღელირება .....	87
<b>თ. შიუკაშვილი.</b> ჰვმმო სოღაშნის „სამების ეკლესია“ .....	91
<b>ნ. გამყრელიძე.</b> ურაზმოლობიური ერთეულის შინაფორმა, სიმბოლიზაციისა ღა კვაზისტერეოტიკული სიტუაციის მოღელი .....	95
<b>ნ. გამყრელიძე.</b> ურმიმი ღა აღამიანის მეტაფორული აზროვნება .....	99

<b>ავტორთა საიიბელი</b> .....	102
<b>ავტორთა საჭურაღღეგოდ</b> .....	103

# CONTENTS

## BUILDING

- N. Berishvili, T. Khmelidze, R. Giorgobiani.** NEW APPROACH TO PLATES PURE BEND ..... 9
- N. Berishvili, T. Khmelidze, R. Giorgobiani.** SOME CONTRADICTIONS IN THE THEORY OF PLATES PURE BEND ..... 12
- L. Beridze.** CONTROL AND MONITORING FIBROUS-OPTICAL SYSTEMS FOR VIBRATOR ..... 15

## MINING AND GEOLOGY

- Kh. Avaliani, U. Zviadadze.** HYDROGEOLOGICAL PROFILE OF OIL PROSPECTING AREA SUPSA – OMPARETI, AS AN EXPRESSION OF HYDROGEOCHEMICAL INVERSION ON KOLKHIDA LOWLAND ..... 20
- I. Mshvenieradze.** MINERALOGY AND GEOCHEMISTRY OF BIOTITE OF DZIRULA CRYSTALLINE ROCK-MASS OF CALIUM GRANITE ..... 25

## CHEMICAL TECHNOLOGY AND METALLURGY

- R. Gvetadze, D. Gvetadze.** HISTORIC NAMES REFLECTED IN ASOMTAVRULI ALPHABETICAL SYSTEM ..... 29
- Z. Simongulashvili, M. Tsirdava, V. Kldiashvili, Sh. Nemsadze, S. Nebieridze.** DEPENDENCE OF CURRENTS FLOWING THROUGH CHARGE MATERIALS ON GEOMETRICAL DIMENSIONS OF FERRO-ALLOY STOVE ..... 36
- O. Mikadze, G. Darsavelidze, N. Maisuradze, M. Darchiashvili.** NEW STRUCTURES AND PROPERTIES OF CHROMIUM OXIDES IN THE METAL-OXIDE-SEMICONDUCTOR SYSTEM..... 42

## INFORMATIC, MANAGING SYSTEMS

- G. Amilakhvari, D. Gulua, G. Pipia.** CREATION OF MODEL AND ANALYSIS OF SYSTEM M/M/4+3 ..... 46
- I. Chkheidze, M. Berishvili, L. Tokadze.** THE ANALYSIS OF DYNAMIC SYSTEM OF FREQUENCY CARDIORHYTHM ON THE BASIS OF THE COMPUTER VISUALIZED METHODS ..... 51
- S. Topuria, V. Khocholava.** ABOUT LACUNAR LAPLACE SERIES ON THE SPHERE ..... 55
- I. Zedginidze, T. Menabde.** INTELLECTUAL SYSTEM OF ESTIMATION OF STUDYING PROCESS QUALITY ..... 61

## TRANSPORT, MECHANICAL ENGINEERING

- G. Sharashenidze, P. Kurtanidze, N. Mgebrishvili, T. Dundua, S. Sharashenidze.** DIFFERENTIAL EQUATIONS OF ADDITIONAL FREE MOTION OF OPTIMUM BRAKE LEVER TRANSMISSION..... 67
- D. Tavkheldidze, Z. Mchedlishvili, Z. Kublashvili.** SOLUTION OF STRAIGHT GEOMETRICAL PROBLEM FOR FIVE LINK MECHANISM WITH TWO DEGREES OF FREEDOM ..... 72

<b>G. Sharashenidze, T. Dundua, N. Mgebrishvili, P. Kurtanidzr, S. Sharashenidze.</b> ANALYSIS OF OPERATIONAL WORK OF BRAKE LEVERAGE TRANSMISSION ELEMENTS OF THE CARS WITH TAKING INTO ACCOUNT DETERIORATIONS .....	78
<b>T. Bukhnikashvili, P. Bukhnikashvili.</b> UP-GRADING OF EARTH-CUTTING MACHINE EXECUTIVE DEVICE .....	82
<b>THE HUMANITIES-SOCIAL</b>	
<b>R. Kutateladze, A. Kobiashvili.</b> SIMULATION OF SWITCHING SEQUENCE GENERATION AT SUBSTATIONS OF POWER SYSTEM .....	87
<b>T. Shiukashvili.</b> THE TEMPLE OF THE TRINITY IN KVEMO KHODASHENI.....	91
<b>N. Gamkrelidze.</b> THE INTERNAL FORM OF PHRASEOLOGICAL UNIT, AS A MODEL OF SYMBOLIZATION AND QUASYSYTEREOTYPE SITUATION .....	95
<b>N. Gamkrelidze.</b> FRAME AND THE METAPHORIC THINKING OF A PERSON.....	99
<b>AUTHORS INDEX</b> .....	102
<b>TO THE AUTHORS ATTENTION</b> .....	103

# СОДЕРЖАНИЕ

## СТРОИТЕЛЬСТВО

- Н.Ш. Беришвили, Г.П. Хмелидзе, Р.Ш. Гиоргобиани.** НОВЫЙ ПОДХОД К ЧИСТОМУ ИЗГИБУ ПЛАСТИНОК..... 9
- Н.Ш. Беришвили, Т.П. Хмелидзе, Р.Ш. Гиоргобиани.** НЕКОТОРЫЕ ПРОТИВОРЕЧИЯ В ТЕОРИИ ЧИСТОГО ИЗГИБА ПЛАСТИНОК ..... 12
- Л.Н. Беридзе.** ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ВИБРАТОРОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ..... 15

## ГОРНОЕ ДЕЛО И ГЕОЛОГИЯ

- Х. А. Авалиани, У.И. Звиададзе.** ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ НЕФТЕПОИСКОВОЙ ПЛОЩАДИ СУПСА – ОМПАРЕТИ КАК ВЫРАЖЕНИЕ ГИДРОХИМИЧЕСКОЙ ИНВЕРСИИ НА КОЛХИДСКОЙ НИЗМЕННОСТИ ..... 20
- И.Н. Мшвениерадзе.** МИНЕРАЛОГИЯ И ГЕОХИМИЯ БИОТИТА КАЛИЕВЫХ ГРАНИТОВ ДЗИРУЛЬСКОГО КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО МАССИВА..... 25

## ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ, МЕТАЛЛУРГИЯ

- Р.Г. Гветадзе, Д.Р. Гветадзе.** ИСТОРИЧЕСКИЕ ИМЕНА, ЗАСВИДЕТЕЛЬСТВЕННЫЕ В ДРЕВНЕГРУЗИНСКОЙ АЛФАВИТНОЙ СИСТЕМЕ «АСОМТАВРУЛИ» ..... 29
- З.А. Симонгулашвили, М.О. Цирдава, В.И. Клдиашвили, Ш.А. Немсадзе, Н.Р. Чиковани.** ЗАВИСИМОСТЬ ТОКА ШИХТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ОТ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ ФЕРРОСПЛАВНОЙ ПЕЧИ ..... 36
- О.И. Микадзе, Г.Ш. Дарсавелидзе, Н.И. Майсурадзе, М.Д. Дарчиашвили.** НОВЫЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВА ОКСИДОВ ХРОМА В СИСТЕМЕ МЕТАЛЛ-ОКСИД-ПОЛУПРОВОДНИК ..... 42

## ИНФОРМАТИКА, СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

- Г.Н. Амилахвари, Д.В. Гулуа, Г.М. Пипиа.** ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ И АНАЛИЗ СИСТЕМЫ М/М/4+3 ..... 46
- И.М. Чхеидзе, М.Г. Беришвили, Л.Ш. Токадзе.** АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЧАСТОТЫ КАРДИОРИТМА НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ВИЗУАЛИЗИРОВАННЫХ МЕТОДОВ ..... 51
- С.Б. Топурия, В.В. Хочолава.** О ЛАКУНАРНЫХ РЯДАХ ЛАПЛАСА НА СФЕРЕ ..... 55
- И.Г. Зедгинидзе, Т.Р. Менабде.** ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА ..... 61

## ТРАНСПОРТ, МАШИНОСТРОЕНИЕ

- Г.С. Шарашенидзе, П.Р. Куртанидзе, Н.Н. Мгебришвили, Т.ДЖ. Дундуа, С.Г. Шарашенидзе.** ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ ДОБАВОЧНОГО СВОБОДНОГО ДВИЖЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ ТОРМОЗНОЙ РЫЧАЖНОЙ ПЕРЕДАЧИ ..... 67

<b>Д.Д. Тавхелидзе, З.Т. Мchedlishvili, З.П. Кублашвили. К ВОПРОСУ РЕШЕНИЯ ПРЯМОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ ПЯТИЗВЕННОГО РЫЧАЖНОГО МЕХАНИЗМА С ДВУМЯ СТЕПЕНЯМИ СВОБОДЫ ДВИЖЕНИЯ .....</b>	<b>72</b>
<b>Г.С. Шарашенидзе, Т.Дж. Дундуа, Н.Н. Мгебришвили, П.Р. Куртанидзе, С.Г. Шарашенидзе. АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ РАБОТЫ ЭЛЕМЕНТОВ ТОРМОЗНОЙ РЫЧАЖНОЙ ПЕРЕДАЧИ ВАГОНА С УЧЕТОМ ИЗНОСА .....</b>	<b>78</b>
<b>Т.П. Бухникашвили, П.Т. Бухникашвили. МОДЕРНИЗАЦИЯ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ЗЕМЛЕРЕЖУЩИХ МАШИН .....</b>	<b>82</b>
<b>ГУМАНИТАРНО-СОЦИАЛЬНАЯ</b>	
<b>Р.Г. Кутателадзе, А.А. Кобиашвили. МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕНЕРАЦИИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЙ НА ПОДСТАНЦИЯХ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ .....</b>	<b>87</b>
<b>Т.Д. Шиукашвили. ЦЕРКОВЬ ТРОИЦЫ В КВЕМО ХОДАШЕНИ .....</b>	<b>91</b>
<b>Н.О. Гамкрелидзе. ВНУТРЕННЯЯ ФОРМА ФРАЗЕОЛОГИЧЕСКОЙ ЕДИНИЦЫ, КАК МОДЕЛЬ СИМВОЛИЗАЦИИ И КВАЗИСТЕРЕОТИПНОЙ СИТУАЦИИ.....</b>	<b>95</b>
<b>Н.О. Гамкрелидзе. ФРЕЙМ И МЕТАФОРИЧЕСКОЕ МЫШЛЕНИЕ ЧЕЛОВЕКА .....</b>	<b>99</b>
<b>ПЕРЕЧЕНЬ АВТОРОВ .....</b>	<b>102</b>
<b>К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ .....</b>	<b>103</b>



# სამშენებლო საქცია

შპს 539.3

ფირფიტების სუფთა ღუნვის ახლებური ბაზრება

ნ. ბერიშვილი, თ. ხმელიძე, რ. გიორგობიანი

საინჟინრო მექანიკის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, კოსტავას 77

E-mail: elitegeo2002@gmail.com

**რეზიუმე:** განხილულია ფირფიტაზე ერთი მიმართულებით მოქმედი გარე ძალებისგან გამოწვეული მღუნავი მომენტების გავლენა მისი მართობული მიმართულებით დაძაბულ მდგომარეობაზე, რაც ფირფიტების სუფთა ღუნვის კლასიკურ თეორიაში უგულვებლყოფილია პუასონის კოეფიციენტის მუდმივობის გამო  $x$  და  $y$  დერძების მიმართულებით, რის გამოც ფირფიტის კიდებზე სასაზღვრო პირობები ვერ კმაყოფილდება დეფორმაციის შესაბამისი ძაბვებიც რომ ყოფილიყო მხედველობაში მიღებული.

შემოთავაზებულია, რომ ფირფიტაზე მოქმედი გარე მღუნავი მომენტების მართობული მიმართულებითაც აღიქვება ცვლადი სიდიდის ძაბვები და შესაბამისად ცვლადი მომენტები, რაც აკმაყოფილებს სასაზღვრო პირობებს. ჩაწერილია ფირფიტის ღუნვის დიფერენციალური განტოლება, რომლის ინტეგრებითაც მიღებულია ფირფიტის ჩაღუნვის გამოსახულება.

**საკვანძო სიტყვები:** ფირფიტა; სუფთა ღუნვა; გარე ძალები; სასაზღვრო პირობები; ჩაღუნვა.

## 1. შესავალი

ფირფიტების ღუნვის დროს ვგულისხმობთ, რომ გარე ძალები მოდებულება შუა სიბრტყის გვერდით ზედაპირებთან გადაკვეთის კონტურზე. გაანგარიშება (ძაბვებისა და დეფორმაციების გამოთვლა) წარმოებს ფირფიტების ღუნვის კლასიკური თეორიის საფუძველზე, რომელიც ეფუძნება გ. კირპოფის მიერ შემოთავაზებულ ცნობილ ჰიპოტეზას. ღუნვის ძირითადი განტოლების (სოფი ჟერმენი) ამოხსნა უშუალოდ ინტეგრებით არ ხერხდება, ამიტომ მას ვეძებთ უსასრულო მწკრივის სახით. სწორკუთხა ფირფიტის კონტურის სახსროვნად დაყრდნობის შემთხვევაში ვიყენებთ ნაივის სინუსების ორმაგ ტრიგონომეტრიულ მწკრივებს. ი. ბუბნოვი და ბ. გალიორკინმა შექმნეს ძირითადი განტოლე-

ბის გადაწყვეტის მეთოდი, რომელიც ე.წ. ორ-თოგონალური ფუნქციების თვისებებს ეყრდნობა. საინტერესოა რიტც-ტიმოშენკოს მეთოდი, რომელიც ფირფიტის შუა წერტილების  $u, v$  და  $w$  გადაადგილებებს წარმოადგენს კინემატიკური სასაზღვრო პირობების დამაკმაყოფილებელი მწკრივის საშუალებით. ამ მეთოდების გარდა არსებობს სხვა უამრავი მიახლოებითი მეთოდებიც, რომლებიც რიგ შემთხვევაში კარგ შედეგებს იძლევა [1, 2].

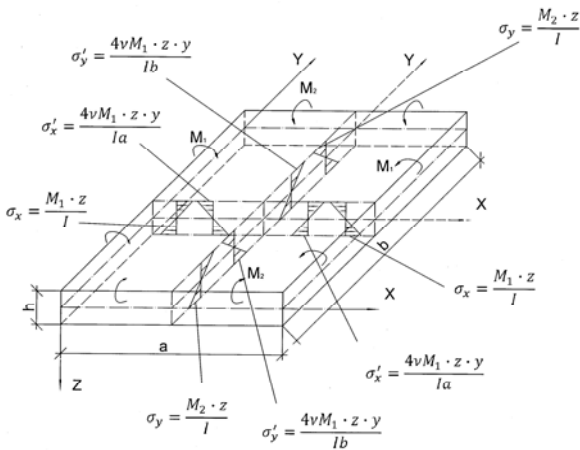
ამჟამად ფირფიტების ღუნვის ამოცანის გადასაწყვეტად მიმდინარეობს თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევები და გაანგარიშების ახალი მეთოდები იქმნება ან არსებული მეთოდების დახვეწა ხდება.

დღემდე არსებული ფირფიტების სუფთა ღუნვის კლასიკურ თეორიაში ითვლება, რომ თუ სწორკუთხა ფირფიტის მოპირდაპირე გვერდებზე მოქმედებს თანაბრად განაწილებული  $M_x$  და  $M_y$  მღუნავი მომენტები, მაშინ, ვთქვათ,  $x$  დერძის მიმართულებით მოქმედი  $M_x$  მომენტი გავლენას არ ახდენს მისი მართობი მიმართულებით ( $y$  დერძი) დაძაბულ მდგომარეობაზე, რაც საბოლოო ჯამში იმას იწვევს, რომ ფირფიტის კონტურზე სასაზღვრო პირობები არ კმაყოფილდება.

## 2. ძირითადი ნაწილი

განვიხილოთ ფირფიტა, რომლის გვერდების გასწვრივ მოქმედებს განაწილებული მღუნავი მომენტები  $M_1$  და  $M_2$ .  $M_1$  -ის მოქმედების შედეგად ფირფიტის ზედა ბოჭკოები  $y$  დერძის მიმართულებით შეიკუმშება, ქვედა ბოჭკოები კი გაიჭიმება, რის გამოც  $x$  დერძის მიმართულებითაც შესაბამისად ბოჭკოები გაიჭიმება და შეიკუმშება. ეს დეფორმაციები  $x$  დერძის მიმართულებით განხორციელდება  $M_1$  მომენტის მოქმედებით წარმოქმნილი ძაბვების საშუალებით, რომლებიც ფირფიტის მთელ სისქეზე ინტეგრების შედეგად წარმოშობს  $x$  დერძის მიმართულებით მოქმედ მღუნავ მომენტებს. ასეთივე სუ-

რათს ექნება ადგილი  $M_x$  და  $M_y$  მომენტების მოქმედების შედეგად. ასეთი მოქმედება  $y$  ღერძის გასწვრივ შექმნის გამჭიმავ და მკუმშავ ძალებს, რომლებიც ფირფიტის სისქეზე ინტეგრებით წარმოშობს მღუნავ მომენტებს. ამგვარად  $M_1$  და  $M_2$  გარე დატვირთვის მოქმედებით  $x$  და  $y$  ღერძების მიმართულებით წარმოიშვება დამატებითი მღუნავი მომენტები, რომლებიც  $M_1$  და  $M_2$  მომენტებით წარმოშობილ ჩაღუნვებს ამცირებს, რადგან მათ გარე მომენტების საწინააღმდეგო ნიშანი აქვთ (ნახ. 1).



$M_1$  მომენტების მოქმედების შედეგად  $x$  ღერძის მიმართულებით აღიძვრება ძაბვები [3, 4].

$$\sigma'_x = \frac{4\nu M_2 \cdot z}{a \cdot I} \cdot x. \tag{1}$$

$\sigma'_x$  ძაბვები  $M'_x$  მღუნავ მომენტს შექმნის

$$M'_x = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma'_x \cdot z dz = \frac{4\nu M_1}{a} \cdot x. \tag{2}$$

ანალოგიურად  $M_2$  მომენტების მოქმედებით  $y$  ღერძის მიმართულებით წარმოიშობა ძაბვები [4].

$$\sigma'_y = \frac{4\nu M_1 \cdot z}{I \cdot b} \cdot y. \tag{3}$$

$\sigma'_y$  ძაბვები კი  $M'_y$  მღუნავ მომენტს შექმნის

$$M'_y = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma'_y \cdot z dz = \frac{4\nu M_2}{a} \cdot y. \tag{4}$$

საბოლოოდ ფირფიტის კვეთებში წარმოიშობა შემდეგი სახის მღუნავი მომენტები, შესაბამისად  $x$  და  $y$  ღერძების გასწვრივ:

$$\begin{aligned} M_x &= M_2 - \frac{4\nu M_1}{a} \left( \frac{a}{2} - x \right), \\ M_y &= M_1 - \frac{4\nu M_2}{b} \left( \frac{b}{2} - y \right), \end{aligned} \tag{5}$$

სადაც  $\nu$  არის პუასონის კოეფიციენტი;  $a$  და  $b$  – ფირფიტის გვერდების სიგრძეები;  $h$  – ფირფიტის სისქე;  $I$  – ფირფიტის ერთეულის სიგანის ზოლის ინერციის მომენტი.

ჩვენ განვიხილავთ ფირფიტის დაძაბულ-დეფორმირებულ მდგომარეობას პირველ მეოთხედში. ფირფიტისა და მისი დატვირთვის სიმეტრიულობის გამო დანარჩენ მეოთხედებშიც ანალოგიურ სურათს ექნება ადგილი. როგორც (5) გამოსახულებიდან ჩანს მღუნავი მომენტები აკმაყოფილებს სასაზღვრო პირობებს: როცა  $x=a/2$ , მაშინ  $M_x=M_2$  და როცა  $y=b/2$ , მაშინ  $M_y=M_1$ .

$M_1$  და  $M_2$  გარე მღუნავი მომენტების მიმართ ცხადია შესაძლებელია გამოყენებულ იქნეს ძალთა მოქმედების დამოუკიდებლობის პრინციპი – ფირფიტის ჩაღუნვები განსაზღვროთ  $M_x$  და  $M_y$  მღუნავი მომენტების მოქმედებით და მათი შეჯამებით მივიღოთ ფირფიტის სრული ჩაღუნვების გამოსახულება.

ფირფიტის გაღუნული ზედაპირის განმსაზღვრელ დიფერენციალურ განტოლებებს  $M_x$  და  $M_y$  მღუნავი მომენტების ცალ-ცალკე მოქმედების დროს შესაბამისად შემდეგი სახე ექნებათ:

$$\frac{\partial^2 W_x}{\partial x^2} = - \left[ M_x - \frac{4\nu M_1}{a} \left( \frac{a}{2} - x \right) \right], \tag{6}$$

$$\frac{\partial^2 W_y}{\partial y^2} = - \left[ M_y - \frac{4\nu M_2}{b} \left( \frac{b}{2} - y \right) \right].$$

(6) დიფერენციალურ განტოლებების ინტეგრებით, იმის გათვალისწინებით, რომ ინტეგრების მუდმივები ნულის ტოლი იქნება, რადგანაც ფირფიტის ჩაღუნვებს ვითვლით კოორდინატთა სათავეზე გამავალი შუა სიბრტყის პარალელური სიბრტყიდან და შევაჯამებთ (6) განტოლებების ინტეგრებიდან მიღებულ  $W_x$  და  $W_y$  გამოსახულებებს, მივიღებთ განსახილველი ფირფიტის სრული ჩაღუნვის ფორმულას:

$$W_x = -\frac{1}{EJ} \cdot \left[ M_2 \frac{x^2}{2} + \frac{4\nu M_1}{a} \left( \frac{x^3}{6} - \frac{ax^2}{4} \right) \right], \tag{7}$$

$$W_y = -\frac{1}{EJ} \cdot \left[ M_1 \frac{y^2}{2} + \frac{4\nu M_2}{b} \left( \frac{y^3}{6} - \frac{by^2}{4} \right) \right].$$

$$\begin{aligned} W &= -\frac{1}{EJ} \cdot \left[ M_2 \left( \frac{x^2}{2} + \frac{2\nu y^3}{3b} - \nu y^2 \right) + \right. \\ &\quad \left. + M_1 \left( \frac{y^2}{2} + \frac{2\nu x^3}{3b} - \nu x^2 \right) \right]. \end{aligned} \tag{8}$$

**3. დასკვნა**

ფირფიტების სუფთა ღუნვის კლასიკური თეორიის ახლებურად გააზრებამ გვაჩვენა, რომ ფირფიტაზე ერთი მიმართულებით მოქმედი ძალებისაგან გამოწვეული მღუნავი მომენტები გავლენას ახდენს მართობული მიმართულების დაძაბულ მდგომარეობაზე და თუ პუასონის კოეფიციენტის მნიშვნელობებს მივიღებთ  $x$  და  $y$  ღერძების მიმართულებით განსხვავებულს, მაშინ ფირფიტის კონტურზე სრულად კმაყოფილდება სასაზღვრო პირობები.

ფირფიტის ღუნვის დიფერენციალური განტოლება ჩაწერილია, რომლის ინტეგრებითაც მიღებულია ფირფიტის ჩაღუნვის გამოსახულება.

**ლიტერატურა**

1. Тимошенко С.П., Войновский-кригер С. Пластики и оболочки. Москва: Наука, 1966. -635 с.
2. Никифоров С.И. Теория упругости и пластичности. Москва, 1955. -284 с.
3. ნ. ბერიშვილი, რ. ჭყვიძე, რ. გიორგობიანი. ჰუკის განზოგადებული კანონის კრიტიკული ანალიზი // სამეცნიერო ჟურნალი “ინტელექტი”. № 1(33), თბილისი, 2009, გვ. 74-77.
4. ნ. ბერიშვილი, მ. თოდუა, რ. გიორგობიანი. წერტილში დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის განსაზღვრა ერთგვაროვანი გაჭიმვა-კუმშვისას // სამეცნიერო ტექნიკური ჟურნალი “მშენებლობა”. №3(6), თბილისი, 2007. გვ. 38-42.

**UDC 539.3****NEW APPROACH TO PLATES PURE BEND****N. Berishvili, T. Khmelidze, R. Giorgobiani**

Department of engineering mechanics, Georgian Technical University, 77, Kostava str, Tbilisi, 0175, Georgia

**Resume:** There is considered the classical theory of plates pure bend according to which the bending moments of one direction do not render influence on the state of stress in the perpendicular direction and on the strained state this influence is considered. Due to Poisson's ratio constant value deformations in  $x$  and  $y$  directions are accepted by constants, consequently boundary conditions at plate edges are not satisfied.

There are defined the ignored stresses in the cross-section direction, as the variables, also the bending moments, corresponding to these directions, are satisfied the boundary conditions for bending moments and are calculated corresponding deflections of plates.

**Key words:** plate; pure bend; extremal forces; boundary conditions; deflection.

**УДК 539.3****НОВЫЙ ПОДХОД К ЧИСТОМУ ИЗГИБУ ПЛАСТИНОК****Беришвили Н.Ш., Хмелидзе Г.П., Гиоргобiani Р.Ш.**

Департамент инженерной механики, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. Костава, 77

**Резюме:** Рассмотрена классическая теория чистого изгиба пластинок, согласно которой изгибающие моменты одного направления не оказывают влияния на напряжённое состояние в перпендикулярном направлении, а на деформированное состояние это влияние учитывается. Из-за постоянного значения коэффициента Пуассона деформации по направлениям  $x$  и  $y$  принимаются постоянными, в результате чего не выполняются граничные условия на краях пластинки.

Определены игнорированные напряжения в поперечном направлении, как переменные величины, также изгибающие моменты, соответствующие этим направлениям; удовлетворены граничные условия для изгибающих моментов и вычислены соответствующие прогибы пластинок.

**Ключевые слова:** пластинка; чистый изгиб; внешние силы; граничные условия; прогиб.

*მიღებულია დასაბეჭდად 04.02.10*

**შპა 539.3**

**ზოგიერთი წინააღმდეგობანი ფირფიტების სუფთა ღუნვის თეორიაში**

**ნ. ბერიშვილი, თ. ხმელიძე, რ. გიორგობიანი**

საინჟინრო მექანიკის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, კოსტავას 77

E-mail: elitegeo2002@gmail.com

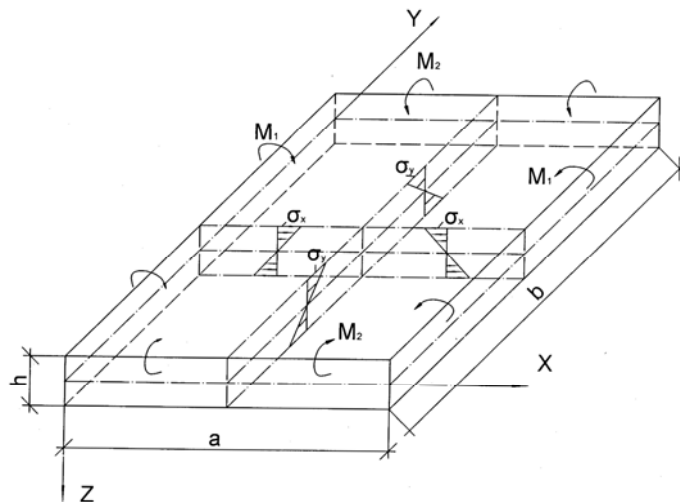
**რეზიუმე:** ფირფიტების სუფთა ღუნვის დროს კლასიკურ თეორიაში მიღებული ჰუკის განზოგადებული კანონის გამომსახველი განტოლებებიდან განსაზღვრული ძაბვები რეალურად განსხვავდება გარე მომენტებისაგან წარმოქმნილ ძაბვებისაგან, რის გამოც მღუნავი მომენტებიც და ჩაღუნვებიც რეალურისაგან განსხვავებულია. თუ ჰუკის განზოგადებული კანონის მარჯვენა მხარეს მოთავსებულ სიდიდეებს ჩათვლით ძაბვებად, მაშინ ეს ძაბვები და მათ მიერ შედგენილი მღუნავი მომენტები უკვე ვერ დააკმაყოფილებს სასაზღვრო პირობებს ფირფიტის გვერდებზე, სადაც მღუნავი მომენტები ტოლი უნდა იყოს გარე დატვირთვების სახით მოქმედი მომენტებისა. ყოველივე ეს წინააღმდეგობანი გამოწვეულია იმით, რომ პუასონის კოეფიციენტი მიღებულია, როგორც მუდმივი სიდიდე. ეს წინააღმდეგობანი აცილებულ იქნება თუ

მხედველობაში მიიღება  $\nu_x$  და  $\nu_y$  ცვლადი პუასონის კოეფიციენტები.

**საკვანძო სიტყვები:** ფირფიტა; ძაბვა; მღუნავი მომენტი; პუასონის კოეფიციენტი; სასაზღვრო პირობები.

**1. შესავალი**

ფირფიტის სუფთა ღუნვა, რომელიც განხორციელებულია ფირფიტის გვერდების გასწვრივ განაწილებული  $M_1$  და  $M_2$  წყვილძაღვებით, პრაქტიკაში შედარებით იშვიათად გვხვდება, მაგრამ ის ფირფიტების ზოგადი ღუნვის მნიშვნელოვანი შემადგენელი ნაწილია და ამიტომ მისი შესწავლისას მიღებული დასკვნები დიდ გავლენას ახდენს ფირფიტების განივი ღუნვის თეორიაზე (ნახ. 1).



ნახ. 1

**2. ძირითადი ნაწილი**

წინამდებარე ნაშრომში მოტანილია ფირფიტების სუფთა ღუნვის კლასიკური თეორია და პარალელურად მითითებულია იმ წინააღმდეგობებზე, რომელსაც ჩვენი აზრით ადგილი აქვს ზემოთ სსენებულ თეორიაში.

$M_1$  და  $M_2$  გარე მღუნავი მომენტებისაგან გამოწვეული ძაბვები შესაბამისად იქნება:

$$\sigma_x = \frac{M_1 \cdot Z}{J} \quad \text{და} \quad \sigma_y = \frac{M_2 \cdot Z}{J}, \quad (1)$$

სადაც  $J$  არის ფირფიტის ერთეულის სიგანის ზოლის ინერციის მომენტი შუა სიბრტყეში მდებარე ღერძების მიმართ.

ასევე შეიძლება დაიწეროს შემდეგი ტოლობები:

$$M_1 = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_x \cdot z dz \quad \text{და} \quad M_2 = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_y \cdot z dz. \quad (2)$$

ძაბვებსა და დეფორმაციებს შორის დამოკიდებულება განსაზღვრულია ჰუკის განზოგადებული კანონით [1, 2]:

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E}(\sigma_x - \nu\sigma_y) \quad \text{და} \quad \varepsilon_y = \frac{1}{E}(\sigma_y - \nu\sigma_x). \quad (3)$$

თუ (3) გამოსახულებიდან განვსაზღვრავთ ძაბვებს, მივიღებთ:

$$\sigma_x = \frac{E}{1-\nu^2}(\varepsilon_x + \nu\varepsilon_y) \quad \text{და} \\ \sigma_y = \frac{E}{1-\nu^2}(\varepsilon_y + \nu\varepsilon_x). \quad (4)$$

ცნობილია, რომ ფარდობითი დეფორმაციები დაკავშირებულია გაღუნული ფირფიტის სიმრუდეებთან შემდეგნაირად:

$$\varepsilon_x = -\frac{z}{\rho_1} \quad \text{და} \quad \varepsilon_y = -\frac{z}{\rho_2}, \quad (5)$$

ხოლო სიმრუდეები კი გამოისახება ფირფიტის ჩაღუნვის მეორე რიგის წარმოებულებით:

$$\frac{1}{\rho_1} = -\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \quad \text{და} \quad \frac{1}{\rho_2} = -\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}, \quad (6)$$

აქედან გამომდინარე (4) გამოსახულებები მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$\sigma_x = -\frac{E}{1-\nu^2} \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \cdot Z, \\ \sigma_y = -\frac{E}{1-\nu^2} \left( \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) \cdot Z. \quad (7)$$

მღუნავი მომენტები კი (2) ფორმულების მიხედვით დაიწერება შემდეგი სახით:

$$M_1 = -\frac{E}{1-\nu^2} \cdot \frac{h^3}{12} \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) = \\ = -D \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right), \quad (8)$$

$$M_2 = -\frac{E}{1-\nu^2} \cdot \frac{h^3}{12} \left( \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) = \\ = -D \left( \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right).$$

თუ (8)-დან განვსაზღვრავთ  $\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}$  და  $\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}$

მივიღებთ:

$$\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = -\frac{M_1 - \nu M_2}{D(1-\nu^2)},$$

$$\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = -\frac{M_2 - \nu M_1}{D(1-\nu^2)}. \quad (9)$$

(9) განტოლებების ინტეგრებით კი მიიღება ფირფიტის ჩაღუნვის  $w$ -ს გამოსახულება იმის მხედველობაში მიღებით, რომ ინტეგრების მუდმივები ნულის ტოლი იქნება:

$$w = -\frac{M_1 - \nu M_2}{2D(1-\nu^2)} x^2 - \frac{M_2 - \nu M_1}{2D(1-\nu^2)} y^2. \quad (10)$$

გავანალიზოთ მიღებული ფორმულები. როგორც, (1) ფორმულიდან ჩანს,  $\sigma_x$  და  $\sigma_y$  ძაბვები ნულის ტოლი იქნება, თუ შესაბამისად  $M_1$  და  $M_2$  მომენტები ნულის ტოლი იქნება. (4) გამოსახულებებიდან კი გამოდის, რომ თუ  $M_1=0$  და  $M_2 \neq 0$ , მაშინ  $\sigma_x \neq 0$ , რადგანაც  $\nu\varepsilon_y \neq 0$ . ასევე თუ  $M_1 \neq 0$  და  $M_2=0$ , მაშინ  $\sigma_y \neq 0$ , რადგანაც  $\nu\varepsilon_x \neq 0$ . აქედან შეიძლება დავასკვნათ, რომ (3) განტოლებებიდან განსაზღვრული (4)-ს შესაბამისი ძაბვები არ არის (1) გამოსახულებიდან მიღებული ძაბვები, თუმცა ისინი იდენტურადაა მიხნეული. მაშასადამე, ამ ძაბვებით განსაზღვრული მღუნავი მომენტებიც ვერ იქნება რეალური, მღუნავი მომენტების გამომსახველი. თუ (3) გამოსახულებებში მარჯვენა მხარეში მოთავსებულ სიდიდეებს ჩავთვლიდით ძაბვებად ე.ი:

$$\sigma'_x = \sigma_x - \nu\sigma_y \quad \text{და} \quad \sigma'_y = \sigma_y - \nu\sigma_x \quad (11)$$

მღუნავი მომენტები დაიწერებოდა შემდეგნაირად:

$$M_x = \int_{-h/2}^{h/2} (\sigma_x - \nu\sigma_y) z dz = M_1 - \nu M_2, \\ M_y = \int_{-h/2}^{h/2} (\sigma_y - \nu\sigma_x) z dz = M_2 - \nu M_1. \quad (12)$$

მაგრამ (12)-ის მიხედვით მღუნავი მომენტები  $x$  და  $y$  ღერძების გასწვრივ მუდმივი გამოდის, ე.ი. ვერ დააკმაყოფილებს სასაზღვრო პირობებს ფირფიტის გვერდებზე, სადაც მღუნავი მომენტები უნდა იყოს  $M_1$  და  $M_2$ -ის ტოლი. მაშასადამე  $M_2$ -ის გავლენა  $x$  ღერძის მიმართულებით მოქმედ ძაბვებზე და მაშასადამე მღუნავ მომენტებზეც მუდმივი არ უნდა იყოს, არამედ დამოკიდებული უნდა იყოს  $x$  ცვლადზე, ასევე  $M_1$ -ის გავლენაც  $y$  ღერძის მიმართულებით დამოკიდებული უნდა იყოს  $y$  კოორდინატზე. ეს პირობები კი მაშინ დაკმაყოფილდება, როცა  $\nu$  პუასონის კოეფიციენტის ნაცვლად მხედველობაში იქნება მიღებული ცვლადი  $\nu_x$  და  $\nu_y$  პუასონის კოეფიციენტები [3, 4].

### 3. დასკვნა

წარმოებულმა თეორიულმა კვლევამ გვიჩვენა, რომ ფირფიტების სუფთა ღუნვის დროს კლასიკურ თეორიაში მიღებული ჰუკის განზოგადებული კანონის გამომსახველ განტოლებებიდან განსაზღვრული ძაბვები რეალურად განსხვავდება გარე მომენტებისაგან წარმოქმნილი ძაბვებისაგან, რის გამოც მღუნავი მომენტებიც და ჩაღუნვებიც რეალურს არ შეესაბამება. ამის გარდა, სასაზღვრო პირობებიც არ კმაყოფილდება ფირფიტის გვერდებზე, სადაც მღუნავი მომენტები ტოლი უნდა იყოს გარე დატვირთვების სახით მოქმედი მომენტებისა. აღნიშნული წინააღმდეგობების საფუძველი არის პუასონის კოეფიციენტის მუდმივობა  $x$  და  $y$  ღერძების მიმართ. ეს წინააღმდეგობები აღარ იარსებებს, თუ მხედვე-

ლობაში მიღებული იქნება  $\nu_x$  და  $\nu_y$  ცვლადი სიდიდის პუასონის კოეფიციენტები [3, 4].

### ლიტერატურა

1. Тимошенко С.П., Войновский-Кригер С. Пластинки и оболочки. Москва: Наука, 1966. -635 с.
2. Никифоров С.И. Теория упругости и пластичности. Москва, 1955. -284 с.
3. ნ. ბერიშვილი, რ. ჭყოიძე, რ. გიორგობიანი. ჰუკის განზოგადებული კანონის კრიტიკული ანალიზი // სამეცნიერო ჟურნალი “ინტელექტი”. №1(33), თბილისი, 2009. გვ.74-77.
4. ნ. ბერიშვილი, მ. თოდუა, რ. გიორგობიანი. წერტილში დაძაბულ-დეფორმირებული მდგომარეობის განსაზღვრა ერთგვაროვანი გაჭიმვა-კუმშვისას//სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი “მშენებლობა”. №3(6), თბილისი, 2007. გვ. 38-42.

UDC 539.3

### SOME CONTRADICTIONS IN THE THEORY OF PLATES PURE BEND

N. Berishvili, T. Khmelidze, R. Giorgobiani

Department of engineering mechanics, Georgian Technical University, 77, Kostava str, Tbilisi, 0175, Georgia

**Resume:** Stresses, defined from Hooke's generalized law, as it is accepted in the classical theory of plates pure bend, differ from the real pressure, which has resulted by undergoing of the external moments. Therefore the received bending moments, as well as deflections of plates, turn out unreal. If we accept for the stresses the values consisting in the right part of the equations of Hooke's generalized law, the received bending moments do not satisfy to boundary conditions at plate edges, where the bending moments should be equaled to the external bending moments. These contradictions are caused by the accepted constant Poisson's ratio. The above-mentioned contradictions will be eliminated due to enter variable coefficients  $\nu_x$  and  $\nu_y$ , depending from  $x$  and  $y$  co-ordinates.

**Key words:** plate; pressure; bending moment; Poisson's ratio; boundary conditions.

УДК 539.3

### НЕКОТОРЫЕ ПРОТИВОРЕЧИЯ В ТЕОРИИ ЧИСТОГО ИЗГИБА ПЛАСТИНОК

Беришвили Н.Ш., Хмелидзе Т.П., Гиоргобиани Р.Ш.

Департамент инженерной механики, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. Костава, 77

**Резюме:** Напряжения, определенные из обобщенного закона Гука, как принято в классической теории чистого изгиба пластинок, отличаются от реальных напряжений, возникших в результате действия внешних моментов. Поэтому полученные изгибающие моменты, как и прогибы пластинок, получаются нереальными. Если же принять за напряжения величины, стоящие в правой части уравнений обобщенного закона Гука, то полученные изгибающие моменты не удовлетворяют граничным условиям на краях пластинки, где изгибающие моменты должны равняться внешним изгибающим моментам. Эти противоречия обусловлены принятым постоянным коэффициентом Пуассона. Вышеуказанные противоречия будут устранены, если ввести переменные коэффициенты  $\nu_x$  и  $\nu_y$ , зависящие от координат  $x$  и  $y$ .

**Ключевые слова:** пластинка; напряжение; изгибающий момент; коэффициент Пуассона; граничные условия.

მიღებულია დასაბუჯლად 01.02.10

**შპს 681.45****კონტროლისა და მართვის ბოჭკოვან-ოპტიკური სისტემები ვიბრატორისათვის ლ. ბერიძე**

სამოქალაქო და სამრეწველო მშენებლობის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, კოსტავას 77

E-mail: nicadadu@mail.ru

**რეზიუმე:** დამუშავებულია კონტროლისა და მართვის ბოჭკოვან-ოპტიკური სისტემა ვიბრატორისათვის და ის წარმოდგენილია, როგორც მანქანა-დანადგარების განუყოფელი ნაწილი. ის საშუალებას იძლევა დადგინდეს დახურულ კამერაში შექმნილი წნევის პარამეტრები, განხორციელდეს მანქანა-დანადგარებში მიმდინარე მუშა პროცესის მართვა და კონტროლი. წარმოდგენილი საკონტროლო ბოჭკოვან-ოპტიკური სისტემა ვიბრატორისათვის საშუალებას იძლევა გაზომვები ჩატარდეს მაღალი სიზუსტით დიდი წნევის დიაპაზონში; ექსპერიმენტული კვლევების შედეგად წარმოდგენილია წნევის გავრცელების კანონზომიერებები ლაზერის სხივის სხვადასხვა ენერჯიის დროს.

**საკვანძო სიტყვები:** ლაზერი; ენერჯია; ვიბრატორი; წნევის გარდამქმნელი; ბოჭკოვან-ოპტიკური სისტემა.

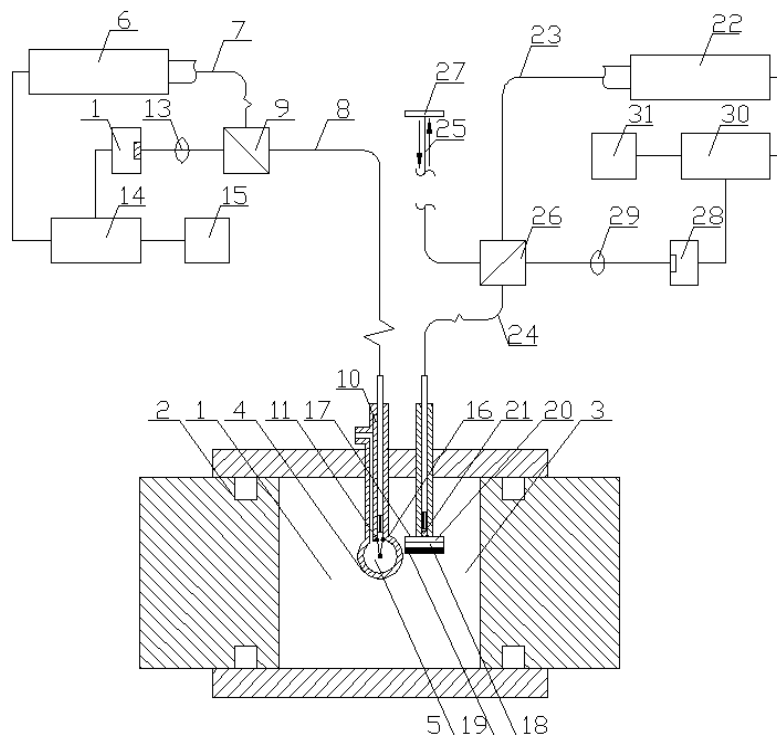
**1. შესავალი**

ლაზერული ვიბროაღმგზნები მოწყობილობების პრაქტიკაში გამოყენება საკმაოდ პერსპექტიულია, რადგან მათ მოქმედების დიდი დიაპაზონი გააჩნიათ, მუშაობის შესაძლებლობა, როგორც მაღალ, ასევე დაბალ სიხშირეებზე, კომპიუტერის სრული ავტომატიზაცია, მაგრამ არსებულ მოწყობილობაში არ ხორციელდება ვიბრირების პროცესის კონტროლი [1].

**2. ძირითადი ნაწილი**

ჩვენ მიერ შემოთავაზებულია კონტროლისა და მართვის ბოჭკოვან-ოპტიკური სისტემები, რომლებიც მოწყობილობის კონტროლისა და მართვის საშუალებას იძლევა ვიბრირების პროცესში.

1-ელ ნახაზზე წარმოდგენილია აღნიშნული სისტემა ლაზერული ვიბრატორისათვის. ის შედგება: სამუშაო კამერისაგან 1, რომელიც შევსებულია ცილინდრის სახით, დგუშებისაგან 2, კამერა 1 შევსებულია სამუშაო სითხით 3, სამუშაო კამერის 1 შიგნით განლაგებულია მაღალი დაწნევის ელასტიკური კამერა 4, რომელიც შევსებულია ადვილად იონიზირებადი ნივთიერებისაგან 5 (მაგალითად, წყალი), იმპულსური ლაზერისაგან 6, ძალოვანი ბოჭკოვან-ოპტიკური შუქსატარებისაგან 7 და 8 ჩალიხებისაგან, ავტოკალიმაციური შედგენილი პრიზმებისაგან 9, მილისაგან 10, მაფოკუსირებელი ლინზისაგან 11, ფოტომიმდებისაგან 12 და ობიექტივისაგან 13, რომელიც დგას ფოტომიმდებსა 12 და ავტოკალიმაციურ შედგენილ პრიზმას 9 შორის და ოპტიკურად აკავშირებს მათ. პროცესორის 14 და ინფორმაციის ამსახველი ბლოკისაგან 15 დგუშებს გააჩნიათ სადები 16 წნევის შესანარჩუნებლად. პროცესის მაკონტროლებელი სისტემა შედგება წნევის გარდამქმნელისაგან 17, რომელიც ჩადგმულია სამუშაო კამერაში 1, და შეიცავს კვარცულ მემბრანას 18, ინტერფერომეტრის დრუს 19, კვარცულ ფირფიტას 20 და ლინზას 21, სინათლის წყაროსაგან 22, ძალოვანი ბოჭკოვან-ოპტიკური შუქსატარების პირველი, მეორე და მესამე ჩალიხებისაგან 23, 24, 25, ავტოკალიმაციური შედგენილი პრიზმისაგან 26, სარკისაგან 27, რომელიც განთავსებულია ბოჭკოვან-ოპტიკური შუქსატარის მესამე 25, ჩალიხის გამოსავალ ტორსზე, ფოტომიმდებისაგან 28, მაფოკუსირებელი ობიექტივისაგან 29, რომელიც მოთავსებულია ფოტომიმდებსა 28 და ავტოკალიმაციურ ბლოკს 26, შორის და ოპტიკურ კავშირშია მათთან, პროცესორისა 30 და ინფორმაციის ამსახველი ბლოკისაგან 31, პროცესორი 30, ელექტრულ კავშირშია სინათლის წყაროსთან 22.



ნახ.1. ლაზერული ვიბრატორის კონტროლისა და მართვის ბოჭკოვან-ოპტიკური სისტემის სქემა

მოწობილობა მუშაობს შემდეგნაირად: კამერას 1 ავსებენ სამუშაო სითხით, ასევე მაღალი დაწნევის ელასტიკურ კამერას ადვილად ავსებს იონიზირებადი სითხით 5. რთავენ ლაზერს 6, რომელიც გენერირებს ლაზერული გამოსხივების დიდი სიმძლავრის იმპულსს. ლაზერის 6 გამოსხივება ძალოვანი ბოჭკოვან-ოპტიკური შუქსატარების ჩაღიხების 7 და 8, ავტოკალიმაციური შედგენილი პრიზმის 9 და მაფოკუსირებელი ლინზის 11 საშუალებით ფოკუსირდება მაღალი დაწნევის ელასტიკური კამერის 4 ცენტრში, სადაც ფოკუსირების არეში ადვილად იონიზირებადი ნივთიერება მყისიერად გადადის ერთი აგრეგატული მდგომარეობიდან მეორეში, რაც მიკროაფეთქებას იწვევს, ე.ი. შეიქმნება დარტყმის ტალღები და იმპულსური წნევა, რაც თავის მხრივ აფართოებს მაღალი დაწნევის ელასტიკურ კამერას 4. მაღალი დაწნევის ელასტიკური კამერის 4 გაფართოება იწვევს სამუშაო კამერაში წნევის გაზრდას, რის გამოც დგუშები პირდაპირ გადაადგილდება. გაფართოება წყდება მაშინ, როდესაც დარტყმის ტალღები და მექანიკური წნევა მიიღევა, ხოლო მაღალი დაწნევის ელასტიკური კამერის 4 მოცულობა და დგუშები 2 უბრუნდება თავის საწყის მდგომარეობას. პლაზმის გამოსხივება და ლაზერის გამოსხივების ანარეკლი ძალოვანი

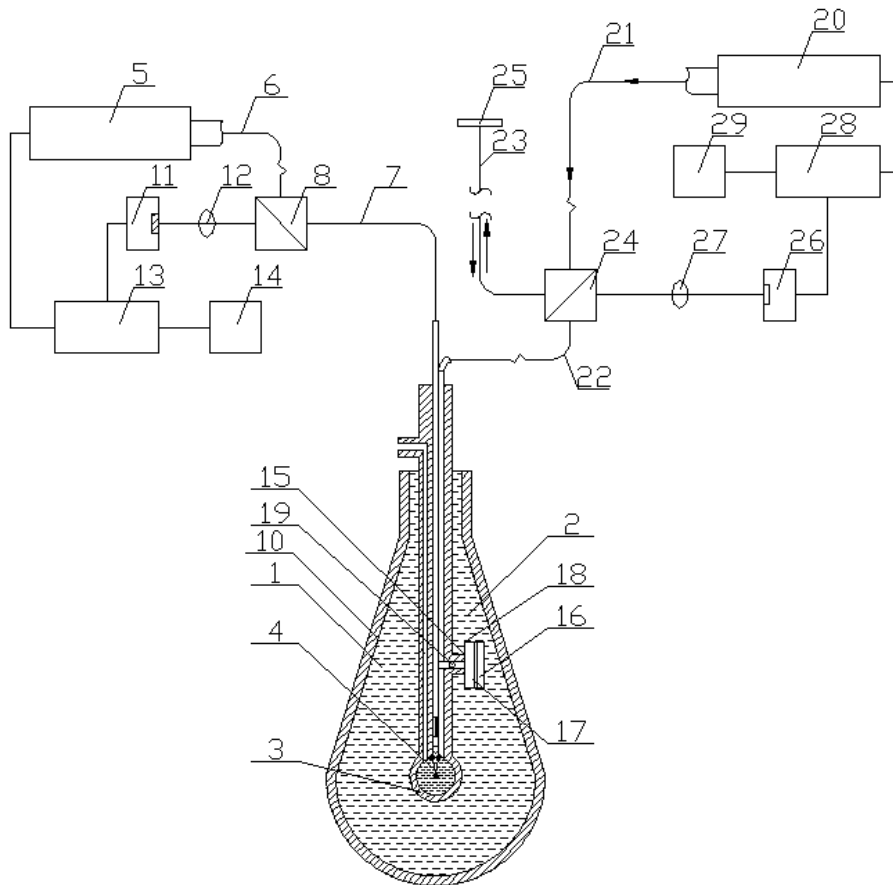
ბოჭკოვან-ოპტიკური შუქსატარების ჩაღიხის 8 ავტოკალიმაციური შედგენილი პრიზმის 9, ობიექტივის 13 საშუალებით მოხდება ფოტომიმულში 12, სადაც ის გარდაიქმნება ელექტრულ სიგნალში და გადაეცემა პროცესორსა 14 და ინფორმაციის ამსახველ ბლოკს 15, მიღებული სიგნალი შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ვიბრაციის პროცესის მართვისათვის და ელასტიკურ კამერაში პროცესის კონტროლისათვის.

ვიბრატორის მუშაობის კონტროლი ხორციელდება შემდეგნაირად: მუშაობის დაწყებიდან იმპულსური ლაზერის 6 ჩართვისას იმავდროულად ირთება სინათლის წყარო 22. სინათლის წყაროს 22 გამოსხივება პირველი ჩაღიხის შუქსატარის 23, გავლით ხვდება ავტოკალიმაციურ შედგენილ პრიზმაში 26, სადაც სხივი ორ ნაწილად იყოფა. მეორე ჩაღიხის შუქსატარის 24 გავლით სხივის ნაწილი მიეწოდება სამუშაო კამერაში 1 ჩადგმულ წნევის გარდამქმნელს 17, სხივის მეორე ნაწილი მესამე ჩაღიხის ბოჭკოვან-ოპტიკური შუქსატარის 25 გავლით ხვდება სარკეზე 27, საიდანაც არეკლილი სხივი ბრუნდება უკან და ავტოკალიმაციური ბლოკის 26 მაფოკუსირებელი ობიექტივის 29, ფოტომიმულში 28 გავლით ხვდება პროცესორში 30 და შემდეგ ინფორმაციის ამსახველ ბლოკში 31. მიკროაფეთქების პროცესში წნევის გარდამქმნე-



ლებში 17 მოხვედრილი სხივი მაფოკუსირებელი ლინზის 21, ხისტი კვარცული ფირფიტის 20 ინტერფერენციული ღრუს 19 გავლით ხდება მემბრანაზე 18, ლინზა 21 აფოკუსირებს არეკლილ სხივს და აბრუნებს უკან, ადგილი აქვს სხივის ორმაგ სვლას. რადგან მიკროაფეთქების შედეგად წარმოშობილი დარტყმითი ტალღების წნე-

ვის ზემოქმედებით მემბრანა 18 დეფორმირებულ მდგომარეობაშია, ამიტომ იცვლება სხივის ოპტიკური სიგრძე და ადგილი აქვს ინტერფერენციას, რაც აისახება სხივის მიმღებ მოწყობილობაში. მიღებული სიგნალის საშუალებით შესაძლებელია განისაზღვროს აფეთქების კერაში წნევის სიდიდე.



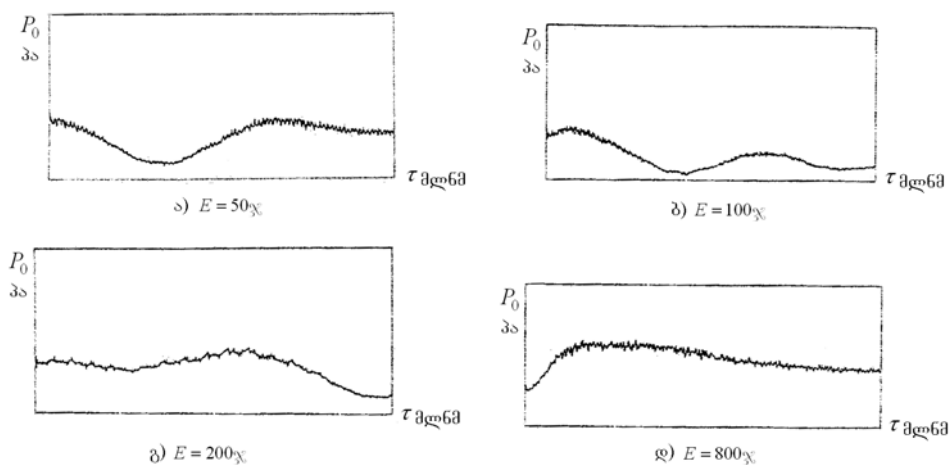
ნახ. 2. ლაზერული ვიბრატორის კონტროლისა და მართვის ბოჭკოვან-ოპტიკური სისტემის სქემა

მე-2 ნახაზზე წარმოდგენილია კონტროლისა და მართვის ბოჭკოვან-ოპტიკური სისტემა ლაზერული ვიბრაციული აღმზნები სიღრმითი ტიპის ვიბრატორისათვის. ის შედგება: სამუშაო კამერისაგან 1, რომელიც შევსებულია სამუშაო სითხით 2, სამუშაო კამერის 1 შიგნით ჩადებულია მაღალი დაწნევის ელასტიკური კამერა 3, რომელიც შევსებულია ადვილად იონიზირებადი ნივთიერებისაგან მაგალითად, წყალი 4, იმპულსური ლაზერისაგან 5, ძალოვანი ბოჭკოვან-ოპტიკური შექსატარების 6 და 7 ჩაღიხებისაგან, ავტოკალიმაციური შედგენილი პრიზმებისაგან 8, მილისისაგან 12, რომელიც დგას ფოტომიმდებსა 11 და ავტოკალიმაციურ შედგენილ პრიზმას 8 შორის და ოპტიკურად აკავშირებს

მათ, პროცესორისა 13 და ინფორმაციის ამსახველი ბლოკისაგან 14. ვიბრატორის მკონტროლებელი სისტემა შედგება: წნევის გარდამქმნელისაგან 15, რომელიც ჩადგმულია სამუშაო კამერაში 1 და შეიცავს კვარცულ მემბრანას 16, ინტერფერომეტრის ღრუს 17, კვარცულ ფირფიტას 18 და ლინზას 19, სინათლის წყაროსაგან 20, ძალოვანი ბოჭკოვან-ოპტიკური შექსატარის პირველი, მეორე და მესამე ჩაღიხებისაგან 21, 22, 23, ავტოკალიმაციური შედგენილი პრიზმებისაგან 24, სარკისაგან 25, რომელიც განთავსებულია ბოჭკოვან-ოპტიკური შექსატარის მესამე ჩაღიხის გამოსავალ ტორსზე, ფოტომიმდებისაგან 26, მაფოკუსირებელი ობიექტივისაგან 27, რომელიც მოთავსებულია ფოტომიმდებსა 26 და

ავტოკალიმაციურ ბლოკს 27 შორის და ოპტიკურად კავშირშია მათთან, პროცესორსა 28 და ინფორმაციის ამსახველი ბლოკისაგან. პროცე-

სორი 28 ელექტრულ კავშირშია სინათლის წყაროსთან 20.



ნახ. 3. წნევის გავრცელების კანონზომიერებები

მე-3 ნახაზზე მოცემულია წნევის გავრცელების კანონზომიერებები ლაზერის სხივის სხვადასხვა ენერჯის დროს, საიდანაც ლაზერული მიკროაფეთქებებისას ჩანს, რომ წნევის გავრცელების ფორმა ყოველთვის ერთი და იგივეა, მხოლოდ ენერჯის ცვლილებასთან ერთად წნევის ამპლიტუდა და ხანგრძლივობა იცვლება.

წნევის მიკროაფეთქებების პარამეტრები შესწავლილ იქნა შემდეგ პირობებში: რეაქტორის მოცულობა იცვლებოდა  $0.05 \cdot 10^{-4}$  მ<sup>3</sup>-დან  $2 \cdot 10^{-4}$  მ<sup>3</sup>-მდე. ლაზერის სხივის იმპულსის პარამეტრები იყო: ტალღის სიგრძე  $\lambda=1.02$  მკმ. იმპულსის ენერჯია იცვლებოდა  $E=50$  ჯ-დან  $E=1000$  ჯ-მდე. იმპულსის ხანგრძლივობა  $\tau=4 \cdot 10^{-4}$  წმ.

მიღებული გრაფიკების საშუალებით შესაძლებელია განისაზღვროს წნევის ამპლიტუდა, წნევის ხანგრძლივობა და მისი ცვლილების კანონის ფორმა.

წნევის ამპლიტუდის ხანგრძლივობა განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით:

$$P_0 = U/S,$$

სადაც  $U$  არის სიგნალის ძაბვის ამპლიტუდა;  $S$  – გამზომი მოწყობილობების მგრძობიანობა.

წნევის ხანგრძლივობა 12 მლწმ-ს შეადგენს, ხოლო მისი ცვლილების კანონის ფორმა თითქმის ერთნაირია.

სხივის ფოკუსირების ცენტრში შექმნილი წნევა შეიძლება განისაზღვროს მოვლენის ელექტროდინამიკური ხასიათის ანალიზით. ელექტროსტრუქციული წნევა გამოისახება შემდეგი ფორმულით:

$$P = \frac{(E')^2}{8\pi} \rho \left( \frac{\partial \varepsilon}{\partial \rho} \right)_s,$$

სადაც  $E'$  არის ელექტრომაგნიტური გამოსხივების ელექტრული კომპონენტის დაძაბულობა;  $\varepsilon$  – გარემოს დიელექტრული შეღწევადობა;  $\rho$  – გარემოს სიმკვრივე. ელექტრული ველის დაძაბულობა ტოლია

$$E' = 1.1 \cdot 10^4 \frac{\sqrt{W}}{a},$$

სადაც  $W$  არის ლაზერის გამოსხივების სიმძლავრე;  $a$  – ფოკუსირებული რადიუსი.

$$\rho \left( \frac{\partial \varepsilon}{\partial \rho} \right)_s$$

– სიდიდე მუდმივია, წყლისათვის არის 0.9 [2].

გამოთვლებით დადგინდა, რომ წნევა ფოკუსირების ცენტრში  $10^{10} \dots 10^{11}$  პა-ს აღწევს.

### 3. დასკვნა

კონტროლისა და მართვის ბოჭკოვან-ოპტიკური სისტემა უზრუნველყოფს ვიბრატორის მუშაობის პროცესის კონტროლსა და მართვას. გარდა ამისა, აღნიშნული კონტროლისა და მართვის ბოჭკოვან-ოპტიკური სისტემის გამოყენება შესაძლებელია სხვადასხვა დანადგარში.

### ლიტერატურა

1. ჯ. ბახტაძე, მ. წიქარიშვილი. ჰიდრაულიკური ვიბროდამპინგები საქპატენტი №2001697, 1992
2. Коваленко В.С. Обработка материалов импульсным излучением лазеров. Киев: Высшая школа, 1977г. - 144с.

---

**UDC 681.45****CONTROL AND MONITORING FIBROUS-OPTICAL SYSTEMS FOR VIBRATOR****L. Beridze**

Department of civil and industrial building, Georgian Technical University, 77, Kostava str, Tbilisi, 0175, Georgia

**Resume:** There is developed control and monitoring fibrous-optical systems for vibrator and It is presented as an integral part of machines and plants. It enables us to define the parameters of the pressure created in closed chamber, to manage and control the working process inside the device. The control system will give us an opportunity to carry out the tests maximum accuracy.

**Key words:** lazer; energy; vibrator; pressure transformation; fibrous-optical system.

---

**УДК 681.45****ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ВИБРАТОРОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ****Беридзе Л.Н.**

Департамент гражданского и промышленного строительства, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. Костава, 77

**Резюме:** Разработана система для вибраторов волоконно-оптического контроля и управления как неотделимая часть машинных установок. Она даёт возможность установить параметры созданного в закрытой камере давления, произвести управление и контроль происходящего в устройстве рабочего процесса. Представленная контрольная система даёт возможность провести измерение с высокой точностью в диапазоне большого давления.

**Ключевые слова:** лазер; энергия; вибратор; преобразователь давления; волоконно-оптическая система.

---

*მიღებულია დასაბუჯად 13.12.10*

# სამთო-ბეოლოგიის სექცია

შპს 551.49:553.7

სუფსა – ომფარმეთის ნავთობსაბიებო მოედნის ჰიდრობეოლოგიური ზრილი, კოლხეთის დაბლობზე ჰიდრობეოქიმიური ინვერსიის გამოსატყულება

ხ. ავალიანი, უ. ზვიადაძე\*

გეოლოგიის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, კოსტავას 77

E-mail: u\_zviadadze@gtu.ge

**რეზიუმე:** მსხვილი არტეზიული სტრუქტურის ფარგლებში მიწისქვეშა წყლების გავრცელების ჰიდროგეოქიმიური ზონალურობა წყლის გენეტიკური ტიპების კანონზომიერ ცვლაში გამოიხატება, დაწყებული ჰიდროკარბონატულ-კალციუმიანი მტკნარი წყლებიდან (ჭრილის ზედა ფენებში), მომატებული მინერალიზაციის სულფატურ-ნატრიუმიანი წყლების ზონის გავლით, დამთავრებული მაღალმინერალიზებულ ქლორიდულ-ნატრიუმიანი წყლებით, რომლებიც ვერტიკალური ჭრილის ღრმად დაძირულ ფენებთან არის დაკავშირებული. ჰიდროგეოქიმიური ზონალურობა ძირითადად ჰიდროდინამიკური და ქანების ლითოლოგიურ-ფაციალური ფაქტორების ურთიერთქმედების შედეგია, თუმცა, არცთუ იშვიათად, მიწისქვეშა წყლებისთვის დამახასიათებელი, მკაფიოდ გამოხატული ვერტიკალური ჰიდროგეოქიმიური ზონალობა დარღვეულია ე.წ. ჰიდროგეოქიმიური ინვერსიის მიზეზით, როდესაც უფრო ღრმად განლაგებულ ფენში წყლის მინერალიზაცია ბევრად უფრო ნაკლებია, ვიდრე ზედა ფენებში, რასაც ობიექტური მიზეზები აქვს. ამ მხრივ გამონაკლისი არც კოლხეთის ვრცელი არტეზიული აუზია, რომლის ფარგლებშიც ჰიდროგეოქიმიური ინვერსიის უტყუარი არსებობის ერთ-ერთი დამადასტურებელი ფაქტი წინამდებარე ინფორმაციაა.

**საკვანძო სიტყვები:** ჰიდროგეოქიმიური ინვერსია; ნავთობსაბიებო სტრუქტურა; მიწისქვეშა წყლების ზონალურობა; მიკროკომპონენტები; სამრეწველო წყლები.

## 1. შესავალი

მიწისქვეშა წყლების შესახებ სწავლების ერთ-ერთი ფუძემდებელი, აკად. ვ. ვერნადსკი [1] თვლიდა, რომ ვერტიკალური ჰიდროგეოქიმიური ზონალურობა მიწისქვეშა აორთქლების პროცესების შედეგია, თუმცა, შემდგომმა გამოკვლევებმა [2, 3, 4] ეს მოსაზრება არ დაადასტურა. მ. ალტოვსკი [5] მიიჩნევს, რომ უნდა განვასხვა-

ვით ვერტიკალური ჰიდროგეოქიმიური ზონალურობის ორი სახეობა. პირველი ადვილი შესამჩნევია ღრმა ჭაბურღილების ბურღვის და დასინჯვის პროცესში. მას მ. ალტოვსკი დაშრეკების ვერტიკალურ ზონალურობას უწოდებს, ხოლო მეორე – წყალშემცველი ფენის დაქანების მიმართულებით აღინიშნება და მას ფენური ზონალურობა ჰქვია. ამიტომ მიწისქვეშა წყლების ქიმიური შედგენილობის ფორმირების საკითხის შესწავლაში უპირატესი როლი სწორედ ფენურ ზონალურობას ენიჭება. ბუნებაში, როგორც წესი, მკაფიო და მკვეთრი საზღვრები სხვადასხვა ჰიდროგეოქიმიურ ზონებს შორის არ აღინიშნება [6]. მიწისქვეშა წყლების ქიმიური შედგენილობა, განსაკუთრებით ერთსა და იმავე წყალშემცველი ჰორიზონტის გავრცელებაზე თანდათანობით იცვლება. ამიტომ, გარდა ჰიდროგეოქიმიური ზონებისა, გამოყოფენ ჰიდროგეოქიმიურ სარტყელს, რომელიც ზონების ერთგვარი შერწყმა და აისახება ჰიდროგეოქიმიური ჭრილის აუზის დანალექი საფარის მთლიან სიმძლავრეზე [7].

ჰიდროგეოქიმიური ზონების შერწყმა მრავალგვარია, რაც პირდაპირ, შექცევულ, ცვალებად ან რთულ ზონალურობას წარმოქმნის [8]. თუ პირდაპირი ზონალურობა სიდრმის კვალობაზე მიწისქვეშა წყლების საერთო მინერალიზაციის განუხრელ, კანონზომიერ მატებას გულისხმობს (ქიმიური ტიპის ცვლილებასთან ერთად), შექცევული ზონალურობა, ანუ ჰიდროგეოქიმიური ინვერსია სიდრმეში წყლის მინერალიზაციის შემცირებაში გამოვლინდება. მსგავსი მაგალითები ბუნებაში მრავლადაა [9, 10], ხოლო კოლხეთის არტეზიული აუზი აღნიშნული მოვლენის ტიპურ მაგალითად შეიძლება განხილულ იქნეს [11, 12, 13].

ამჯერად, ჩვენი ამოცანა არ არის კოლხეთის დაბლობის ფარგლებში ზოგადად ჰიდროგეოქიმიური ინვერსიის საკითხის რეგიონალურ ჭრილში განხილვა. შემოვიფარგლებით მხოლოდ ცალკე აღებული ობიექტის, კერძოდ, სუფსა - ომფარმეთის ნავთობსაბიებო მოედნის მიწისქვეშა წყლების დახასიათებით, როგორც კონკრეტული

მაგალითისა, თუ როგორ ვლინდება ნახშირწყალბადების ბუდობების ლოკალიზაციის უბნებზე ვერტიკალური ჰიდროგეოქიმიური ზონალურობის ინვერსიულობის მოვლენა.

## 2. ძირითადი ნაწილი

კოლხეთის დაბლობის ფარგლებში ჰიდროდინამიკური და ჰიდროგეოქიმიური ინვერსიის არსებობაზე პროფ. ი. ბუაჩიძე მიუთითებდა [11], რომელმაც ნ. ივანტოვიჩის პრინციპზე დაყრდნობით [2], აქ ოთხი ჰიდროდინამიკური ზონა გამოყო. ი. ბუაჩიძის მიხედვით, ნეოკომის მძლავრ წყალშემცველ პორიზონტში, რომელიც მის მიერ აქტიური წყალცვლის ქვედა ზონას მიეკუთვნება, სულფატურ-ჰიდროკარბონატული კალციუმიანი, შედარებით დაბალმინერალიზებული (<2 გ/ლ) წყლების არსებობა ძირითადად იმით არის განპირობებული, რომ ამ პორიზონტის კვების არე მაღალ ჰიფსომეტრულ ნიშნულზე მდებარეობს. ასევე მაღალია ნეოკომის კირქვების ფილტრაციული თვისებები, რაც მიწისქვეშა ნაკადის სწრაფი გადაადგილების წინაპირობაა. საინტერესო ფაქტია, რომ აღნიშნული პორიზონტი ორივე მხრიდან ისეთი ქანებით არის შემოსაზღვრული (პალეოგენი, ზედა ცარცი, იურა), რომლებიც მაღალმინერალიზებულ წყლებს და წათხებსაც ( $M > 100$  გ/ლ) კი შეიცავს [7]. ლ. ხარატიშვილი [13] რომელმაც ჰიდროგეოდინამიკური სართულების და ჰიდროგეოქიმიური ზონების შეთავსებული სქემა შეიმუშავა, კოლხეთის დეპრესიის ვერტიკალურ ჭრილში ოთხ ჰიდროგეოდინამიკურ სართულს გამოყოფს, რომლებიც გეოსტრუქტურულ სართულებს ემთხვევა. ავტორის აზრით, “ქვედა, პირველი სართული მოიცავს ფუნდამენტს, დანარჩენი სამი კი გამოიყოფა დანალექ საფარში. მათგან ყველაზე ქვედა იურულ ნალექებს მოიცავს და მისი ზედა საზღვარი ემთხვევა ზედა იურის ფერადი წყების სახურავს, შუა სართულის სტრატეგრაფიული დიაპაზონია ქვედა ცარცი – მოცენი, ზედასი კი პლიოცენ – მეოთხეული”. დეპრესიის ფარგლებში განვითარებული სხვადასხვაგვარი ანომალიების (მათ შორის, აირული, გეოთერმული, ჰელიუმის შემცველობა) გამომწვევი მიზეზი, ავტორის აზრით, დაწნევითი წყლების აღმავალი მიგრაციის შედეგად ზედა პორიზონტებში წყლების გადაღინებაა, ხოლო მიგრაციის გზებს სხვადასხვა მიმართულების, სიღრმის და ასაკის რღვევები უნდა წარმოადგენდეს.

ავტორთა ჯგუფმა [14] კოლხეთის დეპრესიის გეოფილტრაციული ზონალობის მოდელი დაამუშავა. ისინი მიიჩნევენ, რომ ბ. ანტიპოს [15] სქემის მიხედვით, კოლხეთის დეპრესია მიეკუთვნება მთათაშორისი ღრმულების ფილტრაციული ჭრილის მეხუთე ტიპს სამიარუსიანი გეოფილტრაციული ზონალურობით. ზედა იარუსი – 2500 მ-ის სიღრმემდე – მეოთხეულის და პონტ-მეოტისის ფხვიერი და ნაპრადოვანი წყე-

ბები, მათთვის დამახასიათებელი მაღალი ფორიანობით და ფილტრაციის კოეფიციენტით. შუა იარუსი – დაყოფილია ორ ქვეიარუსად: ზედა ნაწილი – შუა მოცენი, ეოცენი, ზედა და ქვედა ცარცი; ქვედა ნაწილი მოიცავს ბაიოსის და ლიასის მძლავრ წყებებს. დასასრულ, ქვედა გეოფილტრაციული იარუსი, რომელიც კრისტალური საძირკვლით, ძირითადად გრანიტოიდებით არის წარმოდგენილი. აღნიშნული იარუსების ქანებში ფორიანობასა და ფილტრაციულ თვისებებს შორის მეკეთრი განსხვავება, ცხადია, პირდაპირ აისახება განსახილველი მიწისქვეშა წყლების ჰიდროგეოქიმიურ ზონალურობაზე, მაგრამ ინვერსიის და ანომალიების ფაქტების ასახსნელად ამ მოდელში ადგილი არ რჩება.

ზემოთ დასახელებული ფაქტორები – კვების არის სიმადლე და ფენის ლითოლოგია და ფილტრაციული თვისებები, მისი ფორიანობა არსებითია მიწისქვეშა წყლების ქიმიური შედგენილობის და მინერალიზაციის ფორმირებაში, მაგრამ ნახშირწყალბადების დაგროვების უბნებზე ჰიდროგეოქიმიური ინვერსიის წარმოქმნის მიზეზების ერთგვარად განსხვავებული, არანაკლებ დამაჯერებელი ასხნაც არსებობს [9, 10, 16, 17]. ზოგადად, ჰიდროგეოქიმიური ინვერსიის წარმოქმნას მიწის ქერქში მიმდინარე სხვადასხვა პროცესით ხსნიან, რომელთა შორის აღსანიშნავია:

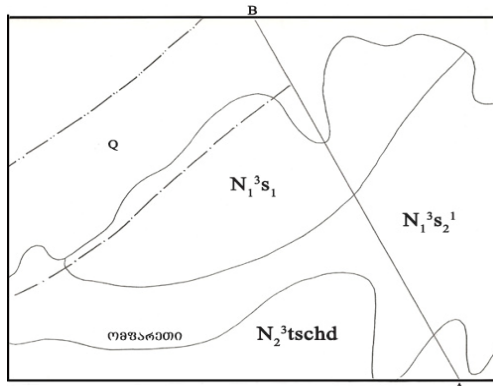
- ღრმა პორიზონტებში მტკნარი წყლების თანამედროვე ან აღრინდელი ინფილტრაცია;
- ზედა ფენებში მეტამორფოგენური ფლუიდების შეღწევა ტექტონიკური რღვევების ზონების გავლით;
- სელიმენტაციური წყლების განზავება დეჰიდრატირებული (აღორძინებული) წყლების ხარჯზე, როდესაც პოსტსელიმენტაციურ ეტაპზე ადგილი აქვს თიხური ქანების გაუწყლოებას მაღალი წნევის და ტემპერატურის ზემოქმედებით;
- ნახშირწყალბადების ბუდობების ლოკალიზაციის უბნებზე კონდენსაციური და სოლუციური გენეზისის წყლებით გამტკნარება.

პეჩორის არტეზიული აუზის ჰიდროგეოქიმიური ზონალურობის საკითხის განხილვისას ტ. მიტიუშევა [9] არ გამორიცხავს არც ერთი დასახელებული ფაქტორის ზემოქმედების შესაძლებლობას, მაგრამ პეჩორის აუზის სინამდვილეში ცალსახად ანიჭებს უპირატესობას დეჰიდრატაციის პროცესს მიწისქვეშა წყლების მინერალიზაციის შემცირებაში და სხვა ავტორების [18] კვალდაკვალ ვერტიკალური პოსტსელიმენტაციური ზონალურობის წარმოქმნას თიხების დეჰიდრატაციას უკავშირებს. გარკვეული ტემპერატურების და სიღრმის პირობებში თიხებში არსებული შეკავშირებული წყალი თავისუფალ მდგომარეობაში გადადის, რასაც თან ახლავს მიწისქვეშა წყლების ქიმიური და აირული შედ-

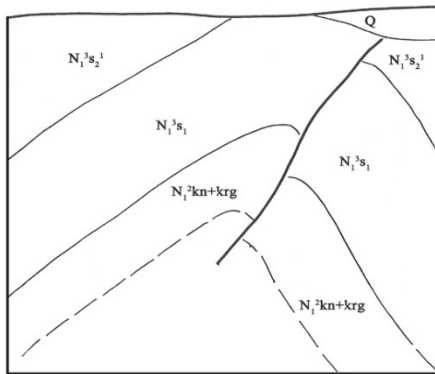
გენილობის ცვლილება, ქანების ფორიანობის და წყალშედწევადობის შემცირება, ორგანული ნივთიერებების გარდაქმნა და ნახშირწყალბადების გენერაცია. ვნახოთ, რამდენად მისაღებია ეს მოდელი ჩვენ კონკრეტულ შემთხვევაში.

სტრუქტურული თვალსაზრისით სუფსა – ომფარეთის ნავთობგაზშემცველი მოედანი ასიმეტრიული ბრაქიანტიკლინია, რომლის მიმარ-

თება სამხრეთ-დასავლეთიდან ჩრდილო-აღმოსავლეთისკენაა. ნაოჭის ღერძის მიმდებარე ზოლი ქვედა სარმატის ქვიშაქვა-თიხური ქანებით არის აგებული, ხოლო სამხრეთი ფრთა – შუა და ზედა სარმატის ნალექებით, რომლებიც მეოტისის უთანხმოდ განლაგებული შრეებით არის გადაფარული [19].



უბნის სქემატური გეოლოგიური რუკა  
პროფილი A-B



პროფილითი აღნიშვნები

- Q მეოთხეული წარმონაქმნები: კენჭნარი, ქვიშები, თიხები
- N<sup>2</sup>tschd ჩაუდის შრეები: დისლოცირებული კარბონატული ნაცრისფერი თიხები და კონგლომერატები
- N<sup>1</sup>s<sup>2</sup> შუა სარმატი, ზედაუბნის წყება: ქვიშაქვა - თიხური ნალექები, კონგლომერატის შუაშრეებით
- N<sup>1</sup>s<sup>2</sup> შუა სარმატი, თხინვალის წყება: თიხების და ქვიშაქვების მონაცვლეობა
- N<sup>1</sup>s<sup>1</sup> ქვედა სარმატი: ფხვიერი ქვიშაქვების მონაცვლეობა თიხის შრეებთან

სტრუქტურის დასავლეთ და ცენტრალურ ნაწილებში სარმატის ნალექებზე უთანხმოდ არის განლაგებული ჩაუდის ნალექები, ხოლო ჩრდილო-აღმოსავლეთ ნაწილში პლიოცენის სრული ჭრილი არის წარმოდგენილი. სუფსის ნაოჭის სამხრეთ-აღმოსავლეთი ფრთა 15-30<sup>0</sup> დახრილობისაა, ხოლო ჩრდილო-დასავლეთი – 80-90<sup>0</sup>. ეს უკანასკნელი მსხვილი ტექტონიკური რღვევით არის გართულებული, რომლის გასწვრივ სუფსის ანტიკლინი სუფსა-ლანჩხუთის სინკლინორიუმზე არის შეცოცებული. სამრეწველო ნავთობი ქვედა სარმატთან არის დაკავშირებული, სადაც 8 ნავთობშემცველი მცირე დებიტიანი ფენი არის გამოვლენილი. ამ ფენების განლაგების სიღრმე 150 – 700 მ-ს შეადგენს. გასული საუკუნის 70-იან წლებში სუფსის ნავთობშემცველ მოედანზე გეოლოგიურ-საძიებო ბურღვითი სამუშაოები ჩატარდა, რომლის შედეგად დადგინდა შეცოცებისქვეშა მეოტისის პერსპექტიულობა ნავთობშემცველობაზე შრომისუბნის და წყალწმინდას მოედნების ფარგ-

ლებში. განსახილველ ტერიტორიაზე ნავთობის სამრეწველო ბუდობი სადღეისოდ ბურღვისთვის მისაწვდომ სიღრმემდე არ აღმოჩნდა, სამაგიეროდ, საინტერესო მონაცემები მიღებულ იქნა ჭაბურღილების ჰიდროქიმიური დასინჯვის შედეგად. სუფსის მოედანზე ყველაზე ღრმა №32 ჭაბურღილი 4150 მ სიღრმისაა, მაგრამ მისი სანგრევი შუა ეოცენს ვერ ჩასცდა. ამით ნათლად მტკიცდება ის ფაქტი, რომ კოლხეთის დეპრესიის კრისტალური საძირკველი საფეხურებად, ტექტონიკური ნაპრალებით განმხოლოებულ მსხვილ ბლოკებად ეცემა შავი ზღვისკენ. ამავე მიმართულებით კრისტალური საძირკველის სიღრმე მატულობს და სანაპირო ზოლში გეოფიზიკური მონაცემებით 8-9 კმ-ს აღწევს [14]. შესაბამისად, მატულობს დანალექი საფარის სიმძლავრე და ცალკეული სტრატეგრაფიული ერთეულების განლაგების სიღრმეც. სუფსის მოედანზე დასინჯულ იქნა სხვადასხვა სიღრმის ყველა ის ჭაბურღილი, საიდანაც სინჯის აღება ტექნიკურად იყო შესაძლებელი [20], ხოლო

ერთი სინჯი აღებულია შემკრები რეზერვუარიდან, რომელშიც თავს იყრის ჭაბურღილებიდან ამომავალი ნავთობ-წყლის ნარევი. საერთო მინერალიზაციის მაჩვენებლით ( $M=22.3$  გ/ლ) და მასში დამახასიათებელი მიკროკომპონენტების შემცველობით ამ სინჯს შუალედი ადგილი უჭირავს ქვედა სარმატის და ქვედა მიოცენ-პალეოგენის წყლებს შორის. კერძოდ, ქვედა სარმატის ნავთობის თანმხლები წყლის საერთო მინერალიზაცია 33.3 გ/ლ შეადგენს. ამ მაჩვენებლით და მასში ტიპომორფული მიკროკომპონენტების (ტყვია, კადმიუმი, კობალტი, ნიკელი) შემცველობით ის იდენტურია აღმოსავლეთ საქართველოში ნავთობშემცველი მოედნების სარმატთან დაკავშირებული თანმხლები წყლებისა. კურღოვის მიხედვით, წყლის ტიპი განისაზღვრება როგორც ქლორიდული ნატრიუმიან-კალციუმიანი, ხოლო სულინის [21] კლასიფიკაციით ის აღდგენითი გარემოსთვის დამახასიათებელი ქლორიდულ-კალციუმიანი შედგენილობისაა. ამის საპირისპიროდ, ჭრილის ღრმა ფენებში (მიოცენი – შუა და ზედა ეოცენი) გახსნილი წყლების საერთო მინერალიზაცია 2 გ/ლ არ აღემატება, ხოლო ქიმიური შედგენილობით წყალი ჰიდროკარბონატულ-ქლორიდული ნატრიუმიან-კალციუმიანია (სულინის მიხედვით – ჰიდროკარბონატულ-ნატრიუმიანი). ამ მონაცემებში ნათლად ვლინდება სუფსის ნავთობსაძიებო მოედნის ჭრილში მიწისქვეშა წყლების გავრცელებაში ჰიდროგეოქიმიური ინვერსიის არსებობის ფაქტი.

ზემოთ მოცემული ლიტერატურული და ავტორებისეული ფაქტობრივი მასალის ანალიზის საფუძველზე შესაძლებელია გამოითქვას გარკვეული მოსაზრებები წინამდებარე სტატიაში წამოჭრილ საკითხთან დაკავშირებით.

სარმატი, მასთან დაკავშირებული ნავთობშემცველი შრეებით და თანმხლები წყლებით განხილულ იქნეს, როგორც ნალექდაგროვების ცალკე ციკლი, სადაც ნაშირწყალბადების გენერაცია მაიკოპიდან მიგრირებულ ფლუიდებთან არის დაკავშირებული. სტატიაში მოყვანილი ფაქტორების არასრული ჩამონათვალი ცხადყოფს, რომ ნეოკომი ნავთობშემცველობის მხრივ პრაქტიკულად უპერსპექტივოა. ამასთანავე, ქვედა ცარცში შედარებით მტკნარი წყლების არსებობა მხოლოდ იმ მიზეზით არ არის განპირობებული, რომლებზეც ავტორთა ერთი ჯგუფი მიუთითებს [11,14]. ამ პროცესში ზედა იურის ფერადი წყების თაბაშირიანი თიხური ფენების დეჰიდრატაციაც უნდა მონაწილეობდეს. ნიშანდობლივია, რომ ნეოკომის გამტკნარებულ წყლებში წამყვანი ანიონი, მცირედენი გამო-ნაკლისის გარდა, სულფატ-იონია ( $SO_4^{2-}$ ). ისევე, როგორც აღმოსავლეთ საქართველოში, კოლხეთის დეპრესიის დაძირვის ზონაში ნავთობის

სამრეწველო საბადოები, ჩვენი ვარაუდით, ბაიოსის ვულკანოგენურ-დანალექ წყებაში არის ლოკალიზებული, სადაც ნავთობი ლიასის თიხა ფიქლების მძლავრი წყების მეტამორფიზმის შედეგად აღმავალი მიგრაციით ხელსაყრელ სტრუქტურებში დაგროვდა.

### 3. დასკვნა

ჰიდროგეოლოგიური ანომალიის ასახსნელად დიდი მნიშვნელობა აქვს კოლხეთის დაბლობის ბლოკურ აგებულებას. ბლოკების გამყოფი ტექტონიკური ნაპრალეები განიხილება, როგორც დეჰიდრატაციის შედეგად წარმოქმნილი თავისუფალი წყლის აღმავალი მიგრაციის არხები. ამ ფაქტორის, ისევე, როგორც სხვა ფაქტორების უარყოფის საფუძველი არ არსებობს.

კოლხეთის არტეზიული აუზის ფარგლებში ჩატარებული მრავალრიცხოვანი გეოლოგიური და გეოფიზიკური კვლევების შედეგად გამოვლენილი სხვადასხვა სახეობის, ძირითადად ჰიდროგეოქიმიური ანომალიები იმაზე მიანიშნებს, რომ კოლხეთის დაბლობის წიაღი ნავთობგაზ-შემცველი პერსპექტიული არტეზიული სტრუქტურაა, რომელშიც მძლავრი პროდუქტიული ფენები იურული ასაკის, კერძოდ, ბაიოსის ქანებთან უნდა იყოს დაკავშირებული.

### ლიტერატურა

1. Вернадский В.И. История природных вод. М.: ОНТИ, 1933 – 1036.- 562 с.
2. Игнатович Н.К. Зональность, формирование и деятельность подземных вод в связи с развитием геоструктуры// В сб. «Вопросы гидрогеологии и инженерной геологии», №13. Госгеолтехиздат, 1950.
3. Овчинников А.И. Гидрогеохимия. М.: Недра, 1970.- 200 с.
4. Толстихин Н.И. О классификации природных вод по химическому составу и их нумерации//Изв. Забайкальск. филиала геогр. об-ва, 1966, т.2, вып. 3, с. 13-27.
5. Альтовский М.Е. К вопросу о формировании химического состава подземных вод// В кн. «Вопросы гидрогеологии и инженерной геологии», №13, М.: Госгеолтехиздат, 1950, с. 23 – 29.
6. Крайнов С.Р., Швец В. М. Основы геохимии подземных вод. М.: Недра,1980.
7. ბ. ზაუტაშვილი, ნ. კალანდარიშვილი, ხ. ავალიანი. საქართველოს ბელტის დასავლეთი დაძირვის ჰიდროგეოქიმიური ზონალობა და მიწისქვეშა სამრეწველო წყლები // სტუ-ს შრომები, №4 (443). თბილისი, 2002.

8. Ибрагимов Р. Изменения гидрогеохимической зональности подземных вод // Труды ТатНИПИнефти, №5, 1992, с. 25-35.
9. Митюшева Т.П. Гидрогеохимическая зональность Тимано–Печорского артезианского бассейна // «Проблемы изучения химического состава подземных вод». Шестые толстихинские чтения. Материалы научно-технической конференции. С.–Петербург, 1977, с. 38-41.
10. Ежов Ю.Л. Закономерности распределения химической инверсии в подземной гидросфере // Советская геология, №1, 1981, с. 106-112.
11. Буачидзе И.М. Основные закономерности формирования и распространения подземных вод Грузии и их закономерность // В. кн. Гидрогеология СССР, т. X, Грузинская ССР. М.: Недра, 1970, с. 195 – 216.
12. Зауташвили Б.З. Геохимия микроэлементов глубоких подземных вод Грузии. Тбилиси: Мецниереба, 1978.- 168 с.
13. ლ. ხარატიშვილი. საქართველოს მთათაშუა ღრმულის დასავლეთი და აღმოსავლეთი დაძირვების ჰიდროგეოდინამიკური და ჰიდროგეოქიმიური პირობების ურთიერთშედარება // ჰიდროგეოლოგიის და საინჟინრო გეოლოგიის ინსტიტუტის შრომათა კრებული, ტ. XVII თბილისი, 2009.
14. ბ. ზაუტაშვილი, ი. ლომინაძე, ხ. ავალიანი. კოლხეთის დეპრესიის გეოფილტრაციული ზონალობა // სამთო ჟურნალი, №2 (15). თბილისი, 2005.
15. Антипо Б.Е. Гидрогеологические емкости горноскладчатых областей СССР. М.: Недра, 1986.- 141 с.
16. Попков В.И. Эволюция тектонической проницаемости земной коры и некоторые гидрогеологические особенности глубоких горизонтов Скифско – Туранской платформы. Кавминводский учебно-инженерный центр НГТУ. Серия «Нефть и газ», вып. II. Минводы, 2001.
17. Медведев С. А. Инверсия вертикальной химической зональности подземных вод Скифско-Туранской артезианской области в связи с оценкой их металлоносности // «Проблемы изучения, охраны и рационального использования водных ресурсов». М., 1983, с. 264-265.
18. Кривошеева З.В., Злочевская Р.И., Королев В.Л., Сергеев Е.М. О природе изменения состава и свойств глинистых пород в процессах литогенеза // Вестник Московского Университета. Геология, №4, М.: Изд-ство Моск. ун-та, 1988, с. 60 – 74.
19. Силагадзе Г.К., Маргвелашვილი Л.Г. Обобщение данных бурения глубоких и структурно – картировочных скважин на нефть и газ на площадях П/О «Грузнефть» с 1930 по 1975 г.г. Фонды «Грузнефть», Тбилиси, 1976.
20. Звиаდაдзе У.И. Микрокомпоненты подземных вод Грузии в качестве геохимических показателей нефтегазоносности гидрогеологических структур и условий формирования минеральных вод. Дисс. на соиск. учен. степени д. геол. н. Тбилиси, 1992.
21. Сулин В.А. Воды нефтяных месторождений в системе природных вод. М.: Гостоптехиздат, 1946.

UDC 551.49:553.7

## HYDROGEOLOGICAL PROFILE OF OIL PROSPECTING AREA SUPSA – OMPARETI, AS AN EXPRESSION OF HYDROGEOCHEMICAL INVERSION ON KOLKHIDA LOWLAND

Kh. Avaliani, U. Zviadadze

Department of Applied Geology, Georgian Technical University, 77, Kostava str, Tbilisi, 0175, Georgia

**Resume:** Within the large artesian structure hydrogeochemical zoning of ground-waters spread is expressed in appropriate change of genetic types of water. Typical for ground-waters the vertical hydrogeochemical zoning is disturbed frequently by so-called “Hydrogeochemical Inversion”. Therein the Kolkhida Artesian Basin doesn’t represent exclusion. In given information the fact of reverse zoning is considered from scientific point of view.

**Key words:** hydrogeochemical inversion; oil prospecting structure; zoning of ground-waters; microcomponents; industrial waters.



УДК 551.49:553.7

**ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ НЕФТЕПОИСКОВОЙ ПЛОЩАДИ СУПСА – ОМПАРЕТИ КАК ВЫРАЖЕНИЕ ГИДРОХИМИЧЕСКОЙ ИНВЕРСИИ НА КОЛХИДСКОЙ НИЗМЕННОСТИ****Авалиани Х.А., Звиададзе У.И.**

Департамент прикладной геологии, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. Костава, 77

**Резюме:** В пределах крупных артезианских структур гидрохимическая зональность распространения подземных вод выражается в закономерном изменении генетических типов воды. Характерная для подземных вод вертикальная гидрохимическая зональность часто нарушена так называемой «гидрохимической инверсией». В этом отношении не представляет исключения Колхидский артезианский бассейн, на примере которого факт обратной зональности рассмотрен с научной точки зрения.

**Ключевые слова:** гидрохимическая инверсия; нефтепоисковая структура; зональность подземных вод; микрокомпоненты; промышленные воды.

*მიღებულია დასაბუქდად 04.11.10*

შპს 552.3:549:550.4

**ბიოტიტის მინერალობა და გეოქიმია ძირულის კრისტალური მასივის კალიუმთან გრანიტებში****ი. მშენიერაძე**

გეოლოგიის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, კოსტავას 77

E-mail: samto@gtu.ge

**რეზიუმე:** გრანიტის ქანმაშენ მინერალებს შორის კვარცს და ბიოტიტს განსაკუთრებული როლი უკავია ენდოგენურ მეტალოგენიაში. თავიანთი კრისტალური მესრების უნიკალურობიდან გამომდინარე, კვარცი კრისტალურ მესერში იზომორფულად არ ითავსებს არც ერთ მადნეულ ელემენტს და ამით პოზიტიურ როლს ასრულებს ენდოგენურ მეტალოგენიაში. ხოლო ბიოტიტი პრაქტიკულად თითოეულ მათგანს აკუმულაციას უკეთებს და მადნეული საბადოების ჩამოყალიბებაში ნეგატიურ როლს ასრულებს, არა მხოლოდ საბადოების, არამედ მათი საკუთარი მინერალების ჩამოყალიბებაში.

**საკვანძო სიტყვები:** ბიოტიტი; იზომორფიზმი; იზოვალენტური; ჰეტეროვალენტური; მინერალი; საბადო; ატომი; იონი.

**1. შესავალი**

ძირულის კრისტალური მასივი არის შავი ზღვის – ცენტრალური ამიერკავკასიის ტერიტორიის

ნის ყველაზე მეარი კრისტალური ფუნდამენტი. გეოგრაფიულად მასივი მდებარეობს დასავლეთ საქართველოში, მისი ფართობი 1200 კვ.კმ. მასივის გეოლოგიურ აგებულებაში მონაწილეობს სხვადასხვა ასაკის მაგმური, დანალექი და მეტამორფული ქანები, მაგრამ გეოლოგიურ აგებულებაში, წამყვანი ადგილი გვიანგარისკულ კალიუმთან გრანიტებს უჭირავთ.

ბიოტიტიც ძირულის კრისტალური მასივის კალიუმთან გრანიტების ქანმაშენი მინარალია და მიუხედავად იმისა, რომ პლაგიოკლაზის, კალიუმის მინდვრის შპატის და კვარცის შემდეგ მეოთხე ადგილი უკავია, ის დიდ როლს თამაშობს როგორც პეტროლოგიური, გეოქიმიური ინფორმაციის მატარებელი.

ბიოტიტი თავისი ქიმიური შემადგენლობით, ურთულეს ქიმიურ შენაერთს, მინერალს მიეკუთვნება. მისი კრისტალური მესრის აგებულებაში რვა ქიმიური ელემენტი მონაწილეობს, ვალენტონების ექვსი ხარისხით (გ. ოდიკაძე 1998).

შესწავლილ კალიუმთან გრანიტებში ბიოტიტის საშუალო ქიმიური შემცველობა 8% განი-

საზღვრება, ძირულის კრისტალური მასივის შემადგენელ ინტრუზივების ცალკეულ უბნებში ეს მანვერებელი 12-15%- აღწევს. ბიოტიტი გეოქიმიურ თავისებურებებიდან გამომდინარე მეტალოგენიაში, როგორც წესი უარყოფით როლს თამაშობს და ბუნებრივია ამ მინერალის შემცველი კალიუმისანი გრანიტი არ შეიძლება პრაქტიკული მნიშვნელობის ქანად ჩაითვალოს, აქედან გამომდინარე საბადოების ჩამოყალიბების პერსპექტიულობით არ შეიძლება გამოირჩეოდეს. როგორც ცნობილია მაღალტემპერატურული ბიოტიტები გამოირჩევა ტიტანის, ცირკონიუმის, ნიობიუმის, ტანტალის, ვოლფრამის და მაღალი ენერგეტიკული კოეფიციენტის მქონე მადნეულ ქიმიური ელემენტების შემცველობით. თუ მოხდება ბიოტიტით მდიდარი კალიუმისანი გრანიტების პოსტმაგმური მაღალტემპერატურული მეტასომატური გარდაქმნა ბიოტიტიდან, აგრეთვე სხვა ქანმაშენი მინერალებიდან უკლებლივ ყველა მადნეული ქიმიური ელემენტების გამოტანა, შესაძლებელი გახდება მადნეული საბადოების პერსპექტიული ობიექტების ჩამოყალიბება. ასეთი ობიექტების რიცხვს მიეკუთვნება ბერილიუმის შემცველი კვარც-მუსკოვიტისანი, ტურმალინ-კვარციანი, კვარციანი, ლითიუმის, კალის, ტანტალის და სხვა იშვიათი ქიმიური ელემენტების პოსტმაგმური საბადოები არა მარტო კავკასიაში, არამედ დედამიწის კონტინენტური ქერქის სხვადასხვა გეოსტრუქტურულ ზონაში (ოლიკაძე, 1998).

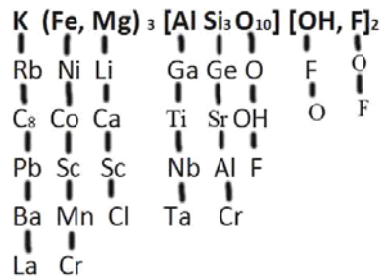
კვარცი გამომდინარე თავისი გეოქიმიური თავისებურებებიდან, სრულიად განსხვავებულ როლს თამაშობს ენდოგენურ მეტალოგენიაში. ქიმიურ ელემენტებს საშუალებას აძლევს ჩამოყალიბოს ქიმიური ნაერთი – მინერალი. თუ შეიძლება ითქვას, კვარცი პოზიტიურ როლს ასრულებს ეს აუცილებლად გასათვალისწინებელია პერსპექტიული უბნების გამოვლენის დროს (გ. ოლიკაძე და სხვები, 2006).

**2. ძირითადი ნაწილი**

ბიოტიტი  $K(Fe,Mg)_3(AlSi_3O_{10})(OH,F)_2$  უნიკალური მინერალია არა მხოლოდ როგორც ქანმაშენი, არამედ როგორც რთული ქიმიური ნაერთი. მისი კრისტალური მესრის აგებულებაში რვა ქიმიური ელემენტი მონაწილეობს, მათ შორის რაც ძალზე მნიშვნელოვანია ჰიდროქსიდონი და ფთორი, ქიმიური ელემენტების შეუდარებელი ტრანსპორტიორი - გადამტანი ენდოგენურ პირობებში. ქანებს შორის მას, როგორც წესი, თითქმის ყოველთვის წამყვანი ადგილი უკავია. მკავე ქანებში – გრანიტებში, ბიოტიტის შემც-

ველობა საშუალოდ 7-8% შეადგენს, ხოლო ცალკეულ შემთხვევაში 15-20% აჭარბებს (გ. ოლიკაძე, ი. მშვენიერაძე, 2005).

ბიოტიტი ფენობრივი ალუმოსილიკატია მონოკლინური სინგონიით. მისი ამგები ელემენტების ცვალებადი პროცენტული შემცველობით მინერალის ქიმიური შედგენილობის სირთულე სხვა ფაქტორებთან ერთად განპირობებულია იმითაც რომ ის ორი მინერალის – ფლოგოპიტის  $KMg_3[AlSi_3O_{10}][OH,F]_2$  და ლეპიდომელანის  $KFe[AlSi_3O_{10}][OH, F]_2$  მყარი ხსნარია, ტიპური ბეტროლიტია. ბიოტიტის ჩამოყალიბების ტემპერატურული დიაპაზონი ენდოგენურ პირობებში მერყეობს  $400^{\circ}C-800^{\circ}C$ -მდე ფარგლებში, რაც საშუალებას აძლევს ხანგრძლივი დროის განმავლობაში მონაწილეობა მიიღოს გრანიტული სილიკატური მდნარის ფორმირებაში და გამომდინარე თავისი კრისტალური მესრის უნივერსალური თავისებურებებიდან, იზომორფულად ჩაინაცვლოს თავისი კრისტალურ მესერში ორმოცდაათზე მეტი ქიმიური ელემენტი – უფრო დეტალურად ეს გარემოება მდგომარეობს შემდეგში: როგორც უკვე ითქვა, ბიოტიტი მიეკუთვნება ალუმოსილიკატების ჯგუფს მონოკლინური სინგონიით. გეოქიმიური ფაქტორებიდან გამომდინარე აქვს ელასტიკური მესერი ანუ პრაქტიკულად განუსაზღვრელი იზომორფული ტევადობა. ეს სწორედ ის შემთხვევაა როდესაც გრანიტული სილიკატური მდნარის ფორმირების პროცესში ბიოტიტი „ხარბად შთანთქავს“. თითქმის ყველა პეტროქიმიურ და მეტალოგენურ ქიმიურ ელემენტებს და საშუალებას არ აძლევს მათ თავიანთი საკუთარი მინერალები და საბადოები ჩამოყალიბოს. ამის ნათელსაყოფად ქვემოთ მოგვყავს ბიოტიტში იზომორფული ელემენტების განლაგების სქემა იმ კრისტალური და გეოქიმიური კრიტერიუმების გათვალისწინებით, რომლებიც ბიოტიტში იზომორფიზმს განაპირობებს (გ. ოლიკაძე, ი. მშვენიერაძე, 2005).



სქემა ნათელ წარმოდგენას იძლევა იმაზე, რომ პირველ ვერტიკალურ ჯგუფში კალიუმის იზომორფული ჩანაცვლება ხდება რადიუსის იდენტურობის ან სიახლოვის გამო, ჩამნაცვლებელ

ქიმიურ ელემენტებთან. მაგალითად, რუბიდიუმი და ცეზიუმი კალიუმს ანაცვლებს იზოვალენტური იზომორფიზმის გზით და იონის რადიუსების სიახლოვის გამო, მაგრამ ამ შემთხვევაში უფრო მნიშვნელოვანია ტყვიის და ბარიუმის მაღალი ენერგეტიკული პოტენციალი, შესაბამისად 4,6<sub>эв</sub> და 2,43<sub>эв</sub>. ეს მაჩვენებლები კალიუმისათვის სულ რაღაც 0,33<sub>эв</sub> შეადგენს. ადვილი მისახვედრია, რომ ბარიუმის და ტყვიის შესვლა კალიუმის მინერალებში გაცილებით უფრო სასარგებლოა ორთოკლაზის, მიკროკლინის, ბიოტიტისათვის ვიდრე კალიუმის იზომორფულად შესვლა გალენიტსა და ბარიტში. ჯერ არ ყოფილა შემთხვევა რომ ბარიტსა და გალენიტში იზომორფულად კალიუმი აღმოეჩინათ (გ. ოდიკაძე, ი. მშენიერაძე, 2005).

მეორე ვერტიკალურ ჯგუფში წარმოდგენილია განსხვავებული ვალენტობის მქონე ქიმიური ელემენტები. მაგრამ რკინასთან (Fe) მათ ბევრი რამ აქვთ საერთო. ჯერ ერთი ამ ჯგუფში მონაწილეობს რკინის ოჯახის თითქმის ყველა წევრი რომლებიც ისე როგორც რკინა გამოირჩევა M გარსზე ნაცვლად 18 ელექტრონისა აქვთ 14 ელექტრონი ე.ი. აკლია 4 ელექტრონი. ასეთ მდგომარეობაშია რკინის ოჯახის თითქმის ყველა ელემენტი.

მესამე ვერტიკალურ ჯგუფში იონის რადიუსების იდენტურობის გამო ლითიუმი ყოველთვის ანაცვლებს მაგნიუმს. მათი იონების რადიუსით კალციუმი თითქმის ყოველთვის მაგნიუმთან მჭიდრო კავშირშია (დოლომიტები) და რიფულ ზონას აყალიბებს (გ. ოდიკაძე და სხვები, 2006).

განსაკუთრებულ ყურადღებას იმსახურებს მეოთხე ვერტიკალური ჯგუფის ელემენტები. გალიუმი იზომორფულად (იზოვალენტური) ანაცვლებს სამვალენტიან ალუმინს მათი იონის რადიუსები ახლოსაა ერთმანეთთან შესაბამისად 0,62<sup>0</sup> Å და 0,57<sup>0</sup> Å. გალიუმი ენდოგენურ პირობებში განუყრელად ალუმინითაა იზომორფულად დაკავშირებული. მაგრამ, როგორც იონების რადიუსებისაგან გამომდინარე, ისე ენერგეტიკული პოტენციალების მაჩვენებლებით ამ ვერტიკალურ ჯგუფში მართლაც უნიკალურად მიმდინარეობს იზომორფული, თანაც იზოვალენტური-იზომორფული პროცესი. როგორც უკვე ითქვა რადიკალში ხდება ალუმინის ჩანაცვლება ჯერ სამვალენტიანი გალიუმით, შემდეგ ტიტანით რომლის ვალენტოვნების, ხარისხი ოთხის ტოლია, მას ანაცვლებს ხუთვალენტიანი მაღალი ენერგეტიკული პოტენციალის მქონე ნიობიუმი 13,5<sub>эв</sub>. მას, თავის მხრივ ანაცვლებს ხუთვალენტიანი ტანტალი და ა.შ. დაახლოებით ასეთივე მექა-

ნიზმი მოქმედებს სხვა ვერტიკალურ ჯგუფებში (გ. ოდიკაძე, ი. მშენიერაძე, 2006).

ჰიდროქსიდის და ფთორის (ბიოტიტებში ის 5%-ს აღწევს) მონაწილეობა ბიოტიტის კრისტალურ მესერში მნიშვნელოვანი ფაქტია თუ გავითვალისწინებთ, რომ ფთორი ქიმიური ელემენტების უნიკალური ტრანსპორტიორია (გადამტანი) არ გამოვრიცხავთ, რომ ბიოტიტის კრისტალურ მესერში მადნეული ელემენტების სიმრავლე ან მათი მეტნაკლებად მაღალი პროცენტული შემცველობა ფთორის დამსახურება უნდა იყოს.

ხუმოთ ჩამოთვლილი ფაქტიური მასალა ორპიროვნად მეტყველებს, რომ ბიოტიტი არის ქანში მინერალი რომელსაც არავითარი პრაქტიკული ღირებულება არ გააჩნია და თავისი არსებობით, კრისტალური მესერის ელასტიკურობით და განუსაზღვრელი იზომორფული ტევადობით მადნეულ ელემენტებს საშუალება არ მისცა საკუთარი საბადოები ჩამოეყალიბებინათ ენდოგენურ პირობებში. სამწუხაროდ, ეს საკითხი გეოლოგიურ ლიტერატურაში არასოდეს გამხდარა განსჯის საგანი, რაც დაუშვებლად მიგვაჩნია.

ჩვენ მიერ ჩამოყალიბებული ძირულის კრისტალური მასივის გვიანვარისკული კალიუმიანი გრანიტების ჩამოყალიბების ძირითადი გეოქიმიური ასპექტების განხილვისას მხედველობაშია მისაღები პირველ რიგში ის სამი ძირითადი გრანიტოფილური ქიმიური ელემენტები რომლებიც გადაუჭარბებლად შეიძლება ითქვას წამყვან როლს თამაშობს აღნიშნული ქანების ჩამოყალიბებაში, მათ ენდოგენურ მეტალოგენიაში, ხაზგასასმელია ის ფაქტორი, რომ გვიანვარისკული კალიუმიანი გრანიტებთან თუ მხედველობაში არ მივიღებთ შროშის მცირე გრანიტული პეგმატიტებს, რომლებშიც იშვიათად გვხვდება ბივრილი, ნიობიუმ-ტანტალი და ლითიუმის ქარსი ლეპიდოლიტი, არანაირი ენდოგენური მეტალური საბადო არ გვხვდება და ეს, როგორც ჩვენ მიერ ჩატარებულმა კვლევებმა გვინგენა (გ. ოდიკაძე და სხვები, 2006 წ.) გავერკვიოთ, საქმე იმაშია, რომ რკვიის მაგმური კალიუმიანი გრანიტები (მასივის საერთო მოცულობა დაახლოებით 350 კმ<sup>3</sup>) პრაქტიკულად საღი ქანებისაგან შედგება მინდვრის შპატებს ეტყობა სუსტი შეცვლა, გათიხება, ხოლო ქარსებს განსაკუთრებით ბიოტიტს რომლის შემცველობა 7-8%-ია რაიმე სერიოზული შეცვლა არ განუცდია ე.ი. მის კრისტალურ მესერში იზომორფულად თავმოყრილია ყველა მადნიანი ქიმიური ელემენტი რჩება მის კრისტალურ მესერში – ეს კი ერთერთი მთავარი მიზეზია აღნიშნულ ინტრუზივთან რაიმე სერიოზული საბადოს არ არსებობისა. ეს გეოლოგიურ ლიტერატურაში ახალი

ვერსიაა და ის შეიძლება გავრცელდეს საერთოდ კონტინენტური ქერქის ყველა რეგიონზე. პირველმა ინტრუზივმა რომელიც ბიოტიტით გამდიდრებულია თუ არ განიცადა პოსმაგმური გარდაქმნა და მის მიერ შემცველი ქანშენი მინერალებისაგან სრულიად არ გამოთავისუფლდა მეტალოგენური საბადო ვერ ჩამოყალიბდება. ეს აუცილებლად გასათვალისწინებელია პერსპექტიული რაიონების გამოვლენისას.

### 3. დასკვნა

ბიოტიტის კრისტალოქიმიური და გეოქიმიური თავისებურება გადამწყვეტ როლს ასრულებს როგორც ქანების ისე მადნეულის საბადოების ფორმირებაში;

გრანიტებში ბიოტიტი მეოთხე ადგილზეა და მისი შემცველობა 7-8% შედაგენს, მის კრისტალურ მესერში თავმოყრილია არანაკლებ 50-60% მადნეული ელემენტები რომლებიც სილიკატურ მდნარში გვხვდება;

ბიოტიტი ნეგატიურ როლს თამაშობს ენდოგენურ მეტალოგენიაში საბადოების ფორმირების პროცესში.

### ლიტერატურა

1. Одикадзе Г.А. Гранитоиды большого Кавказа. Тбилиси, 1998 г.
2. Одикадзе Г.А., Мшвениерадзе И.Н., Маисურაძე Н.И. Термин Гранит - краткий исторический обзор и нынешняя реальность // საქართველოს ნავთობი და გაზი, 2006 წ.
3. გ. ოდიკაძე, ი. მშვენიერაძე. ზედა მანტიის როლი გრანიტული ფენის ჩამოყალიბებაში // საქართველოს ნავთობი და გაზი. თბილისი, 2005.
4. გ. ოდიკაძე, ი. მშვენიერაძე. თიხები გრანიტის (გრანიტული ფენის) და ცოცხალი ორგანიზმების (ბიოცენოზის) ჩასახვის და განვითარების შესაძლო სუბსტრატი კონტინენტურ ქერქში // საქართველოს ნავთობი და გაზი, თბილისი, 2005.

UDC 552.3:549:550.4

## MINERALOGY AND GEOCHEMISTRY OF BIOTITE OF DZIRULA CRYSTALLINE ROCK-MASS OF CALIUM GRANITE

### I. Mshvenieradze

Department of geology, Georgian Technical University, 77, Kostava str, Tbilisi, 0175, Georgia

**Resume:** Quartz and biotite, among the granite rock-forming minerals, play the main part in endogenic metallogeny. Due to specific peculiarities of their unique crystalline lattice, quartz assumes no one ore element isomorphically and thus plays positive role in endogenic metallogeny, while biotite accumulates practically all the ore elements and thus affects negatively not only on the formation of ore, but the formation of their own minerals as well.

**Key words:** Biotite; isomorphism; isovalent; heterovalent; minerals; deposit; atom; ion.

УДК 552.3:549:550.4

## МИНЕРАЛОГИЯ И ГЕОХИМИЯ БИОТИТА КАЛИЕВЫХ ГРАНИТОВ ДЗИРУЛЬСКОГО КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО МАССИВА

### Мшвениерадзе И.Н.

Департамент геологии, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. Костава, 77

**Резюме:** Среди породообразующих минералов гранита кварц и биотит играют особую роль в эндогенной металлогении. Исходя из уникальных особенностей их кристаллической решетки, кварц в своей решетке изоморфно не воспринимает ни одного рудного элемента и этим играет позитивную роль в эндогенной металлогении, а биотит аккумулирует практически все рудные элементы и, таким образом, играет негативную роль не только в образовании рудных месторождений, но и их собственных минералов.

**Ключевые слова:** биотит; изоморфизм; изовалентный; гетеровалентный; минерал; месторождение; атом; ион.

*მიღებულია დასაბუჯდად 17.04.10*

# ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის სექცია

UDC 811/163.3

## HISTORIC NAMES REFLECTED IN ASOMTAVRULI ALPHABETICAL SYSTEM

R. Gvetadze, D. Gvetadze\*

Department of Metallurgy, science of materials and metal-workong, Georgian Technical University, 77, Kostava str, Tbilisi, 0175, Georgia

E-mail: david.gvetadze@ubc-i.com

**Resume:** If we take into consideration the distribution of symmetrical graphemes of Asomtavruli Alphabet and the names of letters in the alphabetical order, and if we put Georgian alphabet in order according to the square matrix 6x6, the alphabet thoroughly reflects not only on astronomical-calendar parameters, but also historical notes about the toponymy of the Iberian state and ethnarqs. The izophsephy of names of Kartli, Kartlos and Pharnavaz reflects alphabetical numeric system.

The grapheme of the letter  $\bar{X}$  "Jan" has turned out to be a universal cryptogram, which is the means of defining not only the formula of meton in terms of the lunar-solar calendar equality and the parameters of the sun movement around the zodiac circle, but also the izophsephy of the name of the King Pharnavaz, which is 666.

Asomtavruli Alphabetic system is a masterpiece of Georgian civilization of Hellenistic epoch.

**Key words:** Asomtavruli Alphabetic system; Iberian-Georgian Alphabetic square; the sequence of symmetrical graphemes; astronomical-calendar parameters; pronoun he; who; ethnarq; ethnonym; izophsephy.

### 1. INTRODUCTION

The 18th century outstanding Georgian Language supporter Sulkhan-Saba Orbeliani wrote:

"... Georgian language, is accomplished and spread and worked out by the First King of Georgians – Pharnavaz, a wise and clever man, who was the offspring of Kartlosians" [1].

The historian of the 11th century Leonti Mroveli directly points out, that the King of Iberians – Pharnavaz created Georgian writing. In fact, on the basis of the analysis of Asomtavruli alphabet letter-signs and the name of the letters, also by means of locating letters

within the Iberian Georgian Alphabetical square, the ancient achievements of civilization were revealed, namely in Astronomy, Mathematics, calendar recording and Chronology. Besides, Asomtavruli alphabet, the documents, which prove the high level of Georgian ethnoculture of Hellenistic epoch are Nekresi Pagan calendar, the splendid written document of pre-Christian epoch "Praise and Exaltation of the Georgian Language" and Davati stele. Nekresi pagan calendar and Davati stele are dated documents, which are chronologically marked according to the 19-year metony circle of the lunar and solar calendars [2-4].

In the Asomtavruli alphabetical system the information about natural sciences of encyclopedical character is given. It gives us some ground to search for historical notes in them about the State of Iberia and about the ethnarqs estbalishing.

### 2. THE BODY OF THE ARTICLE

It is advisable to start research by the lexical analysis of names of letters. We will conduct the analysis of the lexic reflecting astronomical-calendar events. The names of Georgian alphabetical letters and numerical meanings are presented in the same book [5].

There are some cases of producing nouns in Georgian language by doubling the root of a word, f.e. rakraki (warble), kiskisi (laugh), tzamtzami (eyelash). By doubling the 12th letter la- we will get laslasi, which means moving slowly and it should be pointing at the sun movement around the zodiac circle. The 14<sup>th</sup> letter name nar means the moon in Megrelian. By doubling this root we will get a new word nar-nari, which could be the synonym of brightness.

As it is known from the history of Astronomy [6] Chinese, Indians and Arabs considered, that the moon had a place to overnight when it moves among stars. There is an opinion, that this is due to the influence of Mesopotamia Centre. It seems very interesting regarding the fact, that Arabs call this event a "distance". The similar

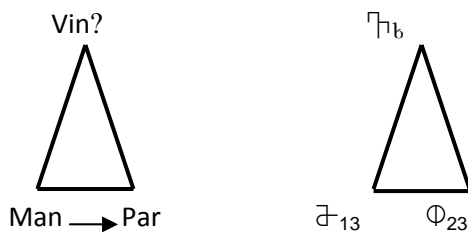
events are indicated by the lexical system of the Asomtavruli alphabet. The 29<sup>th</sup> letter of the alphabet coincides with the 29<sup>th</sup> of the lunar month. During this period the moon is invisible, it is asleep and the determinatives “Dzilis Tsili” (a share of sleep) of 30<sup>th</sup> and 31<sup>st</sup> letter-names point out at this.

The extract from Leonti Mroveli’s historical notification is very interesting: “And this Pharnavaz was the first King of Kartli, the offspring of the Kartlians from Kartli. He spread the Georgian language and there was no other language in Georgia, but the Georgian and he created the Georgian writing”.

The demonstrative pronoun “this” is twice accented in the text and the name with the root ‘Kartl’ is mentioned for 6 times [7]. The 6 numbers in the alphabet are keys to the secret information and at the same time the interrogative pronoun “who”, that is expressed in the 6<sup>th</sup> letter. Also, there is a demonstrative pronoun “he”, that belongs to the 13<sup>th</sup> letter.

It is noteworthy, that the demonstrative pronoun “he” has got the relevant ideogrammic symbol  $\Gamma$ , which has a sharp line on the right pointing out, that this is the element carrying this idea. The usage of pronouns in the names of the letters is a universal phenomenon and there has never been anything like this noticed in other alphabetical systems before.

The 23<sup>rd</sup> letter of the alphabet is called “phar”, which is the root of the King Pharnavaz’s name and in the Georgian alphabet the animate subject pronoun is shown by “vin” and the same is done by the demonstrative pronoun “man”, judging from this it should be noted, that the distributional scheme of these lexical elements should be closely studied.



According to the presented scheme there is a question “Who created the alphabetical system?” (Georgian bibliography), with the help of the beads on the triangle roots the following phrase can be read out “He” (Phar(navaz) did”. On the top of the distributive triangle there is a “vin” letter with the numerical number 6. There are “man” and “phar” letter names located on the root of the triangle, which are numbered as 13 and 23, and their sum is 36. Hence, syllabic-numerical distribution shows the square attitude  $6^2=13+23$ .

Only such syllabic-numerical distributional analysis is not enough to define, that along with the astronomical-

calendar parameters in the Asomtavruli alphabet the name of Georgian ethnarq is cryptographically indicated. It is necessary to apply the other more recognized methodology used in the pre-Christian epoch.

From this point of view a very significant notification kept in Georgian historiography should be paid great attention about the origin of Georgian alphabet. The information about it can be found in the book by Catholicos Anton the Second “The Book of Perceptions”. This notification was written out by Teimuraz Bagrationi, and in 1836 the specialist of Georgian Studies Niko Marr had published it in French. The document states that:

“Georgians were not uneducated in the ancient times, they had been writing according to the religious style, that had been known before Pharnavaz, i.e. the priests, the monks and religious persons were the slaves of pagan gods and their written style was Khutsuri. Pharnavaz separated their writing style from that of military persons by the letters created by him. But the written style of Khutsuri was originated from Hebrew and Caldean and they are alike each other “ [2,8].

Caldeans were called sacred priests of Babylon. They created the theory about the secret connections between numbers and letters, which was called Gematry and it represents an unseparable part of numerology. Caldeans were theosophers, astronomers and the first pioneers who declared the eternity of soul. It is important, that the 35<sup>th</sup> letter name of the Georgian alphabet is called “Jan”. In the Caucasian Albanians’ alphabet there is an analogy of “Jan” - “Jain”, which means a soul. This is one of the additional beneficial arguments to prove the above-mentioned notification about the genesis of Georgian alphabet.

Pythagoras contributed a lot to the development of number symbols. In his time and a bit later numerology was in close contact with Mathematics. Pythagoras pronounced the words: “The world is a number”.

Caldeans and Jewish people widely applied the mystery of numbers with the help of gematry and numerology to analysis of their astrological and religious tests.

Taking into consideration this circumstances the distribution of graphemes accomplished in Asomtavruli alphabetical order should be paid a particular attention. The shapes of the 22<sup>nd</sup> and 26<sup>th</sup> letters in alphabetical order are similar. The First column represents a vertical line, there is a half-circle in the middle, as for the second symbol there is the second half of the symbol at the top of the figure. With their help the bloc of graphemes with vertical line is distinctly contoured  $\Phi + \Gamma$ , which has the order number 23, 24 and 25, their sum is – 72.

We do consider, that in this respect the izophsephy of the name of King Pharnavaz is shown in Georgian alphabet the following one:

$$23(\varphi) + 1(\sigma) + 19(\rho) + 14(\beta) + 1(\delta) + 6(\gamma) + 1(\delta) + 7(\beta) = 72$$

In order to finally prove, that on the basis of the syllabic-graphical distributional analysis a very significant historical information can be read out about a Georgian ethnarq, the etymology of the name of Pharnavaz should be reviewed. It should be noted, that an outstanding Georgian scientist Mzia Andronikashvili studied the proper name - Pharnavaz [9]. She considers, that in Georgian as well as in Persian this name is of Midian origin.

The meaning of the first element of this name pharna is "glory, happiness, royal charm, heavenly blessing" and etc. There are many notified versions of this name. In

Greek the equivalent of the name is "Pharnabazos". Among the proper names of the Black Sea northern coast the following names can be met: Pharnagoz, Pharnakes, Pharnarnos, Parnes, Pharnertnos, etc. In Aramaic language this name sounds as Pharnabazu, and it is written as Pharnbzu, which is presented on the Satrap coin dates back to the 5<sup>th</sup> century B.C. (see picture 1). The second element of the Pharnazus name bazu means a "hand" and as a whole it means "having a glorious hand" or with a "happy hand".



picture 1. Cilicia, Satrap Pharnabazus coin

The Ossetian Linguist V. Abaev considers it possible, that the ending of the name "vaz" should be considered as borrowed from Ancient Iranian word - vačah - meaning "a word", which would be vaz in Middle Iranian as then the name Pharnavaz is explained as "somebody having blessed words" or "an eloquent man". Such explanation suits a lot more with the contribution of Pharnavaz in creating the cultural heritage of the Iberian State.

The composition of the name of the kings is an ancient Eastern tradition: Asurbalit (Asuri gives life), Asurnasirpal (Asuri defending son), Tiglat-Pasalari (the savour of Assiria, the son of the King, from Palace), Sargon (A true king), Nabupalasari (The God of the Sky defend a child), Nabukhodonosor (Sky, defend my borders), Asarkhadon (The God Asori, give us a brother) and so on.

As it seems the selection of King Pharnavaz and the specially created three-letter bloc of symmetrical graphemes served to indicating the contribution of the ethnarq in national writing with the help of izophsephy.

The founder of the Georgian Paleography Ivane Javakhishvili supposes at first the Georgian alphabet contained 35 letters. Later the 36<sup>th</sup> letter "hae" was added to it, which was shifted from the 8<sup>th</sup> position and its place was occupied by the eighth letter [pg. 10, 150,200], As it seems with the help of this case the letters are located according to the square matrix 6x6, which made it possible to indicate important information in Georgian alphabet in ciphered form, in particular the names of Georgian ethnarqs.

As far as the alphabetical order 6x6 represents the arithmetical progression with 1, that's why such location of 36 letters gives us the common mysterious square in the square tabular boxes, where in the symmetrically located pair lines or columns of the figures give a sum of 222, as for the sum of those letters in each diagonal direction, it equals 111 and is called a magic number (picture 2).

111	სტუდენტური შრომები სტუდენტური შრომები						111
	1	2	3	4	5	6	
	7	8	9	10	11	12	1+8+15+22+29+36=111
	13	14	15	16	17	18	6+11+16+21+26+31=111
	19	20	21	22	23	24	96+126=222
	25	26	27	28	29	30	102+120=222
	31	32	33	34	35	36	108+114=222
111	96	102	108	114	120	126	222+222+222=666
			222				

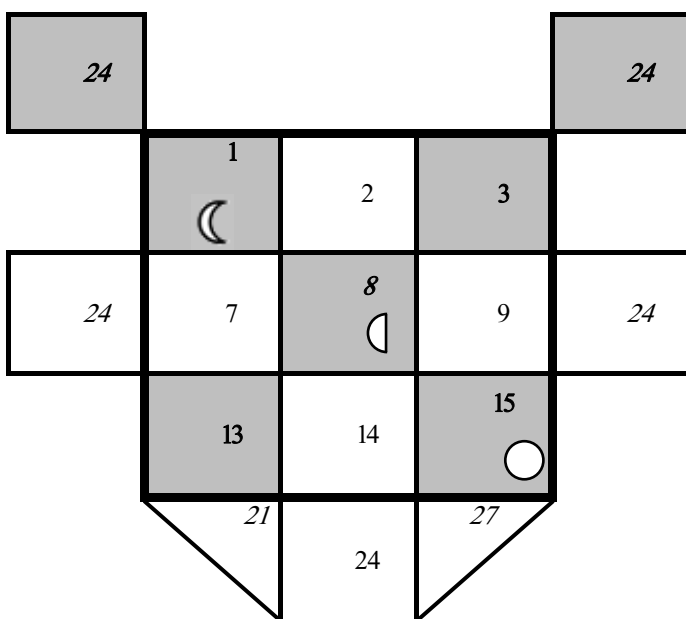
picture 2. Iberian-Georgian Asomtavruli Square

The Asomtavruli alphabetical square contains different kinds of astronomical-calendar information, which was owned by our ancestors. We call it an Iberian-Georgian alphabetical square. On the 1-36 diagonal of the square the scheme of lunar phases are given, that's why we called it a lunar diagonal, the 6-31 direction diagonal is called a solar diagonal as it reflects the astronomical seasonal events connected with solar movement [5].

Producing the names of the Georgian numerals is done by adding (twenty-two: 20+2), multiplying (forty: 2x20), or both adding and multiplying (forty-two: 2x20x2+42). According to this principle the alphabet starts with the one-name triple letters an, ban, gan, which has a sum - 6 (1+2+3=6), and each one simultaneously divides into complete number, but apart from the other complete numbers, the multiplication of those number-subtractors of 6 gives a complete letter. The average of these three letters is 2, as for the number of 36-letter Georgian alphabet, the square of the first complete number is 6<sup>2</sup>=36. On the basis of this note it is advisable to use addition, multiplication as the key to decoding the cryptonization of the alphabet, defining average or giving a number in square.

As the first one-name letters of the alphabet and their numerical characteristics have a cryptographical function, we can form a paradigmatic matrix 3x3 in the Iberian-Georgian alphabetical square on their basis. In the direction of this small square the sum of the numbers located on the diagonal and vertical directions equals 24. The average of the letters on the opposite sides equals 24:

$$\left( \frac{(1+2+3)+(13+14+15)}{2} = \frac{6+42}{2} = 24 \right)$$



შრომები- შრომები	72
	66
	6

შრომები	2 1 + 2 4 + 2 7 = 72
---------	----------------------

შრომები-72

picture 3. Cryptographic alphabetical square 3x3



The first member of this small square  $\subset$  – 56 is a sign of a half moon, as for the last 15<sup>th</sup> position it equals with the full moon. The sum of the letters from the small square equals 72. This is one more version of revealing a sacred letter 72, which answers the question about the creator of Georgian Asomtavruli alphabet.

With the means of the magic number 111 from the Iberian-Georgian alphabetical square it is indicated, that the Georgian ethnarq – is an izophsephy of the first head of Kartli – Kartlos:

$$24(j) + 1(s) + 19(r) + 9(m) + 12(l) + 16(o) + 20(b) + 10(n) = 111$$

The magic number 111 if multiplied on the complete number 6, which matches with the symbol “vin” gives 666. The researcher T. Chkhaidze concluded [6], that the izophsephy of the king Pharnavaz was calculated according to the alphabetical order that equals 666:

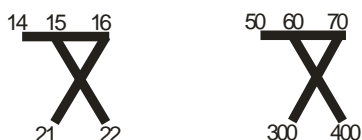
$$500(ვ) + 1(ს) + 100(რ) + 50(ბ) + 1(ს) + 6(ვ) + 1(ს) + 7(ზ) = 666*$$

\*There was no negative approach towards 666 in pagan period, only within Christianity period it was called a code of a beast and it was connected with AntiChrist Apocalypse.

The sum of the natural numbers from 1 to 36 is 666. The sum of the letters on the 1-36 lunar diagonal is 111. Hence, the names of both ethnarqs are read out on the 36<sup>th</sup> letter positions – in the right corner of the Iberian square.

Jan –  $\times$  is among the Asomtavruli letters the most sacred grapheme according to its shape. It is the only one, which possesses the linear lines located on the diagonal [2,10]. The diagonal composite of the cross symbol points out, that the meaning of the letter-Jan and its order-number is the cryptogram of Georgian Asomtavruli alphabet

The cryptogram shows, that for decoding the alphabetical hidden information its 36 letter-signs should be put according to the 6<sup>th</sup> line square matrix 6x6+36. In the grapheme “jan” the scheme of diagonal cross of square alphabet is indicated, which is added to the lengthened left horizontal line  $\times_{35}$ . In this case “Jan” symbol connects the letter-signs of the alphabet square order with each other according to the following scheme:



The 6<sup>th</sup> line square alphabet is a very informational system. The meanings of natural numbers in the diagonal, vertical or horizontal directions create the arithmetical progressions of various characteristics, which gives wide opportunities of paradigmatic research.

According to the “Jan” cryptogram Georgian alphabetical order should be put in the line in such a way, that the letter-signs should be located in the diagonal directions according to the 5 and 7 growing arithmetical progressions.

In the centre of the Iberian-Georgian alphabetical square a very significant astronomical-mathematical circle length constant can be calculated with the help of the pairs of letters with their number-meanings of graphical elements in different directions (365m 25 day-night), the circle length constant ( $\pi=3,14$ ), the solar movement constant around the zodiac circle (31X37=1147=3,14X 365.25) Meton lunar-solar equality calendar formula. These issues are highlighted in our paper in details [4].

As it appeared in the “Jan” cryptogram  $\times$  along with the astronomical-mathematical parameters the identity of Iberian ethnarq, Pharnavaz is indicated. The multiplication of the letter-numbers 15<sup>th</sup> and 22<sup>nd</sup> located on one bended line of the cryptogram is 330, and the multiplication of the second bended line – 16<sup>th</sup> and 21<sup>st</sup> letters is 336 (picture 4). The sum of these multiplication is 666 (330+336=666), which matches with the izophsephy of the King Pharnavaz.

$\subset_1$					$\Gamma_6$
			06	336	
	65რ	15	16	33რ	
		21	22		
	33რ		606		
$\beta_{31}$					$\Gamma_{36}$

picture 4. The position of the “Jan” cryptogram and one-name and similar letters around within the Iberian alphabetical square

As we have read the name of the Iberian ethnarq’s royal name is Pharnavaz. It is natural, that we should search for information around the divine name Armaz. We should start from the etymology of the name. There is some supposition, that it is produced from the Kheturiluviuri from the word “Arma”, which means the moon [11].

For producing the proper names of Persian origin “Z” is added to the words, f.e. Artavaz, Varz, Mirvanoz, Peroz and so on. With the same method as it seems the name “Armaz” was created and the same can be said about the proper name in Georgian – Malkhazi, which has a root ‘Malkh” - the sun.

Let’s calculate the izophsephy of Armaz:

$$1(\text{a}) + 19(\text{r}) + 13(\text{m}) + 1(\text{z}) + 7(\text{b}) + 10(\text{o}) = 51$$

In Georgian alphabet the trace of this name can be connected with the Moon. The 27<sup>th</sup> letter of the alphabet is “Shin”, which means the moon in Babylonian, the lunar month consists of total 27 days and nights. The letter “shin” matches with the Armaz izophsephy:

$$27(\text{შ}) + 10(\text{o}) + 14(\text{b}) = 51$$

It is noteworthy that the 27<sup>th</sup> letter is located in Iberian-Georgian alphabetical square on the parallel line of the lunar diagonal 13-34. The 13<sup>th</sup> letter “man” is on the line, which is the root of the root of the Persian word “Mang”, as for the 34<sup>th</sup> letter ‘Khar”, it is a Schumerian word connected with the God - ox, which was considered as the son of the Moon God “shin” [2].

Hence, in the Georgian Asomtavruli alphabetical square system the names of three Georgian ethnarqs: Kartlos, Armaz and Pharnavaz are reflected.

As with the help of the alphabetical order the origin of Georgian ethnarqs were found out, it is advisable to seek for the toponym of the state as well.

In the left corner of the sun diagonal along with the name of the Kartlos the sum of the letters on the parallel line 5-25 equals with 75 (5+10+15+20+25=75), which matches with the izophsephy of “Kartli”:

$$24(\text{ქ}) + 1(\text{a}) + 19(\text{r}) + 9(\text{m}) + 12(\text{ლ}) + 10(\text{o}) = 75$$

As it has become known the 23<sup>rd</sup> letter, was given the name Phar for the honour of the King Pharnavaz. Besides, the grapheme of the letter “Qan” is the symbol of the four sides of the country and acrophonically the word “Qan” matches with the country. We should take into account, that two identical double symmetrical graphemes stand side by side among the graphemes of the vertical symmetry of the three letter consequence.

The sum of the ordinal numbers of the identical structural graphemes “phar” and “qan” are 23+24=47, In the ancient historical sources Georgia was called “Iberia”. We will calculate its gematry:

$$10(\text{o}) + 2(\text{b}) + 5(\text{g}) + 19(\text{r}) + 10(\text{o}) + 1(\text{a}) = 47$$

Hence, the sum of the graphemes  $\Phi_{23} +_{24} \cap_{25}$  followed by three vertically located symmetrical signs is 72, which coincides with the izophsephy of the Pharnavaz, and as for the double symmetrical grapheme, the sum of their ordinal number is 47, which matches with the izophsephy of the Iberian state.

Judging from this there are two cryptograms in the Asomtavruli alphabetical system with the help of which

the izophsephy of the King Pharnavaz is calculated. The cryptogrammatical grapheme of the “Jan” letter  $\times$  belongs to the numeric meanings of the letters in case of calculating the cryptogrammatical bloc of the symmetrical graphemes  $\Phi_{23} +_{24} \cap_{25}$  put in order (see the table).

“With the help of the constant relations with the neighbouring countries Caldean culture influenced on the culture of other countries. The mystery of numbers was widely spread, which was an unseparable part of the Caldean science and culture. The cradle of the mystery of numbers as well as the other mysterious sciences was considered the ancient Caldea from the old times. In Greece Pythagoras developed the Caldean doctrine [pg.12, 126, 127]”.

Caldeans created their own numerological table, in which the meanings of the letters are repeated [13]. We will put the Asomtavruli alphabet according to the Caldean table and compare the gained information received with the help of the Iberian-Georgian Square.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
⌒	⌑	⌐	⌏	⌎	⌍	⌌	⌋	⌂
⌊	⌋	⌌	⌍	⌎	⌏	⌐	⌑	⌒
⌔	⌕	⌖	⌗	⌘	⌙	⌚	⌛	⌜
⌞	⌟	⌠	⌡	⌢	⌣	⌤	⌥	⌦
⌨	〈	〉	⌫	⌬	⌭	⌮	⌯	⌰
⌲	⌳	⌴	⌵	⌶	⌷	⌸	⌹	⌺
⌼	⌽	⌾	⌿	⌿	⌿	⌿	⌿	⌿
⌿	⌿	⌿	⌿	⌿	⌿	⌿	⌿	⌿

Let’s count now the gematry of the name of Pharnavaz according to the Caldean table:

$$5(\text{ფ}) + 1(\text{a}) + 1(\text{r}) + 5(\text{b}) + 1(\text{a}) + 6(\text{g}) + 1(\text{a}) + 7(\text{b}) = 27$$

According to the Pythagorean system the numerological calculation of the two-digit number is lowered down till one-digit one. In this case:

$$27 = 2 + 7 = 9$$

According to the cabbalistic doctrine the received number 72 is connected with the name of God. Pharnavaz was recognized as the king under the power of God. We will change this two-digit number into one-digit one:

$$72 = 7 + 2 = 9$$

Now we will encode the name of Pharnavaz calculated by Pythagorean system according to their alphabetical meanings:

$$666 = 6 + 6 + 6 = 18 = 1 + 8 = 9$$

We have received the sacred number 9 three times, which was considered as the symbol of God of strength and power and matches with such an ethnarq as Pharnavaz.

It is interesting, that the sum of the numeric meanings of three symmetrical graphemes calculated according to the Caldean table  $\Phi + \cap$  equals 9 according to the Pythagoras' calculations:

$$5 (\Phi) + 6 (+) + 7 (\cap) = 18 = 1+8 = 9$$

Now we will define the positions of the Caldean table calculated according to the Iberian-Georgian alphabetical square (picture 2). We will discuss the indirect line 2-30, which is the parallel of the lunar diagonal. The characteristic number of Pharnavaz 9<sup>th</sup> and 23<sup>rd</sup> letter-sign Phar calculated according to the numerological method is given on this line, which is the first syllable of the name of Pharnavaz.

Hence, the certain coincidence was defined between Iberian-Georgian cryptogrammic and Caldean systems.

### 3. CONCLUSION

According to the conducted research and on the basis of the lexical and numerical analysis we can conclude, that when the state of Iberia was being established as it was used during that period of time the information of historical value was indicated in the Asomtavruli alphabetical system as the toponym of the Georgian state and the proper names of its ethnarqs. Syllabic-numerical and numerical-graphical distributional analysis was used for it.

There was proved Asomtavruli alphabetical structured system, which contains astronomical, mathematical, calendar and historical information. It is essentially the perfect masterpiece, that had been kept till today - the masterpiece of the Georgian civilization of Hellenistic epoch.

### REFERENCES

1. Sulikhan-Saba Orbeliani, Lexical Georgian, I. Tbilisi, Merani, 1991, pg 28.
2. Pataridze R. Georgian Asomtavruli. Tbilisi: Nakaduli, 1980.
3. Kandelaki N., Tsertsvadze G., Cryptoanalysis of Georgian Asomtavruli Alphabet. Tbilisi, 2005.
4. Gvetadze R., Gvetadze D., Asomtavruli Alphabetical Order and The Beginnings of Georgian Chronology, Svetitskhoveli, #2, 2009, pg. 91-104.
5. Gvetadze R., Gvetadze D., Paleography of Asomtavruli Alphabet and Paradigmatic Analysis, in the same book.
6. Панекук А. История астрономии. М.: Наука, 1996, с. 70-703.
7. Chkhenkeli T. "The Lives of Kings" and the svener number counting system, "Literature and Art". #1, 1991, pg. 27-57.
8. Sharadze G. Teimuraz Bagrationi. Tbilisi, 1972, pg. 125-126.
9. Andronikashvili M., Proceedings from the Iranian-Georgian Linguistic Relations, I. Tbilisi, 1966.
10. Javakhishvili Iv., Georgian Paleography, TSU.
11. Меликишвили Г.А. Наири-Урарту. Тбилиси, 1964.
12. Чистяков И. Числовые суеверия // Наука и жизнь, №8, 1968. стр.126-7.
13. Скотт П.С. Полное руководство по нумерологии. М.: Гранд, 2004.

### შპს 811/163.3

### ისტორიული სახელწოდებები ასახული ასომთავრულ ანბანურ სისტემაში

რ. გვეტაძე, დ. გვეტაძე

მეტაფორების, მასალათმცოდნეობის და ლიტონების დამუშავების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, კოსტავას 77

**რეზიუმე:** თუ გავითვალისწინებთ ასომთავრული ანბანის სიმეტრიული გრაფემის და ასოთა სახელების დისტრიბუციას ანბანურ მწკრივში, ხოლო 36 ასოიან ანბანს დავაღვებთ მეექვსე რიგის კვადრატური მატრიცის მიხედვით  $6 \times 6$ , სრულყოფილად ვლინდება ანბანში დაფიქსირებული არა მარტო ასტრონომიულ-კალენდარული პარამეტრები, არამედ ისტორიული სახის ცნობები იბერიის სახელმწიფო ტოპონიმის და ეთნარქიის შესახებ. ანბანის რიცხვული სისტემით ასახულია ქართლის, ქართლოსის და ფარნავაზის სახელების იზოფსევია. ასო "ჯან"-ის გრაფემა  $\text{X}$  აღმოჩნდა უნივერსალური კრიპტოგრამა, რომლის საშუალებით განისაზღვრება არა მარტო მთავარ-მზის კალენდარული ციკლის მეტონის ფორმულა და ზოდიაქურ წრეზე მზის გადაადგილების პარამეტრები, არამედ მეფე ფარნავაზის სახელის იზოფსევია 666. ასომთავრული ანბანური სისტემა ელინისტური ეპოქის ქართული ცივილიზაციის შედეგია.

**საკვანძო სიტყვები:** ასომთავრული ანბანური სისტემა; იბერიულ-ქართული ანბანური კვადრატი; გრაფემების მიმდევრობა; ასტრონომიულ-კალენდარული პარამეტრები; ნაცვალსახელი მან; ვინ; ეთნარქი; ეთნომიმი იზოფსევია.

УДК 811/163.3

**ИСТОРИЧЕСКИЕ ИМЕНА, ЗАСВИДЕТЕЛЬСТВЕННЫЕ В ДРЕВНЕГРУЗИНСКОЙ АЛФАВИТНОЙ СИСТЕМЕ «АСОМТАВРУЛИ»****Гветадзе Р.Г., Гветадзе Д.Р.**

Департамент металлургии, материаловедения и обработки металлов, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. Костава 77

**Резюме:** Дистрибуция названий букв и симметричных графем в алфавитном ряду, а также расположение 36 численных знаков алфавита согласно квадратной матрицы шестого разряда 6×6, позволяет выявить зафиксированные в алфавитной системе не только астрономические и календарные параметры, но и сведения исторического характера относительно основателей государства Иберия. В численной системе грузинского алфавита отражена изопсефия Картли, Картлоса и Фарнаваза.

Графема «Джан» ] оказалась универсальной криптограммой, с помощью которой определяется не только метоновский цикл, но и изопсефия имени царя Фарнаваза 666.

Древнегрузинская алфавитная система Асомтаврული является шедевром грузинской цивилизации эпохи эллинизма.

**Ключевые слова:** алфавитная система Асомтаврული; иберийско-грузинский алфавитный квадрат; последовательность симметричных графем; астрономические и календарные параметры; местоимения; этнархи; этномим; изопсефия.

*Submitted: 13.12.10***შაპ 669.168****საკახემ მასალებში ბამავალი დენების დამოკიდებულება ფეროშენადნობის ღუმლის გეომეტრიულ ზომებზე****ზ. სიმონგულაშვილი\* მ. ცირდავა, ვ. კლდიაშვილი, შ. ნემსაძე, ნ. ჩიქოვანი**

მეტალურგიის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, კოსტავას 77

E-mail: zurab simongulashvili @gru.ge

**რეზიუმე:** განხილულია ფეროშენადნობის სადნობ ღუმლებში ელექტრული პარამეტრების დამოკიდებულება მის გეომეტრიულ ზომებზე. ნაშრომში ექსპერიმენტული კვლევების საფუძველზე დადგენილია, მცირე სიმძლავრის ელექტროღუმლებისათვის ელექტროდის დიამეტრის, განშლის დიამეტრის და აბაზანის დიამეტრის ოპტიმალური ზომები. დნობის მაღალი ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების მისაღწევად აუცილებელია დენი ელექტროდის გარშემო განაწილებულ იქნეს თანაბრად და იმავდროულად გაიზარდოს საკახემ მასალების ელექტროწინაობა.

**საკვანძო სიტყვები:** ფეროშენადნობები; კახმი; ელექტროდენი; ელექტროდი; წინალობა; ელექტროღუმელი.

**1. შესავალი**

ცნობილია, რომ მადანთერმული ღუმლების თეორია მნიშვნელოვნად ჩამორჩება პრაქტიკას. ეს შენიშვნა, კერძოდ, შეეხება ფეროშენადნობის ღუმლების ძირითადი გეომეტრიული ზომების შერჩევას, რომელთა დაპროექტება ხორციელდება კარგად მომუშავე ღუმლების ანალოგიურად

სხვადასხვა ემპირიული ფორმულის გამოყენებით [1-5].

ნაშრომში – “ფეროშენადნობთა ელექტროდუმლების უნიფიცირებული სერია” მოყვანილია მონაცემები, რომლითაც საპროექტო ორგანიზაციები სარგებლობს დუმლების ძირითადი ზომების გასაანგარიშებლად. ზოგიერთი ფორმულა, რომელიც გამოიყენება ასეთი გაანგარიშებების დროს შემდეგია: ასე მაგალითად, ფ.პ. ედნერალი იძლევა რეკომენდაციას, რომ ელექტროდუმების განშლის დიამეტრი განისაზღვროს ფორმულით:

$$d_{\text{გან.}} = (2,7 - 3,0) d_{\text{ელ.}}$$

სადაც  $d_{\text{გან.}}$  - ელექტროდუმების განშლის დიამეტრია;  $d_{\text{ელ.}}$  - ელექტროდის დიამეტრია;  $d_{\text{აბაზ.}} = 2 d_{\text{გან.}}$  - აბაზანის დიამეტრია.

დაახლოებით ასეთივე შედეგები მიიღება ნორვეგიელი მკვლევარების ემპირიული ფორმულების გამოყენებით:

$$d_{\text{გან.}} = 2,3 d_{\text{ელ.}} / 0,866;$$

$$d_{\text{აბაზ.}} = d_{\text{გან.}} + 3,4 d_{\text{ელ.}}$$

სხვათა მონაცემებით:

$$d_{\text{გან.}} = (2 d_{\text{ელ.}} + 250) / 0,866;$$

$$d_{\text{აბაზ.}} = d_{\text{გან.}} + 3,4 d_{\text{ელ.}}$$

“გიპროსტალის” რეკომენდაციით გამოთვლების დროს უნდა ვისარგებლოთ ელექტროდუმების განშლის წრიული ფართის ერთეულზე მოსული ხვედრითი დენური დატვირთვებიდან, სადაც აღნიშნული წრის დიამეტრი ტოლია ელექტროდუმების განშლის დიამეტრისა.

გამოკვლევებში [6,7] მოცემული ფორმულით ელექტროდუმების განშლის დიამეტრია:

$$d_{\text{გან.}} = [(U/0,8) \cdot 0,75 + d_{\text{ელ.}}] / \sqrt{\frac{3}{2}} \text{ სმ,}$$

სადაც  $U$  არის ტრანსფორმატორის ყველაზე მაღალი საფეხურის მეორადი ძაბვა;

$$d_{\text{აბაზ.}} = d_{\text{გან.}} + 3,4 d_{\text{ელ.}}$$

როგორც ვხედავთ, აქ არის მცდელობა მოყვანილი ძაბვა დაუკავშირდეს ელექტროდუმების განშლის დიამეტრს, მაგრამ ამ ფორმულების გამოყენებით მიღებული შედეგები ყველაზე მეტად განსხვავდება პრაქტიკული მონაცემებისაგან.

გამოთვლების შედეგების შედარება გვიჩვენებს, რომ ყველა მოყვანილი ფორმულისთვის, უკანასკნელი ორის გარდა, განშლის დიამეტრის ფარდობა ელექტროდუმის დიამეტრთან დაახლოებით ერთნაირია და საკმაოდ ახლოსაა პრაქტიკულ მონაცემებთან [8,9]. იმ მიზნით, რომ უფრო დაწვრილებით და კონკრეტულად გამოგვევლინა

დუმლის გეომეტრიულ ზომებსა და მისი მუშაობის ელექტრულ რეჟიმებს შორის ურთიერთკავშირი, ჩვენ შევეცადეთ გამოგვეკვლია 3,5-4,5 მმ სიმძლავრის დუმლების სამუშაო არე, რომლის დროსაც ვცდილობდით გაგვენახლერა საკაზმე მასალებში გამავალი დენების სილიდე. აქვე უნდა აღვნიშნოთ, რომ ჩვენი გამოთვლები არის მიახლოებითი და დასახული ამოცანა საკმაოდ გამარტივებული.

## 2. ძირითადი ნაწილი

საცდელი გამოთვლები ჩატარებულ იქნა სილიკომანგანუმის (CMn17) დნობის პირობებში, სადაც საკაზმე მასალები (მადანი, კოქსი, კვარციტი, დოლომიტი) იდენტური იყო და მათი თანაფარდობა კაზმში მუდმივი.

პირველი მიახლოება მდგომარეობს იმაში, რომ საკაზმე მასალების ელექტროგამტარობა, ჩვენი დაშვებით, ერთნაირია დუმლის მთელ მოცულობაში, მიუხედავად იმისა, რომ ეს სინამდვილეს, გარკვეულწილად არ შეესაბამება.

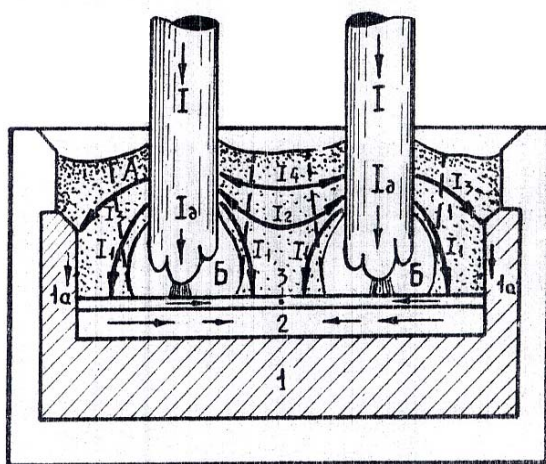
მეორე დაშვებით დუმლის სამუშაო არეში დენის განაწილების სურათი საკმაოდ არის გამარტივებული.

ჩვენ დავუშვით აგრეთვე, რომ დენების მზომი ყოველი მილაკი (ზონდი) რომელიც განტოტვილია ელექტროდის გარე ზედაპირიდან, ინარჩუნებს ელექტროდის ღერძის პარალელურად მუდმივ ზომებს, ხოლო თვითონ მილაკი მიმართულია ამ ღერძის პერპენდიკულარულად. ასეთი დაშვება სამართლიანია ისეთი შემთხვევებისათვის, როდესაც ერთგვაროვან კაზმში ჩაშვებული უსასრულოდ დიდი ღერძული სივრცის ელექტროდი. როგორც ცნობილია ეს დაშვებაც მოქმედი დუმლების სამუშაოა და პირობებს არ შეესაბამება.

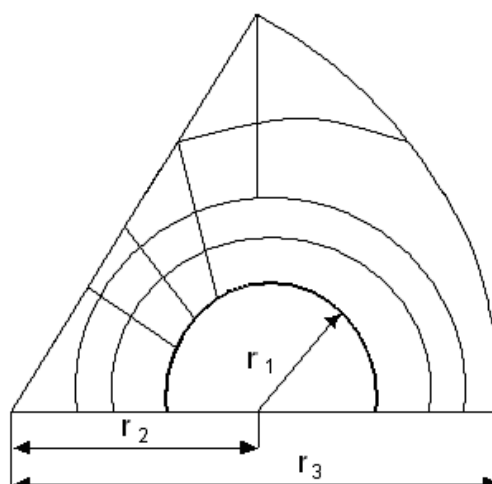
მიღებულმა დაშვებებმა საშუალება მოგვცა გადავსულიყავით ორგანოზომილებიან ელექტრულ ველზე, რამაც საკმაოდ გაგვიმარტივა კვლევების საანგარიშო ნაწილი.

კვლევების ობიექტად ჩვენ მიერ აღებული იყო ქ. რუსთავის სხვადასხვა საწარმოში განთავსებული 3500-4500 კვტ სიმძლავრის ცილინდრული ფორმის სამფაზა მადანთერმული დუმლები გრაფიტის ელექტროდუმების ტოლგვერდა სამკუთხედის წვერობებში განლაგებით.

ელექტროდუმების სიმეტრიული განლაგება საშუალებას გვაძლევს გამოვიყენოთ ელექტრორკალურ მადანამდგენელ დუმლებში დენების განაწილების კლასიკური სქემა (ნახ.1) და კვლევებისათვის შევარჩიოთ დუმლის შედარებით მცირე მონაკვეთი, რომელიც ნაჩვენებია მე-2 ნახაზზე, რომელზედაც დატანილია პოლარული ბადე, რომელსაც ჩვეულებრივ იყენებენ ელექტრული ველების გამოთვლების დროს [10-12].



ნახ. 1. მადანადმდგენი ღუმლის აბაზანაში ელექტროდი დენების განაწილება  
1 – ნახშირის ბლოკები (ქვედი); 1a – ნახშირის ბლოკები (კედლის); 2 – ლითონი; 3 – წიდა. A – ტიკელი; B – აირის (ელექტროდის ქვედა) არე.



ნახ. 2. ღუმლის გამოსაკვლევი ნაწილი პოლარული ბადით:  
 $r_1$  – ელექტროდის რადიუსი;  
 $r_2$  – განშლის რადიუსი;  
 $r_3$  – აბაზანის რადიუსი.

გამოსაკვლევი მოქმედი ღუმლების ძირითადი ზომებია:

I ღუმელი: ელექტროდის დიამეტრი – 300 მმ, განშლის დიამეტრი 1080 მმ, აბაზანის დიამეტრი – 2160 მმ.

II ღუმელი: ელექტროდის დიამეტრი – 350 მმ, განშლის დიამეტრი 1140 მმ, აბაზანის დიამეტრი – 2280 მმ.

III ღუმელი: ელექტროდის დიამეტრი – 400 მმ, განშლის დიამეტრი 1200 მმ, აბაზანის დიამეტრი – 2400 მმ.

IV ღუმელი: ელექტროდის დიამეტრი – 450 მმ, განშლის დიამეტრი 1320 მმ, აბაზანის დიამეტრი – 2640 მმ.

III ღუმლის ზომები ყოველი ჩატარებული გათვლებისათვის მიღებულია როგორც ნორმალური, ოპტიმალური – ასპროცენტური.

აბაზანის სიღრმე ყველა ღუმლისათვის ტოლია 1200 მმ.

უნდა აღინიშნოს ისიც, რომ ყველა მოქმედი ღუმლის ელექტროდების დამჭერების კონსტრუქცია საშუალებას გაძლევდა შეგვეცვალა როგორც ელექტროდის, ასევე მათი განშლის დიამეტრი.

ყველა ჩვენ მიერ ჩატარებული გამოთვლები გამოსახულია პირობით ერთეულებში, ამიტომაც კვლევების შედეგები შესაძლებელია ნებისმიერ ღუმელს მივაკუთვნოთ.

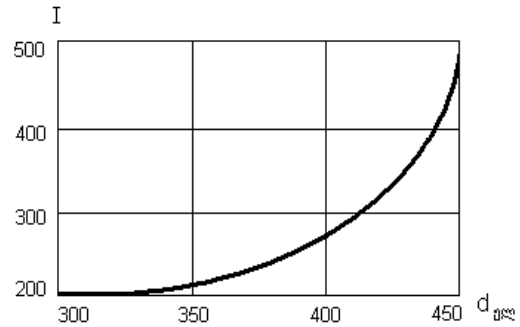
გამოთვლების პირველი სერია (ცხრ. 1, ნახ. 3) ჩატარდა ისეთ პირობებში, რომ ელექტროდების განშლის და ღუმლის აბაზანის დიამეტრი იყო მუდმივი ( $d_{გან.} = 1200$  მმ;  $d_{აბაზ.} = 2400$  მმ;) ხოლო ელექტროდის დიამეტრი ცვალებადი ( $d_{ელ.} = 300, 350, 400, 450$  მმ).

ყველა გამოთვლებში დენების განაწილება ჩვენ მიერ შეფასებული იყო დენების არათანაბარი განაწილების კოეფიციენტის  $K_i$  საშუალებით, რომელიც თავისთავად არის კაზმის დენის მაქსიმალური მნიშვნელობის ფარდობა მის მინიმალურ სიდიდესთან ( $K_i = J_{აქს.} / J_{მინ.}$ ).

როგორც 1-ლ ცხრილში მოყვანილი მონაცემებიდან ჩანს, ელექტროდის დიამეტრის გაზრდას თან სდევს კაზმის დენების განაწილების არათანაბრობის ( $K_i$ ) გარკვეული ზრდა. მე-3 ნახაზზე მოცემული გრაფიკი გვიჩვენებს, რომ კაზმში გამავალი ჯამური დენი  $J$  იზრდება ელექტროდის დიამეტრის ( $d_{ელ.}$ ) გაზრდასთან ერთად. ეს აიხსნება იმით, რომ ელექტროდის დიამეტრის გაზრდით მცირდება მანძილი მისი ზედაპირიდან ღუმლის გვერდით გამტარ ამონაგს შორის და აგრეთვე მცირდება მანძილი ელექტროდებს შორის. შესაბამისად წინაღობა მცირდება და საკაზმე მასალებში იზრდება გამავალი დენი.

ცხრილი 1

პარამეტრი	გამოთვლის ნომერი			
	1	2	3	4
გადახრის %	75	87,5	100	112,5
$d_{ელ.}$ მმ	300	350	400	450
$J_{ამა.}$	200	240	320	460
Ki	1,6	1,66	1,73	1,90



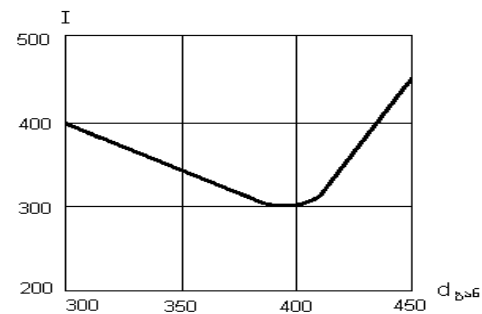
ნახ. 3. კაზმის დენების დამოკიდებულება ელექტროდის დიამეტრთან

გამოთვლების მეორე სერია ჩატარდა ელექტროდების განშლის დიამეტრის ცვლილებების პირობებში ( $d_{გან.}$  -1080,1140,1200,1320 მმ, იყო ცვალებადი, ხოლო  $d_{ელ.}$  -400მმ და  $d_{აბაზ.}$  - 2400 მმ იყო მუდმივი). ეს პარამეტრი, როგორც გამოკვლევებმა გვჩვენა, ყველაზე მნიშვნელოვნად ახ-

დენს ზემოქმედებას ღუმლის სამუშაო არეში განთავსებულ საკაზმე მასალებში გამავალ დენებზე. განშლის დიამეტრის ცვლილება (მისი გაზრდა ან შემცირება), ელექტროდის დიამეტრის ცვლილებასთან შედარებით, იწვევს კოეფიციენტების უფრო მკვეთრ რყევებს (ცხრ. 2, ნახ. 4).

ცხრილი 2

პარამეტრი	გამოთვლის ნომერი			
	1	2	3	4
გადახრის %	90	95	100	110
$d_{გან.}$ მმ	1080	1140	1200	1320
$J_{ამა.}$	400	352	300	450
Ki	3,2	2,85	1,60	4,80



ნახ. 4. კაზმის დენების დამოკიდებულება ელექტროდის განშლის დიამეტრთან

ელექტროდების განშლის დიამეტრის გაზრდა 10% ნორმალურთან შედარებით, იწვევს Ki კოეფიციენტის 3-ჯერ და მეტად გაზრდას.

ელექტროდების განშლის დიამეტრის შემცირებას ასევე თან ახლავს კაზმის დენების განაწილების ცვალებადობის მაღალი ხარისხი.

საკაზმე მასალებში გამავალი დენების თანაბარი განაწილების დარღვევა ღუმელში ელექტროდების განშლის დიამეტრის გაზრდის შემთხვევაში გამოწვეულია დენის იმ ნაწილის გაზრდით, რომელიც განტოტებულია ყოველი ელექტროდიდან ღუმლის გვერდითი ამონაგის მიმართულებით, ხოლო განშლის დიამეტრის შემცირების შემთხვევაში – დენის იმ ნაწილის გაზრდით, რომელიც მიმართულია მეზობელი ელექტროდების მიმართულებით.

ელექტროდების განშლის დიამეტრის შემცირებისას დენი იზრდება, რომელიც მიმართულია ყოველი მეზობელი ელექტროდებისაკენ და პირიქით

– დენი მცირდება, რომელიც მიმართულია ელექტროდიდან ღუმლის ამონაგის მიმართულებით.

როგორც მე-4 ნახაზიდან ჩანს, როდესაც ელექტროდების განშლის დიამეტრია 1200 მმ, ე.ი. ოპტიმალური, 100%-იანი. (იხ.ცხრ. 2), მაშინ გვაქვს ელექტროდის გვერდითი ზედაპირიდან გამტარი კაზმისაკენ განშტოებული დენის მინიმალური მნიშვნელობა და შესაბამისად ამ კაზმის მაქსიმალური წინაღობა. გარდა ამისა, ელექტროდის განშლის დიამეტრის სიდიდის ყოველგვარი გადახრა (როგორც გაზრდა, ასევე შემცირება) დენის გაზრდას იწვევს და შესაბამისად საკაზმე მასალების წინაღობა მცირდება.

უნდა აღინიშნოს, რომ პრაქტიკაში ხშირად ცდილობენ გაზარდონ ღუმლის სამუშაო არის ელექტრული წრედის წინაღობა იმ ანგარიშით, რომ ერთი და იგივე სიმძლავრის პირობებში ელექტროდებზე მოდიოდეს, რაც შეიძლება მაღალი ძაბვა.

როგორც ცნობილია, მადანადმდგენელ ღუმელებში გაზრდილ, მაღალ ქაბეებზე მუშაობა იწვევს ამ ღუმელების მუშაობის ტექნიკური მაჩვენებლების გაუმჯობესებას, რაც გამოწვეულია ელექტრული დანაკარგების შემცირებით და სიმძლავრის კოეფიციენტის ამაღლებით. ჩვენ მიერ გამოსაკვლევ ობიექტად შერჩეულ ფეროშენადნობთა სადნობ ღუმელს, რომლის ელექტროდების განშლის დიამეტრი 1200 მმ-ია, აქვს მაღალი საექსპლუატაციო მაჩვენებლები, რაც გარკვეულწილად გამოწვეულია აღნიშნული ღუმლის ოპტიმალურად კარგად შერჩეული ძირითადი გეომეტრიული ზომებით.

გამოთვლების შესამე სერია ჩატარებულ იქნა იმ შემთხვევისათვის, როდესაც იცვლება ღუმლის აბაზანის დიამეტრი ( $d_{აბაზ.} = 2160; 2280; 2400;$

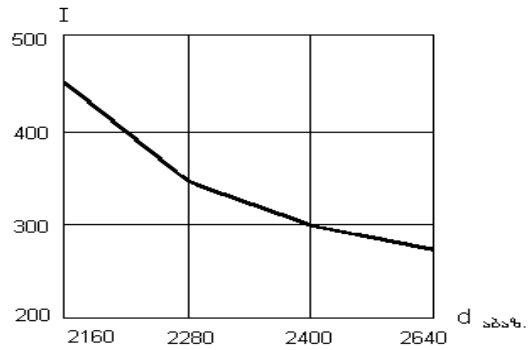
2640 მმ, იყო ცვალებადი, ხოლო  $d_{ელ.} = 400$  მმ და  $d_{აბაზ.} = 1200$  მმ იყო მუდმივი). ცდების ამ სერიის გამოთვლების შედეგები მოცემულია მე-3 ცხრილში და მე-5 ცხრილში.

როგორც მე-3 ცხრილში მოყვანილი მონაცემებიდან ჩანს დენის განაწილების არასტაბილურობის ყველაზე დაბალი ხარისხით ( $K_i = 1,63$ ) გამოირჩევა გამოთვლების №3 შემთხვევა, რომელიც განეკუთვნება ღუმელს, რომლის აბაზანის დიამეტრი  $d_{აბაზ.} = 2400$  მმ.

უნდა აღინიშნოს, რომ ღუმლის აბაზანის დიამეტრის გაზრდა იწვევს ბევრად უმნიშვნელო დარღვევებს საკაზმე მასალებში გამავალი დენის არასტაბილურობის თვალსაზრისით, ვიდრე იგივე ზომებით აბაზანის დიამეტრის შემცირება.

ცხრილი 3

პარამეტრი	გამოთვლის ნომერი			
	1	2	3	4
გადახრის %	90	95	100	110
$d_{აბაზ.}$ მმ	2160	2280	2400	2640
$J_{ამ.}$	450	350	300	280
$K_i$	3,35	2,13	1,63	1.72



ნახ. 5. კაზმის დენების დამოკიდებულება ღუმლის აბაზანის დიამეტრზე

მე-5 ნახაზზე მოცემული მრუდი გვიჩვენებს, რომ ღუმლის აბაზანის დიამეტრის გაზრდით საკაზმე მასალებში გამავალი დენი მცირდება. ასეთი დამოკიდებულება იმით აიხსნება, რომ აბაზანის დიამეტრის გაზრდით მანძილი იზრდება ელექტროდსა და ღუმლის გვერდის ამონაგს შორის. ამის გამო წინაღობა იზრდება და დენის ის მდგენელი მცირდება, რომელიც ამ მიმართულებით მიედინება.

### 3. დასკვნა

ჩატარებულ გამოკვლევებზე და შესრულებულ გამოთვლებზე დაყრდნობით შეიძლება დავასკვნათ, რომ ჩვენ მიერ შერჩეული და პრაქტიკაში გამომდგარი ღუმლის გეომეტრიული ზომები ყველაზე მეტად უზრუნველყოფს დენის სიმკვრივის თანაბარ განაწილებას ელექტროდის გარშემო და საკაზმე მასალების წინააღობის ყველაზე მაღალ მაჩვენებელს.

უნდა აღინიშნოს, რომ დენის სიმკვრივის განაწილება ელექტროდის ირგვლივ განთავსებულ საკაზმე მასალებში მჭიდრო კავშირშია ღუმელში კაზმის სვლასთან ამიტომ კაზმში გამავალი

დენების განაწილების შესწავლა მნიშვნელოვანია, დასასრულ, მადანადმდგენითი პროცესებისთვის.

დასასრულ შეიძლება დავასკვნათ და გამოვთქვათ იმედს, რომ ღუმლის ელექტროტექნიკური მახასიათებლების გამოთვლის მეთოდები უფრო გამარტივდება, დაიხვეწება, დაექვემდებარება პროგრამულ მართვას და ყოველივე ეს ხელს შეუწყობს ელექტროთერმული ღუმლების ყველაზე ოპტიმალური და რაციონალური ელექტრული და გეომეტრიული პარამეტრების დადგენას.

### ლიტერატურა

1. Чумаков А.А., Дгебуაдзе Г.А., Ткач Г.Д. и др. Влияние диаметра распада электродов на технологию и технико-экономические показатели выплавки силикомарганца и ферромарганца в закрытых печах РКЗ-16,5 // Металлургия марганца. Тез. докл. IV Всесоюзного совещания. Тбилиси, 1986, с. 148-149.
2. Дгебуაдзе Г.А., Чумаков А.А., Гальвидис В.Ф. и др. Влияние распада электродов (Др) на технико-экономические показатели выплавки силикомарганца и углеродистого ферромарганца в



- закрытых рудовосстановительных электропечах // *Металлургия марганца. Тез. докл. IV Всесоюзного совещания*. Тбилиси, 1986, с. 146-147.
3. Воробьев В.П., Сивцов А.В., Дгебуадзе Г.А. и др. Опыт оптимизации электрического режима печей при выплавке марганцевых сплавов // *Металлургия марганца. Тез. докл. IV Всесоюзного совещания*. Тбилиси, 1986, с. 143-144.
  4. Воробьев В.П., Сивцов А.В. Строение рабочего пространства электропечей при выплавке марганцевых сплавов // *Металлургия марганца. Тез. докл. IV Всесоюзного совещания*. Тбилиси, 1986, с. 137-138.
  5. Гусев В.И., Андрюхин Г.С., Кравченко В.А. и др. Связь технологических, геометрических и электрических параметров печи при выплавке силикомарганца // *Доклады II-го Всесоюзного совещания «Металлургия марганца»*. Тбилиси, 1977, с. 256-258.
  6. Жердев И.Т., Занузванный Т.А. Зависимость тока шихтовых материалов от геометрических размеров ферросплавной печи. - В кн.: *Развитие ферросплавной промышленности СССР*. Киев, 1961, с.22-27.
  7. Власенко В.Е., Фролов В.Ф., Белан В.Д. и др. К вопросу оптимизации работы рудовосстановительных печей // *Материалы III Грузинского республиканского научно-практического совещания*. Тбилиси, 1983, с.414-419.
  8. Данцис Я.Б. Методы электротехнических расчетов рудно-термических печей. Ленинград: Энергия, 1973.
  9. Никольский Л.Е. Промышленные установки электродугового нагрева и их параметры. М.: Энергия, 1977.
  10. Деханов Н.М. К вопросу о параметрах рудовосстановительной электропечи // *Материалы III Грузинского республиканского научно-техн. совещания*. Тбилиси, 1983, с.432-436.
  11. Дгебуадзе Г.А., Гогоришвили Б.П., Никабадзе М.У. Выбор конструкции закрытых и полужакрытых рудовосстановительных печей // *Металлургия марганца. Тез. докл. IV Всесоюзного совещания*, Тбилиси, 1986. - 135с.
  12. Дгебуадзе Г.А., Никабадзе М.У., Воробьев В.П. Зональные энергетические балансы плавильного пространства экспериментальных РВП при выплавке углеродистого ферромарганца бесфлюсовым процессом // *Металлургия марганца. Тез. докл. IV Всесоюзного совещания*, Тбилиси, 1986, с. 141-142.

**UDC 669.168****DEPENDENCE OF CURRENTS FLOWING THROUGH CHARGE MATERIALS ON GEOMETRICAL DIMENSIONS OF FERRO-ALLOY STOVE****Z. Simongulashvili, M. Tsirdava, V. Kldiashvili, Sh. Nemsadze, S. Nebieridze**

Department of metallurgy, Georgian Technical University, 77, Kostava str, Tbilisi, 0175, Georgia

**Resume:** There has been discussed the dependence of electric parameters on its geometrical dimensions in a ferro-alloy melting stove. On the basis of the experimental researches, the optimal dimensions of the diameter of an electrode, the diameter of disintegration and diameter of the bath for low-power electric stoves has been determined in the work. It is necessary to distribute the currents equally around an electrode and at the same time to increase electric resistance of charge materials for achieving a high technical-economic index.

**Key words:** Ferro alloys; charge; electric current; electrode; resistance; electric stove.

**УДК 669.168****ЗАВИСИМОСТЬ ТОКА ШИХТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ОТ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ ФЕРРОСПЛАВНОЙ ПЕЧИ****Симонгулашвили З.А., Цирдава М.О., Клдиашвили В.И., Немсадзе Ш.А., Чиковани Н.Р.**

Департамент металлургии, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. Костава, 77

**Резюме:** Выбор оптимальных основных геометрических размеров ферросплавных печей, проектирование которых в настоящее время осуществляется по аналогии с хорошо работающими печами путем использования эмпирических формул, имеет актуальное значение для достижения высоких технико-экономических показателей электроплавки.

В работе исследована зависимость плотности тока шихтовых материалов от диаметра и распада электрода и диаметра ванны, для печей малой мощности. Проведенные расчеты позволяют сделать вывод о том, что для печей, выплавляющих силикомарганец, оптимальными являются предложенные нами основные параметры, которые отвечают наиболее равномерному распределению плотности тока вокруг электрода и одновременно наибольшей величине сопротивления шихтовых материалов.

**Ключевые слова:** ферросплавы; шихта; электрический ток, электрод; сопротивление; электропечь.

*მიღებულია დასაბუჯდად 16.11.10*

УДК 669.26: 621.315:593

## НОВЫЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВА ОКСИДОВ ХРОМА В СИСТЕМЕ МЕТАЛЛ-ОКСИД-ПОЛУПРОВОДНИК

**О.И. Микадзе\*, Г.Ш. Дарсавелидзе, Н.И. Майсурадзе, М.Д. Дарчишвили**

Департамент металлургии, материаловедения и обработки металлов, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. Костава 77

E-mail: omikadze@yahoo.com

**Резюме:** Проведено комплексное исследование условий формирования, состояния структуры и электрофизических свойств слоистых систем типа металл-оксид-полупроводник, выращенных окислением моно- и поликристаллического нелегированного и малолегированного хрома.

**Ключевые слова:** хром; оксид; полупроводник; электропроводность; электрическая прочность.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Совершенствование технологии создания переходных областей металл-оксид-полупроводник (МОП), с целью повышения стабильности электрофизических характеристик и длительности их эксплуатации в экстремальных условиях, является актуальной задачей современной полупроводниковой и электронной техники. Наличие электрически активных структурных дефектов высокой подвижности в мелкодисперсном диоксиде кремния, а также различных микроскопических несовершенств на границах раздела фаз, часто сокращает срок эксплуатации классической системы МОП на основе кремния [1,2]. Поэтому исследование альтернативных звеньев с прогнозируемыми стабильными характеристиками, которые необходимы для успешного функциониро-

вания различных микросхем и устройств, представляет как научный, так и практический интерес.

### 2. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Термоэлектрические свойства металлических образцов при комнатной температуре изучены на установке для измерения эффекта Холла, а температурная зависимость этих свойств получена на установке для измерения термоэлектрических параметров абсолютным стационарным методом.

Параметры электро- и массопереноса оксидных систем измеряли в интервале температур 1000-1200 °С соответственно четырехзондовым методом и методом Тубандта. Исходными материалами служили особоочищенные порошки оксидов хрома и лантана (99,99%). Методика изготовления образцов и проведения экспериментов описана ранее [3]. Толщину оксидных слоев, сформированных на поверхности окисленных образцов, измеряли в растровом электронном микроскопе УМВ-100К, работающем в электронографическом режиме. Пробивное напряжение оксидной пленки измерялось двухзондовым методом.

Как и следовало ожидать, малолегированные сплавы на основе хрома, содержащие небольшие добавки редкоземельных и карбидообразующих эле-

ментов, являются типичными металлами с электропроводностью порядка  $10^5 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$  и концентрацией носителей тока около  $10^{22} \text{ см}^{-3}$  (см. табл. 1 и 2). Низкие значения термо-эдс и высокие значения теплопроводности также подчеркивают металлическую природу сплава, а границы зерен играют заметную роль в торможении процессов переноса. Измеренные значения электро- и теплопроводности монокристаллического хрома в полтора раза превышают соответствующие значения поликристаллического металла.

Таблица 1  
Термоэлектрические свойства нелегированного и малолегированного хрома

Материал	Концентр. нос. тока, $\eta, \text{см}^{-3}$	Электропроводность, $\sigma \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$	Теплопроводность, $\chi 10^2 \text{ Вт/см} \cdot \text{°C}$	Термо-эдс $\alpha, \text{мкВ/°C}$
Монокристаллический хром		104 785	54,5	
Поликристаллический хром	$1,0 \cdot 10^{22}$	83 500	38,5	7,70
Малолегированный хром	$\sim 10^{22}$	71440	35,9	7,90

Таблица 2

Температурная зависимость теплопроводности и термо-эдс малолегированного хрома

Температура $t \text{ °C}$	Теплопроводность, $\chi 10^2 \text{ Вт/см} \cdot \text{°C}$	Термо-эдс $\alpha, \text{мкВ/°C}$
83	35,9	7,90
267	39,8	12,25
390	44,5	14,25
516	48,9	17,10
595	48,9	16,85
714	48,3	17,01

Единственным оксидом хрома, стабильным при высоких температурах, является  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ . Однако в определенных условиях окисления малолегированного хрома, наряду с основным фазовым составляющим сформированной окалины, обнаруживается также термодинамически исключительно стабильная фаза  $\text{LaCrO}_3$ , которая способствует сохранению весьма нестабильного оксида  $\text{CrO}$  в интервале  $1000\text{-}1100 \text{ °C}$  [4]. Соотношение этих фаз заметно влияет на электрофизические свойства окалины (табл. 3).

Таблица 3

Параметры электро- и массопереноса оксидных систем

Оксидная система	Темп-ра, $\text{°C}$	Электропроводность, $\sigma \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$	$3+ t_{\text{Cr}}$	Электропроводность, $\sigma \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$	$3+ D_{\text{Cr}}$ $\text{см}^2/\text{сек}$	$3+ \mu_{\text{Cr}}$ $\text{см}^2/\text{в}$
$\text{Cr}_2\text{O}_3$	1000	880	$2,75 \cdot 10^{-5}$	0,025	$1,84 \cdot 10^{-11}$	5,0·10
	1100	925	$5,45 \cdot 10^{-4}$	0,505	$4,19 \cdot 10^{-10}$	1,1·10
	1200	975	$3,20 \cdot 10^{-3}$	3,120	$2,79 \cdot 10^{-9}$	6,6·10
$\text{LaCrO}_3$	1200	2010	$1,40 \cdot 10^{-4}$	0,280	$7,28 \cdot 10^{-11}$	1,7·10
$\text{Cr}_2\text{O}_3 + 10\% \text{ LaCr}_3$	1000	1550	$5,45 \cdot 10^{-6}$	0,010	$6,50 \cdot 10^{-12}$	1,8·10
	1100	1615	$1,15 \cdot 10^{-4}$	0,185	$1,50 \cdot 10^{-10}$	3,8·10
	1200	1665	$6,95 \cdot 10^{-4}$	1,155	$1,03 \cdot 10^{-9}$	2,4·10

Анализ приведенного материала позволяет заключить, что формирование хромитов лантана не может привести к уменьшению электропроводности окалины. Скорее всего, ее электронная составляющая увеличивается. Однако, с точки зрения жаростойкости, важна ионная проводимость, так как оксидная пленка утолщается за счет переноса ионов [5]. Поэтому нами

особенное внимание было уделено определению числа переноса, что дает возможность вычисления ионной составляющей проводимости, а также коэффициента диффузии и подвижности ионов [6].

Измеренные и вычисленные значения параметров электро- и массопереноса оксидных систем приведены в таблице 3.

Практическое отсутствие ионной проводимости в рассматриваемых системах хорошо согласуется с тем фактом, что когда оксидная пленка сохраняется на поверхности металла, она довольно медленно окисляется и при высоких температурах, а наличие электронной проводимости обуславливает ее полупроводниковые свойства. Поскольку в определенных условиях (низкие скорости окисления, инициируемые невысокими температурами и разреженными по кислороду средами) на поверхности

хрома может вырасти эпитаксиальная пленка из монооксида, резонно предположить, что ориентационные соотношения между кристаллическими решетками матрицы оксида могут повлиять на электрическую прочность сформированной пленки.

Для выяснения этого момента нами измерены пробивные напряжения оксидных пленок, выращенных окислением монокристаллического, поликристаллического и малолегированного хрома (см. табл.4).

Таблица 4

Электрическая прочность оксидных пленок

Матрица	Условия окисления			U пробивное В	Фазовый состав окарины
	$P_{O_2}$ атм.	t °C	$\tau$ час		
Монокристаллический хром	$10^{-14}$	700	2,5	0	
	$10^{-2}$	700	0,5	20	
	$10^{-2}$	700	2,5	100	
	0,2	700	0,5	500	CrO
	0,2	700	2,5	500	CrO, Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Поликристаллический хром	0,2	700	2,5	100	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Малолегированный хром	$10^{-2}$	1100	2,5	0	
	0,2	1200	2,5	650	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , LaCrO <sub>3</sub>

Если учесть, что толщина наиболее непробиваемых пленок колеблется от 0,5 до 10 мкм, то уровень электрической прочности для этих пленок получается весьма высоким: от 650 кВ/см до 10 мВ/см. По мере возрастания температуры и выдержки окисления, монооксид хрома трансформируется в оксид, т.е. на диэлектрической пленке вырастает полупроводниковый слой и таким образом получается система, аналогичная МОП.

### 3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные экспериментальные результаты показывают теоретические возможности создания новых структур МОП на основе монокристаллического Cr при формировании на его поверхности оксидных пленок со специфическими характеристиками.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Епифанов Г.И., Мома Ю.А. Твердотельная электроника. Москва: Высшая школа, 1986. - 304с.
2. Holt D.B., Jacobi V.G. Extended Defects in Semiconductors. Cambridge: University Press, 2007. - 460p.
3. Микадзе О.И., Булия Б.П., Майсурадзе Н.И., Канде-лаки А.З. Электрофизические свойства окисленных слоев малолегированного хрома// Металлофиз. новейшие технол., 2004, 26, №9, с. 1181-1191.
4. Тавадзе Ф.Н., Микадзе О.И., Кутелия Е.Р., Булия Б.П., Ракицкий А.Н. Механизм высокотемпературного окисления малолегированного хрома //Изв. АН СССР. Неорганические материалы, 1984, 20, №7, с.1121-1125.
5. Kofstad Per. High Temperature Corrosion. London-New York: Elsevier Applied Science, 1988. - 558p.
6. Lillerud K.P., Kofstad P. Oxidation of Annealed Thermally Etched Chromium at 800-1100°C//J. Electrochem. Soc., 1980, 127, N11, p. 2397-2410.

---

**შპპ 669.26:621.315:593**

**ქრომის ოქსიდების ახალი სტრუქტურები და თვისებები  
მეტალ-ოქსიდ-ნახევარგამტარის სისტემაში**

**ო. მიქაძე, გ. დარსაველიძე, ნ. მაისურაძე, მ. დარჩიაშვილი**

მეტალურგიის, მასალათმცოდნეობის და ლითონების დამუშავების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, კოსტავას 77

**რეზიუმე:** ჩატარებულია მეტალ-ოქსიდ-ნახევარგამტარის ტიპის შრეებრივი სისტემის ფორმირების პირობების, სტრუქტურული მდგომარეობებისა და ელექტროფიზიკური თვისებების კომპლექსური გამოკვლევა. ამ სისტემის მიღება ხდება მონოკრისტალური და პოლიკრისტალური არალეგირებული ქრომის, აგრეთვე მცირედ ლეგირებული ქრომის ჟანგვის შედეგად.

**საკვანძო სიტყვები:** ქრომი; ოქსიდი; ნახევარგამტარი; ელექტროგამტარობა; ელექტრული სიმტკიცე.

---

**UDC 669. 26:621.315:593**

**NEW STRUCTURES AND PROPERTIES OF CHROMIUM OXIDES IN THE  
METAL-OXIDE-SEMICONDUCTOR SYSTEM**

**O. Mikadze, G. Darsavelidze, N. Maisuradze, M. Darchiashvili**

Department of metallurgy, materials science and metal-working, Georgian Technical University, 77, Kostava str, Tbilisi, 0175, Georgia

**Resume:** There has been carried out the complex investigation of forming conditions, structure state and electro-physical characteristics of metal-oxide-semiconductor type stratified system formed by oxidation of mono and polycrystalline unalloyed chromium, as well as the low-alloyed chromium.

**Key words:** chromium; oxide; semiconductor; conductivity; disruptive stability.

---

*Принято к печати 18.10.10*

# ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ С ЗАПАСНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

УДК 519.2

## ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ И АНАЛИЗ СИСТЕМЫ М/М/4+3

Г.Н. Амилахвари, Д.В. Гулуа, Г.М. Пипиа

Департамент математики, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. Костава 77

E-mail: d\_gulua@gtu.ge

**Резюме:** Исследована система очередей восстановлений и замещений. Количество основных и резервных элементов равно соответственно четырём и трем. Процессом восстановления и замещения заняты по два органа. Время восстановления и замещения – экспоненциально распределённые случайные величины. Для финальных вероятностей состояния системы, с помощью мнемонической схемы, записана линейная алгебраическая система уравнений. Определена экономическая эффективность функционирования системы.

**Ключевые слова:** замкнутая система очередей; резервирование; замещение; восстановление; экономическая эффективность; мнемоническая схема.

### 3. ВВЕДЕНИЕ

По поручению Международного союза электросвязи (МСЭ), шведские специалисты разработали рекомендацию E.862 “Надежностное планирование телекоммуникационных сетей”, которая была окончательно одобрена в 1992 году [1]. Из двух возможных подходов к надежностному планированию – интуитивному и аналитическому, рекомендация E.862 вполне убедительно отдаёт предпочтение последнему. Особое внимание уделяется аналитическим моделям сложных резервированных систем. В предлагаемой статье рассмотрены вопросы моделирования и анализа функционирования резервированной технической системы (описанию и исследованию подобных систем посвящены работы профессора Какубава [2,3]).

### 4. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Исследуемый объект состоит из  $m$  основных (ОЭ) и  $n$  резервных элементов (РЭ). Все элементы идентичны. Для нормального функционирования системы необходимо поддерживать все  $m$  основные

элементы в рабочем состоянии. Система продолжает функционировать и в случае сокращения количества основных элементов, но эффективность функционирования системы падает, в связи с чем необходимо обратиться к резервному элементу и осуществить замещение вышедшего из строя основного элемента резервным.

Основные элементы отказывают с интенсивностью  $\alpha$ , а резервные - с интенсивностью  $\beta$ . При отказе любого (основного или резервного) элемента возникает требование на восстановление, которое обслуживается органами восстановления (ОВ) при первой же возможности (необходимо наличие свободного ОВ). Восстановление происходит с интенсивностью  $\mu$ . Количество органов, осуществляющих восстановление, равно  $g$ . После восстановления элемент становится резервным. При отказе основного элемента, дополнительно возникает требование на замещение основного элемента резервным. Возникшее требование на замещение осуществляется органами замещения (ОЗ) при первой же возможности (необходимо наличие как РЭ, также наличие свободного ОЗ). Замещение происходит с интенсивностью  $\lambda$ . Количество органов замещения равно  $k$ . При этом, в процессе замещения или восстановления одного элемента участвует только один соответствующий орган.

Описанная система является системой очередей. Очереди возникают в результате отказа элемента. Очереди обслуживаются ОВ и ОЗ.

Займёмся составлением математической модели рассматриваемой системы в случае  $m=4, n=3, k=r=2$ . Введем понятие состояния системы. Мы скажем, что система находится в состоянии  $s_{i,j}$  ( $i = \overline{0,4}, j = \overline{0,7}$ ), если количество недостающих основных элементов равно  $i$ , а количество неработоспособных элементов (основных и резервных) составляет  $j$ . Обозначим через  $P(i,j)$  предельную вероятность нахождения системы в состоянии  $s_{i,j}$  [4].

При построении системы линейных алгебраических уравнений, для описания поведения системы используем карту состояния системы (КСС) [5,6].

Анализ объекта моделирования показывает, что существенными состояниями [4] являются состояния  $s_{i,j}$  ( $i = \overline{0,4}, j = \overline{0,3+i}$ ). Построим карту состояния системы (КСС) (рис.1).

По КСС получаем следующую систему линейных алгебраических уравнений для определения  $P(i,j)$  ( $i = \overline{0,4}, j = \overline{0,3+i}$ ) (сумма потоков вероятности, переводящих систему в данное состояние, равна сумме всех потоков вероятности, выводящих систему из этого состояния [4]):

$$\begin{aligned} (4\alpha+3\beta) P(0,0) &= \lambda P(1,0) + \mu P(0,1) \\ (3\alpha+3\beta+\lambda) P(1,0) &= 2\lambda P(2,0) + \mu P(1,1) \\ (2\alpha+3\beta+2\lambda) P(2,0) &= 2\lambda P(3,0) + \mu P(2,1) \\ (\alpha+4\beta+2\lambda) P(3,0) &= 2\lambda P(4,0) + \mu P(3,1) \\ (5\beta+2\lambda) P(4,0) &= \mu P(4,1) \\ (4\alpha+2\beta+\mu) P(0,1) &= 3\beta P(0,0) + \lambda P(1,1) + 2\mu P(0,2) \\ (4\alpha+\beta+2\mu) P(0,2) &= 2\beta P(0,1) + \lambda P(1,2) + 2\mu P(0,3) \\ (4\alpha+2\mu) P(0,3) &= \beta P(0,2) + \lambda P(1,3) \\ (3\alpha+2\beta+\lambda+\mu) P(1,1) &= 4\alpha P(0,0) + 3\beta P(1,0) + 2\lambda P(2,1) + 2\mu P(1,2) \end{aligned}$$

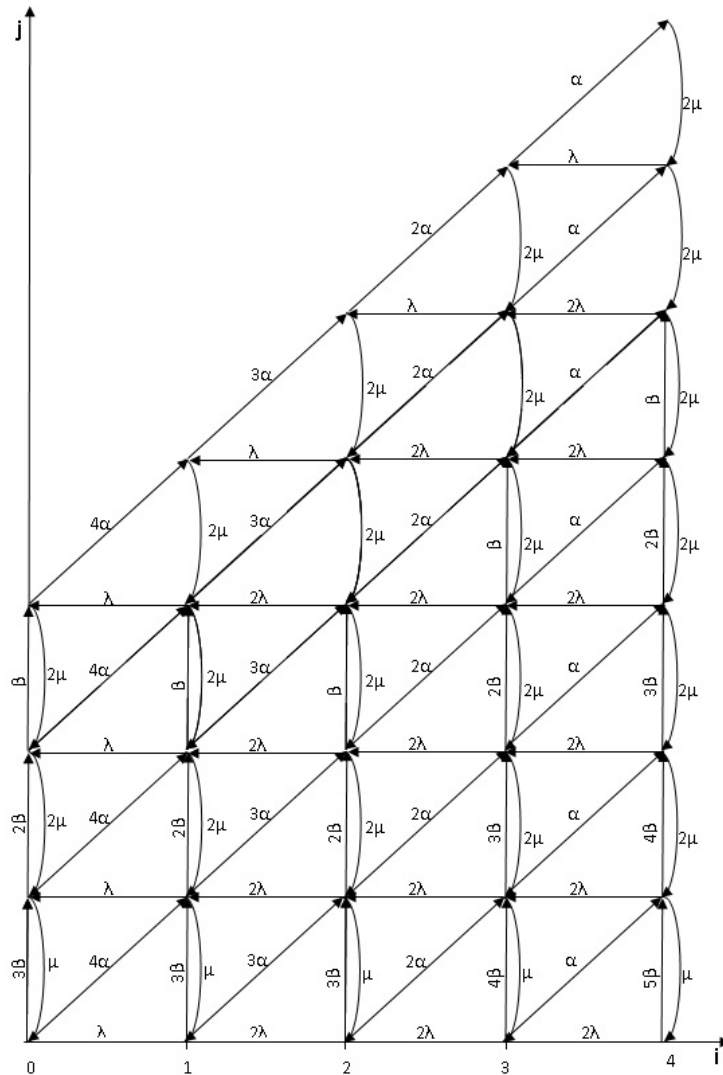


Рис.1. Карта состояния моделируемого объекта (КСС)

$$\begin{aligned} (3\alpha+\beta+\lambda+2\mu) P(1,2) &= 4\alpha P(0,1) + 2\beta P(1,1) + 2\lambda P(2,2) + 2\mu P(1,3) \\ (3\alpha+\lambda+2\mu) P(1,3) &= 4\alpha P(0,2) + \beta P(1,2) + 2\lambda P(2,3) + 2\mu P(1,4) \\ (3\alpha+2\mu) P(1,4) &= 4\alpha P(0,3) + \lambda P(2,4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (2\alpha+2\beta+2\lambda+\mu) P(2,1) &= 3\alpha P(1,0) + 3\beta P(2,0) + 2\lambda P(3,1) + 2\mu P(2,2) \\ (\alpha+3\beta+2\lambda+\mu) P(3,1) &= 2\alpha P(2,0) + 4\beta P(3,0) + 2\lambda P(4,1) + 2\mu P(3,2) \\ (2\alpha+\beta+2\lambda+2\mu) P(2,2) &= 3\alpha P(1,1) + 2\beta P(2,1) + 2\lambda P(3,2) + 2\mu P(2,3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (2\alpha+2\lambda+2\mu) P(2,3) &= 3\alpha P(1,2) + \beta P(2,2) + 2\lambda P(3,3) + 2\mu P(2,4) \\
 (\alpha+2\beta+2\lambda+2\mu) P(3,2) &= 2\alpha P(2,1) + 3\beta P(3,1) + 2\lambda P(4,2) + 2\mu P(3,3) \\
 (\alpha+\beta+2\lambda+2\mu) P(3,3) &= 2\alpha P(2,2) + 2\beta P(3,2) + 2\lambda P(4,3) + 2\mu P(3,4) \\
 (\alpha+2\lambda+2\mu) P(3,4) &= 2\alpha P(2,3) + \beta P(3,3) + 2\lambda P(4,4) + 2\mu P(3,5) \\
 (2\alpha+\lambda+2\mu) P(2,4) &= 3\alpha P(1,3) + 2\lambda P(3,4) + 2\mu P(2,5) \\
 (\alpha+\lambda+2\mu) P(3,5) &= 2\alpha P(2,4) + 2\lambda P(4,5) + 2\mu P(3,6) \\
 (2\alpha+2\lambda) P(2,5) &= 3\alpha P(1,4) + \lambda P(3,5) \\
 (\alpha+2\mu) P(3,6) &= 2\alpha P(2,5) + \lambda P(4,6) \\
 (4\beta+2\lambda+\mu) P(4,1) &= \alpha P(3,0) + 5\beta P(4,0) + 2\mu P(4,2) \\
 (3\beta+2\lambda+2\mu) P(4,2) &= \alpha P(3,1) + 4\beta P(4,1) + 2\mu P(4,3) \\
 (2\beta+2\lambda+2\mu) P(4,3) &= \alpha P(3,2) + 3\beta P(4,2) + 2\mu P(4,4) \\
 (\beta+2\lambda+2\mu) P(4,4) &= \alpha P(3,3) + 2\beta P(4,3) + 2\mu P(4,5) \\
 (2\lambda+2\mu) P(4,5) &= \alpha P(3,4) + \beta P(4,4) + 2\mu P(4,6) \\
 (\lambda+2\mu) P(4,6) &= \alpha P(3,5) + 2\mu P(4,7) \\
 2\mu P(4,7) &= \alpha P(3,6)
 \end{aligned}$$

Полученную систему линейных алгебраических уравнений можно записать в виде  $Ap = 0$ , (1)

где вектор

$$P = (P(0,0), P(0,1), P(0,2), P(0,3), P(1,0), P(1,1), P(1,2), P(1,3), P(1,4), P(2,0), \dots, P(4,7))^T,$$

$$A = \left\| a_{ij} \right\|_{i=0,29;j=0,29} \text{ -разряжённая матрица, элементы которой равны соответственно:}$$

ты которой равны соответственно:

$$\alpha_{00}=4\alpha+3; \alpha_{01}=-\mu; \alpha_{04}=-\lambda; \alpha_{0k}=0, \text{ для остальных } k;$$

$$\alpha_{10}=-3\beta; \alpha_{11}=4\alpha+2\beta+\mu; \alpha_{12}=-2\mu; \alpha_{15}=-\lambda; \alpha_{1k}=0, \text{ для остальных } k;$$

$$\dots \dots \dots \alpha_{29,22}=5\beta+2\lambda; \alpha_{29,23}=-\mu; \alpha_{29,k}=0, \text{ для остальных } k.$$

Нетрудно заметить, что  $|A| = 0$ . Для определения предельных вероятностей  $P(i,j)$  ( $i = \overline{0,4}, j = \overline{0,3+i}$ ) заменим одно уравнение системы (1) нормирующим

$$\text{условием } \sum_{i=0}^4 \sum_{j=i}^{3+i} P(i,j) = 1, \text{ после чего решение}$$

полученной системы линейных алгебраических уравнений носит чисто технический характер.

Рассмотрим вопрос экономической эффективности системы. В качестве целевой функции введем показатель экономической эффективности [7]:

$$F(m,n,k,r) = \sum_{k=1}^9 c_k E_k. \quad (2)$$

Здесь:  $c_1$  - доход в единицу времени от одного основного элемента;  $c_2$  - доход в единицу времени от одного резервного элемента;  $c_3$  - доход в единицу времени от одного резервного элемента, находящегося в процессе замещения;  $c_4$  - доход в единицу

времени от одного элемента, находящегося в процессе ремонта;  $c_5$  - затраты в единицу времени на один неработоспособный элемент (не в ремонте);  $c_6$  - затраты в единицу времени на один работающий орган замещения;  $c_7$  - затраты в единицу времени на один неработающий орган замещения;  $c_8$  - затраты в единицу времени на один работающий орган восстановления (ремонта);  $c_9$  - затраты в единицу времени на один неработающий орган восстановления (ремонта);

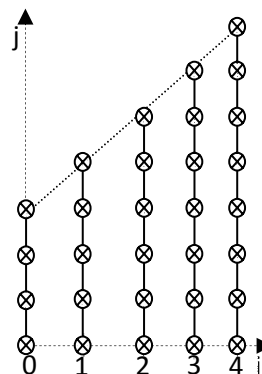


Рис.2. Линии основных элементов

$E_1$  - среднее количество основных элементов;  $E_2$  - среднее количество резервных элементов;  $E_3$  - среднее количество резервных элементов, находящихся в процессе замещения;  $E_4$  - среднее количество элементов, находящихся в процессе ремонта;  $E_5$  - среднее количество неработоспособных элементов (не в ремонте);  $E_6$  - среднее количество работающих органов замещения;  $E_7$  - среднее количество неработающих органов замещения;  $E_8$  - среднее количество работающих органов восстановления (ремонта);  $E_9$  - среднее количество неработающих органов восстановления (ремонта).

Для определения значений  $E_i$  ( $i = \overline{1,9}$ ) воспользуемся линиями соответствующих операций на КСС. Конкретно, линии основных элементов схематически можно представить в виде сплошных линий на рис.2. Отметим, что числа на оси абсцисс (0,1,2,3,4) указывают на количество работоспособных основных элементов, когда состояния системы соответствуют узлам, расположенным на соответствующих линиях операции.

Из полученной схемы можно легко записать распределение случайной величины - количество работоспособных основных элементов.

0	1	2	3	4
$\sum_{i=0}^7 P(4,i)$	$\sum_{i=0}^6 P(3,i)$	$\sum_{i=0}^5 P(2,i)$	$\sum_{i=0}^4 P(1,i)$	$\sum_{i=0}^3 P(0,i)$



Тогда

$$E_1 = \sum_{i=0}^6 P(3,i) + 2 \sum_{i=0}^5 P(2,i) + 3 \sum_{i=0}^4 P(1,i) + 4 \sum_{i=0}^3 P(0,i).$$

Аналогично:

$$E_2 = [P_{02}+P_{12}+P_{22}+P_{33}+P_{44}] + 2[P_{01}+P_{11}+P_{21}+P_{32}+P_{43}] + 3[P_{00}+P_{10}+P_{20}+P_{31}+P_{42}] + 4[P_{30}+P_{41}] + 5P_{40};$$

$$E_3 = [ \sum_{i=0}^3 P(1,i) + \sum_{i=2}^4 P(i,i+2) ] + 2 \sum_{i=2}^4 \sum_{j=0}^{i+1} P(i,j),$$

$$E_4 = \sum_{i=0}^4 P(i,1) + 2(1 - \sum_{j=0}^1 \sum_{i=0}^4 P(i,j));$$

$E_5 = E_5^1 - E_4$ , где  $E_5^1$  - среднее количество неработоспособных элементов и

$$E_5^1 = \sum_{i=0}^4 P(i,1) + 2 \sum_{i=0}^4 P(i,2) + 3 \sum_{i=0}^4 P(i,3) + 4 \sum_{i=1}^4 P(i,4) + 5 \sum_{i=2}^4 P(i,5) + 6 \sum_{i=3}^4 P(i,6) + 7P(4,7).$$

Далее очевидно, что  $E_6 = E_3$ ,  $E_7 = 2 - E_6$ ,  $E_8 = E_4$ ,  $E_9 = 2 - E_8$ .

Подставляя полученные значения  $E_i$  ( $i = \overline{1,9}$ ) в (2), можно определить экономическую эффективность функционирования исследуемой системы ( $m=4, n=3, k=r=2$ ) для заданных параметров  $\alpha, \beta, \lambda, \mu$ . Нетрудно видеть, что, имея возможность вычислить экономическую эффективность системы, мы можем решать задачу оптимизации системы по входным (управляемым) параметрам.

Построенная модель реализована в среде MatLab. Экспериментальные входные данные:

$\alpha$	$\beta$	$\lambda$	$\mu$	$c_1$	$c_2$	$c_3$	$c_4$	$c_5$	$c_6$	$c_7$	$c_8$	$c_9$
0,01	0,001	1	0,1	10	2	0	-3	-3	-5	-1	-15	-3

В результате вычисления получаем  $F(4,3,2,2) = 30.1572$ . На столбиковой диаграмме (рис.3) изображена величина значений компонентов вектора P. Диаграмма указывает на стабильную работу основных элементов. Если среди входных параметров изменить значение  $\alpha=0,01$  на  $\alpha=0,1$  (т.е. надёжность

работы основных элементов ухудшить на порядок), то в результате расчётов получим  $F(4,3,2,2) = -31.9787$  (т.е. система работает на убыль), а диаграмма (рис. 4) указывает на резкое ухудшение стабильности работы основных элементов.

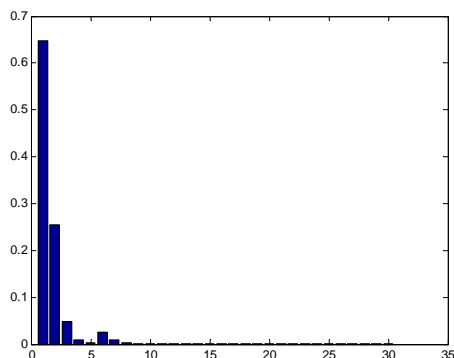


Рис. 3. Диаграмма величины P, ( $\alpha=0,01$ )

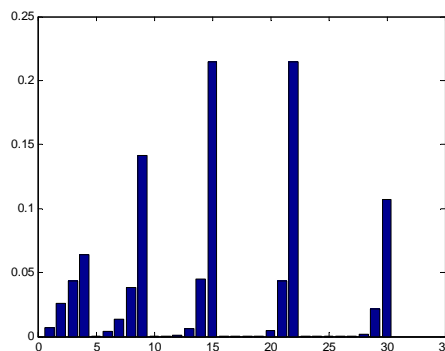


Рис. 4. Диаграмма величины P, ( $\alpha=0,1$ )

### 3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Построение модели системы не является самоцелью. Построенная модель является лишь средством для проведения экспериментов; определения, практически значимых, различных выходных параметров; анализа функционирования системы для различных входных параметров и т.д. Как пример, используя построенную модель и карту состояния системы, в статье рассмотрен вопрос вычисления экономической эффективности системы, а также построены диа-

граммы, которые отражают поведение системы при разных входных параметрах.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Recommendation E.862 (rev.1) Dependability of Telecommunication Networks. Geneva, 1992.
2. Kakubava R. New Markovian and semi-Markovian closed queuing systems with two types of service as mathematical models of reliability and maintenance.

3. Kakubava R. Multi-line Markov closed queuing system for two maintenance operations. Electronic Journal. Reliability and Risk Analyses: Theory and Applications. Vol. 1, 2010.
4. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. М.: Наука, 1991.
5. Khurodze R., Kakubava I., Gulua D. Priority queuing system for replacements and renewals, Bulletin of the Georgian Academy of Sciences, 172, No.1, (p.42-45), 2005.
6. Gulua D. A general stochastic model of the priority service system with two types of operations, PROCEEDINGS of I.Vekua Institute of Applied Mathematics, VOL 57 , (p.34-43), 2007.
7. Gulua D., Optimization of Priority Queuing Replacement System by Economical Criterion. Bulletin of the Georgian Academy of Sciences, 172, No.3, (p.428-431), 2005.

### შპს 519.2

#### M/M/4+3 სისტემის მოდელირება და ანალიზი

გ. ამილახვარი, დ. გულუა, გ. ფიფია

მათემატიკის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, კოსტავას 77

**რეზიუმე:** ნაშრომში გამოკვლეულია ჩანაცვლებებისა და აღდგენების რიგების მომსახურების სისტემა. ძირითადი და სარეზერვო ელემენტთა რაოდენობაა, შესაბამისად ოთხი და სამი. აღდგენითა და ჩანაცვლებით დაკავებულია ორ-ორი ორგანო. ჩანაცვლებისა და აღდგენის დრო ექსპონენციალურად განაწილებული შემთხვევითი სიდიდეებია. ორგანოზომილებიანი შემთხვევითი პროცესის მნემონიკური სქემიდან, ჩაწერილია სისტემის ფინალური მდგომარეობის ამსახველი წრფივ ალგებრულ განტოლებათა სისტემა. გამოთვლილია სისტემის ფუნქციონირების ეკონომიკური ეფექტურობა.

**საკვანძო სიტყვები:** რიგების შეკრული სისტემა; რეზერვირება; ჩანაცვლება; აღდგენა; ეკონომიკური ეფექტურობა; მნემონიკური სქემა.

### UDC 519.2

#### CREATION OF MODEL AND ANALYSIS OF SYSTEM M/M/4+3

G. Amilakhvari, D. Gulua, G. Pipia

Department of mathematics, Georgian Technical University, 77, Kostava str, Tbilisi, 0175, Georgia

**Resume:** There is researched stand-by technical system with two operation types (replacement and renewal). By renewal and replacement process are occupied two by two organs. Replacement and renewal time – exponentially distributed random variables. For final probabilities of a state of system, by means of the mnemonic circuit, the linear algebraic system of equations is written down. There is defined economic efficiency of functioning of system.

**Key words:** stand-by system of queuing; reservation; replasement; reneval; economic efficiency; mnemonic circuit.

*Принято к печати 18.12.10*

შპს 621. 397. 13

## კარდიორითმის სისხირის დინამიკური სისტემის ანალიზი კომპიუტერული ვიზუალიზებული მეთოდების საფუძველზე

ი. ჩხეიძე, მ. ბერიშვილი, ლ. ტოკაძე

საინჟინრო კიბერნეტიკისა და ხელსაწყოთმშენებლობის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, კოსტავას 77

E-mail: irmikh2002@mail.ru

**რეზიუმე:** ნაშრომში განხილულია კარდიორითმის დინამიკური სისტემის კვლევის გრაფიკული მეთოდები, დაფუძნებული დეტერმინირებული ქაოსის თეორიაზე. მიღებული შედეგები თვალსაჩინოდ გვიჩვენებს განსხვავებას ავადმყოფი და ჯანმრთელი პაციენტების მჩვენებლების ცვლილებაში. კარდიორითმის დინამიკის კვლევამ აჩვენა, რომ შემოთავაზებული მეთოდების გამოყენება საშუალებას იძლევა ჩატარდეს ბიო-სამედიცინო სისტემების თვისებების ანალიზი MathCad პროგრამის გარემოში. გამოყენებული ალგორითმების ვიზუალიზებული ხასიათი საგრძნობლად ამარტივებს მათი დინამიკური ქცევის განსაკუთრებულობის გაგებას, აღქმას და ექიმებს დაეხმარება ობიექტური დიაგნოსტიკის დასმაში.

**საკვანძო სიტყვები:** MathCad პროგრამა; კარდიორითმის სისხირე, ჰაოსგრამა; ჰერსტის მჩვენებელი; დროით-სისხირული წარმოდგენა.

### 1. შესავალი

ელექტროკარდიოგრაფია, ანუ მიოკარდის ელექტრული აქტივობის რეგისტრაციის მეთოდი, რომელიც შემოღებული იყო ეინტხოფენის მიერ გასული საუკუნის დასაწყისში, სადღეისოდაც რჩება გულის მდგომარეობის დიაგნოსტიკის ყველაზე გავრცელებულ მეთოდად [1].

თანამედროვე კომპიუტერულმა ტექნოლოგიების შესაძლებლობებმა არსებითად აამაღლეს ამ მეთოდის ინფორმაციულობა, გაამდიდრეს ბიოსამედიცინო მონაცემთა კვლევა ახალი სპეციფიკური მათემატიკური აპარატით, რომელიც სამომავლოდ შექმნის კარდიოსიგნალის დინამიკის დიაგნოსტიკისათვის მარტივ პროგრამულ კომპლექსს. ის სასარგებლო იქნება “Health-Grid” ტექნოლოგიების რეალიზაციისათვის. “Health-Grid”-ს ელექტრონულ მედიცინაში მიხნეულია, როგორც ინფორმაციული ტექნოლოგიების ინოვაციური გამოყენების საშუალება [2].

სამედიცინო სისტემის თვისების ყველა მეთოდი უნდა ითვალისწინებდეს იმ ფაქტს, რომ ცოცხალი ორგანიზმი შეიცავს უამრავი რაოდენობის ურთიერთგავლენად კავშირებს, რაც მათ აქცევს არაწრფივ დინამიკურ მექანიზმებად, რომელთა ფუნქციების აღწერა მოითხოვს არაორდინარულ მეთოდოლოგიურ მიდგომას [3,4,5].

### 2. ძირითადი ნაწილი

წარმოდგენილი ნაშრომის მიზანია კარდიოგრამის კარდიორითმის დინამიკის მაგალითზე ვაჩვენოთ უახლესი კომპიუტერული ტექნოლოგიების გამოყენების მიზანშეწონილობა დინამიკური სისტემებისა და არასტაციონარული პროცესების ანალიზისათვის.

კომპიუტერული ტექნოლოგიების ქვეშ ამ შემთხვევაში ვგულისხმობთ დინამიკური სისტემის კვლევის გრაფიკულ მეთოდებს. მათ გააჩნიათ ვიზუალიზების თვისება, რომელიც თვალსაჩინოდ გვიჩვენებს განსხვავებას ავადმყოფი და ჯანმრთელი ადამიანის მჩვენებლების ცვლილებაში. შემოთავაზებული მეთოდების ალგორითმების რეალიზაცია ხორციელდება MathCad პროგრამულ გარემოში. MathCad პროგრამაში ამოცანების გადაწყვეტა, ძირითადი პროგრამული კონსტრუქციების დანერგვით მარტივად ხდება და სირთულეებს არ შეიცავს, დაკავშირებულს მაღალი დონის ენის დაპროგრამებასთან.

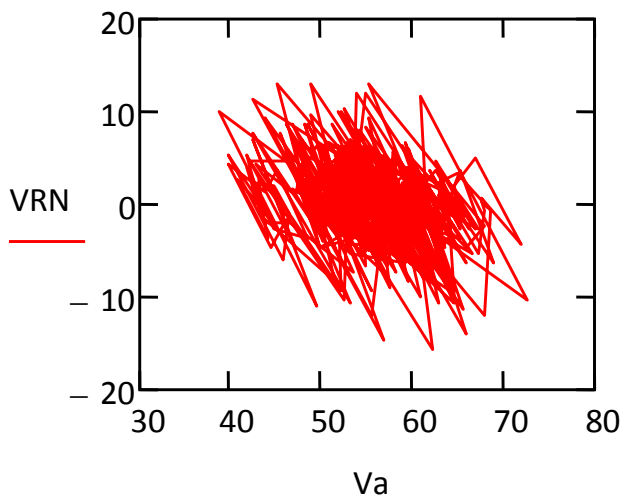
კარდიორითმის არაწრფივი ქოტური დინამიკის გეომეტრიული ანალიზი ეფუძნება ე.წ. დეტერმინირებული ქაოსის თეორიას [3,4]. გულის რითმის პარამეტრების ცვლილება ქოტურ ხასიათს ატარებს, დარღვევები კი მუშაობის მართვაში იწვევს მთლიანობაში სისტემის დინამიკური ყოფაქცევის ცვლილებას. ამის შედეგად ირღვევა ტიპური ქოტური სურათი [5].

არაწრფივი დინამიკის კანონების [5] თანახმად საკვლევი პროცესი ფაზურ სიბრტყეში უნდა განვიხილოთ. კარდიორითმის სისხირის დინამიკის მიმართებაში გარდა რითმის სისხირის განსაზღვრისას ამ პარამეტრის ცვლილების სინქარეც უნდა გამოითვალოს. ამ პროცესის არაწრფივი დინამიკა განისაზღვრება ჰაოსოგრამის აგებით. სტატიაში ასახულია მიღებული ჰაოს-

გრამები ჯანმრთელი და ავადმყოფობის ზღვარზე მყოფი პაციენტისათვის.

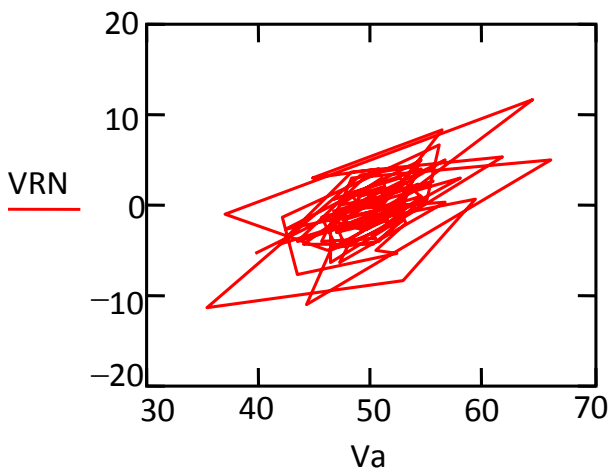
1-ლ ნახაზზე მოცემულია ჯანმრთელი ადამიანისათვის მიღებული კარდიორითმის ცვლილების გრაფიკული წარმოდგენა ფაზურ სიბრტყეში

(ჰოსგრამა) [3,4]. აბსცისათა ღერძზე გადაზომილია რითმოგრამის სიხშირის ცვლილება დროის მიხედვით, ორდინატთა ღერძზე კი გადაზომილია რითმოგრამის სიხშირის ცვლილების სინქარე.



ნახ. 1. ნორმალური მდგომარეობისათვის დამახასიათებელი ჰოსგრაფის მაგალითი

ქვედა ნახაზზე მოცემულია ჰოსგრამა იმ შემთხვევაში, როცა ადგილი აქვს სისტემის დისბალანსს.



ნახ. 2. ავადმყოფობის ზღვარზე მყოფი პაციენტის მდგომარეობისათვის დამახასიათებელი ჰოსგრაფის მაგალითი

როგორც ვხედავთ, მე-2 ნახაზზე ჩნდება კარდიორითმის დინამიკის “ქაოტირების” დარღვევა. ჰოსგრაფის დამუშავება ცნობილი მეთოდით, მაგალითად ჰისტოგრამის აგებით, საშუალებას იძლევა გაკეთდეს დასკვნა არა მხოლოდ პაციენტის მდგომარეობის შესახებ მოცემულ მომენტში, არამედ ნაწინასწარმეტყველებს იქნეს მოსალოდნელი დარღვევები.

შემდეგ ეტაპზე ჩვენ გამოვიყენეთ ნორმირებული გაქანების მეთოდი, რომელიც დაფუძნებულია ჰერსტის ემპირიულ კანონზე [6]. ჰერსტის მიერ გამოყენებული მეთოდი დროითი მწკრივების ანალიზისათვის დაკავშირებულია შემთხვევითი ფრაქტალების კონცეფციასთან. ჰერსტის [6] მანქანებელი გამოთვლილია ჯანმრთელი და ავადმყოფი პაციენტების კარდიორითმის სიხშირის მიმართებაში.

რითმოგრამის ანალიზისათვის ჰერსტის მეთოდის გამოყენებამ აჩვენა, რომ ეს მაჩვენებელი მნიშვნელოვნად განსხვავებულია ჯანმრთელი და ავადმყოფი პაციენტების რითმოგრამისათვის. კერძოდ ჰერსტის მაჩვენებელი დამოკიდებულია კარდიორითმის სისწირის ცვლილებაზე. როგორც აღმოჩნდა ჩვენ შემთხვევაში მაქსიმალურმა ცვლილებამ ჯანმრთელი პაციენტისათვის შეადგინა 101 ერთეული, ჰერსტის მაჩვენებელი მივიღეთ  $H=0.19$ , ხოლო ავადმყოფი პაციენტისათვის მაქსიმალურმა ცვლილებამ შეადგინა 120 ერთეული, ჰერსტის მაჩვენებელი კი მივიღეთ  $H=0.27$ . ეს ემპირიული მეთოდი საშუალებას იძლევა ჰერსტის მაჩვენებლის მიხედვით დაავადებით როგორია პაციენტის მდგომარეობა.

შემდეგ ეტაპზე ჩვენ მივიღეთ MathCad პროგრამის საშუალებით კარდიოგრამის დროით-სისწირული მახასიათებლები ჯანმრთელი და იშემით დაავადებული ავადმყოფებისათვის [7]. დისკრეტულ ვეივლეტზე დაფუძნებული დროით-სისწირული ანალიზი გვინვენებს, თუ როგორ იცვლება სიგნალის სისწირის შემადგენლობა დროის მიხედვით. კარდიოგრამის სიგნალის დროით-სისწირული სტრუქტურა მიიღება უფრო დეტალური და ინფორმაციის მოძებნით, როცა ის დაფუძნებულია ვეივლეტ-პაკეტის გამოყენებაზე ოპტიმალური საბაზო ფუნქციით. დროით-სისწირული არე იყოფა მართკუთხედებად. მართკუთხედის სიგრძე ( $x$  – ღერძის მიმართ) ასახავს დროით არეში აღებულ ვექტორს, ხოლო სიგანე ( $y$  – ღერძის მიმართ) შეესაბამება ვექტორის სისწირის ზოლს. მართკუთხედის სიშუქე დამოკიდებულია გარდაქმნის კოეფიციენტის ინტენსივობაზე: მუქი ზოლი შეესაბამება უფრო მაღალ ენერჯიას დროით-სისწირული ლოკალიზაციისას.



SKH

ნახ. 3. დაავადებული და ჯანმრთელი ადამიანის კარდიოგრამის დროით-სისწირული სურათების სხვაობითი გამოსახულება

მიღებული დროით-სისწირული სურათების ანალიზი კარდიოლოგს საშუალებას აძლევს დაადგინოს მცირე ცვლილება და დასკვნა გააკეთოს დაავადების შესახებ.

### 3. დასკვნა

კარდიორითმის დინამიკის კვლევის მაგალითზე შემოთავაზებული მეთოდების გამოყენება საშუალებას იძლევა ჩატარდეს ბიო-სამედიცინო სისტემების თვისებების ანალიზი ერთდროულად დროით-სისწირულ და სივრცულ არეში. წარმოდგენილი ალგორითმების ვიზუალიზებული ხასიათი საგრძნობლად ამარტივებს მათი დინამიკური ქცევის განსაკუთრებულობის გაგებას, აღქმას და დაეხმარება ექიმებს ობიექტური დიაგნოსტიკის დასმაში, ხოლო დინამიკური სისტემების და არასტაციონარული პროცესების თვისებების ანალიზი გრაფიკული მეთოდებით მარტივი კომპიუტერული რეალიზაციით Mathcad პროგრამის მეშვეობით, განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია კომპიუტერული ტექნოლოგიების განვითარების თანამედროვე ეტაპზე, როცა ყალიბდება დინამიკური სისტემების ანალიზისა და სინთეზის პროცესების ავტომატიზება.

### ლიტერატურა

1. Сорбучев С.И. Диагностический комплекс. <http://www.kairost.ru/26/35.html>, 2010, 04. 1-25 с.
2. Ходжибаев А.М., Адылова Ф.Т. Новейшие информационные ГРИД-технологии в электронной медицине//Украинский журнал телемедицины, том 3, N1, 2005. <http://www.telemed.org.ua/UJFMMT/N1>
3. Что такое теория хаоса? <http://www.ntpo.com/physics/archive/7.html>
4. Теория хаоса. Материал из Википедии. <http://ru.wikipedia.org/wiki>
5. Малинецкий Г.Г. Хаос. Структуры. Вычислительный эксперимент. "Введение в нелинейную динамику". М.: УРСС, 2001.
6. Федер Е. Фракталы. Пер. с англ.-М.: Мир,1991.-254 с.
7. ი. ჩხეიძე, ლ. ტოკაძე. კარდიოგრამის ანალიზი ვეივლეტ დროით-სისწირული წარმოდგენის საფუძველზე. თბილისი: საგამომცემლო სახლი "ტექნიკური უნივერსიტეტი", 2010.

---

**UDC 621.397.13****THE ANALYSIS OF DYNAMIC SYSTEM OF FREQUENCY CARDIORHYTHM ON THE BASIS OF THE COMPUTER VISUALIZED METHODS****I. Chkheidze, M. Berishvili, L. Tokadze**

Department of engineering cybernetics and instrument making, Georgian Technical University, 77, Kostava str, Tbilisi, 0175, Georgia

**Resume:** There are considered graphic methods of research of dynamic system of cardiorhythm, which demonstrate a difference in change of indicators for healthy and sick patients. Research of dynamics of frequency of cardiorhythm has shown, that application of the presented methods allows to carry out the analysis of properties of medical and biologic system and the visualized character of the algorithms realized in package MathCad, considerably tames understanding of features of dynamic behaviour of system, his perception and will help doctors with the establishment of the objective diagnosis.

**Key words:** MathCad program; frequency of cardiorhythm; chaos-gram; Hurst's indicator; time-frequency representation.

---

**УДК 621.397.13****АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЧАСТОТЫ КАРДИОРИТМА НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ВИЗУАЛИЗИРОВАННЫХ МЕТОДОВ****Чхеидзе И.М., Беришвили М.Г., Токадзе Л.Ш.**

Департамент инженерной кибернетики и приборостроения, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. Костава, 77

**Резюме:** Рассмотрены графические методы исследования динамической системы кардиоритмов, которые наглядно показывают разницу в изменении показателей для здорового и больного пациентов. Анализ динамики частоты кардиоритма показал, что применение представленных методов позволяет провести эффективно анализ свойств медико-биологической системы, а визуализированный характер алгоритмов, реализованных в пакете MathCad, значительно упрощает понимание особенностей динамического поведения системы, его восприятия и поможет врачам в установлении объективного диагноза.

**Ключевые слова:** MathCad программа; частота кардиоритма; хаосграмма; показатель Херста; частотно-временное представление.

---

*მიღებულია დასაბუჯად 19.11.10*

УДК 515.17

О ЛАКУНАРНЫХ РЯДАХ ЛАПЛАСА НА СФЕРЕ

С.Б. Топурия\*, В.В. Хочолава\*\*

Департамент математики, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. Костава 77

E-mail: topur@list.ru, lado 54@mail.ru

**Резюме:** Изучен вопрос сходимости лакунарного ряда Лапласа на сфере. Установлено, что такие ряды в смысле сходимости сильно отличаются от обычных рядов Лапласа на сфере (где нет «лакун»). Так, например, в представленной работе доказывается, что если лакунарный ряд Лапласа есть ряд Фурье, то он сходится почти всюду, тогда как для обычных рядов Фурье-Лапласа его чезаровские средние могут расходиться почти всюду при критическом показателе.

**Ключевые слова:** ряд Лапласа на сфере; ряд Фурье-Лапласа; лакунарные ряды; сходимосť; суммируемость; полином Лежандра; многочлены Гегенбауэра.

1. ВВЕДЕНИЕ

Теория лакунарного тригонометрического ряда изучена весьма полно. Установлено, что такие ряды обладают многими свойствами, сильно отличающимися их от обычных тригонометрических рядов (где нет «лакун»). Так, например, если лакунарный ряд есть ряд Фурье, то он сходится почти всюду (тогда как обычный ряд Фурье может всюду расходиться).

Целью настоящей работы является исследование сходимости лакунарного ряда Лапласа на сфере.

2. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

ОБОЗНАЧЕНИЯ, ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ИЗВЕСТНЫЕ ФАКТЫ

$R^k - k$  – мерное евклидово пространство ( $k = 1, 2, 3, \dots$ );  $x = (x_1, x_2, \dots, x_k)$ ,  $y = (y_1, y_2, \dots, y_k)$  – точки (векторы) пространства  $R^k$ ;  $(\rho, \vartheta_1, \vartheta_2, \dots, \vartheta_{k-2}, \varphi)$  – сферические координаты точки  $x = (x_1, x_2, \dots, x_k)$ ;  $(x, y) = \sum_{i=1}^k x_i y_i$  – скалярное произведение векторов из  $R^k$ ;  $|x| = \sqrt{(x, x)}$  – длина вектора  $x$ ;  $S^{k-1} = \{x : x \in R^k; |x| = 1\}$  – единичная сфера, а  $|S^{k-1}|$  – ее

площадь;  $L_p(S^{k-1})$ ,  $1 \leq p < \infty$  ( $L_1(S^{k-1}) = L(S^{k-1})$ ) – пространство функций, определенных на  $S^{k-1}$  и интегрируемых в  $p$ -ой степени с обычной нормой;  $C(S^{k-1})$  – пространство непрерывных функций, определенных на  $S^{k-1}$ .

Если  $x \in S^{k-1}$ , то в сферических координатах будем ее обозначать так:  $x(\vartheta_1, \vartheta_2, \dots, \vartheta_{k-2}, \varphi)$ . Пусть  $x(\vartheta_1, \vartheta_2, \dots, \vartheta_{k-2}, \varphi)$  и  $y(\vartheta'_1, \vartheta'_2, \dots, \vartheta'_{k-2}, \varphi')$  – точки из  $S^{k-1}$ . Обозначим через  $\gamma$  угол между радиусами, проведенными из центра шаровой поверхности к точкам  $x$  и  $y$ . Легко заметить, что

$$(x, y) = \cos \gamma = \cos \vartheta_1 \cos \vartheta'_1 + \sin \vartheta_1 \cos \vartheta_2 \sin \vartheta'_1 \cos \vartheta'_2 + \dots + \sin \vartheta_1 \sin \vartheta_2 \dots \sin \vartheta_{k-2} \cos \varphi \times \sin \vartheta'_1 \sin \vartheta'_2 \dots \sin \vartheta'_{k-2} \cos \varphi' + \sin \vartheta_1 \sin \vartheta_2 \dots \sin \vartheta_{k-2} \sin \varphi \times \sin \vartheta'_1 \sin \vartheta'_2 \dots \sin \vartheta'_{k-2} \sin \varphi'.$$

Если  $\vartheta_1 = 0$ , то  $\gamma = \vartheta'_1$ .

Рядом Лапласа в пространстве  $R^3$  называется ряд вида

$$\sum_{j=0}^{\infty} \left[ \frac{1}{2} \alpha_{j,0} P_j(\cos \vartheta) + \sum_{m=1}^j P_j^m(\cos \vartheta) (\alpha_{j,m} \cos m\varphi + \beta_{j,m} \sin m\varphi) \right], \quad (1)$$

где  $\alpha_{j,0}$ ,  $\alpha_{j,m}$  и  $\beta_{j,m}$  – постоянные числа,  $P_j(x)$  – обычные, а  $P_j^m(x)$  – присоединенные полиномы Лежандра,

$$P_j^m(\cos \vartheta) = \frac{d^m P_j(\cos \vartheta)}{(d \cos \vartheta)^m}.$$

Ряд (1) также называется рядом сферических гармоник. Конечная сумма

$$Y_j(\vartheta, \varphi) = \frac{1}{2} \alpha_{j,0} P_j(\cos \vartheta) + \sum_{m=1}^j P_j^m(\cos \vartheta) (\alpha_{j,m} \cos m\varphi + \beta_{j,m} \sin m\varphi) \quad (2)$$

называется поверхностной сферической гармоникой степени  $j$  или сферической функцией порядка  $j$ .

Комплексная форма ряда (1) имеет вид

$$\sum_{j=0}^{\infty} \sum_{m=-j}^j \gamma_{j,m} P_j^{|m|}(\cos \vartheta) e^{im\varphi}, \quad (3)$$

где

$$\gamma_{j,m} = \frac{1}{2}(\alpha_{j,m} - i\beta_{j,m}),$$

$$\alpha_{j,-m} = \alpha_{j,m} (m > 0), \beta_{j,0} = 0, \beta_{j,-m} = -\beta_{j,m} (m > 0).$$

Пусть  $f \in L(S^{k-1})$  (если некоторая функция  $f$  задана на единичной сфере  $S^{k-1}$ , то будем считать ее

$$\left. \begin{aligned} \alpha_{j,m} &= \frac{2j+1}{2\pi} \cdot \frac{(j-m)!}{(j+m)!} \int_0^{2\pi} \cos m\varphi d\varphi \int_0^\pi f(\vartheta, \varphi) P_j^m(\cos \vartheta) \sin \vartheta d\vartheta, \\ j &= 0, 1, 2, \dots \quad m = 0, 1, 2, \dots, j, \\ \beta_{j,m} &= \frac{2j+1}{2\pi} \cdot \frac{(j-m)!}{(j+m)!} \int_0^{2\pi} \sin m\varphi d\varphi \int_0^\pi f(\vartheta, \varphi) P_j^m(\cos \vartheta) \sin \vartheta d\vartheta, \\ j &= 1, 2, \dots \quad m = 1, 2, \dots, j. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

$$\gamma_{j,m} = \bar{\gamma}_{j,-m} = \frac{1}{2}(\alpha_{j,m} - i\beta_{j,m}) =$$

$$= \frac{2j+1}{4\pi} \cdot \frac{(j-|m|)!}{(j+|m|)!} \int_0^{2\pi} e^{-im\varphi} d\varphi \int_0^\pi f(\vartheta, \varphi) P_j^{|m|}(\cos \vartheta) \sin \vartheta d\vartheta, \\ j = 0, 1, 2, \dots; \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm j.$$

Если  $\alpha_{j,m}$  и  $\beta_{j,m}$  определены равенствами (4), то легко показать, что  $Y_j(\vartheta, \varphi)$ , определяемая равенством (2), примет вид (см. [1], стр. 143, [2] стр. 152, [3], стр. 495, [4], стр. 57)

$$Y_j(\vartheta, \varphi) = \frac{2j+1}{4\pi} \int_0^\pi \int_0^{2\pi} f(\vartheta', \varphi') P_j(\cos \gamma) \sin \vartheta' d\vartheta' d\varphi',$$

где

$$\cos \gamma = \cos \vartheta \cos \vartheta' + \sin \vartheta \sin \vartheta' \cos(\varphi - \varphi').$$

В дальнейшем ряд Фурье-Лапласа функции  $f \in L(S^2)$  будем рассматривать в виде

$$f(\vartheta, \varphi) \sim \frac{1}{4\pi} \sum_{j=0}^{\infty} (2j+1) \int_0^\pi \times \\ \times \int_0^{2\pi} f(\vartheta', \varphi') P_j(\cos \gamma) \sin \vartheta' d\vartheta' d\varphi'. \quad (5)$$

Теперь введем понятие ряда Фурье-Лапласа в пространстве  $R^k (k > 3)$ .

Пусть  $f \in L(S^{k-1})$  Ее рядом Фурье-Лапласа называется ряд

$$S(f, x) = \sum_{n=0}^{\infty} Y_n^\lambda(f; x), \quad (6)$$

где

$$Y_n^\lambda(f; x) = \frac{\Gamma(\lambda)(n+\lambda)}{2\pi^{\lambda+1}} \int_{S^{k-1}} P_n^\lambda(x, y) f(y) dS^{k-1}(y), \quad (7)$$

$$(n = 0, 1, 2, \dots), \quad \lambda = \frac{k-2}{2},$$

(см. [5], стр. 206, [6], стр. 159).

продолженной на все пространство, за исключением нуля и бесконечности таким образом, что она остается постоянной на лучах, выходящих из начала координат). Ряд (1) называется рядом Фурье-Лапласа функции  $f$ , если

$dS^{k-1}(y)$  – элемент площади поверхности  $S^{k-1} : dS^{k-1} = \sin^{k-2} \vartheta_1 \sin^{k-3} \vartheta_2 \dots \dots \sin \vartheta_{k-2} d\vartheta_1 d\vartheta_2 \dots d\vartheta_{k-2} d\varphi$ .

Функции  $P_n^\lambda(t)$  называются многочленами Гегенбауэра (см. [7], стр. 177), или ультрасферическими многочленами (см. [8], стр. 94, [2], стр. 247) и определяются из разложения

$$(1 - 2ht + h^2)^{-\lambda} = \sum_{n=0}^{\infty} P_n^\lambda(t) h^n.$$

Частичные суммы ряда (6) обозначим так:

$$S_n(f; x) = \sum_{k=0}^n Y_k^\lambda(f; x).$$

Ряд (6) называется суммируемым методом Абеля  $k$  S, если

$$\lim_{r \rightarrow 1^-} U(f; r, x) = S,$$

где

$$U(f; r, x) = \sum_{n=0}^{\infty} Y_n^\lambda(f; x) r^n.$$

Справедливы следующие теоремы:

**Теорема А.** Если  $f \in C(S^{k-1})$ , то равномерно на  $S^{k-1}$

$$\lim_{r \rightarrow 1^-} U(f; r, x) = f(x)$$

(см. [9], стр. 147).

**Теорема В.** Если  $f \in L(S^{k-1})$ , то почти всюду на  $S^{k-1}$

$$\lim_{r \rightarrow 1^-} U(f; r, x) = f(x)$$



(см. [9], стр. 110).

**Теорема С.** Если  $f \in L_2(S^{k-1})$ , то для любого  $\alpha > 0$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sigma_n^\alpha(f; x) = f(x)$$

почти всюду на  $S^{k-1}$ , где  $\sigma_n^\alpha(f; x)$  - Чезаровские  $(C, \alpha)$  средние ряда (6) (см. [9], стр. 249).

Говорят, что возрастающая последовательность натуральных чисел

$$n_1 < n_2 < \dots < n_k < \dots$$

удовлетворяет условию (L), если

$$\sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{n_k} < +\infty \quad \text{и} \quad \sum_{k=m}^{\infty} \frac{1}{n_k} = O\left(\frac{1}{n_m}\right).$$

Последовательность  $\{n_k\}$  называется лакунарной, если существует такое  $q > 1$ , что

$$\frac{n_{k+1}}{n_k} \geq q \quad (k = 1, 2, \dots). \quad (8)$$

Доказывается, что всякая лакунарная последовательность удовлетворяет условию (L), но не наоборот (см. [10], стр. 24 и 178).

Ряд

$$\sum_{k=0}^{\infty} Y_{n_k}^\lambda(f; x) \quad (9)$$

называется лакунарным, если  $\{n_k\}$  образуют лакунарную последовательность. Если последовательность  $\{n_k\}$  удовлетворяет условию (L), то будем говорить, что ряд (9) есть (L) ряд.

### 3. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ УТВЕРЖДЕНИЯ

Справедлива следующая

**Лемма 1.** Если числовой лакунарный ряд  $\sum_{v=0}^{\infty} a_v$

суммируем по методу Абеля к некоторому числу  $S$ , то он сходится к тому же числу (см. [11], стр. 134).

**Доказательство.** Пусть последовательность  $\{n_k\}$  удовлетворяет условию (8).

Рассмотрим

$$f(r) = \sum_{v=0}^{\infty} a_v r^v = (1-r) \sum_{v=0}^{\infty} S_v r^v.$$

Пусть  $r_n = 1 - \frac{1}{n}$ , по условию леммы

$$f(r_n) = \frac{1}{n} \sum_{v=0}^{\infty} S_v \left(1 - \frac{1}{n}\right)^v \rightarrow S \quad \text{при} \quad n \rightarrow \infty.$$

Отсюда следует, что если

$$f(r_n) = \frac{1}{n} \sum_{v=0}^{n-1} S_v \left(1 - \frac{1}{n}\right)^v + \frac{1}{n} \sum_{v=n}^{\infty} S_v \left(1 - \frac{1}{n}\right)^v =$$

$$= f_1(r_n) + f_2(r_n), \quad (10)$$

то

$$\lim_{n \rightarrow \infty} f_1(r_n) = S, \quad \lim_{n \rightarrow \infty} f_2(r_n) = 0.$$

Будем предполагать, что  $f(r) \rightarrow 0$  ( $r \rightarrow 1-$ ). Это предположение не ограничивает общности, так как если  $\lim_{r \rightarrow 1-} f(r) = S \neq 0$ , то мы можем рассмотреть ряд, первый член которого есть  $a_0 - S$ . Ясно, что для такого ряда

$$\bar{f}(r) = (1-r) \sum_{v=0}^{\infty} (S_v - S) r^v = f(r) - S \rightarrow 0, \quad \text{когда} \\ r \rightarrow 1-.$$

По условию

$$f_1(r_{n_k}) = \frac{1}{n_k} \sum_{v=0}^{n_k-1} \left(1 - \frac{1}{n_k}\right)^v S_v \rightarrow 0;$$

$$f_1(r_{n_{k+1}}) = \frac{1}{n_{k+1}} \sum_{v=0}^{n_{k+1}-1} \left(1 - \frac{1}{n_{k+1}}\right)^v S_v \rightarrow 0.$$

Рассмотрим разность (см. (10)).

$$\begin{aligned} n_{k+1} f_1(r_{n_{k+1}}) - n_k f_1(r_{n_k}) &= \sum_{v=0}^{n_{k+1}-1} \left(1 - \frac{1}{n_{k+1}}\right)^v S_v - \\ &\quad - \sum_{v=0}^{n_k-1} \left(1 - \frac{1}{n_k}\right)^v S_v = \\ &= \sum_{v=0}^{n_k-1} \left(1 - \frac{1}{n_{k+1}}\right)^v S_v - \sum_{v=0}^{n_k-1} \left(1 - \frac{1}{n_k}\right)^v S_v + \\ &\quad + \sum_{v=n_k}^{n_{k+1}-1} \left(1 - \frac{1}{n_{k+1}}\right)^v S_v = \\ &= o(n_{k+1} - n_k) + S_{n_k} \sum_{v=n_k}^{n_{k+1}-1} \left(1 - \frac{1}{n_{k+1}}\right)^v = \\ &= O(n_{k+1} - n_k) S_{n_k}. \end{aligned} \quad (11)$$

Из (11) имеем

$$S_{n_k} \cdot O(n_{k+1} - n_k) = o(n_{k+1} - n_k).$$

Откуда следует что  $\lim_{k \rightarrow \infty} S_{n_k} = 0$ . Что и т.д.

**Лемма 2.** Если  $f \in L_2(S^{k-1})$ , тогда сходится ряд

$$\sum_{v=0}^{\infty} \int_{S^{k-1}} [Y_v^\lambda(f; x)]^2 dS^{k-1}(x).$$

**Доказательство.** Имеем

$$\begin{aligned} \|f(x) - S_n(f; x)\|_{L_2(S^{k-1})}^2 &= \left\| f(x) - \sum_{v=0}^n Y_v^\lambda(f; x) \right\|_{L_2(S^{k-1})}^2 = \\ &= \int_{S^{k-1}} f^2(x) dS^{k-1}(x) - \\ &\quad - 2 \int_{S^{k-1}} f(x) \left[ \sum_{v=0}^n Y_v^\lambda(f; x) \right] dS^{k-1}(x) + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & + \int_{S^{k-1}} \left[ \sum_{v=0}^n Y_v^\lambda(f; x) \right]^2 dS^{k-1}(x) = \\
 & = \int_{S^{k-1}} f^2(x) dS^{k-1}(x) - 2 \sum_{v=0}^n \int_{S^{k-1}} f(x) Y_v^\lambda(f; x) dS^{k-1}(x) + \\
 & + \sum_{v=0}^n \int_{S^{k-1}} [Y_v^\lambda(f; x)]^2 dS^{k-1}(x). \quad (12)
 \end{aligned}$$

В силу равенства (7) имеем

$$\begin{aligned}
 & \int_{S^{k-1}} [Y_v^\lambda(f; x)]^2 dS^{k-1}(x) = \\
 & = \int_{S^{k-1}} [Y_v^\lambda(f; x)] Y_v^\lambda(f; x) dS^{k-1}(x) = \\
 & = \frac{\Gamma(\lambda)(v+\lambda)}{2\pi^{\lambda+1}} \int_{S^{k-1}} Y_v^\lambda(f; x) \times \\
 & \times \left\{ \int_{S^{k-1}} P_v^\lambda[(x, y)] f(y) dS^{k-1}(y) \right\} dS^{k-1}(x) = \\
 & = \int_{S^{k-1}} \left\{ \frac{\Gamma(\lambda)(v+\lambda)}{2\pi^{\lambda+1}} \int_{S^{k-1}} Y_v^\lambda(f; x) P_v^\lambda[(x, y)] dS^{k-1}(x) \right\} f(y) dS^{k-1}(y) = \\
 & = \int_{S^{k-1}} f(y) Y_v^\lambda(f; y) dS^{k-1}(y), \quad (13)
 \end{aligned}$$

так как (см. [1], стр. 141):

$$\begin{aligned}
 Y_v^\lambda(f; y) & = \frac{\Gamma(\lambda)(v+\lambda)}{2\pi^{\lambda+1}} \times \\
 & \times \int_{S^{k-1}} Y_v^\lambda(f; x) P_v^\lambda[(x, y)] dS^{k-1}(x).
 \end{aligned}$$

Из (12) и (13) получаем:

$$\begin{aligned}
 & \|f(x) - S_n(f; x)\|_{L_2(S^{k-1})}^2 = \\
 & = \int_{S^{k-1}} f^2(x) dS^{k-1}(x) - \sum_{v=0}^n \int_{S^{k-1}} f(x) Y_v^\lambda(f; x) dS^{k-1}(x) = \\
 & = \int_{S^{k-1}} f^2(x) dS^{k-1}(x) - \sum_{v=0}^n \int_{S^{k-1}} [Y_v^\lambda(f; x)]^2 dS^{k-1}(x).
 \end{aligned}$$

Отсюда следует, что сходится ряд

$$\sum_{v=0}^{\infty} \int_{S^{k-1}} [Y_v^\lambda(f; x)]^2 dS^{k-1}(x).$$

Из этого следует также, что почти всюду на  $S^{k-1}$  сходится ряд

$$\sum_{v=0}^{\infty} [Y_v^\lambda(f; x)]^2.$$

Что и т.д.

#### 4. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Справедливы следующие теоремы:

**Теорема 1.** Если ряд Фурье-Лапласа (9) есть лакунарный, то он сходится почти всюду на  $S^{k-1}$ .

Справедливость этой теоремы следует из леммы 1 и теоремы В.

**Теорема 2.** Если лакунарный ряд (9) есть ряд Фурье от непрерывной функции, то он сходится равномерно на  $S^{k-1}$ .

Справедливость этой теоремы вытекает из леммы 1 и теоремы А.

**Теорема 3.** Пусть  $n_k$  – последовательность, удовлетворяющая условию (L) и  $f \in L_2(S^{k-1})$ . Тогда почти всюду на  $S^{k-1}$

$$\lim_{k \rightarrow \infty} S_{n_k}(f; x) = f(x).$$

**Доказательство.** В силу теоремы С, для доказательства теоремы достаточно убедиться, что

$$\lim_{v \rightarrow \infty} [S_{n_v}(f; x) - \sigma_{n_v}(f; x)] = 0 \quad (14)$$

почти всюду на  $S^{k-1}$ . Для этого достаточно показать, что

$$\sum_{v=1}^{\infty} \int_{S^{k-1}} [S_{n_v}(f; x) - \sigma_{n_v}(f; x)]^2 dS^{k-1}(x) < +\infty; \quad (15)$$

тогда по теореме Лебега будет иметь место сходимость почти всюду на  $S^{k-1}$  ряда

$$\sum_{v=1}^{\infty} [S_{n_v}(f; x) - \sigma_{n_v}(f; x)].$$

Отсюда и следует равенство (14).

Итак, покажем сходимость ряда (15). Имеем

$$\begin{aligned}
 S_n(f; x) - \sigma_n(f; x) & = \sum_{v=1}^n Y_v^\lambda(f; x) - \\
 - \sum_{v=1}^n \left(1 - \frac{v}{n+1}\right) Y_v^\lambda(f; x) & = \sum_{v=1}^n \frac{v}{n+1} Y_v^\lambda(f; x).
 \end{aligned}$$

Из этого равенства получаем

$$\begin{aligned}
 & \int_{S^{k-1}} [S_{n_v}(f; x) - \sigma_{n_v}(f; x)]^2 dS^{k-1}(x) = \\
 & = \sum_{j=1}^{n_v} \frac{j^2}{(n_v+1)^2} \int_{S^{k-1}} [Y_j^\lambda(f; x)]^2 dS^{k-1}(x).
 \end{aligned}$$

Оценим сумму первых  $P$  членов ряда (15). Имеем

$$\begin{aligned}
 & \sum_{v=1}^P \int_{S^{k-1}} [S_{n_v}(f; x) - \sigma_{n_v}(f; x)]^2 dS^{k-1}(x) = \\
 & = \sum_{v=1}^P \left\{ \sum_{j=1}^{n_v} \frac{j^2}{(n_v+1)^2} \int_{S^{k-1}} [Y_j^\lambda(f; x)]^2 dS^{k-1}(x) \right\} \leq \\
 & \leq \sum_{v=1}^P \frac{1}{n_v^2} \sum_{j=1}^{n_v} j^2 \int_{S^{k-1}} [Y_j^\lambda(f; x)]^2 dS^{k-1}(x). \quad (16)
 \end{aligned}$$

Введем обозначения

$$\mu_j = j^2 \int_{S^{k-1}} [Y_j^\lambda(f; x)]^2 dS^{k-1}(x).$$

Имеем

$$\begin{aligned}
 \sum_{v=1}^P \frac{1}{n_v^2} \sum_{j=1}^{n_v} \mu_j & = \frac{1}{n_1^2} \sum_{j=1}^{n_1} \mu_j + \frac{1}{n_2^2} \sum_{j=1}^{n_2} \mu_j + \\
 + \frac{1}{n_2^2} \sum_{j=n_1+1}^{n_2} \mu_j & + \frac{1}{n_3^2} \sum_{j=1}^{n_3} \mu_j + \frac{1}{n_3^2} \sum_{j=n_1+1}^{n_3} \mu_j +
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \frac{1}{n_3^2} \sum_{j=n_2+1}^{n_3} \mu_j + \dots \\ & \frac{1}{n_p^2} \sum_{j=1}^{n_1} \mu_j + \frac{1}{n_p^2} \sum_{j=n_1+1}^{n_2} \mu_j + \dots + \frac{1}{n_p^2} \sum_{j=n_{p-1}+1}^{n_p} \mu_j = \\ & \sum_{j=1}^{n_1} \mu_j \sum_{v=1}^p \frac{1}{n_v^2} + \sum_{j=n_1+1}^{n_2} \mu_j \sum_{v=2}^p \frac{1}{n_v^2} + \dots + \left( \sum_{j=n_{p-1}+1}^{n_p} \mu_j \right) \frac{1}{n_p^2} \end{aligned} \quad (17)$$

Но последовательность  $\{n_v\}$  удовлетворяет условию (L), поэтому и  $\{n_v^2\}$  также (см. [10], стр. 24), а потому

$$\sum_{v=j}^{\infty} \frac{1}{n_v^2} < \frac{C}{n_j^2}, \quad C = const. \quad (18)$$

Из (17) и (18) получаем

$$\begin{aligned} & \sum_{v=1}^p \frac{1}{n_v^2} \sum_{j=1}^{n_v} \mu_j < \\ & < C \left( \sum_{j=1}^{n_1} \frac{1}{n_1^2} \mu_j + \sum_{j=n_1+1}^{n_2} \frac{1}{n_2^2} \mu_j + \dots + \sum_{j=n_{p-1}+1}^{n_p} \frac{1}{n_p^2} \mu_j \right) = \\ & C \sum_{i=1}^p \frac{1}{n_i^2} \left( \sum_{j=n_{i-1}+1}^{n_i} \mu_j \right), \quad n_0 = 0. \end{aligned}$$

Из определения  $\mu_j$  имеем

$$\sum_{j=n_{i-1}+1}^{n_i} \mu_j \leq n_i^2 \sum_{j=n_{i-1}+1}^{n_i} \int_{S^{k-1}} [Y_j^\lambda(f; x)]^2 dS^{k-1}(x). \quad (19)$$

Из (17) и (19) получаем

$$\begin{aligned} & \sum_{v=1}^p \frac{1}{n_v^2} \sum_{j=1}^{n_v} \mu_j < C \sum_{i=1}^p \sum_{j=n_{i-1}+1}^{n_i} \int_{S^{k-1}} [Y_j^\lambda(f; x)]^2 dS^{k-1}(x) = \\ & = C \sum_{i=1}^{n_p} \int_{S^{k-1}} [Y_i^\lambda(f; x)]^2 dS^{k-1}(x) \end{aligned} \quad (20)$$

при любом  $P$ .

В силу леммы 2 из (16) и (20) получаем справедливость теоремы 3.

**Следствие.** Если  $n_k$  есть лакунарная последовательность и  $f \in L_2(S^{k-1})$ , то почти всюду на  $S^{k-1}$

$$\lim_{v \rightarrow \infty} S_{n_v}^\lambda(f; x) = f(x).$$

Рассмотрим ряд (9) в  $R^3$ , т.е.  $\lambda = \frac{1}{2}$ . Пусть

$$H(v_1, v_2, \mathcal{G}, \varphi) = \sum_{j=v_1}^{v_2} \sum_{m=-n_j}^{n_j} \gamma_{n_j, m} P_j^{|m|}(\cos \vartheta) e^{im\varphi}.$$

**Лемма 3.** Если  $E(E \subset S^2)$  – множество положительной меры, то можно выбрать такое натуральное число  $v_1$  (зависящее только от  $E$  и  $q$ , где  $q$  – постоянная определяемая неравенством (8) и

фиксированные числа  $a, b$  ( $a > 0, b > 0$ ), что для любого натурального числа  $v_2$  ( $v_2 > v_1$ ) имеет место неравенство

$$\begin{aligned} & a |E| \left| \sum_{j=v_1}^{v_2} \sum_{m=-n_j}^{n_j} \frac{4\pi}{2n_j+1} \frac{(n_j+|m|)!}{(n_j-|m|)!} \gamma_{n_j, m} \right|^2 \leq \\ & \leq \int_E H^2(v_1, v_2, \mathcal{G}, \varphi) dS \leq \\ & \leq b |E| \sum_{j=v_1}^{v_2} \sum_{m=-n_j}^{n_j} \frac{4\pi}{2n_j+1} \frac{(n_j+|m|)!}{(n_j-|m|)!} \left| \gamma_{n_j, m} \right|^2. \end{aligned} \quad (21)$$

**Теорема 4.** Если ряд (9)  $\left( \lambda = \frac{1}{2}, \text{ см. (5)} \right)$  суммируем методом (C,1) на множестве  $E(E \subset S^2)$  положительной меры, то

$$\sum_{j=0}^{\infty} \sum_{m=-n_j}^{n_j} \frac{1}{2n_j+1} \frac{(n_j+|m|)!}{(n_j-|m|)!} \left| \gamma_{n_j, m} \right|^2 < \infty. \quad (22)$$

**Доказательство.** Пусть  $v_1$  выбран так, что имеет место (21). С другой стороны,

$$H(v_1, v_2, \mathcal{G}, \varphi) = S_{v_2}^\lambda(f; \mathcal{G}, \varphi) - S_{v_1}^\lambda(f; \mathcal{G}, \varphi). \quad (23)$$

В силу леммы 1,  $S_v^\lambda(f; \mathcal{G}, \varphi)$  сходится на множестве  $E$ , поэтому существует множество  $F(F \subset S^2)$  положительной меры и число  $M$ , для которых частные суммы  $S_v^\lambda(f; \mathcal{G}, \varphi)$  удовлетворяют условиям

$$|S_v^\lambda(f; \mathcal{G}, \varphi)| \leq M \quad (24)$$

равномерно по  $(\mathcal{G}, \varphi) \in F$  ( $v \in N$ ). Из (23) и (24) имеем

$$|H(v_1, v_2, \mathcal{G}, \varphi)| \leq 2M$$

равномерно по  $(\mathcal{G}, \varphi) \in F$ ,  $v_2$  ( $v_2 > v_1$ )  $C$ . Поэтому в силу (21) для всех  $v_2$  ( $v_2 > v_1$ ) получаем

$$a |F| \left| \sum_{j=v_1}^{v_2} \sum_{m=-n_j}^{n_j} \frac{4\pi}{2n_j+1} \frac{(n_j+|m|)!}{(n_j-|m|)!} \gamma_{n_j, m} \right|^2 \leq 4M |F|.$$

Если в этом неравенстве перейдем к пределу при  $v_2 \rightarrow \infty$ , получим

$$\sum_{j=v_1}^{\infty} \sum_{m=-n_j}^{n_j} \frac{1}{2n_j+1} \frac{(n_j+|m|)!}{(n_j-|m|)!} \left| \gamma_{n_j, m} \right|^2 < \infty.$$

Отсюда и получается (22). Теорема доказана.

### 3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, доказано, что если лакунарный ряд Лапласа есть ряд Фурье, то он сходится почти всюду.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Гобсон Е.В. Теория сферических и эллипсоидальных функций. Москва, 1952.

2. Джексон Д. Ряды Фурье и ортогональные многочлены. Москва, 1948.
3. Смирнов В.И. Курс высшей математики. Т. III, ч. 2, Москва, 1958.
4. Камке де Ферье Ж., Кемпбел Р., Петьо Г., Фогель Т. Функции математической физики. Москва, 1963.
5. Berens H., Butzer P.L., Pawelke S. Limitierungsverfahren von Reihen mehrdimensionaler Kugelfunktionen und deren Saturayionsverhalten. Pubs. Res. Inst. Math. sci., 1968, A4, N2, 201-268.
6. Chen K.K. Summation of the Fourier series of orthogonal functions. Peking, Sci. Press, 1957, 159-177.
7. Бейтмен Г. Эрдей А. Высшие трансцендентные функции. Москва, 1965.
8. Сеге Г. Ортогональные многочлены. Москва, 1962.
9. Топурия С.Б. Ряды Фурье-Лапласа на сфере. Тбилиси, 1987.
10. Бари Н.К. Тригонометрические ряды. Москва, 1961.
11. Зигмунд А. Тригонометрические ряды, т. I. Москва, 1965.

**შპპ 515.17****სფეროზე ლაკლასის ლაკუნარული მწკრივების შესახებ****ს. თოფურია, ვ. ხოჭოლავა**

მათემატიკის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, კოსტავას 77

**რეზიუმე:** შესწავლილია სფეროზე ლაკლასის ლაკუნარული მწკრივების კრებადობის საკითხი. დადგენილია, რომ ასეთი მწკრივები კრებადობის თვალსაზრისით არსებითად განსხვავდება ჩვეულებრივი ლაკლასის მწკრივებისაგან (სადაც არ არის „ლაკუნი“). ასე მაგალითად, წარმოდგენილ ნაშრომში მტკიცდება, რომ თუ ლაკლასის ლაკუნარული მწკრივი არის ფურიეს მწკრივი ის თითქმის ყველგან კრებადია, მაშინ როცა ჩვეულებრივი ფურიე-ლაკლასის მწკრივის ჩეზაროს საშუალო შეიძლება განშლადი იყოს თითქმის ყველგან კრიტიკული მანვენებლისათვის.

**საკვანძო სიტყვები:** ლაკლასის მწკრივი სფეროზე; ფურიე-ლაკლასის მწკრივი; ლაკუნარული მწკრივები; კრებადობა; შეჯამებადობა; ლეჟანდრეს პოლინომი; გეგენბაუერის მრავალწევრი.

**UDC 515.17****ABOUT LACUNAR LAPLACE SERIES ON THE SPHERE****S. Topuria, V. Khocholava**

Department of mathematics, Georgian Technical University, 77, Kostava str, Tbilisi, 0175, Georgia

**Resume:** There is studied the question of convergence and summability of Laplace lacunar series on the sphere. There is established, that such series more differ in the sense of convergence from ordinary Laplace series (where there are no lacunas) on a sphere. In particular, it is proved, that if Laplace lacunar series is Fourier series, it converges almost everywhere, whereas for ordinary Fourier-Laplace series their Cesarian means may diverge almost everywhere for a critical index.

**Key words:** Laplace series on the sphere; Fourier-Laplace series; lacunary series; convergence; summation; Gegenbauers polynomials; Legendres polynomials.

*Принято к печати 27.09.10*

**შპაპ 621. 397. 13**

**სასწავლო პროცესის ხარისხის შეფასების ინტელექტუალური სისტემა**

**ო. ზედგინიძე, თ. მენაბდე\***

საინჟინრო კიბერნეტიკისა და ხელსაწყოთმშენებლობის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, კოსტავას 77

E-mail: Tamari.Menabde1208@gmail.com

**რეზიუმე:** სასწავლო პროცესის ხარისხის ანალიზის შემოთავაზებული მეთოდოლოგია, კერძოდ X, S, NP საკონტროლო რუკების აგება საშუალებას გვაძლევს ოპერატიულად გამოვადგინოთ „სუსტი რგოლი“ და მოვახდინოთ სწავლების მეთოდოლოგიის კორექცია, მოვახდინოთ სასწავლო მასალის გადმოცემის თანამიმდევრობისა და შინაარსის ცვლილება და ა.შ. ამის გათვალისწინებით წარმოდგენილი ანალიზი საშუალებას გვაძლევს პედაგოგების, კათედრებისა და დეკანატის მუშაობის უფრო ობიექტურად შეფასების საშუალებას.

**საკვანძო სიტყვები:** საკონტროლო რუკა; რეგულაციის ზღვრები; ხარისხის პარამეტრები.

**1. შესავალი**

სასწავლო პროცესის ხარისხის ანალიზის შემოთავაზებული მეთოდოლოგია დაფუძნებულია იმაზე, რომ სასწავლო პროცესი წარმოადგენს ტექნოლოგიური პროცესის კერძო შემთხვევას და მისთვის დამახასიათებელია ანალიზის იგივე მეთოდები, რაც დამახასიათებელია საწარმოო პროცესებისათვის. ამიტომ სასწავლო პროცესის შემადგენელი ნაწილები შეიძლება განვიხილოთ, როგორც პროცესის ელემენტები ან ფუნქციები. სასწავლო პროცესის ობიექტად შეიძლება ჩაითვალოს ცალკეული სტუდენტი ან სტუდენტთა ჯგუფი. სწავლების პროცესში სტუდენტები ურთიერთკავშირში არიან პროცესის ელემენტებთან ანუ ისმენენ ლექციებს, ასრულებენ პრაქტიკულ სამუშაოებს, საკურსო სამუშაოებს და ა.შ. შედეგი სტუდენტების კავშირისა პროცესის ელემენტებთან არის ცოდნის დონის ამაღლება.

ხარისხის სისტემებისადმი ერთ-ერთ ძირითად მოთხოვნას ხარისხის პარამეტრების გაზომვა წარმოადგენს, საუბარია სტუდენტის ცოდნის დონის გაზომვაზე. ტრადიციულად ცოდნის დონის შეფასება ნიშნით ან ქულით ხდება. დღესდღეობით უმაღლეს სასწავლებლებში მოქმედ რეიტინგულ სისტემაში გამოყენებულია აგრეთვე შეადგენს ე.წ. „საკონტროლო კვირის“ შეფასებები.

იმ მიზეზთა შორის, რომელიც სასწავლო პროცესის არასტაბილურობას იწვევს, შეიძლება დავასახელოთ: დისციპლინის სწავლების დაბალი ხარისხი; რეიტინგული კონტროლის მეთოდოლოგიის არაკორექტულობა; პედაგოგის მიერ სტუდენტის ცოდნის არაობიექტური შეფასება; სტუდენტების მხრიდან ლექციებზე არაღამაკმაყოფილებელი დასწრება; პედაგოგის მხრიდან ლექციების გაცდენა; სასწავლო პროცესის სასწავლო-მეთოდური ლიტერატურით არასაკმარისი უზრუნველყოფა და სხვა. ყველა ეს მიზეზი თავს იჩენს სასწავლო სემესტრის დასრულებისას სტუდენტის საბოლოო შეფასების დროს.

ამოცანის გადაჭრის ერთ-ერთი ეფექტური მეთოდი  $\bar{X}, S, np$  – საკონტროლო რუკების აგებაა.

**2. ძირითადი ნაწილი**

$\bar{X}$  – საკონტროლო რუკის აგება ხდება საგნების მიხედვით საშუალო ქულებიდან გადახრის მონიტორინგისათვის. საშუალო ქულა თითოეულ j-ურ საგანზე ასე განისაზღვრება:

$$\bar{a}_j = \frac{\sum_{m=1}^n a_{jm}}{n}, \tag{2}$$

სადაც  $m=1...n$ , n არის სტუდენტების რაოდენობა ჯგუფში;  $j=1,k$ , k- დისციპლინების რაოდენობა, ჩაბარებული განსახილველ სესიაზე.

$\bar{X}$  – სასწავლო პროცესის შუალედურ ხაზს განსახილველ სესიაზე განსაზღვრავთ ასე:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{j=1}^k a_j}{k}. \tag{3}$$

საშუალო კვადრატული გადახრა საშუალო  $\bar{x}$  განისაზღვრება შემდეგნაირად:

$$\bar{s} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^k (\bar{x} - a_j)^2}{k-1}}. \tag{4}$$

მაშინ რეგულაციის საზღვრების გამოთვლა  $\bar{X}$  – საკონტროლო რუკისათვის შეიძლება ასე წარმოვადგინოთ:

$$Ucl = \bar{x} + 3\bar{s}; \tag{5}$$

$$D_{cl} = \bar{x} - 3\bar{S} . \quad (6)$$

განვიხილოთ ერთი ჯგუფის მიერ საგამოცდო სესიაზე მიღებული შედეგები, სადაც მაქსიმალური ქულა არის 100, ხოლო მინიმალური – 0. შედეგების ანალიზი უპირველეს ყოვლისა ტარდება საკონტროლო რუკების აგების საფუძველზე. საკონტროლო რუკების აგებისათვის სტუდენტების მიერ ჩაბარების შედეგები ერთ საგანში ჩავთვა-

ლოთ ამონარჩევად. ვინაიდან სხვადასხვა საგანი ბარდება ერთი და იგივე ჯგუფის მიერ ამონარჩევის მოცულობა მუდმივი იქნება.

1-ელ ცხრილში მოცემულია ყველა აუცილებელი მონაცემები, რომლებიც გამოთვლილია ზემოთ მოყვანილი ალგორითმებით. მიღებული შედეგების მიხედვით საკონტროლო რუკები აგებული იქნება.

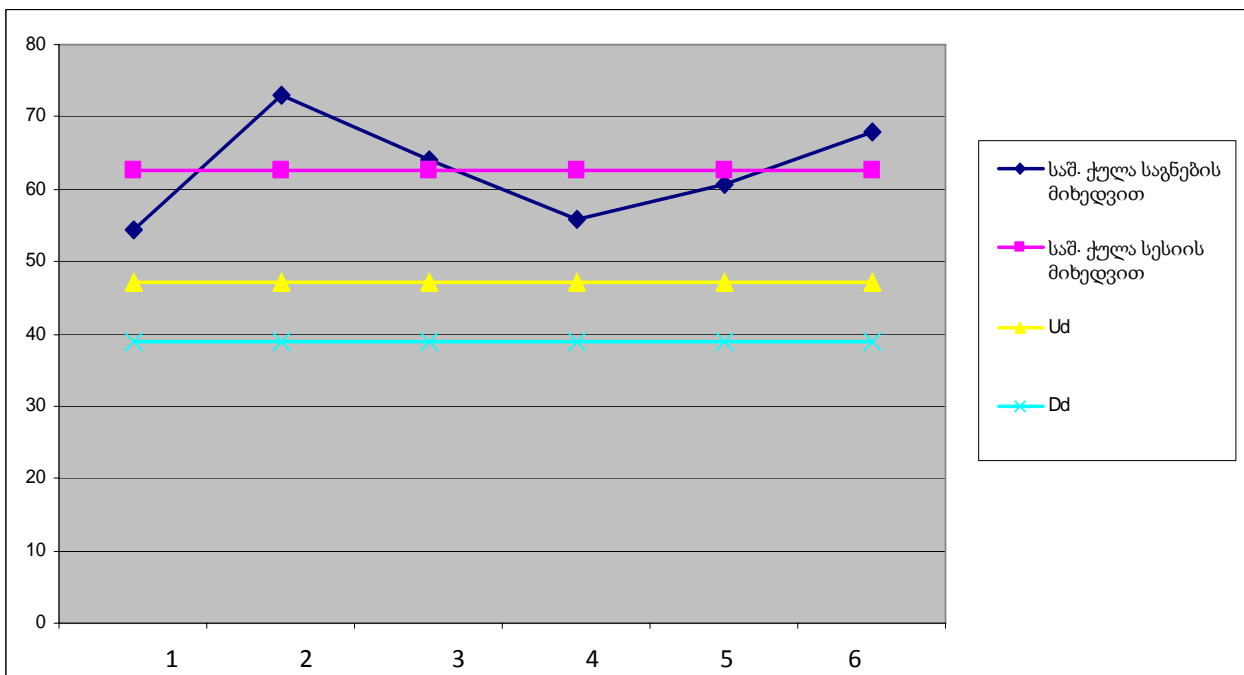
ცხრილი 1

№	მასპერტიზის მეთოდები და საშუალებები	ხარისხის მართვის პროგრამული უზრუნველყოფა და მონაცემთა ბაზები	მიკროპროცესორული და გამოთვლითი ტექნიკის ელემენტები	ხარისხის უზრუნველყოფის მათემატიკური საფუძვლები	თეორიული და გამოყენებითი მეტროლოგია	სტანდარტიზაციის თეორია	საშ. ქულა
	2	3	4	5	6	7	8
1	64	52	98	71.5	54	64.5	67.33
2	51	51	68	51	4	53	46.33
3	54	51	67	51	4	54.5	46.92
4	100	96	100	100	89	99	97.33
5	85	63	98	71	70	74	76.83
6	78	81	100	71.5	61	72	77.25
7	17	19	1	22	0	0	9.83
8	17	20	1	23	0	1	10.33
9	18	19	0	23	0	51	18.5
10	85	86	99	82	72	88	85.33
11	98	100	100	98	91	98	97.5
12	95	92	97	84	64	75.5	84.58
13	88	54	95	72	60	81	75.0
14	30	23	57	51	4.5	55	36.75
$\overline{aj}$	62.8	57.6	70.0	62.2	40.9	61.8	$59.2 = \overline{X}$
საშ. კვად $S_j$	31,6	29,8	40,2	26,2	36,3	30,3	32,4
R=Xmax-Xmin.	83	81	100	78	91	99	88.6
$\overline{s}$							9.82
Ud							88.66
Dd							29.74
Uds							15.65
Dds							3.99

X – საკონტროლო რუკა

ცხრილი 2

	1	2	3	4	5	6
საშ.ქულა საგნების მიხედვით	62.8	57.6	70.0	62.2	40.9	61.8
საშ.ქულა სესიის მიხედვით	59.2	59.2	59.2	59.2	59.2	59.2
Ud	88.66	88.66	88.66	88.66	88.66	88.66
Dd	29.74	29.74	29.74	29.74	29.74	29.74



ნახ. 1. X- საკონტროლო რუკა

S-საკონტროლო რუკის აგება ხდება ჭულეების ცვლილებების ხარისხის მონიტორინგისთვის საგნების მიხედვით. საშუალო კვადრატული გადახრა თითოეულ j-ურ საგანზე ასე განისაზღვრება:

$$S_j = \sqrt{\frac{\sum_{m=1}^n (\bar{a}_j - \bar{a}_{jm})^2}{n-1}} \quad (7)$$

საშუალო კვადრატულ გადახრას განვსაზღვრავთ შემდეგნაირად:

$$S_{\text{საშ.}} = \frac{\sum_{j=1}^k S_j}{k} \quad (8)$$

რეგულაციის საზღვრების კოორდინატების გამოთვლა S-საკონტროლო რუკისათვის ასე გამოიყურება:  $U_{cls} = B_4 S$  საშ. (9)

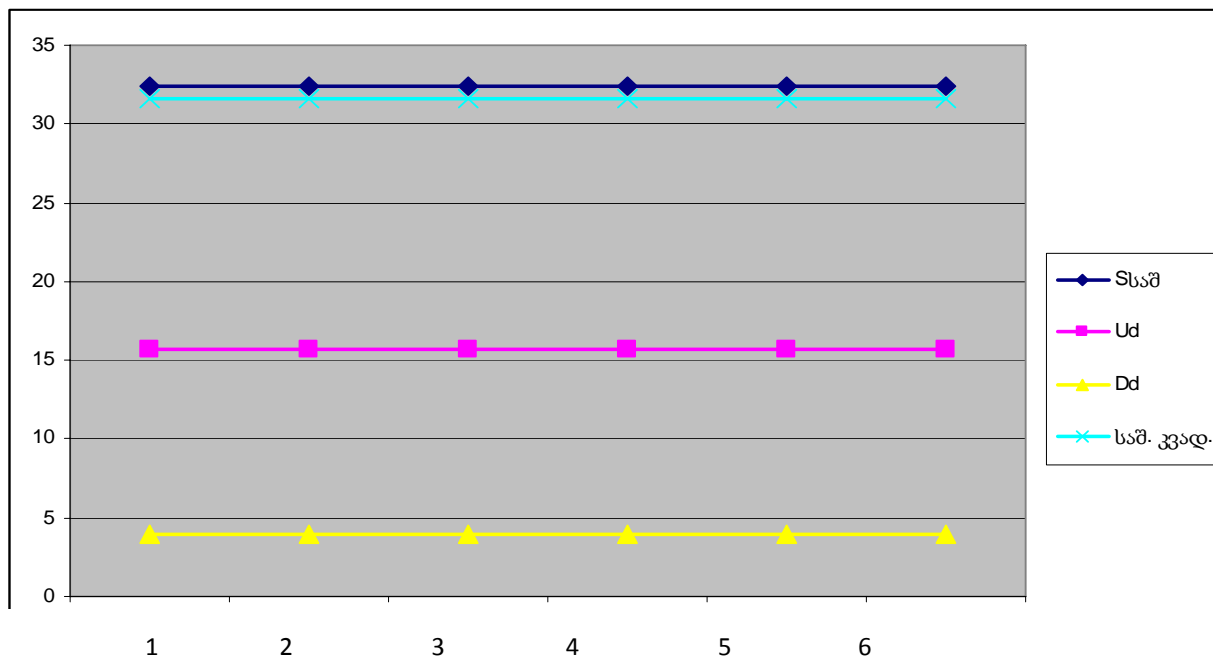
$$D_{cls} = B_3 S \text{ საშ.} \quad (10)$$

სადაც Ud არის რეგულაციის ზედა საკონტროლო ზღვარი, Dd – რეგულაციის ქვედა საკონტროლო ზღვარი, B3, B4 – კოეფიციენტები, რომლებიც დამოკიდებულია რისკის არჩევისა და შესაძლებლობების სიდიდეზე.

ცხრილი 3

S- საკონტროლო რუკა

	1	2	3	4	5	6	7
S საშ.		32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4
Ud		15.65	15.65	15.65	15.65	15.65	15.65
Dd		3.99	3.99	3.99	3.99	3.99	3.99
საშ. კვად.		31.6	29.8	40.2	26.2	36.3	30.3



ნახ. 2. 5 – საკონტროლო რუკა

**NP – საკონტროლო რუკის აგება**

np -საკონტროლო რუკა იგება საგნების მიხედვით არაღამაკმაყოფილებელი ქულების მონიტორინგისათვის.

საშუალო რაოდენობას არაღამაკმაყოფილებელი ქულებისა np-ს მიხედვით თითოეული j-ური საგნისათვის განვსაზღვრავთ შემდეგნაირად:

$$\bar{np} = \frac{\sum_{j=1}^k np_j}{k}, \quad (11)$$

სადაც np<sub>j</sub> არის არაღამაკმაყოფილებელი ქულების რაოდენობა j-ური საგნისათვის, P – არაღამაკმაყოფილებელი ქულების წილი გამოითვლება შემდეგნაირად:

$$\bar{p} = \frac{\bar{np}}{n}. \quad (12)$$

სადაც n არის ჯგუფში სტუდენტების რაოდენობა.

მაშინ რეგულაციის ზღვრების კოორდინატების გამოთვლა np –საკონტროლო რუკისათვის ასე განისაზღვრება:

$$U_{cl\ np} = \bar{np} + 3\sqrt{n \cdot \bar{p}(1 - \bar{p})}; \quad (13)$$

$$D_{cl\ np} = \bar{np} - 3\sqrt{n \cdot \bar{p}(1 - \bar{p})}. \quad (14)$$

სადაც U<sub>cl np</sub> არის რეგულაციის საკონტროლო საზღვრის ზედა ზღვარი; D<sub>cl np</sub> – რეგულაციის საკონტროლო საზღვრის ქვედა ზღვარი, რომელიც იძლევა უარყოფით შედეგს და მოცემულ შემთხვევაში აზრს მოკლებულია, ამიტომ ვიღებთ 0-ს [2].

ცხრილი 4

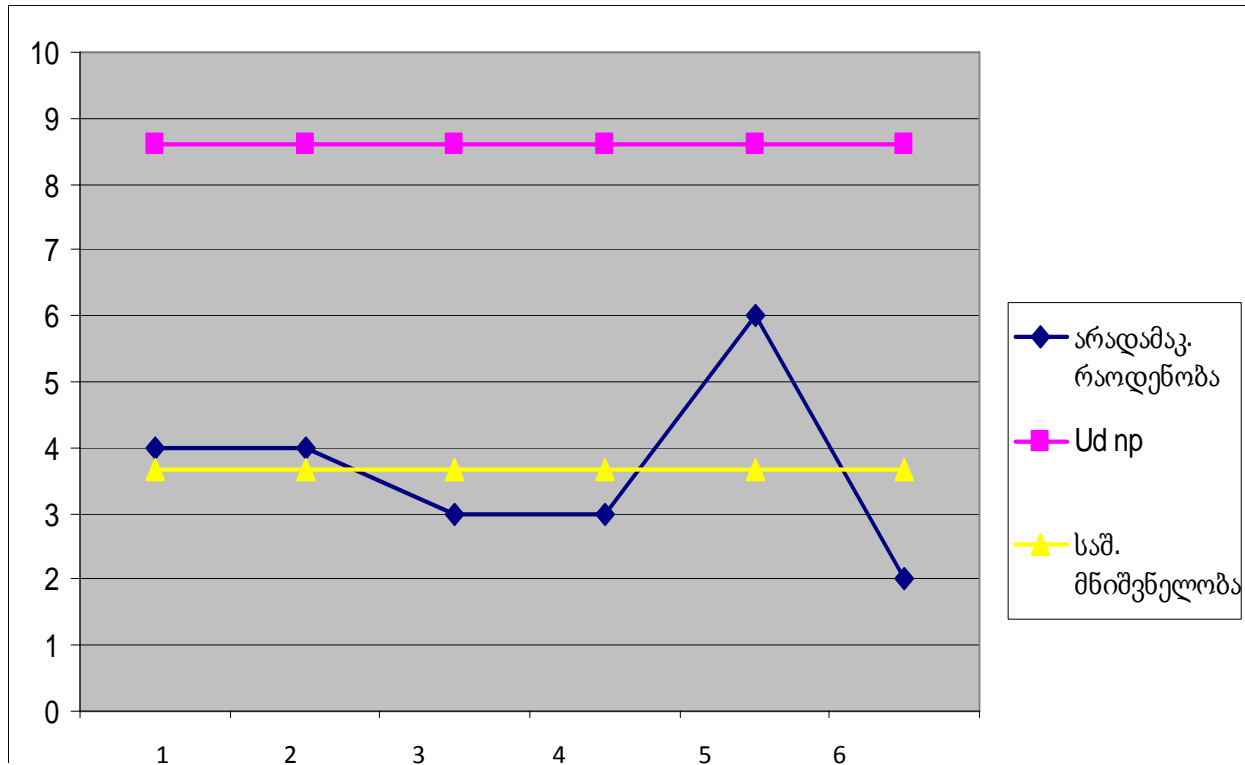
	1	2	3	4	5	6	საშ. მნიშვნ.
არაღამაკმაყოფილებელი რაოდენობა $\bar{np}$	4	4	3	3	6	2	3,67
% P	0,29	0,29	0,21	0,21	0,43	0,14	0,86
Ucl np	8,59	8,59	8,59	8,59	8,59	8,59	
საშ. მნიშვნ.	3,67	3,67	3,67	3,67	3,67	3,67	



np-საკონტროლო რუკა

ცხრილი 5

	1	2	3	4	5	6
არადამაკ. რაოდენობა	4	4	3	3	6	2
Ucl np	8.59	8.59	8.59	8.59	8.59	8.59
საშ. მნიშვნ.	3.67	3.67	3.67	3.67	3.67	3.67



ნახ. 3. np-საკონტროლო რუკა

**3. დასკვნა**

სასწავლო პროცესის ხარისხის ანალიზის შემოთავაზებული მეთოდის, კერძოდ X, S, NP საკონტროლო რუკების აგება საშუალებას გვაძლევს ოპერატიულად გამოვაფიქროთ „სუსტი რგოლი“ და მოვხდინოთ სწავლების მეთოდის კორექცია, სასწავლო მასალის გადმოცემის თანამიმდევრობისა და შინაარსის ცვლილება და ა.შ.

ამის გათვალისწინებით წარმოდგენილი ანალიზი საშუალებას გვაძლევს პედაგოგების, კა-

თედრებისა და დეკანატის მუშაობის უფრო ობიექტურად შეფასების საშუალებას.

**ლიტერატურა**

1. Рыбанов А.А., Шевчук В.П., Приходько Е.А. Интеллектуальная система оценки качества учебного процесса // Сетевой электронный журнал «Системотехника», №2, 2004г.
2. Елисеев О.Н. МГТУ «СТАНКИН», Россия, <http://tgm.stankin.ru/arch/n02/archicles/10.htm>

---

**UDC 621.397.13****INTELLECTUAL SYSTEM OF ESTIMATION OF STUDYING PROCESS QUALITY****I. Zedginidze, T. Menabde**

Department of engineering cybernetics and instrument-making, Georgian Technical University, 77, Kostava str, Tbilisi, 0175, Georgia

**Resume:** There is offered methods of analysis of studying process quality, privately planning of X, S, NP controlling maps given us opportunity to display so called “weak ring” operatively and fulfill correction of teaching methods, changing studying material sequence, content and etc. With consideration of this the presented analysis gives us opportunity to estimate objectively work of teachers, departments and dean’s offices.

**Key words:** controlling map; regulation borders; quality parameters.

---

**УДК 621.397.13****ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА****Зедгинидзе И.Г., Менабде Т.Р.**

Департамент инженерной кибернетики и приборостроения, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. Костава, 77

**Резюме:** Предложенная методика анализа качества учебного процесса, а именно построение X, S, NP контрольных карт позволяет оперативно выявить «слабое звено» и произвести коррекцию методики преподавания, изменить содержание или последовательность изложения учебного материала и т.д. Наряду с этим представленный анализ позволяет дать более объективную оценку работы преподавателя, кафедры, деканата.

**Ключевые слова:** контрольные карты; границы регулирования; параметры качества.

---

*მიღებულია დასაბუჯდად 19.11.10*

# სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობის სექცია

შპს 621.828

ოპტიმალური სამუხრუჭო ბერკეტული გადაცემის დამატებითი თავისუფალი მოძრაობის დიფერენციალური განტოლებები

გ. შარაშენიძე\*, პ. კურტანიძე, ნ. მღებრიშვილი. თ. დუნდუა, ს. შარაშენიძე

სატრანსპორტო დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, კოსტავას 77

E-mail: g. sharashenidze@gtu.ge

**რეზიუმე:** სამგზავრო ვაგონების ოპტიმალური სამუხრუჭო ბერკეტული გადაცემის რეალური დინამიკური პარამეტრების გამოკვლევის მიზნით ნაშრომში დამუშავებულია ამ გადაცემის დამატებითი თავისუფალი მოძრაობის დიფერენციალური განტოლებები. გამოყენებულია ოპტიმალური გადაცემის დინამიკური მოდელი დრეფტით სახსრულ შეერთებებში. განტოლებები შედგენილია ცვლადი კუთხური და წრფივი განზოგადებული კოორდინატების მიმართ. დამუშავებულია დამატებითი მოძრაობის დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემა გარე მოქმედი ძალების, სახსრული შეერთებების ელემენტების ცვეთებისა და დარტყმების, ასევე ცვლადი კინემატიკური პარამეტრების გათვალისწინებით.

**საკვანძო სიტყვები:** თავისუფალი მოძრაობა; დრეფტ; ცვეთა; განზოგადებული კოორდინატი; დიფერენციალური განტოლება.

## 1. შესავალი

სამგზავრო ვაგონი აღჭურვილია სამუხრუჭო ბერკეტული გადაცემით, რომელმაც ექსპლუატაციის დროს უნდა დააკმაყოფილოს მოძრაობის უსაფრთხოებისადმი წაყენებული მოთხოვნები – უზრუნველყოს სამუხრუჭო ძალის მინიმალური დანაკარგებით გადაცემა სამუხრუჭო ცილინდრიდან სამუხრუჭო ხუნდებამდე, დამუხრუჭების ეფექტიანობა, ახასიათებდეს საიმედო მუშაობა და სამუხრუჭო ხუნდების ერთდროული დაწოლა ვაგონის თვლის გორვის ზედაპირზე. მაღალი სიჩქარეებით მოძრაობისას უფრო გაზრდილი მოთხოვნები წაყენება მოხასუნე ფრიქციული ზედაპირების გეომეტრიული თავსებადობის პირობას [1], რაც დაკავშირებულია ფრიქციული მასალების სახეობაზე და ვარგი-

სიანობაზე, ასევე სამუხრუჭო ხუნდისა და თვლის გორვის ზედაპირის დამუშავების ხარისხზე, რომელიც ხშირად სამუხრუჭო ხუნდის დაზიანების მომასწავებელია [2].

დღეს არსებული სამუხრუჭო ბერკეტული გადაცემები რთული კონსტრუქციის გამო ხასიათდება დიდი ძალური დანაკარგებითა და სამაგრი დეტალების დიდი რაოდენობით. ამიტომ მათი ოპტიმალური ვარიანტის შექმნა [3,4] მნიშვნელოვანი მოვლენაა, როგორც სამუხრუჭო ძალის გადაცემის, კონსტრუქციული გამარტივებისა და დამზადებაზე დაბალი ეკონომიკური დანახარჯების, ასევე საიმედო მუშაობის, ხანგამძლეობის თვალსაზრისით.

ოპტიმალური სამუხრუჭო ბერკეტული გადაცემის დაგეგმარების მიზნით აუცილებელია ჩატარდეს მისი კინემატიკური და დინამიკური ანალიზი, რაც ნაწილობრივ განხორციელდა და მიღებულ იქნა გარკვეული შედეგები [5, 6]. აქ მხედველობაში მიღებულ იქნა გადაცემის სახსრების ცვეთები არატექნოლოგიური დრეფტის სახით და შესაბამისი დინამიკური დატვირთვები. ჩატარდა სერიოზული გამოკვლევები, სადაც ნათლად აისახა არა მარტო ცვეთებისა და დარტყმების, არამედ გადაცემის ბერკეტების დრეკადობის გავლენა [7] დინამიკურ დატვირთვებზე, რომელთა გამოვლენის მიზნით დამუშავდა გადაცემის მოძრაობის დიფერენციალური განტოლებები და მიღებულ იქნა მნიშვნელოვანი შედეგები.

ცხადი გახდა, რომ სამუხრუჭო ბერკეტული გადაცემის რეალური დინამიკური პარამეტრების გამოკვლევის მიზნით საჭიროა შედგეს და ამოიხსნას მისი მოძრაობის დიფერენციალური განტოლებები არა მარტო იდეალური მოდელის [8] მიხედვით, არამედ სახსრული შეერთებების ცვეთების გათვალისწინებითაც. ნაწილობრივ ეს მოთხოვნა მხედველობაში მიღებულ იქნეს გა-

მოკვლევებში სატვირთო ვაგონების სამუხრუჭო ბერკეტული გადაცემის მიმართ [8, 9]. სამგზავრო ვაგონის სამუხრუჭო ბერკეტული გადაცემის, მით უმეტეს ოპტიმალური გადაცემის [3] მოძრაობის დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემის ფორმირება მეტად აქტუალური საკითხია რეალური დაგეგმარების თვალსაზრისით.

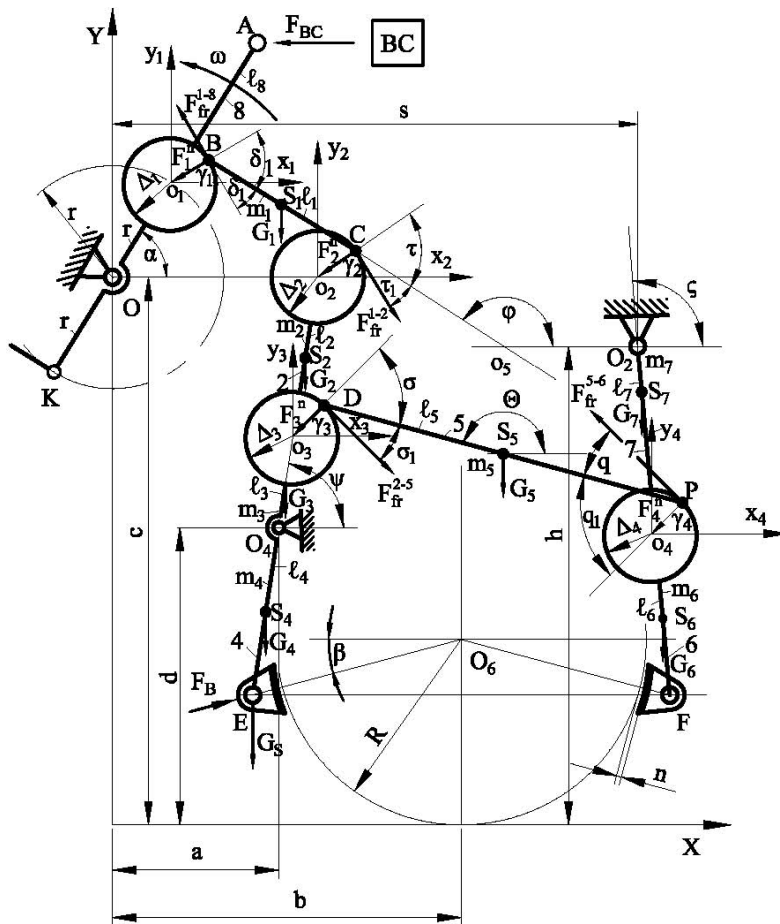
**2. ძირითადი ნაწილი**

გადაცემის თავისუფალი დამატებითი მოძრაობა გულისხმობს შიგა ელემენტების ერთდროულ თავისუფალ მოძრაობას გარე ელემენტის მიმართ ყველა სახსრულ შეერთებაში.

დამატებითი თავისუფალი მოძრაობის დიფერენციალური განტოლებების შედგენის მიზნით ვსარგებლობთ ოპტიმალური ბერკეტული სამუხრუჭო გადაცემის დინამიკური მოდელით [6] სახსრულ 1-8, 1-2, 2-5 და 5-7 შეერთებებში

$\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3$  და  $\Delta_4$  ღრეჩოების გათვალისწინებით (იხ. ნახ.).

დამატებითი თავისუფალი მოძრაობისას წერტილებით გამოსახული  $B, C, D$  და  $P$  შიგა ელემენტები შესაბამისი ღრეჩოს არეში მოძრაობს და მათი მდებარეობა განისაზღვრება  $x_i$  და  $y_i$  საზოგადოებრივი კოორდინატებით ცვლად  $x_i, y_i$  საკოორდინატო სისტემაში. იმის გამო, რომ  $O_2F$  ხუნდებიანი ვერტიკალური საკიდის მობრუნება დინამიკურ ზემოქმედებას ვერ ახდენს გადაცემის მუშაობაზე, ამიტომ თავისუფალ მოძრაობას განვიხილავთ მხოლოდ სამი ღრეჩოს შემთხვევისთვის, ე.ი.  $B, C, D$  შიგა ელემენტების მოძრაობისათვის  $\Delta_1, \Delta_2$  და  $\Delta_3$  ღრეჩოს არეში.



ოპტიმალური სამუხრუჭო ბერკეტული გადაცემის დინამიკური მოდელი

ვაგონის ოპტიმალური სამუხრუჭო ბერკეტული გადაცემის თავისუფალ დამატებით მოძრაობას ასახავს მოძრაობის ექვსი დიფერენცია-

ლური განტოლება განზოგადებული საზოგადოებრივი კოორდინატების  $x_1, y_1, x_2, y_2, x_3$  და  $y_3$

მიმართ. დიფერენციალური განტოლების შედგენისათვის ვსარგებლობთ ლაგრანჟეს მეორე რიგის მოძრაობის დიფერენციალური განტოლებით, რომელშიც შემაჯავალი განზოგადებული ძალის მნიშვნელობა ოპტიმალური გადაცემისთვის წინასწარ არის გაანგარიშებული, ხოლო ცვლადი კინემატიკური ენერგია  $T_{კინ}$  შეიძლება გამოისახოს ასეთი ტოლობით:

$$T_{კინ} = m_1 [\dot{y}_2 (\dot{y}_1 + r\omega \cos \alpha) + (\dot{x}_1 - r\omega \sin \alpha)^2 + (\dot{x}_1 - r\omega \sin \alpha) \times (\dot{y}_1 - \dot{y}_2 + r\omega \cos \alpha) \operatorname{tg} \varphi + \frac{1}{4} (\dot{y}_1 - \dot{y}_2 + r\omega \cos \alpha) (1 + \operatorname{tg}^2 \varphi)] + km_2 (\dot{x}_1 - r\omega \sin \alpha + \dot{y}_1 - \dot{y}_2 + r\omega \cos \alpha - \dot{x}_2)^2 + km_2 (1 - \operatorname{tg} \varphi)^2 \times (\dot{y}_1 - \dot{y}_2 + r\omega \cos \alpha)^2 + m_5 [\dot{x}_1 - r\omega \sin \alpha - \dot{x}_2 + \dot{x}_3 - \operatorname{tg} \theta (2\dot{y}_3 - 2r \cos \alpha) - \operatorname{tg} \varphi (r\omega \cos \alpha + \dot{y}_1 - \dot{y}_2) - 2rl_2 \operatorname{tg} \psi \cos \alpha], \quad (1)$$

სადაც  $\dot{x}_i$ ,  $\dot{y}_i$  არის განზოგადებული კოორდინატების საზოგადოებრივი სიჩქარეები.

კინეტიკური ენერგიის (1) ტოლობის მიხედვით კერძო  $\partial T / \partial \dot{x}_i$ ,  $\partial T / \partial \dot{y}_i$ ,  $\partial T / \partial x_i$ ,  $\partial T / \partial y_i$  დიფერენციალების განსაზღვრისა და  $\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{x}_i} \right)$ ,

$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{y}_i} \right)$  გამოსახულებების მნიშვნელობათა დადგენის შემდეგ მივიღებთ დამატებითი თავისუფალი მოძრაობის ექვსი დიფერენციალური განტოლებისაგან შედგენილ სისტემას  $x_i$  და  $y_i$  განზოგადებული კოორდინატების მიმართ.

$$\left. \begin{aligned} a_1 \ddot{x}_1 + a_2 \ddot{y}_1 + a_3 \ddot{x}_2 + a_4 \ddot{y}_2 + a_5 \ddot{x}_3 + a_6 \ddot{y}_3 &= A_{x1} + Q_{x1}; \\ b_1 \ddot{y}_1 + b_2 \ddot{x}_1 + b_3 \ddot{x}_2 + b_4 \ddot{y}_2 + b_5 \ddot{x}_3 + b_6 \ddot{y}_3 &= A_{y1} + Q_{y1}; \\ c_1 \ddot{x}_2 + c_2 \ddot{y}_2 + c_3 \ddot{x}_1 + c_4 \ddot{y}_1 + c_5 \ddot{x}_3 + c_6 \ddot{y}_3 &= A_{x2} + Q_{x2}; \\ d_1 \ddot{y}_2 + d_2 \ddot{x}_2 + d_3 \ddot{x}_1 + d_4 \ddot{y}_1 + d_5 \ddot{x}_3 + d_6 \ddot{y}_3 &= A_{y2} + Q_{y2}; \\ e_1 \ddot{x}_3 + e_2 \ddot{y}_3 + e_3 \ddot{x}_1 + e_4 \ddot{y}_1 + e_5 \ddot{x}_2 + e_6 \ddot{y}_2 &= A_{x3} + Q_{x3}; \\ f_1 \ddot{y}_3 + f_2 \ddot{x}_3 + f_3 \ddot{x}_1 + f_4 \ddot{y}_1 + f_5 \ddot{x}_2 + f_6 \ddot{y}_2 &= A_{y3} + Q_{y3}, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

სადაც  $a_i$ ,  $b_i$ ,  $c_i$ ,  $d_i$ ,  $e_i$  არის განზოგადებული კოორდინატების მეორე რიგის დიფერენციალების კოეფიციენტები;

$A_{xi}$ ,  $A_{yi}$  – განტოლებების მარჯვენა ნაწილი გადაცემის გეომეტრიული პარამეტრებითა და განზოგადებული კოორდინატების პირველი რიგის დიფერენციალებით;

$Q_{xi}$ ,  $Q_{yi}$  – დიფერენციალური განტოლებების განზოგადებული ძალები განზოგადებული კოორდინატების მეორე რიგის დიფერენციალის ან მისი შემცველი გამოსახულების გარეშე.

მაგალითისთვის, შეიძლება მოვიყვანოთ (2) სისტემის პირველი დიფერენციალური განტოლების კოეფიციენტების მნიშვნელობანი:

$$a_1 = 2(km_2 + m_5) + m_1 (2 - \sin \varphi F_{1x1}); \quad (3)$$

$$a_2 = m_1 \operatorname{tg} \varphi + 2(km_2 - m_5) + \frac{m_1}{2 \cos \varphi} \left( \sin \varphi - \cos \varphi - \frac{1}{3} \right) F_{1x1}^n; \quad (4)$$

$$a_3 = -2(km_2 + m_5); \quad (5)$$

$$a_4 = 2m_5 \operatorname{tg} \varphi - 2km_2 - m_1 \operatorname{tg} \varphi + m_1 \left( \frac{1}{6 \cos \varphi} - \frac{l_1}{2} \sin \varphi - \cos \varphi + \frac{l_1}{2} \cos \varphi \right) F_{1x1}^n; \quad (6)$$

$$a_5 = 2m_5; \quad (7)$$

$$a_6 = -4m_5 \operatorname{tg} \varphi \quad (8)$$

მოძრაობის ამავე დიფერენციალური განტოლებისთვის

$$A_{x1} + Q_{x1} = m_1 \left[ 2r\omega^2 \cos \alpha + \frac{\dot{\varphi}}{\cos^2 \varphi} (\dot{y}_2 - \dot{y}_1) + r\omega^2 \operatorname{tg} \varphi \sin \alpha - r\omega \frac{\dot{\varphi}}{\cos^2 \varphi} \right] + 2km_2 r\omega^2 (\sin \alpha + \cos \alpha) + 2m_5 \left[ r\omega^2 (\cos \alpha - 2 \operatorname{tg} \theta \sin \alpha - \operatorname{tg} \varphi \sin \alpha) + \frac{\dot{\varphi}}{\cos^2 \varphi} (\dot{y}_1 - \dot{y}_2 + r \cos \alpha) + \frac{2\dot{\theta}}{\cos^2 \theta} (\dot{y}_3 - r\omega \cos \alpha) - 2rl_2 \left( \operatorname{tg} \psi \sin \alpha - \frac{\dot{\psi}}{\cos^2 \psi} \right) \right] \left[ m_1 \sin \varphi \left( r\omega^2 \cos \alpha + \frac{l_1}{2} \dot{\varphi} \cos \varphi \right) - \frac{2l_8}{r} F_{BC} \sin \varphi - \frac{m_1}{6 \cos^2 \varphi} (\dot{y}_1 - \dot{y}_2 + r\omega \cos \alpha) \operatorname{tg} \varphi + m_1 \dot{\varphi}_2 \sin \varphi \cos \varphi \right] F_{1x1}^n + \frac{1}{2} G_1. \quad (9)$$

ამ ფორმულაში და კოეფიციენტების (3), (4) და (6) გამოსახულებებში

$$F_{1x1}^n = \left[ 2 \sin \delta + 2 \sin \delta_1 (K_{fr1} \operatorname{sign} \dot{\gamma}_1 + K_{fr2} \dot{\gamma}_1 + K_{fr3} \dot{\gamma}_1^2) \right]^{-1} (K_{fr1} \operatorname{sign} \dot{\gamma}_1 +$$

$$+K_{f2}\dot{\gamma}_2 + K_{f3}\dot{\gamma}_1^2), \quad (10)$$

სადაც  $\dot{\gamma}_1 = -\dot{x}_1/\Delta_1 \sin \gamma_1$  ან  $\dot{\gamma}_1 = -\dot{y}_1/\Delta_1 \cos \gamma_1$  და

$$\gamma_1 = \arccos \frac{x_1}{\Delta_1}.$$

თავისუფალი მოძრაობის დიფერენციალურ განტოლებათა (2) სისტემის ამონახსნი ამ სისტემის მატრიცული ფორმით ჩაწერის შემდეგ გამოისახება ტოლობით:

$$\begin{pmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{y}_1 \\ \ddot{x}_2 \\ \ddot{y}_2 \\ \ddot{x}_3 \\ \ddot{y}_3 \end{pmatrix} = B^{-1}n, \quad (11)$$

სადაც  $B$  მატრიცა განსაზღვრულია გამოსახულებით

$$B = \begin{pmatrix} a_1 & a_2 & a_3 & a_4 & a_5 & a_6 \\ b_1 & b_2 & b_3 & b_4 & b_5 & b_6 \\ c_1 & c_2 & c_3 & c_4 & c_5 & c_6 \\ d_1 & d_2 & d_3 & d_4 & d_5 & d_6 \\ e_1 & e_2 & e_3 & e_4 & e_5 & e_6 \\ f_1 & f_2 & f_3 & f_4 & f_5 & f_6 \end{pmatrix}, \quad (12)$$

ხოლო  $n$  სვეტი-მატრიცის მნიშვნელობა

$$n = \begin{pmatrix} A_{x1} + Q_{x1} \\ A_{y1} + Q_{y1} \\ A_{x2} + Q_{x2} \\ A_{y2} + Q_{y2} \\ A_{x3} + Q_{x3} \\ A_{y3} + Q_{y3} \end{pmatrix}. \quad (13)$$

სათანადო აღგებრული გარდაქმნებისა და დიფერენციალური განტოლებების ამოხსნის შედეგად მიიღება ოპტიმალური სამუხრუჭო ბერკეტული გადაცემის სახსრული 1-8, 1-2, 2-5 შეერთებების  $\Delta_1$ ,  $\Delta_2$ ,  $\Delta_3$  ღრეწობების არეში შიგა  $B$ ,  $C$  და  $D$  ელემენტების თავისუფალი მოძრაობის მახასიათებელი პარამეტრები.

### 3. დასკვნა

ოპტიმალური სამუხრუჭო ბერკეტული გადაცემის დინამიკური მოდელის სქემაში საკოორდინატო სისტემებისა და ცვლადი განზოგადებული კოორდინატების შემოტანით შესაძლებელი გახდა გადაცემის ცვლადი კინეტიკური ენერჯისა და განზოგადებული ძალების მნიშვნელობათა დადგენა;

გადაცემის კინეტიკური ენერჯის დიფერენცირებითა და განზოგადებული ძალების მნიშვნელობების შემოტანით გადაიჭრა დამატებითი თავისუფალი მოძრაობის დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემის ფორმირების საკითხი;

ოპტიმალური გადაცემის დამატებითი თავისუფალი მოძრაობისა და დანარჩენი დამატებითი მოძრაობების დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემების ერთდროული ამოხსნის შედეგად განისაზღვრება გადაცემის რეალური დაგეგმარებისათვის აუცილებელი მახასიათებელი პარამეტრები.

### ლიტერატურა

1. Donald Eadie, Kevin D. Oldknow, Matt Dick. Effective friction control for optimization of high speed rail operations // Trans. of ASME JRC 2010 Conference. University of Illinois at Urbana, Ill, USA. April 27-29 2010. Vol. I, PN: JRC 2010 – 36010.
2. Scott Cummings, Tom McCabe, Dan Gosselin. Brake shoes and thermal mechanical shelling // Trans. of ASME RTDF 2008 Technical Conference. September 24-25. Chicago, USA. PN: RTDF 2008 – 74016.
3. Sharashenidze G., Sharashenidze S. Optimal brake leverage for rail-car wheel with two sided press the shoes and calculation of its characteristic parameters // “Problems of Applied Mechanics”, Tbilisi, N 3(12), 2003, pp. 28-36.
4. Sharashenidze G., Mgebrishvili N., Kurtanidze P. Improved system of a braking lever transmission for rail-cars // Trans. of ASME RTDF 2008 Technical Conference. 24-25 September, 2008, Chicago, Illinois, USA. PN: RTDF 2008 – 74006.
5. Sharashenidze G., Mgebrishvili N., Kurtanidze P., Dolidze M. Principles of development and foundations of dynamical analysis optimal brake leverage systems of passenger carriages // Trans. of ASME IMECE 2010 International Mechanical Engineering Congress and Exposition. November 12-18, 2010, Vancouver, British Columbia, Canada. Vol. 1, PN: IMECE 2010 – 37731.
6. Sharashenidze G., Kurtanidze P., Dundua T., Baron L., Sharashenidze S. About dynamical analysis of exciting and optimal brake leverage systems // “Problems of Mechanics”. Tbilisi, N 1(38), 2010, pp. 29-38.
7. Давиташвили Н.С., Шарашенидзе Г.С. Основы динамического анализа рычажной системы торможения вагонов. Комитет ИФТомМ-а Грузии, Тбилиси, 2004. – 264 с.
8. Шарашенидзе Г.С., Долидзе М.Г., Мгебришвили Н.Е. Формализация дифференциального уравнения движения тормозной рычажной передачи мотор-

ნაგონო ვაგონი ელექტროპოეზდი // ნაუჩნიე ტრუდი  
ГТУ, № 4(474). Тбилиси, 2009, с. 135-138.

9. გ. შარაშენიძე. ვაგონების მექანიკური გადა-  
ცემის დინამიკა. გამომცემლობა „ტექნიკური  
უნივერსიტეტი“, თბილისი, 2009. – 332 გვ.

**UDC 621.828**

### **DIFFERENTIAL EQUATIONS OF ADDITIONAL FREE MOTION OF OPTIMUM BRAKE LEVER TRANSMISSION**

**G. Sharashenidze, P. Kurtanidze, N. Mgebrishvili, T. Dundua, S. Sharashenidze**

Department of transport, Georgian Technical University, 77, Kostava str, Tbilisi, 0175, Georgia

**Resume:** For the purpose of research of real dynamical parameters of optimum brake lever transfer of carriages in the work are generated the differential equations of additional free motion of this transmission. There is applied the dynamic model of optimum transfer with clearances in hinged connections. The differential equations of additional motions are made concerning the variable angular and linear generalized co-ordinates. The system of differential equations of additional movement with consideration of operating external forces, deterioration and clearances of hinged connection elements, and also variable kinematic parameters are received.

**Key words:** free movement; clearance; deterioration; generalized co-ordinate; differential equation.

**УДК 621.828**

### **ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ ДОБАВОЧНОГО СВОБОДНОГО ДВИЖЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ ТОРМОЗНОЙ РЫЧАЖНОЙ ПЕРЕДАЧИ**

**Шарашенидзе Г.С.\*, Куртанидзе П.Р., Мгебришвили Н.Н., Дундуа Т.Дж., Шарашенидзе С.Г.**

Департамент транспорта, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. Костава, 77

**Резюме:** С целью исследования реальных динамических параметров оптимальной тормозной рычажной передачи пассажирских вагонов, в работе разработаны дифференциальные уравнения добавочного свободного движения этой передачи. Использована динамическая модель оптимальной передачи с зазорами в шарнирных соединениях. Дифференциальные уравнения добавочного движения составлены относительно переменных угловых и линейных обобщенных координат. Получена система дифференциальных уравнений добавочного движения с учетом действующих внешних сил, износа и ударов элементов шарнирных соединений, а также переменных кинематических параметров.

**Ключевые слова:** свободное движение; зазор; износ; обобщенная координата; дифференциальное уравнение.

*მიღებულია დასაბუჯდად 23.07.10*

UDC 621.828

**SOLUTION OF STRAIGHT GEOMETRICAL PROBLEM FOR FIVE LINK MECHANISM WITH TWO DEGREES OF FREEDOM**

**D. Tavkhelidze\*, Z. Mchedlishvili, Z. Kublashvili**

Department of transport, Georgian Technical University, 77, Kostava str, Tbilisi, 0175, Georgia

E-mail: d.tavkhelidze@gtu.ge

**Resume:** There is offered the solution of the straight geometrical task for five link mechanism with two degrees of freedom. The solution of given problem is based on usage of homogenous coordinates, where are obtained set of couplers of curves. On the basis of equations of trajectories are obtained also the equations for calculation of values of speed and acceleration of the links of the mechanism. The calculations are differ from known methods by simplicity and high performance, which would be useful for programming actuators mounted in the joints of the linkage.

**Key words:** five-link mechanism; two degrees of freedom; design of multilink mechanisms; curves of connecting rods.

**1. INTRODUCTION**

The five link mechanisms with two degrees of freedom are differ from other multilink mechanisms with one degree of freedom with features allowing to obtain different type of trajectories by output links, when lengths of links remains constant. The said is very important for technological machines, which during operation would change movement of trajectory of the executive link. Because of movements of the output links are governed by controllable actuators, of these kinds of mechanisms would be attributed to mechanotric systems. At the same time, as distinct from the mechanisms with one degree of freedom, design of which depend on three geometrical parameters, in case of the mechanism with two degree of freedom, in order to solve the task of synthesis it is necessary to determine six said parameters. Here in spite of the four geometrical parameters it is necessary to determine the initial state of input links, they are phase angle and transmission ratio between the input links with taking into account of their direction of motion.

Extension of number of parameters for the mechanisms with two degrees of freedom is given rise to complication solution of the tasks of synthesis and analysis of such type of mechanical systems.

There is given the solution of the problem of analysis of the mentioned mechanical systems by usage of homogenous coordinates. The received equations of kinematics

are written in matrix form, that simplifies calculations of kinematic parameters.

**2. THE BODY OF THE ARTICLE**

The design diagram of mechanical system with two degrees of freedom, where the links are connected with fives class kinematic pairs is given on the Fig. 1. In order to determine such kinematic parameters of the system as coordinates of trajectories of the inputing link as well its velocity and acceleration lets use the method of homogenous coordinates.

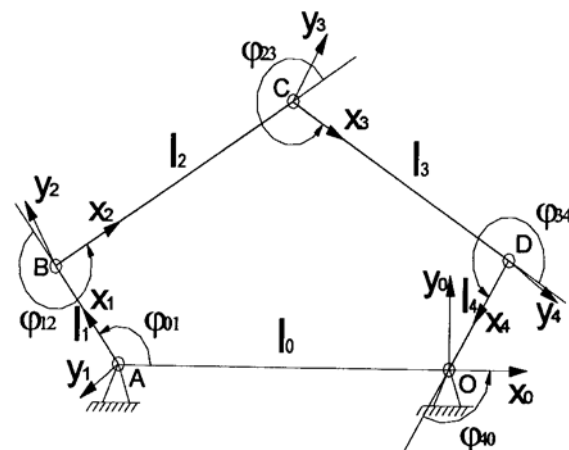


Fig. 1

In case when we have closed kinematic chain it is necessary, that the product of matrices of transition between coupled coordination systems connected with all incoming links will be equal to unit matrix

$$T^{(1,0)}T^{(2,1)}T^{(3,2)}T^{(4,3)}T^{(0,4)} = E \tag{1}$$

For simplification of calculation it is better, that a part of matrices would be transferred to the right part of equality. For this, the right and left parts of the first equality should be multiplied on  $T^{(0,1)}$  inverse matrix  $T^{(1,0)}$  from the left. The same operations should be repeated for other matrices as well, which we want to transfer to the right part so as to receive product of matrices of equal or differing by one number on both parts of equality. As a result we shall have

$$T^{(4,3)}T^{(0,4)} = T^{(2,3)}T^{(1,2)}T^{(0,1)} \tag{2}$$



The matrix of transfer between of two sequential  $i-1$  and  $i$  plain coordinate systems will have the following general form:

$$T^{(i,i-1)} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ l_{i-1} & \cos \varphi_{i,i-1} & -\sin \varphi_{i,i-1} & 0 \\ 0 & \sin \varphi_{i,i-1} & \cos \varphi_{i,i-1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}. \quad (3)$$

In our case we can reduce by one the series of matrices of transfer between neighboring links as a result of which we receive third series matrices the inverse matrices of which are equal to these matrices

$$T^{(1,0)} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ -l_0 & \cos \varphi_{10} & -\sin \varphi_{10} \\ 0 & \sin \varphi_{10} & \cos \varphi_{10} \end{vmatrix}; \quad T^{(2,1)} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ l_1 & \cos \varphi_{21} & -\sin \varphi_{21} \\ 0 & \sin \varphi_{21} & \cos \varphi_{21} \end{vmatrix};$$

$$T^{(3,2)} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ l_2 & \cos \varphi_{32} & -\sin \varphi_{32} \\ 0 & \sin \varphi_{32} & \cos \varphi_{32} \end{vmatrix}; \quad T^{(4,3)} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ l_3 & \cos \varphi_{43} & -\sin \varphi_{43} \\ 0 & \sin \varphi_{43} & \cos \varphi_{43} \end{vmatrix};$$

$$T^{(0,4)} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ l_4 & \cos \varphi_{04} & -\sin \varphi_{04} \\ 0 & \sin \varphi_{04} & \cos \varphi_{04} \end{vmatrix}; \quad T^{(0,1)} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ l_0 \cos \varphi_{01} & \cos \varphi_{01} & \sin \varphi_{01} \\ -l_0 \sin \varphi_{01} & -\sin \varphi_{01} & \cos \varphi_{01} \end{vmatrix};$$

$$T^{(1,2)} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ -l_1 \cos \varphi_{12} & \cos \varphi_{12} & \sin \varphi_{12} \\ l_1 \sin \varphi_{12} & -\sin \varphi_{12} & \cos \varphi_{12} \end{vmatrix}; \quad T^{(2,3)} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ -l_2 \cos \varphi_{23} & \cos \varphi_{23} & \sin \varphi_{23} \\ l_2 \sin \varphi_{23} & -\sin \varphi_{23} & \cos \varphi_{23} \end{vmatrix}.$$

$$E = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}.$$

After multiplication of these matrixes we will have

$$\begin{aligned} T^{(4,3)}T^{(0,4)} &= \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ l_3 & \cos \varphi_{43} & -\sin \varphi_{43} \\ 0 & \sin \varphi_{43} & \cos \varphi_{43} \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ l_4 & \cos \varphi_{40} & -\sin \varphi_{40} \\ 0 & \sin \varphi_{40} & \cos \varphi_{40} \end{vmatrix} = \\ &= \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ l_3 + l_4 \cos \varphi_{43} & \cos(\varphi_{43} + \varphi_{40}) & -\sin(\varphi_{43} + \varphi_{40}) \\ l_4 \sin \varphi_{43} & \sin(\varphi_{43} + \varphi_{40}) & \cos(\varphi_{43} + \varphi_{40}) \end{vmatrix}. \\ T^{(2,3)}T^{(1,2)}T^{(0,1)} &= \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ -l_2 \cos \varphi_{23} & \cos \varphi_{23} & \sin \varphi_{23} \\ l_1 \sin \varphi_{23} & -\sin \varphi_{23} & \cos \varphi_{23} \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ -l_1 \cos \varphi_{12} & \cos \varphi_{12} & \sin \varphi_{12} \\ l_1 \sin \varphi_{12} & -\sin \varphi_{12} & \cos \varphi_{12} \end{vmatrix} \times \\ &\times \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ l_0 \cos \varphi_{01} & \cos \varphi_{01} & \sin \varphi_{01} \\ -l_0 \sin \varphi_{01} & -\sin \varphi_{01} & \cos \varphi_{01} \end{vmatrix} = \end{aligned}$$

$$= \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ -l_2 \cos \varphi_{23} - l_1 \cos(\varphi_{12} + \varphi_{23}) - l_0 \cos(\varphi_{01} + \varphi_{12} + \varphi_{23}) & \cos(\varphi_{01} + \varphi_{12} + \varphi_{23}) & \sin(\varphi_{01} + \varphi_{12} + \varphi_{23}) \\ l_2 \sin \varphi_{23} + l_1 \sin(\varphi_{12} + \varphi_{23}) - l_0 \sin(\varphi_{01} + \varphi_{12} + \varphi_{23}) & -\sin(\varphi_{01} + \varphi_{12} + \varphi_{23}) & \cos(\varphi_{01} + \varphi_{12} + \varphi_{23}) \end{vmatrix}.$$

After multiplication of transfer matrices of five-link mechanism we have the following matrix equation:

$$\begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ l_3 + l_4 \cos \varphi_{43} & \cos(\varphi_{43} + \varphi_{40}) & -\sin(\varphi_{43} + \varphi_{40}) \\ l_4 \sin \varphi_{43} & \sin(\varphi_{43} + \varphi_{40}) & \cos(\varphi_{43} + \varphi_{40}) \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ -l_2 \cos \varphi_{23} - l_1 \cos(\varphi_{12} + \varphi_{23}) - l_0 \cos(\varphi_{01} + \varphi_{12} + \varphi_{23}) & \cos(\varphi_{01} + \varphi_{12} + \varphi_{23}) & \sin(\varphi_{01} + \varphi_{12} + \varphi_{23}) \\ l_2 \sin \varphi_{23} + l_1 \sin(\varphi_{12} + \varphi_{23}) - l_0 \sin(\varphi_{01} + \varphi_{12} + \varphi_{23}) & -\sin(\varphi_{01} + \varphi_{12} + \varphi_{23}) & \cos(\varphi_{01} + \varphi_{12} + \varphi_{23}) \end{vmatrix}. \tag{4}$$

The 4<sup>th</sup> matrix equation of five-link mechanism blockage contains full information about parameters of link motion characteristics. In order to determine relative and absolute displacement of links, the respective elements of left and right parts of equation should be equated and receive system of algebraic equations, the solution of which will enable to determine displacements of mechanism of links. If we differentiate the system of the received equations twice according to time parameters we respectively get two systems of equations: first- for calculation of links velocities and the second – for determination of links accelerations

$$\begin{aligned} l_3 + l_4 \cos \varphi_{43} &= -l_1 \cos(\varphi_{12} + \varphi_{23}) - l_2 \cos \varphi_{23} + l_0 \cos(\varphi_{01} + \varphi_{12} + \varphi_{23}) \\ l_4 \sin \varphi_{43} &= l_2 \sin \varphi_{23} + l_1 \sin(\varphi_{12} + \varphi_{23}) - l_0 \sin(\varphi_{01} + \varphi_{12} + \varphi_{23}) \\ \sin(\varphi_{43} + \varphi_{40}) &= -\sin(\varphi_{01} + \varphi_{12} + \varphi_{23}) \\ \cos(\varphi_{43} + \varphi_{40}) &= \cos(\varphi_{01} + \varphi_{12} + \varphi_{23}). \end{aligned} \tag{5}$$

Besides these equations system in order to solve the problem the condition should be added according to which the sum of internal angles of any five link is equation to  $3\pi$

$$\begin{aligned} \varphi_{01} + (\varphi_{12} - \pi) + (\varphi_{23} - \pi) + (\varphi_{34} - \pi) + \varphi_{40} &= 3\pi \\ \varphi_{01} + \varphi_{12} + \varphi_{23} + \varphi_{34} + \varphi_{40} &= 6\pi \end{aligned} \tag{6}$$

The members of the equations having sum argument of second and third equalities of system 5 should be separated, equalities squared and summed. After transformations we get the following quadratic equation:

$$\begin{aligned} (4l_3^2 l_0^2 \sin^2 \varphi_{40} + 4l_3^2 (l_4 - l_0 \cos \varphi_{40})) \cos^2 \varphi_{34} - 4Al_3 (l_4 - l_0 \cos \varphi_{40}) \cos \varphi_{34} + \\ + A^2 - 4l_3^2 l_0^2 \sin^2 \varphi_{40} = 0. \end{aligned} \tag{7}$$

Where

$$\begin{aligned} A &= l_4^2 - l_2^2 + l_1^2 + l_0^2 - 2l_0 l_4 \cos \varphi_{40} + 2l_1 l_4 \cos \varphi_0' - 2l_0 l_1 \cos(\varphi_0' + \varphi_{40}) \\ \varphi_0' &= 6\pi - \varphi_{01} - \varphi_{40}. \end{aligned}$$

Lets introduce following additional notations:

$$\begin{aligned} B &= 4l_3^2 l_0^2 \sin^2 \varphi_{40} + 4l_3^2 (l_4 - l_0 \cos \varphi_{40}), \\ C &= 4Al_3 (l_4 - l_0 \cos \varphi_{40}) \\ D &= A^2 - 4l_3^2 l_0^2 \sin^2 \varphi_{40}. \end{aligned}$$

Equation (7) is solved as follows:

$$\begin{aligned} \cos \varphi_{34} &= \frac{-C \pm \sqrt{C^2 - 4BD}}{2B} \\ \varphi_{34} &= \arccos \frac{-C \pm \sqrt{C^2 - 4BD}}{2B} \end{aligned} \tag{8}$$

From the first equation of system (5) we have:

$$\cos \varphi_{23} = \frac{l_4 \cos \varphi_{34} - l_0 \cos(\varphi_{34} + \varphi_{40}) + l_3 + l_1 \cos(\varphi_1' - \varphi_{34})}{l_2}$$

From where angle  $\varphi_{23}$  is defined:

$$\varphi_{23} = \arccos \frac{l_4 \cos \varphi_{34} - l_0 \cos(\varphi_{34} + \varphi_{40}) + l_3 + l_1 \cos(\varphi_1' - \varphi_{34})}{l_2} \quad (9)$$

In order to define angle  $\varphi_{23}$  we use condition (6) and get:

$$\varphi_{12} = 6\pi - \varphi_{01} - \varphi_{23} - \varphi_{34} - \varphi_{40} \quad (10)$$

After defining of all angles we can determine radius vector of C point the origin will be in A point and its value depends on two initial generalized coordinates:

$$r_C = r_C(\varphi_{01}, \varphi_{40}). \quad (11)$$

Absolute velocity of the point is determined as the first derivative of its radius vector according time:

$$\frac{dr_C}{dt} = \frac{\partial r_C}{\partial \varphi_{01}} \cdot \frac{d\varphi_{01}}{dt} + \frac{\partial r_C}{\partial \varphi_{40}} \cdot \frac{d\varphi_{40}}{dt} \quad (12)$$

In this formula:

$$\begin{aligned} \frac{\partial r_C}{\partial \varphi_{01}} = u_C; \quad \frac{\partial r_C}{\partial \varphi_{40}} = u_{C4}; \quad & \text{- are velocity analogs of point C} \\ \frac{d\varphi_{01}}{dt} = \omega_{01} \quad \frac{d\varphi_{40}}{dt} = \omega_{40} & \text{- are angular velocities of initial links.} \end{aligned} \quad (13)$$

After application of these notations we shall have:

$$V_C = u_{C1}\omega_{01} + u_{C4}\omega_{40} \quad (14)$$

In order to find the full speed it is necessary to find speed projections on axes X and Y:

$$\frac{dx_C}{dt} = \frac{\partial x_C}{\partial \varphi_{01}} \cdot \frac{d\varphi_{01}}{dt} + \frac{\partial x_C}{\partial \varphi_{40}} \cdot \frac{d\varphi_{40}}{dt} = \frac{\partial x_C}{\partial \varphi_{01}} \cdot \omega_{01} + \frac{\partial x_C}{\partial \varphi_{40}} \cdot \omega_{40} \quad (15)$$

$$\frac{dy_C}{dt} = \frac{\partial y_C}{\partial \varphi_{01}} \cdot \frac{d\varphi_{01}}{dt} + \frac{\partial y_C}{\partial \varphi_{40}} \cdot \frac{d\varphi_{40}}{dt} = \frac{\partial y_C}{\partial \varphi_{01}} \cdot \omega_{01} + \frac{\partial y_C}{\partial \varphi_{40}} \cdot \omega_{40} \quad (16)$$

$$\frac{dx_C}{dt} = \left[ -l_1 \sin \varphi_{01} - l_2 \sin(\varphi_{01} + \varphi_{12}) - \frac{\partial \varphi_{12}}{\partial \varphi_{01}} l_2 \sin(\varphi_{01} + \varphi_{12}) \right] \cdot \omega_{01} + \frac{\partial \varphi_{12}}{\partial \varphi_{40}} l_2 \sin(\varphi_{01} + \varphi_{12}) \cdot \omega_{40} \quad (17)$$

$$\frac{dy_C}{dt} = \left[ l_1 \cos \varphi_{01} + l_2 \cos(\varphi_{01} + \varphi_{12}) + \frac{\partial \varphi_{12}}{\partial \varphi_{01}} l_2 \cos(\varphi_{01} + \varphi_{12}) \right] \cdot \omega_{01} + \frac{\partial \varphi_{12}}{\partial \varphi_{40}} l_2 \cos(\varphi_{01} + \varphi_{12}) \cdot \omega_{40} \quad (18)$$

Full acceleration of point C is determined using the formula of arbitrary point mechanical system of many degrees of freedom:

$$\vec{a}_C = \frac{d^2 r_C}{dt^2} = \sum_{i=1}^n \frac{\partial \vec{r}_C}{\partial q_i} \ddot{q}_i + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{\partial^2 \vec{r}_C}{\partial q_i \partial q_j} \dot{q}_i \dot{q}_j \quad (19)$$

When the system has two degrees of freedom we have:

$$\sum_{i=1}^n \frac{\partial \vec{r}_C}{\partial q_i} \ddot{q}_i = \frac{\partial r}{\partial q_1} \ddot{q}_1 + \frac{\partial r}{\partial q_2} \ddot{q}_2$$

Projections of acceleration of point C on coordination axes are written as:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{\partial^2 \vec{r}_C}{\partial q_i \partial q_j} \dot{q}_i \dot{q}_j = \sum_1^2 \left( \frac{\partial^2 r}{\partial q_1 \partial q_1} \dot{q}_1 \dot{q}_1 + \frac{\partial^2 r}{\partial q_1 \partial q_2} \dot{q}_1 \dot{q}_2 \right) = \frac{\partial^2 r}{\partial q_1^2} \dot{q}_1^2 + 2 \frac{\partial^2 r}{\partial q_1 \partial q_2} \dot{q}_1 \dot{q}_2 + \frac{\partial^2 r}{\partial q_2^2} \dot{q}_2^2 \quad (20)$$

After necessary substitutions we receive acceleration determining final formulas:

$$\frac{d^2 x_C}{dt^2} = \frac{\partial x_C}{\partial \varphi_{01}} \varepsilon_{01} + \frac{\partial x_C}{\partial \varphi_{40}} \varepsilon_{40} + \frac{\partial^2 x_C}{\partial \varphi_{01}^2} \omega_{01}^2 + \frac{\partial^2 x_C}{\partial \varphi_{01} \partial \varphi_{40}} \omega_{01} \omega_{40} + \frac{\partial^2 x_C}{\partial \varphi_{40}^2} \omega_{40}^2 \quad (21)$$

$$\frac{d^2 y_C}{dt^2} = \frac{\partial y_C}{\partial \varphi_{01}} \varepsilon_{01} + \frac{\partial y_C}{\partial \varphi_{40}} \varepsilon_{40} + \frac{\partial^2 y_C}{\partial \varphi_{01}^2} \omega_{01}^2 + \frac{\partial^2 y_C}{\partial \varphi_{01} \partial \varphi_{40}} \omega_{01} \omega_{40} + \frac{\partial^2 y_C}{\partial \varphi_{40}^2} \omega_{40}^2 \quad (22)$$

$$\begin{aligned} \frac{d^2 x_C}{dt^2} = & \left[ -l_1 \sin \varphi_{01} - l_2 \sin(\varphi_{01} + \varphi_{12}) - \frac{\partial \varphi_{12}}{\partial \varphi_{01}} l_2 \sin(\varphi_{01} + \varphi_{12}) \right] \varepsilon_{01} + \frac{\partial \varphi_{12}}{\partial \varphi_{40}} l_2 \sin(\varphi_{01} + \varphi_{12}) \varepsilon_{40} - \\ & - \left( l_1 \cos \varphi_{01} + l_2 \cos(\varphi_{01} + \varphi_{12}) \left( 1 + \frac{\partial \varphi_{12}}{\partial \varphi_{01}} \right)^2 - l_2 \sin(\varphi_{01} + \varphi_{12}) \frac{\partial^2 \varphi_{12}}{\partial \varphi_{01}^2} \right) \omega_{01}^2 - \\ & - \left( l_2 \cos(\varphi_{01} + \varphi_{12}) \left( 1 + \frac{\partial \varphi_{12}}{\partial \varphi_{01}} \right) \frac{\partial \varphi_{12}}{\partial \varphi_{40}} + l_2 \sin(\varphi_{01} + \varphi_{12}) \frac{\partial^2 \varphi_{12}}{\partial \varphi_{01} \partial \varphi_{40}} \right) \omega_{01} \omega_{40} - \\ & - \left( l_2 \cos(\varphi_{01} + \varphi_{12}) \left( \frac{\partial \varphi_{12}}{\partial \varphi_{40}} \right)^2 + l_2 \sin(\varphi_{01} + \varphi_{12}) \frac{\partial^2 \varphi_{12}}{\partial \varphi_{40}^2} \right) \omega_{40}^2 \end{aligned} \quad (23)$$

$$\begin{aligned} \frac{d^2 y_C}{dt^2} = & \left[ l_1 \cos \varphi_{01} + l_2 \cos(\varphi_{01} + \varphi_{12}) + \frac{\partial \varphi_{12}}{\partial \varphi_{01}} l_2 \cos(\varphi_{01} + \varphi_{12}) \right] \varepsilon_{01} + \frac{\partial \varphi_{12}}{\partial \varphi_{40}} l_2 \cos(\varphi_{01} + \varphi_{12}) \varepsilon_{40} - \\ & - \left( l_1 \sin \varphi_{01} + l_2 \sin(\varphi_{01} + \varphi_{12}) \left( 1 + \frac{\partial \varphi_{12}}{\partial \varphi_{01}} \right)^2 - l_2 \cos(\varphi_{01} + \varphi_{12}) \frac{\partial^2 \varphi_{12}}{\partial \varphi_{01}^2} \right) \omega_{01}^2 - \\ & - \left( l_2 \sin(\varphi_{01} + \varphi_{12}) \left( 1 + \frac{\partial \varphi_{12}}{\partial \varphi_{01}} \right) \frac{\partial \varphi_{12}}{\partial \varphi_{40}} - l_2 \cos(\varphi_{01} + \varphi_{12}) \frac{\partial^2 \varphi_{12}}{\partial \varphi_{01} \partial \varphi_{40}} \right) \omega_{01} \omega_{40} - \\ & - \left( l_2 \sin(\varphi_{01} + \varphi_{12}) \left( \frac{\partial \varphi_{12}}{\partial \varphi_{40}} \right)^2 - l_2 \cos(\varphi_{01} + \varphi_{12}) \frac{\partial^2 \varphi_{12}}{\partial \varphi_{40}^2} \right) \omega_{40}^2 \end{aligned} \quad (24)$$

### 3. CONCLUSION

The carrying out of examination of planar five link linkage with two degrees of freedom was shown, that the solution of analysis task of mentioned mechanisms with given conditions by usage of the system of equations of motion of input links would obtain large number of connecting rod curves that can be successfully used for different practical aims. The said feature of five link mechanisms could be used as for investigations of said mechanical systems as well for preliminary receipt of the law of motion of actuators installed in the centers of rotation of input links.

### References

1. I. Artobolevski. Theory of mechanism and machines. Moscow: Science, 1974 – 640p. (In Russian).
2. D. Tavkheldize, N. Davitashvili. The theoretical basis of design of planar and spherical multilink lever mechanisms. Tbilisi: Metsniereba, 1975. 208 p. (In Russian).
3. N. Davitashvili. Die bankurven von fünfgliedrigen gelenkgetrieben//Archiwum budawg maszyn. T.XXYI, Zeszyt 4, 1979, s. 489-509 (In German).
4. N. Davitashvili. Theoretical basis of synthesis, analysis and accuracy of slide and tilt mechanism with two degrees of freedom. Tbilisi: Metsniereba, 2000. 290 p. (In Russian).
5. N. Davitashvili, D. Tavkheldize. Synthesis of controlled five bar mechanism with two degrees of freedom according to predetermined motion of input links. Tbilisi.

შპს 621.828

**მოძრაობის ორი თავისუფლების ხარისხის ხუთბოლო ბერკეტულ მექანიზმში პირდაპირი გეომეტრიული ამოცანის ამოხსნის საკითხისათვის**

დ. თავხელიძე, ზ. მჭედლიშვილი, ზ. კუბლაშვილი

ტრანსპორტის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, კოსტავას 77

**რეზიუმე:** შემოთავაზებულია მოძრაობის ორი თავისუფლების მქონე ხუთბოლო ბერკეტული მექანიზმის ერთგვაროვან კოორდინატთა სისტემის გამოყენებაზე დაფუძნებული კინემატიკური პარამეტრების გაანგარიშების მეთოდი. მიღებულია გამავალი რგოლის, როგორც საყრდენი ტრაექტორიების კოორდინატთა, ასევე სინქარებისა და ანქარების გაანგარიშების გამოსახულებები. მოცემული მეთოდი შესაძლებელია წარმატებით იქნას გამოყენებული სხვა მრავალრგოლიანი, ბერკეტული მექანიზმების, როგორც პირდაპირი, ასევე უკუგეომეტრიული ამოცანების ამოხსნისათვის. ამავედროულად, შემოთავაზებული მეთოდის სიმარტივე განაპირობებს ამბრავთა სისტემის ისეთი მართვის ალგორითმის შედგენას, რომელიც საგრძნობლად გაზრდის ამ სისტემების სწრაფქმედებას.

**საკვანძო სიტყვები:** ხუთბოლო მექანიზმი; ორი თავისუფლების ხარისხი; მრავალრგოლიანი მექანიზმის კონსტრუქცია (პროექტი); ბარბაცას სამრუდეები.

УДК 621.828

**К ВОПРОСУ РЕШЕНИЯ ПРЯМОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ ПЯТИЗВЕННОГО РЫЧАЖНОГО МЕХАНИЗМА С ДВУМЯ СТЕПЕНЯМИ СВОБОДЫ ДВИЖЕНИЯ**

Тавхелидзе Д.Д., Мchedlishvili З.Т., Кублашвили З.П.

Департамент транспорта, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. Костава 77

**Резюме:** Предложен метод расчета кинематических параметров пятизвенного рычажного механизма с двумя степенями свободы движения, основанного на применении однородной системы координат. Получены выражения расчета как координат опорных траекторий, так и скоростей и ускорений выходного звена. Данный метод может успешно применяться для решения как прямых, так и обратных геометрических задач других многосвязных рычажных механизмов. В то же время простота предлагаемого метода обуславливает составление такого алгоритма управления системой приводов, который ощутимо увеличит быстродействие таких систем.

**Ключевые слова:** пятизвенный механизм; две степени свободы; конструкция (проект) многосвязного механизма; шатунная кривизна.

*Submitted: 14.12.10*

შპს 621.828

გაბონების სამხრეთო ბერკეტული გადაცემის ელემენტების

საექსპლუატაციო მუშაობის ანალიზი ცვლილების ბათვალისწინებით

გ. შარაშენიძე\*, თ. დუნდუა, ნ. მღებრიშვილი, პ. კურტანიძე, ს. შარაშენიძე

სატრანსპორტო დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, კოსტავას 77

E-mail: g. sharashenidze@gtu.ge

**რეზიუმე:** სამხრეთო ბერკეტული გადაცემის სახსრული შეერთებების ელემენტების ცვლილების სტატისტიკური მონაცემების საფუძველზე ნაშრომში შექმნილია ცვლილებისა და ვაგონის გარბენის ურთიერთდამოკიდებულების კვლევის მათემატიკური მეთოდი. განხილულია გადაცემის რეალური სქემა ელემენტების ცვლილების გათვალისწინებით, მიღებულია შესაბამისი დინამიკური დატვირთვების მნიშვნელობანი. ელემენტების უმტყუნებო საექსპლუატაციო მუშაობის ალბათობა განხილულია ჰიპოგეომეტრიული განაწილების სპექტრისა და ბინომიალური განაწილების ფორმულის მიხედვით. დადგენილია უმტყუნებო მუშაობის ალბათობა და საიმედოობის ზედა ზღვარი. მიღებული შედეგები გრაფიკულად ასახავს ელემენტების ცვლილებისა და ვაგონის გარბენის დამოკიდებულებას ამ ელემენტების სხვადასხვა მასალისაგან დამზადების შემთხვევაში.

**საკვანძო სიტყვები:** ცვლილება; საექსპლუატაციო მუშაობა; უმტყუნებო მუშაობის ალბათობა; ვაგონის გარბენი; შეერთების ელემენტები.

## 1. შესავალი

სარკინიგზო მოძრაობის შემადგენლობის მოძრაობის უსაფრთხოების მიზნით აუცილებელია სამხრეთო ბერკეტული გადაცემის საიმედო მუშაობის უზრუნველყოფა, რათა სამხრეთო ცილინდრის მიერ განვითარებული სამხრეთო ძალა გაზრდილი მნიშვნელობით გადაეცეს სამხრეთო ხუნდების სისტემას [5]. სამხრეთო ძალის გადაცემის ძირითადი დინამიკური დატვირთვა ნაწილდება ბერკეტებისა და წვეების სახსრული შეერთებების ელემენტებზე, რომელთა მუშა ზედაპირების ცვლილება ჩვეულებრივი ან მაღალი სიჩქარეებით მოძრაობისას დამოკიდებულია სრული ან ნაწილობრივი სამხრეთო პროცესების რაოდენობაზე [2, 10]. სახსრული შეერთებების ელემენტების, ლილვაკებისა და მილისების ფრიქციული ზედაპირების ურთიერთქმედებისას წარმოშობილი ცვლილებების ზრდის გადაცემის დინამიკურ დატვირთვებს და ძალურ დანაკარგებს სახსრულ შეერთებებში [1, 3], იწვევს ვერტიკალური ბერკეტებისა და ჰორი-

ზონტალური წვეების მექანიკურ დაზიანებებს, ამცირებს ლილვაკებისა და მილისების საიმედოობას. მსგავსი მოვლენების თავიდან აცილების მიზნით შექმნა ოპტიმალური სამხრეთო ბერკეტული გადაცემები ნაკლები რაოდენობის ბერკეტებითა და სახსრული შეერთებებით არსებულთან შედარებით [6]. გამოკვლეულ იქნა შესაბამისი დინამიკური დატვირთვები [7, 8, 9] სახსრული შეერთებების ელემენტების ცვლილების გათვალისწინებით და სიზუსტის თეორიაზე დაყრდნობით შეფასება მიეცა ცვლილებით გამოწვეული კინემატიკური პარამეტრებისა და დინამიკური დატვირთვების ძირითად მაჩვენებლებს [10].

მიუხედავად, ჩატარებული დინამიკური გამოკვლევებისა [1, 3, 7, 9] სამხრეთო ბერკეტული გადაცემის ელემენტების საექსპლუატაციო მუშაობის საიმედოობას ვერ მიეცა სათანადო რაოდენობრივი შეფასება. სახსრული შეერთებების ელემენტების ვარგისიანობაზე მსჯელობა შეიძლება მხოლოდ ვაგონის შეკეთებათშორის ვადის გასვლის შემდეგ, სადებოლო ან საჭარხლო შეკეთების ჩატარებისას სტატისტიკური მონაცემების საფუძველზე. ვაგონმშენებელ და ვაგონმშემკეთებელ საწარმოებს არ გააჩნიათ მეცნიერულად ჩამოყალიბებული ინსტრუქციები სამხრეთო გადაცემის ელემენტების საექსპლუატაციო მუშაობის შესახებ. წინამდებარე ნაშრომი არის მცდელობა, გადაიჭრას აქტუალური ამოცანა – ალბათობის ზოგად თეორიაზე [4] და სტატისტიკურ მონაცემებზე დაყრდნობით განისაზღვროს სამხრეთო გადაცემის ელემენტების უმტყუნებო საექსპლუატაციო მუშაობის მაჩვენებლები, რაც აუცილებელია სავაგონო საწარმოებში შესაკეთებელი ელემენტების მარაგისა და ხარისხის დადგენისათვის.

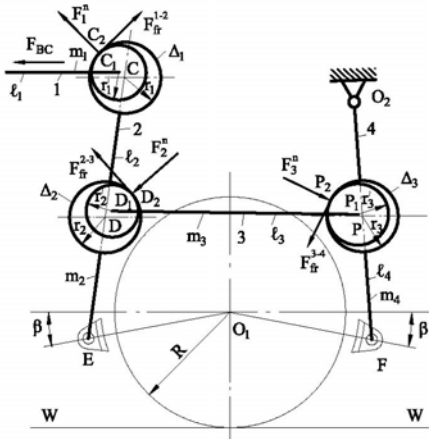
## 2. ძირითადი ნაწილი

ამოცანის გადაწყვეტის მიზნით განვიხილავთ სამგზავრო ვაგონის ოპტიმალური სამხრეთო ბერკეტული გადაცემის სამხრეთო კვანძის დინამიკურ მოდელს (ნახ. 1) ღრეჩოებით სამ 1-2, 2-3 და 3-4 სახსრულ შეერთებებში. მოდელის მიხედვით შეერთებათა გარე ელემენტების C, D, P და შიგა ელემენტების C<sub>1</sub>, D<sub>1</sub>, P<sub>1</sub> ცენტრების შემაერთებელი CC<sub>1</sub>, DD<sub>1</sub> და PP<sub>1</sub> წრეების გასწვრივ სა-

კონტაქტო  $C_2$ ,  $D_2$  და  $P_2$  წერტილებში მოქმედებს ნორმალური  $F_1^n$ ,  $F_2^n$ ,  $F_3^n$  რეაქციის ძალები და შესაბამისი ტანგენციალური შემდგენები ანუ სახუნის  $F_{fr}^{1-2}$ ,  $F_{fr}^{2-3}$ ,  $F_{fr}^{3-4}$  ძალები.

შეერთებათა  $\Delta_i$  ცვეთები არის ელემენტების რადიუსთა სხვაობა, ე.ი.

$$\left. \begin{aligned} \Delta_1 &= r_1 - r_1'; \\ \Delta_2 &= r_2 - r_2'; \\ \Delta_3 &= r_3 - r_3'. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$



ნახ. 1. სამგზავრო ვაგონის სამუხრუჭო კვანძის დინამიკური მოდელი დრეწობით სახსრულ შეერთებებში

წარმოდგენილი დინამიკური მოდელის მიხედვით განსაზღვრულია ყველა დასაშვები დინამიკური პარამეტრის მნიშვნელობა [9] და მათ შორის მაგალითისათვის 1-2 სახსრულ შეერთებაში ნორმალური რეაქცია

$$F_1^n = \left\{ m_1 \sin \varphi \left[ r \omega^2 \cos \alpha - \ddot{x}_1 + \frac{l_1}{2} (\ddot{\varphi} \sin \varphi + \dot{\varphi}^2 \cos \varphi) \right] - |z| F_{BC} \sin \varphi - m_1 g \cos \varphi - \frac{m_1}{6} \ddot{\varphi} - m_1 \cos \varphi \left[ \ddot{y}_2 + \frac{l_1}{2} (\ddot{\varphi} \cos \varphi - \dot{\varphi}^2 \sin \varphi) \right] \right\} [2 \sin \delta + 2 \sin \delta_1 (K_{fr1} \text{sign} \dot{\gamma}_1 + K_{fr2} \dot{\gamma}_1 + K_{fr3} \dot{\gamma}_1^2)]^{-1}, \quad (2)$$

სადაც  $x_i, y_i, \gamma_i$  არის ცვლადი განზოგადებული კოორდინატები;

$\alpha, \varphi$  – ამძრავი და  $l_1$  ბერკეტის მობრუნების კუთხეები;

$K_{fr_i}$  – მშრალი, სველი და კვადრატული სახუნის კოეფიციენტები.

გადაცემის საიმედო მუშაობისათვის აუცილებელია მისი დინამიკური დატვირთვა თავსდება დასაშვებ ზღვრებში. ამავ დროს სახსრული შეერთებების ელემენტებს უნდა გააჩნდეთ უმტყუნებო მუშაობის ალბათობის ზღვრუ-

ლი დონე. ის შეიძლება განისაზღვროს შეკეთების ნორმების შესაბამისად, სახსრული შეერთების ელემენტების ცვეთების მიზეზით გამოწვეული მტყუნებების გამოვლენის მომენტამდე, განაწილების სიმკვრივის შემდეგი ფორმულის მიხედვით:

$$f(t) = \sqrt{2\pi}^{-1} \exp \left\{ -\frac{[C - Mx(t)]}{2\delta_x^2(t)} \right\} \left[ \frac{C - Mx(t)}{\delta_x(t)} \right], \quad (3)$$

სადაც  $C$  არის  $i$ -ური შეერთების უმტყუნებო მუშაობის ზღვრული დონე, დადგენილი შეკეთების პერიოდის მიხედვით;

$x$  – დისკრეტული შემთხვევითი სიდიდე (მისი ალბათობა არ უდრის 1-ს);

$Mx(t)$  – მათემატიკური მოლოდინი, ანუ წინასწარ შედგენილი განტოლება, რომლითაც აღიწერება ელემენტების ცვეთები ექსპლუატაციისას. ის განისაზღვრება მოდელის (ნახ.1) მოძრაობის დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემების ამოხსნით;

$\delta_x$  – სახრული შეერთებების ერთსახელა ელემენტების ცვეთების ტემპის განზნევის (დისპერსიის) საშუალო კვადრატული გადახრა. ერთსახელა ელემენტებია 2-3 და 3-4 შეერთების ლიფაკები კვეთების  $r_2'$  და  $r_3'$  რადიუსებით ( $r_2' = r_3' = 40$  მმ), ასევე გარე ელემენტები  $r_2, r_3$  რადიუსებით.

(3) ფორმულიდან შეიძლება მივიღოთ სახსრული შეერთებების ელემენტების უმტყუნებო მუშაობის ალბათობის გამომსახველი ტოლობა:

$$P(t) = 1 - \int_0^t f(t) dt. \quad (4)$$

მათემატიკური მოლოდინის აღწერა შესაძლებელია ჰიპოგომეტრიული განაწილების სპექტრის მიხედვითაც. ამ დროს სახსრული შეერთების დეფექტური ელემენტების რაოდენობის ალბათობა განისაზღვრება ტოლობით:

$$P_{N,M}(n, k) = C_n^k C_{N-M}^{n-k} / C_N^n, \quad (5)$$

სადაც  $k$  არის ელემენტების საერთო რაოდენობა გადაცემაში ( $k = 1, 2, 3, \dots, n$ );

$N$  – ელემენტების საერთო რაოდენობა ვაგონზე;

$M$  – შესაცვლელი (დეფექტური) ელემენტების რაოდენობა ვაგონზე.

თუ  $N$  სიდიდე რამდენჯერმე აღემატება  $n$  სიდიდეს, მაშინ შესაძლებელია გამოყენებულ იქნეს ბინომიალური განაწილების ფორმულა:

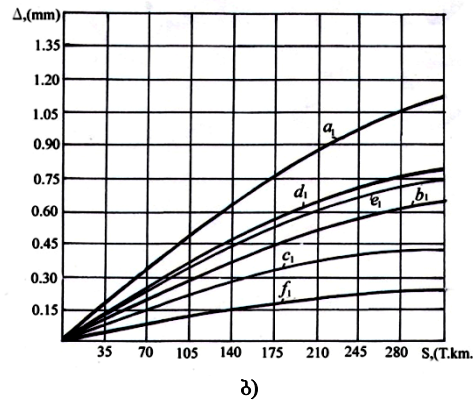
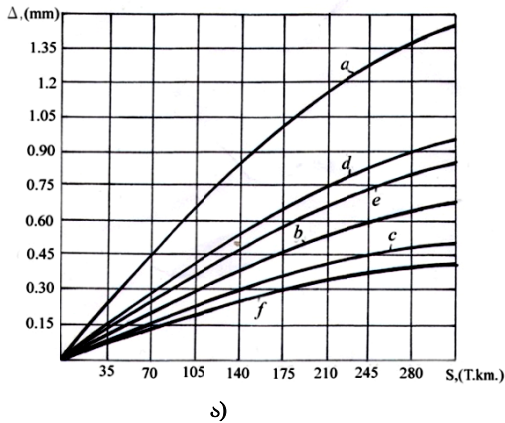
$$P(n, k) = C_n^k \left( \frac{M}{N} \right)^k \left( 1 - \frac{M}{N} \right)^{n-k}. \quad (6)$$

სამუხრუჭო კვანძის (ნახ. 1) სახსრული შეერთებების ელემენტების უმტყუნებო საექსპლუატაციო მუშაობის ალბათობის დადგენის მიზნით

მხედველობაში მიღებულ იქნა შიგა ელემენტის (ლილვაკის) და შესაბამისი ბერკეტის ან წვევის მასალის მარკა სახელმწიფო სტანდარტის მიხედვით, ასევე ელემენტების შეხეთვა, ზეთის სახეობა, ელემენტების ფრიქციული ზედაპირების დამუშავების ტექნოლოგია და ა.შ. მიღებული შედეგების მიხედვით შესაძლებელი გახდა სასრული შეერთებების ელემენტების შერჩევა ამ ელემენტების მასალის სახეობის, მისი სიმტკიცისა და ფრიქციული მუშა ზედაპირების მასხისიათებელი ცვეთების გათვალისწინებით, რაც მნიშვნელოვანია გადაცემის დაგეგმარების ან მოდერნიზების დროს.

სტატისტიკური მონაცემებისა და (1)-(6) ტოლობების მიხედვით მიღებულ იქნა დამოკიდებულება 1-2, 2-3 და 3-4 შეერთებების ელემენტების ცვეთებსა და ვაგონის გარბენს შორის ორი სახის სტანდარტული მასალისათვის (ნახ. 2).

სტატისტიკური მონაცემებისა და (1)-(6) ტოლობების მიხედვით მიღებულ იქნა დამოკიდებულება 1-2, 2-3 და 3-4 შეერთებების ელემენტების ცვეთებსა და ვაგონის გარბენს შორის ორი სახის სტანდარტული მასალისათვის (ნახ. 2).



ნახ. 2. ღრწობიანი სასრული შეერთებების ელემენტების ცვეთებისა და ვაგონის გარბენის დამოკიდებულების გრაფიკი: ა) ფლ.3 და ბ) ფლ.5 მასალის გამოყენებისას

სასრული შეერთებების ელემენტების ფლ. 3 მასალით დამზადებისას (ნახ. 2, ა) ვაგონის გარბენისა და ცვეთების დამოკიდებულება 1-2 სასრული შეერთებისთვის ხასიათდება ლილვაკისა და გარე ელემენტების შესაბამისი  $a$  და  $b$  მრუდებით, ხოლო 2-3 და 3-4 შეერთებისთვის მასხისიათებელი მრუდებია  $c$ ,  $d$  და  $e$ ,  $f$ . აღსანიშნავია, რომ ლილვაკისა და გარე ელემენტის ცვეთები ერთმანეთისგან საგრძობლად განსხვავდება.

ფლ. 5 მასალის გამოყენებისას გარბენისაგან დამოკიდებულების დიაგრამები გრაფიკით აისახება (ნახ. 2, ბ), სადაც დამოკიდებულებანი მოცემულია  $a_1, b_1, c_1, d_1$  და  $e_1, f_1$  მრუდების მიხედვით. დიაგრამების ანალიზის შედეგად შეიძლება დავასკვნათ, რომ ელემენტების სიმტკიცესა და ცვეთების ხარისხს შორის არსებობს უკუპროპორციული დამოკიდებულება ვაგონის გარბენის ერთნაირი მნიშვნელობებისთვის. გაირკვა, რომ ელემენტების საიმედოობის ზედა ზღვარი შეიძლება იყოს 0,981-მდე, ხოლო საექსპლუატაციო უმტყუნებო მუშაობის ალბათობის საშუალო მნიშვნელობა 0,976-ს არ აღემატება.

### 3. დასკვნა

სამუხრუჭო კვანძის დინამიკური მოდელის შექმნამ ცვეთების გათვალისწინებით საშუალება მოგვცა დაგვეხასიათებინა ღრწობიანი შეერთებების დინამიკური დატვირთვები;

მოდელის მიხედვით კვანძის მოძრაობის დიფერენციალური განტოლებების შედგენისა და ამოხსნის შედეგად შესაძლებელი გახდა საექსპლუატაციო ცვეთებისა და შესაბამისი მათემატიკური მოლოდინის პარამეტრების დადგენა;

დადგენილ იქნა დამოკიდებულება სამუხრუჭო კვანძის ელემენტების ცვეთებსა და ვაგონის გარბენს შორის სხვადასხვა მასალისთვის, რაც აუცილებელია ახალი გადაცემის დაგეგმარების ან მოდერნიზების პროცესში.

### ლიტერატურა

1. Carvel Holton, Corina Sandu. Hyun Wooklee. Dynamic model and stochastic analysis of the contact patch // Trans. of ASME JRC 2010 Conference, University of Illinois at Urbana, Il, USA. April 27-29, 2010. Vol. I, PN: JRC 2010 – 36229.
2. Garg V.K., Dukkipati R.V. Dynamics of railway vehicle systems. Academic Press, New York, 1984. – 391 p.
3. Donald Eadie, Kevin D. Oldknow, Matt Dick. Effective friction control for optimization of high speed rail operations // Trans. of ASME JRC 2010 Conference, University of Illinois at Urbana, Il, USA. April 27-29, 2010. Vol. I, PN: JRC 2010 – 36010.
4. Гнеденко Б.В., Хинчин А.Я. Введение в теорию вероятностей. М.: Наука, 1986. – 357 с.
5. Крылов В.И., Крылов В.В. Автоматические тормоза подвижного состава. М.: Транспорт, 1982. – 320 с.



6. Sharashenidze G., Sharashenidze S. Optimum brake leverage for rail-car wheel with two sided press the shoes and calculation of its characteristic parameters // "Problems of Applied Mechanics". Tbilisi, N 3(12), 2003, pp. 28-36.
7. Sharashenidze G., Kurtanidze P., Baron L.V. About dynamical analysis of exiting and optimum brake leverage systems // "Problems of Applied Mechanics". Tbilisi, 2010, N 1(38), pp. 29-38.
8. Шарашенидзе Г.С., Косаревский В.В. Анализ динамики рычажной передачи вагона с учетом зазоров в шарнирных соединениях // Вестник Ростовского гос. университета путей сообщения, № 1. Ростов н/Д, 2005, с. 42-47.
9. Шарашенидзе Г.С., Куртанидзе П.Р. К вопросу динамического исследования оптимальной тормозной рычажной передачи пассажирского вагона // Научные труды ГТУ, № 4(474). Тбилиси, 2009, с. 139-142.
10. Шарашенидзе Г.С., Карипидис С.И., Куртанидзе П.Р. О точности учета реальных параметров тормозных рычажных передач подвижного состава // Научные труды «Вестник» Новочеркасского НИИ Электровозостроения, № 2(58). Новочеркасск, 2009, с. 228-242.

**UDC 621.828****ANALYSIS OF OPERATIONAL WORK OF BRAKE LEVERAGE TRANSMISSION ELEMENTS OF THE CARS WITH TAKING INTO ACCOUNT DETERIORATIONS****G. Sharashenidze, T. Dundua, N. Mgebrishvili, P. Kurtanidze, S. Sharashenidze**

Department of transport, Georgian Technical University, 77, Kostava str, Tbilisi, 0175, Georgia

**Resume:** There is created the mathematical research method of dependences of deterioration from car run on the basis of the statistical analysis of the given hinged connection elements of brake leverage transmission. There is considered the real scheme of transfer with taking into account of deterioration of elements. The probability of elements non-failure operational work is considered on a spectrum of hypergeometrical distribution. There is established the top limit of reliability and probability of non-failure operation. The received results graphically represent the dependence of elements deterioration on the car run in case of different materials of these elements.

**Key words:** deterioration; operational work; probability of non-failure operation; car run; connection elements.

**УДК 621.828****АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ РАБОТЫ ЭЛЕМЕНТОВ ТОРМОЗНОЙ РЫЧАЖНОЙ ПЕРЕДАЧИ ВАГОНА С УЧЕТОМ ИЗНОСА****Шарашенидзе Г.С., Дундуа Т.Дж., Мгебришвили Н.Н., Куртанидзе П.Р., Шарашенидзе С.Г.**

Департамент транспорта, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. Костава, 77

**Резюме:** На основе статистических данных элементов шарнирных соединений тормозной рычажной передачи в работе создан математический метод исследования зависимостей износа от пробега вагона. Рассмотрена реальная схема передачи с учетом износа элементов. Вероятность безотказной эксплуатационной работы элементов рассмотрена по спектру гипергеометрического распределения и формуле биномиального распределения. Установлены верхний предел надежности и вероятность безотказной работы. Полученными результатами графически изображается зависимость износа элементов от пробега вагона в случае разных материалов этих элементов.

**Ключевые слова:** износ; эксплуатационная работа; вероятность безотказной работы; пробег вагона; элементы соединений.

*მიღებულია დასაბუჯად 22.07.2010*

**შპს 69.002.51 (075.32)****მიწისმჭრელი მანქანების მუშა ორბანოების მოღერნიზაცია****თ. ბუნნიკაშვილი, პ. ბუნნიკაშვილი**

მანქანათმშენებლობის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, კოსტავას 77

E-mail: mananalomidze@mail.ru

**რეზიუმე:** განხილულია მიწისმჭრელი მანქანების მუშა ორბანოთა მოღერნიზაციის მეთოდოლოგია, რომელიც აპრობირებულია სიახლეზე საავტორო მოწმობის მქონე მექანიზმებზე, იდეის ჩასახვიდან ექსპერიმენტული მოდელის გამოცდა – დანერგვამდე.

**საკვანძო სიტყვები:** არხმჭრელი; ჯაჭვური მუშა ორბანო; კონუსური დისკი.

**1. შესავალი**

სატრანსპორტო საგზაო მშენებლობაში ფართოდ გამოიყენება სხვადასხვა დანიშნულებისა და კონსტრუქციის მიწისმჭრელი მანქანები, რომელთა ტექნიკური დახვეწა, მოღერნიზაცია, ახლით შეცვლა მუდმივად აქტუალურ და პერსპექტიულ საქმედ ითვლება [1]. ამ მიზნისათვის მანქანათმშენებლები ითვალისწინებენ შესაქმნელი კონსტრუქციის ტექნოლოგიურ, საექსპლუატაციო, ეკონომიკურ და სოციალურ მოთხოვნილებებს [2]. აღნიშნული მოთხოვნათა პაკეტის შესრულება განაპირობებს მიწისმჭრელი მანქანების საექსპლუატაციო მახვენებლებს, რომლის ძირითადი კომპონენტებია: მწარმოებლობა, საიმედოობა, უსაფრთხოება, დანახარჯების ეკონომიურობა, პროდუქციის ხარისხი და სხვა [3, 4].

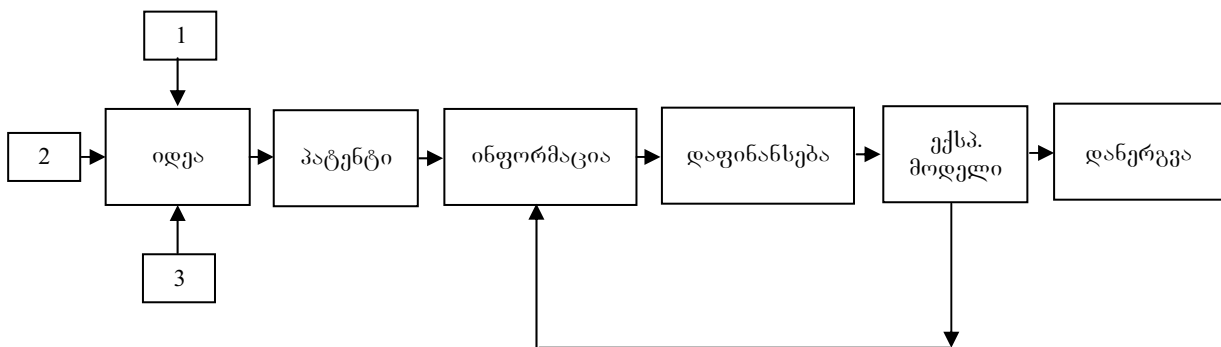
მანქანათმშენებლობაში მიღწეული ტექნიკურ-

რი სიახლის რეალიზაცია კონკრეტულ მანქანაზე არ შეიძლება იყოს ერთჯერადი. ის უწყვეტად პროგრესირდება და ემყარება საექსპლუატაციო მონაცემების ღრმა ანალიზს. სრულყოფა არა მარტო ტექნიკურ-ეკონომიკურ ფაქტორებს ეხება, არამედ მუშა პროცესის ტექნოლოგიას, დიზაინს, ერგონომიკას, უსაფრთხოებას და სხვა მახასიათებლებს.

**2. ძირითადი ნაწილი**

დამწყები ინჟინერ-მანქანათმშენებლებისათვის, რომლებსაც დარგის შესაბამისი თეორიული განათლება გააჩნიათ და იწყებენ წარმოებებში მუშაობას, ხშირად თავიანთი ცოდნის რეალიზაციას ვერ ახდენენ სათანადო საწარმოო გამოცდილების უქონლობის გამო და კმაყოფილებიან ყოველდღიური საორგანიზაციო თუ სხვა სახის, არაპროფესიული სამუშაოების შესრულებით. ამ დროს, უნებურად, ივიწყებენ თეორიული ცოდნის საფუძვლებს და მასთან იკარგება ინტელექტუალური აზროვნების უნარი სიახლეთა ძიების მიმართ.

გამოცდილებამ გვიჩვენა, რომ მანქანათმშენებლობაში ყოველივე ნოვატორულის მიგნებას და მის ხორცშესხმას ესაჭიროება შესაბამისი მეთოდოლოგიის ცოდნა, რომელიც შინაარსობრივად, ჩვენი შეხედულებით წარმოიდგინება სტრუქტურული სქემის სახით.



სიახლის დანერგვის მეთოდოლოგიის სტრუქტურული სქემა

იდეა, რომელიც საფუძვლად უდევს ახლის შექმნა-დანერგვას დამყარებულია სამ ძირითად კომპონენტზე.

1. დარგის თეორიული საფუძვლების ცოდნა;
2. მანქანა-მექანიზმების მუშა პროცესების შესწავლა-გაანალიზება და ამის საფუძველზე ფიქრი გაუმჯობესებაზე, ან საერთოდ ახლის შექმნაზე;
3. დარგის გამოცდილი სპეციალისტების მიერ მოწოდებული სასარგებლო წინადადებები მანქანა-მექანიზმების სამრეწველო მახასიათებლების ასამაღლებლად (იდეის თანაავტორი).



სურ. 1. მოდერნიზებული არხმშენის მუშა პროცესი

ყოველი სასარგებლო იდეა, ინტელექტუალური საკუთრების საგანია. მას ესაჭიროება სათანადო აღიარება და დაცვა, რასაც „საქპატენტი“ ემსახურება, რომლის წესდებაში ვკითხულობთ:

– გამოგონებაზე, სასარგებლო მოდელზე და სამრეწველო ნიმუშზე გაიცემა „საქპატენტის“ მიერ პატენტი, რომელიც შესაბამისი კანონით რეგულირდება და ინტელექტუალური საკუთრების დამცავი დოკუმენტია, ის ადასტურებს ავტორობას და ანიჭებს პატენტის მფლობელს განსაკუთრებულ უფლებას [5].

დაპატენტებული იდეის ხორცშესხმისათვის საჭიროა ტექნიკურ მატერიალური მხარდაჭერა, რომელიც შეიძლება განხორციელდეს სათანადო რეკლამირებით. ამისათვის გამოყენებულ იქნეს ინფორმაციის მაქსიმალური საშუალებები: კონფერენციები, სამეცნიერო სტატიები, რეკლამები, მონაწილეობა კონკურსებში სამეცნიერო გრანტების მოსაპოვებლად, დარგში მომუშავე ბიზნესმენებთან საქმიანი ურთიერთობა და სხვა.

შემდეგი ეტაპია ექსპერიმენტული, გამოსაცდელი მუშა ორგანოს შექმნა. ამ მიზნით იქმნება კონსტრუქციის მუშა ნახაზები და მასთან ერთად თეორიული გაანგარიშებები ტარდება ყველა საჭირო პარამეტრების დასადგენად. საბაზო მანქანის შესარჩევად წინასწარ განისაზღვრება საჭირო სიმძლავრე, თეორიული მწარმოებლობა და ეკონომიკური ეფექტიანობა.

ექსპერიმენტული მოდელის მუშა ნახაზებს

უმჯობესია პატენტის ავტორი ქმნიდეს და სისტემურ კავშირში იმყოფებოდეს მოდელის დამამზადებელ მექანიკურ საამქროს პერსონალთან, რათა საჭიროების შემთხვევაში ოპერატიულად შეიტანოს შესწორებები მუშა ნახაზებში. ასეთ შესწორებებს ხშირად პროექტით გათვალისწინებული მასალების ხელმიუწვდომლობა განაპირობებს და არსებული შეცვლის აუცილებლობა.

დამზადებული ექსპერიმენტული აქტიური ქმედების მუშა ორგანოს თავდაპირველ გამოცდას გადის დაუტვირთავ რეჟიმში, ტექნიკური დეფექტების გამოვლინების მიზნით.

გამოსაცდელი მოდელის კვლევები უნდა განხორციელდეს მეთოდით გათვალისწინებულ სხვადასხვა პოლიგონზე დაინტერესებული ფიზიკური თუ იურიდიული პირების თანდასწრებით.

ფოტო და ვიდეომასალები იქმნება, არსებული წესის მიხედვით, ფორმდება მანქანის გამოცდის ოქმი, სადაც დაფიქსირდება მანქანის ექსპერიმენტული გამოცდების დადებითი თუ უარყოფითი მხარეები; ასევე აღიღი დაეთმობა პროდუქციის შეფასებას, მისი ვარგისიანობის თვალსიზრისით.

მიღებულ ექსპერიმენტულ მონაცემებზე დაყრდნობით ვამდიდრებთ საინფორმაციო-სარეკლამო მასალებს. ექსპერიმენტული მუშა ორგანოს მოწონებისა და მხარდაჭერის შემთხვევაში ტექნიკურ დოკუმენტაციას და გამოცდის მასალებს გადავცემთ ლიცენზირებულ საკონსტრუქტორ ბიუროს, რათა მის მიერ შექმნილი დოკუმენტაციით მანქანის დამზადება საქარხნო წესით მოხდეს.

განხილული მეთოდის გამოყენებით განხორციელებულია რამდენიმე მიწისმჭრელი მანქანის მუშა ორგანოს მოდერნიზაცია და საწარმოო დანერგვა. წარმოვადგენთ სანიმუშო მაგალითებს.

ცნობილია სერიული წარმოების არხმშენი ЭМ-202, რომელიც წმენდს სატრანსპორტო მაგისტრალის გასწვრივ გამავალ წყალგამტარი არხების ერთ ფერდობს. სარკინიგზო მაგისტრალზე არ შეუძლია მეორე ფერდობის გაწმენდა. მიზეზი მარტივია, ვერ გადაადგილდება ლიანდაგებზე.

არხმშენის მუშა პროცესის შესწავლა-გაანალიზებამ დაბადა იდეა – ერთი გავლით გაიწმინდოს სალიანდაგო და სხვა, მეორე მხრიდან მისადგომად შეუძლებელი წყალგამტარი არხები. ეს შესაძლებელი იქნებოდა თუ ჯაჭვური მუშა ორგანოს ჩარჩოს დავამზადებდით სახსრულს და მის გადაწვდომას არხის მეორე ფერდზე ვარგულირებდით მექანიზებული მართვით – ჰიდროცილინდრის გამოყენებით. აღნიშნულ წინადადებაზე გაიცა საავტორო მოწმობა გამოგონებაზე [12]. მექანიზმით დაინტერესებულმა ორგანიზაციამ, „კოლხიდმშენმა“ გაი-

ლო საჭირო მატერიალური ხარჯები და თავის მექანიკურ საამქროში დამზადდა მუშა ორგანოს ექსპერიმენტული მოდელი ამორტიზირებული და ჯართაქცეული ტიპური მუშა ორგანოს ნაწილების გამოყენებით [6]. მოდერნიზებული მუშა ორგანოს საექსპლუატაციო გამოცდამ დაიმსახურა მოწონება სპეციალისტებისაგან (სურ. 1). შემუშავებული ტექნიკური დოკუმენტაცია გადაეცა „კოლხიდმშენს“ რის საფუძველზე აღდგენილ იქნა რამდენიმე ამორტიზებული არხმშენდი მუშა ორგანო.



სურ. 2. არხის ჭრის პროცესი

საქართველოს კავშირგაბმულობის სამინისტროს ესაჭიროებოდა 0,7 მ სიღრმის (სიგანე 0,3 მ) ზომის არხების გამჭრელი მექანიზმი. სახელშეკრულებო თემის გაფორმებით საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტთან დაიწყო შესაბამისი სამეცნიერო სამუშაოს წარმოება.

შერჩეულ იქნა სერიული ჯაჭვური არხმჭრელი ЭТЦ-165А, რომლის რამდენიმე ეგზემპლარს ფლობდა ხსენებული სამინისტრო. აღნიშნული არხმჭრელი ჭრის 1,65 მ სიღრმის არხებს. შეიქმნა ტექნიკური დოკუმენტაცია არსებული არხმჭრელის მოდერნიზაციისათვის, რომლითაც 1,65 მ-ის სანაცვლოდ მივიღებდით 0,7 მ სიღრმის არხებს.

ხემოთ განხილული მაგალითის ანალოგიურად, ექსპერიმენტული ეგზემპლარის დასამზადებლად აქაც გამოყენებულ იქნა ამორტიზებული მუშა მექანიზმები. საცთელი ნიმუში ხსენებული სამინისტროს მექანიკურ საამქროში დამზადდა [7].

მოდერნიზებულმა მუშა ორგანოს მრავალჯერადმა საწარმოო გამოცდამ, რომელსაც დარგის სპეციალისტები აკვირდებოდნენ მოწონება დაიმსახურა (სურ. 2).

მსგავსი სამუშაოების ჩასატარებლად ტექნიკური დოკუმენტაცია და ექსპერიმენტული გამოცდის მასალები გადაეცა საქართველოს კავშირგაბმულობის სამინისტროს.

არხმჭრელის ექსპერიმენტული გამოცდის მასალების გაანალიზების საფუძველზე გაფორმდა განაცხადი კონსტრუქციულ სიახლეზე საქპა-

ტენტში წარსადგენად და მიღებულ იქნა დადებითი პასუხი [13].



სურ. 3. კომბინირებული არხმჭრელის მუშა პროცესი

აღწერილი სამუშაო წარდგენილ იქნა ეროვნული სამეცნიერო გრანტის მოსაპოვებლად კონკურსზე. მიღებულ იქნა მაღალი ქულები, რაც კონკურსში ნამუშევრის ხელახალი წარდგენის საშუალებას იძლევა.

წყალთა მეურნეობისა და მეღიორაციის საკავშირო სამინისტროს ს/კ ინსტიტუტში (ГрузНИИГиМ) დამზადდა ჭარბტენიან გრუნტებში ღრმა არხების მისაღებად განკუთვნილი კომბინირებული არხმჭრელი (გუთნისებრი არხმჭრელი და კონუსური დისკი).

კონუსური მუშა ორგანოს შექმნის გზაზე მიღებულია საავტორო მოწმობები გამოგონებაზე [10,11].

ექსპერიმენტული მოდელი გამოიცადა კოლხეთის დაბლობის ჭარბტენიან ნიადაგებში (სურ. 3), რასაც მაღალი შეფასება მიეცა სპეციალისტების მიერ [6, 8].

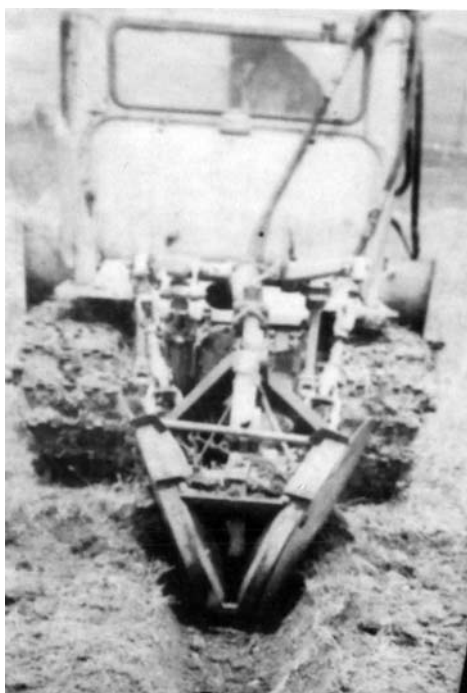
აღნიშნული კომბინირებული არხმჭრელის ექსპერიმენტული მოდელის ტექნიკური დოკუმენტაცია და გამოცდის მასალები გამოყენებულ იქნა საქართველოს სოფლის მეურნეობის საწარმოო ტექნიკური უზრუნველყოფის სახელმწიფო კომიტეტის საკონსტრუქტორო-ტექნოლოგიური დაპროექტებისა და ეკონომიკური პროგნოზირების ინსტიტუტის მიერ არხმჭრელის საქარხნო ეგზემპლარების დასამზადებელი პროექტის შესაქმნელად.

ხსენებული ინსტიტუტის მიერ შემუშავებული პროექტის და ექსპერიმენტული გამოცდების დოკუმენტაცია გადაეგზავნა წყალთა მეურნეობისა და მეღიორაციის საკავშირო სამინისტროს. ამ უკანასკნელის მოწონებითა და მხარდაჭერით კომბინირებული არხმჭრელი სახელწოდებით „КК-0,6“ შეტანილ იქნა 1980-1990 წლებში დასაწერებლად მანქანათა სისტემაში, რომელიც დამტკიცებულია 6 საკავშირო სამინისტროსთან შეთანხმებით, მათ შორისაა მშენებლობის, საგზაო

და კომუნალური მანქანათმშენებლობის საკავშირო სამინისტრო [9].

ასევე შექმნილია 0,6 მ სიღრმის არხის გამჭრელი, ფრეზირებული ტიპის საცდელი მუშა ორგანოს ნიმუში.

აღნიშნული მიზნისათვის შესწავლილ იქნა სერიული წარმოების არხმჭრელი КФН-1200, რომელიც განკუთვნილია გაცილებით დრმა არხების მოსაწყობად (1,2 მ). ხსენებული არხმჭრელის საექსპლუატაციო პროცესის შესწავლით დადგენილ იქნა მექანიზმის დადებითი და უარყოფითი მხარეები, რის გაანალიზების საფუძველზე, სათანადო ტექნიკური გაანგარიშებით დამზადდა დავალებით გათვალისწინებული პარამეტრების მქონე არხების გამჭრელი აქტიური ქმედების ექსპერიმენტული მუშა ორგანო (სურ. 4), რომელმაც წარმატებით გაიარა საუწყებო გამოცდა [9].



სურ. 4. ფრეზირებული არხმჭრელი მუშა მდგომარეობაში

აღწერილ სამეცნიერო სამუშაოებზე დაცულია ორი საკანდიდატო დისერტაცია.

მუშავდება და უახლოეს მომავალში გამოიცემა მონოგრაფიული ნაშრომი, სადაც განიხილება აღნიშნული მექანიზმების კონსტრუქციული, კინემატიკური, სტატიკური და დინამიკური გაანგარიშებები; ასევე აღწერილ იქნება მექანიზმებზე მოსული დატვირთვების ავტომატიზებული გაზომვებისა და ექსპერიმენტული

მონაცემების მათემატიკური სტატისტიკით დამუშავების მეთოდოლოგია.

### 3. დასკვნა

სტატიაში წარმოდგენილი აპრობირებული მეთოდოლოგია, გამოხსნული მიწისმჭრელი მანქანების მუშა ორგანოთა მოდერნიზაციისათვის, ასევე შექმნილი ნიმუშების გაცნობა უდავოთ დაეხმარება სტუდენტებს როგორც სადიპლომო სამუშაოს შესრულებაში, ასევე საწარმოებში დასაქმების პერიოდში ნოვატორული აზროვნების ჩამოყალიბებაში.

### ლიტერატურა

1. Мер И.И. Мелиоративные машины. Москва: Колс, 1985.
2. Гальперин М.И. и др. Строительные машины. Москва: Машиностроение, 1971.
3. Алексеева Т.В. Машины для земляных работ. Москва: Машиностроение, 1972.
4. Хархута Н.Я. и др. Дорожные машины. Ленинград: Машиностроение, 1968.
5. საპატენტო სამართალი. საქართველოს კანონებისა და საერთაშორისო ხელშეკრულებების კრებული. იურიდიული ფირმა „ბონა კაუზა“. თბილისი, 2007.
6. Исследовать рабочие органы экспериментальных образцов машин для строительства каналов. Научный отчет ГрузНИИГиМ. Тбилиси, 1975 г.
7. სახელშეკრულებო სამეცნიერო კვლევის სამუშაო №05-121/86. თავი V. სპი, თბილისი, 1987 წ.
8. Бухникашвили Т.П. Устойчивость и проходимость навесного комбинированного каналокопателя // Доклады ВЛСХНИЛ, №7, Москва, 1979 г.
9. Система машин для комплексной механизации с/х производства на 1981-1990 годы. ЦНИИТЭП, Москва, 19981 год.
10. Бухникашвили Т.П., Самхарадзе В.И. Устройство для образования путем продавливания профилированных каналов. А.с. №606956. Бюллетень изобретений №18, ЦНИИПИ. М., 1978 г.
11. Бухникашвили Т.П., Самхарадзе В.И. Каналокопатель. А.с. №609846. БИ, №21, ЦНИИПИ. М., 1978.
12. Бухникашвили Т.П., Джикия М.В. Рабочий орган каналочистительного экскаватора. А.с. №781273, БИ, №43, ЦНИИПИ, М., 1980.
13. თ. ბუხნიკაშვილი, პ. ბუხნიკაშვილი. არხმჭრელი. ინტელექტუალური საკუთრების ეროვნული ცენტრი. საქ. პატენტი, V 1399. თბილისი, 2007.

---

**UDC 69.002.51(075.32)**

**UP-GRADING OF EARTH-CUTTING MACHINE EXECUTIVE DEVICE**

**T. Bukhnikashvili, P. Bukhnikashvili**

Department of mechanical engineering, Georgian Technical University, 77, Kostava str, Tbilisi, 0175, Georgia

**Resume:** There is considered approved method of up-grading of earth-cutting machine executive device from receiving author's certificate for invention to its manufacturing application. With this purpose here are presented four pattern instances, which will undoubtedly help the beginner mechanical engineers in their scientific activity at the initial stage.

**Key words:** ditcher; chain executive device; conic disk.

---

**УДК 69.002.51(075.32)**

**МОДЕРНИЗАЦИЯ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ЗЕМЛЕРЕЖУЩИХ МАШИН**

**Бухникашвили Т.П., Бухникашвили П.Т.**

Департамент машиностроения, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. Костава, 77

**Резюме:** Рассмотрен апробированный способ модернизации рабочих органов землережущих машин с момента получения авторского удостоверения на изобретение до его внедрения в производство. С этой целью в статье приведены четыре образцовых примера, ознакомление с которыми, несомненно, поможет начинающим машиностроителям в их научной деятельности на начальном этапе.

**Ключевые слова:** канавокопатель; цепной рабочий орган; конусный диск.

---

*მიღებულია დასაბუჯდად 10.11.2010*

# ჰუმანიტარულ-სოციალური სექცია

შპს 621.311.4

ენერჯისტიკის ქვესაღბურეზი ბაღართვეზის მიმდევრობის ბენერაციის მოდელირება

რ. ქუთათელაძე, ა. კობიაშვილი

ეკონომიკისა და ბიზნესის მართვის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, კოსტავას 77

E-mail: r.kutateladze@gtu.ge

**რეზიუმე:** შესწავლილია ავტომატური გადართვების თანამიმდევრობის შექმნის შესაძლებლობა. განხილულია შესაბამისი ექსპერტული სისტემის მოდელი. გაანალიზებულია ასეთი ექსპერტული მოდელის შექმნის აუცილებლობა. ნაჩვენებია ოპერატორის მოქმედებათა თანამიმდევრობა. შექმნილი მოდელი რეალიზებულია ობიექტზე ორიენტირებული დაპროგრამების ენის საფუძველზე. ნაჩვენებია გამოყენებული მიდგომის უპირატესობა.

**საკვანძო სიტყვები:** ექსპერტული სისტემა; პროდუქციული წესი; ცოდნის ბაზა; გადართვების თანამიმდევრობა.

## 1. შესავალი

ოპერატორების მუშაობაში დასახმარებლად ქვესაღბურეზზე გადართვების თანამიმდევრობის ავტომატური ფორმირების გზით შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ექსპერტული სისტემა [1]. გადართვების მიზანია ქვესაღბურეზში მუშაობის ნორმალური რეჟიმის შენარჩუნება. იმის გამო, რომ ოპერაციების თანამიმდევრობა უნდა განისაზღვროს ოპერატორის მიერ, ქვესაღბურის წარმატებული ფუნქციონირება დამოკიდებულია მოწყობილობებზე ოპერატორის მიერ ყურადღებიან დაკვირვებაზე და ამ მოქმედებების შესრულების ადრეულ გამოცდილებაზე. ოპერაციების თანამიმდევრობის შექმნის სირთულე იზრდება ქვესაღბურის ზომის ზრდასთან ერთად. ამ ამოცანის მიმართ ცოდნაზე დაფუძნებული მიდგომის გამოყენებით შესწავლილ იქნა ავტომატური გადართვების თანამიმდევრობის შექმნის შესაძლებლობა და შეიქმნა სათანადო ექსპერტული სისტემის მოდელი.

ქვესაღბურების მართვა სულ უფრო და უფრო რთულდება იმის გამო, რომ:

ა) იზრდება თვით ენერჯისტიკის ზომა და სირთულე;

ბ) ქვესაღბურების ნორმალური და ავარიული მდგომარეობების მიმართ გაჩნდა უფრო პროგრესული მოთხოვნები;

გ) შემოთავაზებულ იქნა სხვადასხვა ტიპის თანამედროვე ეფექტური მეთოდი.

თავდაპირველად საჭიროა მოვახდინოთ ქვესაღბურის მოდელის ფორმულირება. ის შეიცავს ცოდნის ბაზას ქვესაღბურის იმ მოწყობილობებისათვის, რომლებიც წარმოდგენილი იქნება ოპერატორის ევრისტიკის საშუალებით პროდუქციული წესების სახით. მოდელირებაში ყველაზე კრიტიკული საკითხია მოწყობილობებს შორის ურთიერთკავშირების წარმოდგენა. [2]

## 2. ძირითადი ნაწილი

გადართვების მიმდევრობის ცხრილი აღწერს იმ ოპერაციების მიმდევრობას, რომლებიც უნდა შესრულდეს შესაბამის მოწყობილობებზე და რომლებიც სადისპეტჩერო ცენტრიდან უნდა მიეწოდოს მოწყობილობებს ბრძანებების სახით. ამის შემდეგ ოპერატორი საკუთარი ცოდნისა და გამოცდილების საფუძველზე გეგმავს გადართვების თანამიმდევრობას მოწყობილობების მდგომარეობებისა და ქვესაღბურის კონფიგურაციის შესაბამისად. ამ პირობების გარდა დაგეგმვა დამოკიდებულია უსაფრთხოებასთან დაკავშირებულ მოქმედებებზეც.

ბრძანებას ექნება წინადადების სახე, რომელიც სამი ელემენტისაგან შედგება: პირველი განსაზღვრავს ბრძანების ფუნქციებს, მეორე ეხება მიზნობრივ მოწყობილობას და მესამე იძლევა მოწყობილობის მდგომარეობას:

ბრძანება : : = ფუნქცია + მოწყობილობა + მდგომარეობა

ბრძანების ფუნქციების მაგალითებია: DISCHARGE (განმუხტვა), CHARGE (დამუხტვა), PARAL-

LEL\_RUN (პარალელურად გაშვება). ბრძანების მაგალითი: DISCHARGE BUS\_A, რომელიც ადგენს, რომ სალტე A უნდა გაითიშოს ელექტრონულად მომიჯნავე მოწყობილობებიდან შესაბამისი გადართველების მეშვეობით. ამ ბრძანებით ოპერატორი აგებს შემდეგი მოქმედებების ჯაჭვს:

ა) მოწყობილობასთან დაკავშირებული გადართველების ჩართვა/გამორთვა;

ბ) გადართვების ოპერაციების სერიის აგება მოწყობილობის ტიპისაგან დამოკიდებულებით;

გ) უსაფრთხოების უზრუნველყოფა ოპერაციამდე და ოპერაციის შემდეგ;

დ) იმის უზრუნველყოფა, რომ ხელოვნურად არ იქნეს გათიშული სხვა მოწყობილობები;

ე) ძაბვისა და სხვა პარამეტრების მიმდინარე მნიშვნელობების შემოწმება;

ვ) არამდგრადი მდგომარეობების სტაბილიზაცია;

ზ) მოწყობილობების დამიწება;

თ) სხვა ფუნქციები.

ყველა ამ მოქმედების აღმწერი წინადადება შეიძლება იყოს ოპერაციების აღმწერი ან დამოკიდებულებების აღმწერი. პირველი (ა)-დან (ზ)-მდე) ეხება მოწყობილობების გადართვას, ხოლო მეორე უზრუნველყოფს უსაფრთხოებას.

ასეთი ბრძანების მიღების შემდეგ ოპერატორი ცდილობს შეარჩიოს უსაფრთხოების უზრუნველყოფის მიახლოებითი გეგმა და ექსპერტი ოპერატორის მიერ წინასწარ შედგენილი ცხრილის, როგორც ნიმუშის, გამოყენებით შეადგინოს მოქმედებების ადეკვატური მიმდევრობა ბრძანების პირობების დაკმაყოფილების მიზნით.

პრობლემა იმაში მდგომარეობს, რომ ქვესადგურის მოწყობილობების დიდი რაოდენობა და მათი ურთიერთკავშირების სირთულე მოითხოვს დიდი რაოდენობის ინსტრუქციას მიმდევრობების შესადგენად და ასევე საწყისი ცხრილების დიდ მრავალფეროვნებას. მეთოდი, რომელსაც ცოდნაზე დაფუძნებულ სისტემა ეყრდნობა, შეძლებს ამ სირთულეების დაძლევას.

სისტემა შეიძლება აიგოს ცოდნის აღწერის ენაზე KDL, რომელიც შექმნილია ექსპერტული სისტემების ასაგებად. ეს ენა წარმოადგენს LISP-ენის ერთ-ერთ ქვესიმრავლეს და არის ობიექტზე ორიენტირებული დაპროგრამების ენა. ის ეფუძნება ფრეიმების აღწერასა და პროდუქციულ წესებს. ობიექტი იღებს ფრეიმის სტრუქტურას, როგორც ცოდნის წარმოდგენის ელემენტს, შედგენილს სლოტების, მეთოდებისა და პროდუქციული წესებისაგან. ამ ენაში ფრეიმი ფართოვდება ისე, რომ წესებიც შეიძლება იყოს ობიექტის ატრიბუტები. მაშინ თითოეულ ობიექტს ექნება შემდეგი კომპონენტები [1]:

ობიექტი

— სლოტები (სტატუსის შესაბამისი ცვლადები)  
— მეთოდები (პროცედურები)  
— პროდუქციული წესების სიმრავლეები (მეტა-წესების სიმრავლეები)

— წესების ბლოკები (წესების ჯგუფები)  
— მართვის ბლოკები (მართვის ნაკადები)  
— მოკლე მეხსიერება (სამუშაო მეხსიერება).

აქ დასკვნების მიღების მექანიზმი განიხილება როგორც მეთოდი, წესების სიმრავლეები – როგორც წესების, მართვის ბლოკები – როგორც წესების ბლოკების გააქტიურების ან შეჩერების პირობები და მოკლე მეხსიერება – როგორც მუშა მეხსიერება, რომელსაც ინაწილებს წესების ბლოკები.

ჩვეულებრივ ობიექტზე ორიენტირებულ ენებში მეთოდები პროცედურული პროგრამებით იწერება, ხოლო KDL-ში დეკლარატიულად ლოგიკური დაპროგრამების სტილში – წესების საშუალებით.

ამ ხერხის უპირატესობა ისაა, რომ ძალიან მარტივდება მეთოდების წარმატებული გამოყენება მათი მუშაობის იოლი შესწავლის შესაძლებლობის გამო. ასე, რომ ობიექტზე ორიენტირებული მიდგომა კარგად ერგება მიმდევრობათა შექმნის მიზანს, რადგანაც ბრძანება “იმოქმედე ობიექტზე” ადვილად ინტერპრეტირდება შეტყობინებად: “გამოიძახე მეთოდი “მოქმედება”, რომელიც ჩაწერილია “ობიექტში”. მაშინ განსხვავება DDISCHARGE BUS-სა და DISCHARGE TRANSFORMER-ს შორის დამოკიდებული იქნება მხოლოდ მოწყობილობების ტიპზე. ამიტომ ოპერაციების წესების აგება ძალიან მოხერხებულია მოხდეს მოწყობილობების, როგორც ობიექტების, განხილვით.

პროდუქციული წესი ფორმულირდება შემდეგნაირად:

IF < ანტეცედენტი → THEN < კონსეკუენტი >

ანტეცედენტი წესს გარკვეულ შეზღუდვებს უწესებს, როგორც შემდეგი პირობების კონიუქციური კომბინაცია:

ა) პროლოგის ტიპის შაბლონების შესაბამისობის დადგენის ბრძანებები, რომლებიც შესაბამის ფაქტებს ეძებს მონაცემთა ბაზაში;

ბ) სლოტის შესაბამისი წყვილები, რომლებიც ცოდნის ბაზის ფრეიმებში ჩაიწერება;

გ) ნებისმიერი სიმბოლოების სიები, რომლებიც მოკლე მეხსიერებაში ინახება;

დ) ლისპ-ფუნქციების ან KDL მეთოდების შეფასება.

ახლა ის მოქმედებები აღწეროთ, რომლებიც საჭიროა წესების შეზღუდვების დასაკმაყოფილებლად:

ა) მონაცემთა ბაზის განახლება – ყველა იმ ჩანაწერის შეტანა მონაცემთა ბაზაში, რომელიც მონაცემთა შაბლონის დასაბუთებისთვის საჭი-



რო ოპერაციებისა და დამოკიდებულებების სერიიდან იქნა მიღებული.

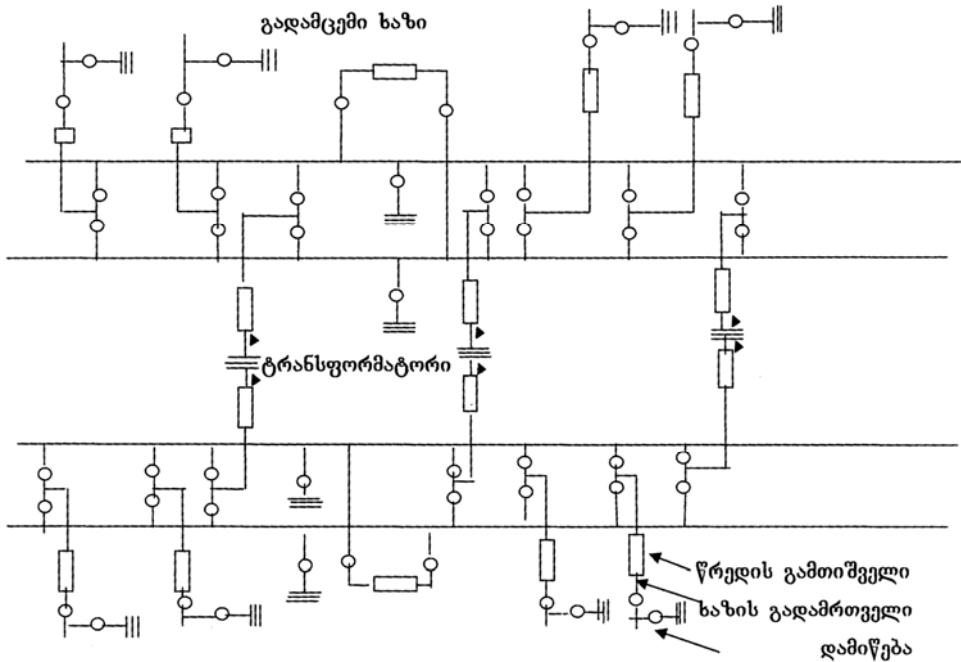
ბ) ობიექტებში ჩაწერილი მეთოდების შეცვლა. ეს მექანიზმი საშუალებას იძლევა დაფიქსირდეს უკვე მიღებული შედეგები და გამოცდილება.

თავდაპირველად მოდელირებულ იქნა გადამცემი ქვესადგური, რომელიც 1-ელ ნახაზზეა მოცემული. შედეგა ენერგოსისტემის გადამცემი ხაზების, სალტების, ტრანსფორმატორების, წრედების გამთიშველების, ხაზების გადამრთველებისა და სხვა კომპონენტებისაგან. მოდელირების ძირითადი იდეა იყო მოწყობილობებს შორის ურთიერთკავშირების წარმოდგენის მიღება KDL-ის ფრეიმების საშუალებით. მისი აღწერა შემდეგი ტიპის წინადადებებით მოხდა:

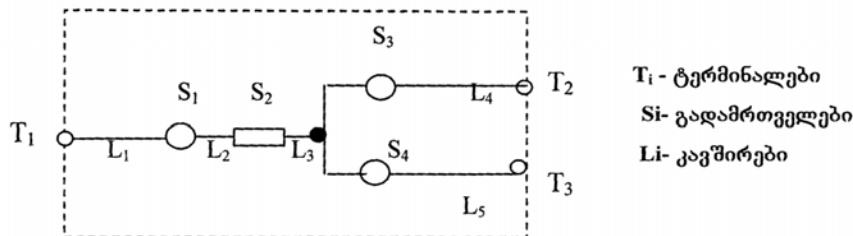
- ATTACHED TO ... (მიერთებულია ... -სთან)

- PARALLELED WITH ... (დაპარალელელებულია ... -სთან)
- CONNECTED TO ... (დაკავშირებულია ... -სთან)
- PLACED ON ... (მოთავსებულია ... -ზე)

ქვესადგურის მოწყობილობების თითოეული ტიპი განსაზღვრულია როგორც კლასი და ეს კლასი-ქვეკლასის იერარქია საშუალებას იძლევა განისაზღვროს კლასების მემკვიდრეობითი კავშირები. მაგალითად, მე-2 ნახაზზე ნაჩვენებია კლასი CIRCLE BREAKER (წრედის გამთიშველი) არის DEVICE (მოწყობილობა) კლასის ქვეკლასი, რომელიც, თავის მხრივ, არის SUBSTATION (ქვესადგური) კლასის ქვეკლასი. იმავე კლასის მაგალითები (INSTANCE), რომლებსაც აქვთ იგივე ფრეიმული სტრუქტურა, შეიძლება განისაზღვროს მონაცემთა სლოტებით, რომლებიც მოწყობილობების ფიზიკურ ან ელექტრულ მახასიათებლებს ჩაწერს.



ნახ. 1. ქვესადგურის დიაგრამა



ნახ. 2. CONNECTION-ის დიაგრამა

გარდა მონაცემთა სლოტებისა, KDL-ის თითოეული ფრეიმი სხვა სახის სლოტებს მოიცავს, როგორცაა კავშირების სლოტები. დამო-

კიდებულებები მოწყობილობებს შორის შეიძლება დახასიათებულ იქნეს მათი კავშირების ბლოკების საშუალებით, რომლებიც ჩაწერილია

კავშირების სლოტებში. ამ კავშირების ფორმების მიხედვით მოწყობილობებს შორის ურთიერთკავშირები შემდეგნაირი იქნება:

ა) “მოწყობილობა A დაკავშირებულია B მოწყობილობასთან”. ეს წინადადება დაიშლება შემდეგ ქვეწინადადებებად:

“არსებობს ისეთი კავშირი CONNECTION\_C, რომელშიც შემდეგი წინადადებები შედის:

მოწყობილობა A დაკავშირებულია C\_სთან და მოწყობილობა B დაკავშირებულია C\_სთან,

ანუ

EQUIPMENT\_A is\_conn CONNECTION\_C

EQUIPMENT\_B is\_conn CONNECTION\_C

განშტოების წერტილების ქცევის გაგების მიზნით კონსტრუქცია CONNECTION შემოტანილი იქნა ქვესადგურის მოდელში. განშტოების წერტილში ერთმანეთს უერთდება მრავალი სახის მოწყობილობა. ამიტომ ისინი შეიძლება შემთხვევით ჩაირთოს ან გაითიშოს ერთმანეთთან გადამრთველების არაკორექტული გადართვისას. ამიტომ გადამრთველები უნდა იყოს კორელირებული და სწორედ ამ მიზნით შეიქმნა ეს კონცეპტუალური ობიექტი ჩვენ მოდელში. განშტოების წერტილებს ორი თვისება აქვს. ერთი მხრივ, ისინი განიხილება როგორც ქსელის კვანძები, რომლებიც ურთიერთმოქმედებს მოწყობილობებთან და, მეორე მხრივ, ისინი განიხილება როგორც შავი ყუთები, რომლებიც ფუნქციონირებს როგორც გადართვის ყუთები მათი კავშირების დინამიკურად შესაცვლელად. აქედან გამომდინარე, ისინი ერთ ელემენტად ერთიანდება.

### 3. დასკვნა

ამრიგად, ქვესადგურებზე ენერგოსისტემის ოპერატორის დასახმარებლად გადართვების თა-

ნამიმდევრობის ავტომატური ფორმირების გზით ძალიან ეფექტურია ექსპერტული სისტემის გამოყენება, რომელიც უზრუნველყოფს ქვესადგურში მუშაობის ნორმალური რეჟიმის შენარჩუნებას, ქვესადგურის წარმატებულ ფუნქციონირებას, ადამიანი-ექსპერტის დაკვირვებას გამოცდილებაზე დაფუძნებული მიდგომის საშუალებით. ამ ექსპერტული სისტემის დანიშნულებაა ცოდნაზე დაფუძნებული მიდგომის მეშვეობით მოხდეს ინსტრუქციების ისეთი თანამიმდევრობებით შედგენა, რომლებიც უზრუნველყოფს სისტემის უსაფრთხოებას და სისტემაში მდგრადი მდგომარეობის შენარჩუნებას. გადამცემი ქვესადგურის მოდელირების შედეგად ენერგოსისტემის გადამცემ საზებს, ტრანსფორმატორებს, სალტებს, წრედის გამოთვლებს, საზების გადამრთველებსა და სხვა კომპონენტებს შორის ურთიერთკავშირების ისეთი წარმოდგენა მიიღება, რომელიც მოწყობილობების ფიზიკური და ელექტრული მახასიათებლების საფუძველზე შექმნის გადართვების თანამიმდევრობის ისეთ მოდელს, რომელიც სისტემის სტაბილური მდგომარეობის გარანტიას მოგვცემს.

### ლიტერატურა

1. Tokashi Abe, Hisashi Goto, Tatsuya Mizutari, Nachiko Mitsuri. An Expert System for Generation Switching Sequences at Substations. International workshop on Artificial Intelligence for Industrial Applications. 1988, N. J., USA, pp. 326-331.
2. რ. ქუთათელაძე, ა. კობიაშვილი. ცოდნაზე დაფუძნებული მართვის სისტემა ენერგოსისტემის გადამცემი მაგისტრალის აღდგენისათვის // ენერგეტიკის პრობლემები, №4(10). თბილისი, 2010, გვ. 131-135.

UDC 621.311.4

## SIMULATION OF SWITCHING SEQUENCE GENERATION AT SUBSTATIONS OF POWER SYSTEM

R. Kutateladze, A. Kobiashvili

Department of economics and business management, Georgian Technical University, 77, Kostava str, Tbilisi, 0175, Georgia

**Resume:** There is studied possibility of creation of automatic switching sequence generation. There is considered the model of corresponding expert system. There is analyzed the necessity of creating such an expert model. There is shown the sequence of operator's actions. Created model is realized on the basis of object oriented programming language. There is shown the advantage of a used approach.

**Key words:** expert system; production rule; knowledge database; switching sequence.

УДК 621.311.4

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕНЕРАЦИИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЙ НА ПОДСТАНЦИЯХ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ****Кутателадзе Р.Г., Кобиашвили А.А.**

Департамент управления экономикой и бизнесом, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. Костава, 77

**Резюме:** Изучена возможность создания последовательности автоматических переключений. Рассмотрена модель соответствующей экспертной системы. Анализируется необходимость создания такой экспертной модели. Показана последовательность действий оператора. Созданная модель реализована на основе языка объектно-ориентированного программирования. Показано преимущество использованного способа.

**Ключевые слова:** экспертная система; производственное правило; база знаний; последовательность переключений.

*მიღებულია დასაბუჯდად 20.11.10*

შპს 726.54

**ქვემო ხოლადშენის „სამების ეკლესია“****თ. შიუკაშვილი**

საზოგადოებრივი მეცნიერებების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, კოსტავას 77

E-mail: takuci26@yahoo.com

**რეზიუმე:** ქვემო ხოლადშენში 12 ეკლესია და რამდენიმე ნაეკლესიარია შემორჩენილი. იქ არსებული ხუროთმოძღვრული ძეგლები შეუსწავლელია. ისინი დღემდე არ გამხდარა არც ერთი ისტორიკოსის თუ ხელოვნებათმცოდნის ყურადღების საგანი. თუ არ ჩავთვლით 1986 და 1993 წლებში პ. კიკაჩიშვილისა და ა. თოფურიას მიერ ძეგლების შესახებ შედგენილ პასპორტებს.

ქვემო ხოლადშენის ე. წ. კომპლექსში განსაკუთრებით საინტერესოა „სამების“ ტაძარი. ნაგებობა ძლიერ არის დაზიანებული. ამის მიუხედავად იკვეთება ტაძრის გეგმა. ის სამეკლესიანი ბაზილიკის ტიპს უნდა მიეკუთვნებოდეს, რომლის უადრესი, VI საუკუნის ნიმუშები საქართველოშია შემორჩენილი და სხვაგან არ გვხვდება. ეს არქიტექტურული თემა VII საუკუნიდან მოყოლებული გარკვეულ ევოლუციას განიცდის და ისევე როგორც ბაზილიკა, ძირითადად X საუკუნემდე ინარჩუნებს აქტუალობას.

ჩვენი კვლევის ობიექტის ხუროთმოძღვრული კომპოზიციის დაზუსტება და მისი გარკვეული მსგავსება კახეთში შემორჩენილ სხვა ძეგლებთან საშუალებას გვაძლევს მისი აგების ქვედა ზღვარი VII საუკუნით განვსაზღვროთ.

**საკვანძო სიტყვები:** არქიტექტურა; ქართული; ეკლესია; ქრისტიანული; ქვემო ხოლადშენი.

**1. შესავალი**

ქვემო ხოლადშენი კახეთში, თელავის რაიონში მდებარეობს. ეს ადგილი გამოირჩევა ხუროთმოძღვრული ძეგლების სიმრავლით. სოფელში 12 ეკლესიაა (შემორჩენილია რამდენიმე ნაეკლესიარიც). ეს ძეგლები ქართული ხუროთმოძღვრების განვითარების თითქმის ყველა ეტაპს მოიცავს, დაწყებული ადრეული ფეოდალური ხანიდან - დამთავრებულს გასული საუკუნით.

აღნიშნული ძეგლების უმრავლესობა დარბა-

ზულ ტიპს მიეკუთვნება. ისინი შეუსწავლელია და დღემდე არ გამხდარა არც ერთი ისტორიკოსის თუ ხელოვნებათმცოდნის ყურადღების საგანი. თუ არ ჩავთვლით 1986 და 1993 წლებში პ. კიკაჩიშვილისა და ა. თოფურიას მიერ ძეგლების შესახებ შედგენილ პასპორტებს (ამ საშუალოს აწარმოებდა „საქართველოს სსრ კულტურის სამინისტრო- ისტორიის, კულტურისა და ბუნების ძეგლთა დაცვისა და გამოყენების მთავარი სამეცნიერო-საწარმოო სამმართველო“ 1986-1993 წ.წ.).

უნდა აღინიშნოს, რომ სამ ძეგლს პასპორტი არ აქვს. მათზე სხვა ლიტერატურაც არ არსებობს.

ქვემო ხოდაშენში არსებულ ამ სამ ძეგლთან განსაკუთრებით საინტერესოა სამების სამეკლესიანი ბაზილიკა.

სამეკლესიანი ბაზილიკის თემა, როგორც ცნობილია, სწორედ საქართველოში ჩნდება და აქვე იღებს თავის სრულად ჩამოყალიბებულ მხატვრულ სახეს. ამ ტიპის პირველი ნიმუშები VI ს. შუა წლებს ეკუთვნის. თავდაპირველად ვხვდებით სამ წაგრძელებულ სათავსს ერთიმეორის გვერდით, ერთმანეთთან დამაკავშირებელი კარით - გადახურულს კამარებით და ორქანობიანი სახურავით. სწორედ ამ ტიპისაა სამეკლესიანი ბაზილიკის უძველესი ნიმუში „ბოლნის ქაფანაქში“ (ქვემო ბოლნისი), რომელსაც გ. ჩუბინაშვილი VI ს. I მეოთხედით ან ნახევრით ათარიღებს. „სამეკლესიანი“ ბაზილიკა თავისი სრული მხატვრული სახით კახეთში ჩამოყალიბდა. ამის თქმის საფუძველს აქ არსებული „სამეკლესიანი“ ნაგებობების მრავალი მაგალითი გვაძლევს.

## 2. ძირითადი ნაწილი

### ს ა მ ე ბ ა

ტაძარი სოფლიდან ცოტა მოშორებით, შუაგულ მინდორში მდებარეობს, საიდანაც „კუნძულივით“ ამოზრდილა პატარა ხშირი ტყე და მის შუაში ჩამალულა ოდესღაც ამაყად მდგარი, სოფლის ყველაზე დიდი სალოცავი დღეს კი ნანგრევებად ქცეული სამება (ტაბ.1).

წინათ ტაძარი მოქმედი უნდა ყოფილიყო. აქ აღდგომიდან მესამე დღეს, სოფლის ერთი ნაწილი ზეიმობდა „სამებობას“. ამ ტრადიციას დღესაც არ ივიწყებენ და აქ ხალხი ისევ დადის სალოცავად...

სამება მთლიანად რიყის ქვითაა ნაგები, რაც საერთოდ კახეთის არქიტექტურისათვის ჩვეული მოვლენაა. დღეს ის ძლიერ არის დაზიანებული. მას თითქმის აღარ აქვს გადახურვა. ზოგან

მხოლოდ საძირკველია დარჩენილი. ნანგრევი კი მთლიანად ტაძრის იატაკზეა დაყრილი, რაც ხელს უშლის მნახველის გადაადგილებასა და მისი ოდესღაც არსებული ფორმების აღქმას. ამას ემატება ეკლესიის შიგნით ამოზრდილი ხეები და სხვა მცენარეები, რაც დიდ საფრთხეს უქმნის შენობის გადარჩენილ ნაწილს (გარშემო ხშირი ტყე არ იძლევა შორიდან გადაღების საშუალებასაც).

ძლიერი დაზიანების მიუხედავად შეიძლება ითქვას, რომ ის სამეკლესიანი ბაზილიკების ტიპს მიეკუთვნება. აქ გვაქვს ფართო ცენტრალური ნავი, რომელიც ძირითადი ეკლესიაა (ტაბ.2) და გვერდის ეკლესიები - ერთმანეთთან დაკავშირებული დასავლეთის შემაერთებული გალერეით. გვერდის ნაგები გრძელი და ვიწრო დერეფნებია, მათი შემაერთებული დასავლეთის ნავი კი შედარებით განიერი. ამრიგად, ცენტრალური სივრცის გარშემო სამხრეთი გარშემოსავლელი იქმნება.

ცენტრალურ ნავს გარედან საკუთარი ორფერდა გადახურვა უნდა ჰქონოდა, გვერდითა ნაგებს კი - ცალფერდა (სავარაუდოდ კრამიტის). ტაძრის ზომები საძირკვლის დონეზე 10×14 მ-ია (ზომები მიახლოებითია (ავტ.)).

ტაძარს მთავარი შესასვლელი სამხრეთის მხრიდან აქვს. სამხრეთის ნავიდან შეგვივართ ასევე ცენტრალურ ნავში, რომელიც დანარჩენ ორზე უფრო მაღალი და ფართოა, რის გამოც შენობას გარედან ნამდვილი ბაზილიკის სახე აქვს. ცენტრალური ნავისაკურთხეველი აფსიდს ქმნის, თუმცა გარედან მისი სიმრგვალე არ მუდგანდება და ეკლესიის საერთო სწორკუთხა მოხაზულობის ფარგლებში ჯდება. თავდაპირველად საკურთხეველის წრიული მოხაზულობა გარედანაც მუდგანდებოდა, რაც მოგვიანებით იშვიათ მოვლენად იქცა და ნახევარწრიულა მოცულობა ხაზოვან აბრისში ჩაჯდა.

შენობის გადარჩენილი ნაწილის მიხედვით თუ ვიმსჯელებთ, განათების ძირითადი წყარო არის საკურთხეველის კედელში გაჭრილი ერთი ვიწრო სარკმელი. გადახურვის თუ სხვა სათავსების არქონის გამო სარკმლების სისტემის აღდგენა ამჯერად შეუძლებელია, მაგრამ რადგან ერთი სარკმელი ცენტრალურ ნავს ვერ გაანათებდა შესაძლოა სამხრეთ და ჩრდილოეთ კედლებში დამატებითი ღიობების არსებობა ვივარაუდოთ.

ცენტრალური ნავის ჩრდილოეთ კედელში არსებული კარით (ასევე ნალისებრი თაღის მქონე) შეგვივართ პატარა უახსიდო ოთახში, რომელიც ალბათ სამკვეთლო უნდა ყოფილიყო (ტაბ.3). აღმოსავლეთის კედელზე სარკმლის

ფორმის ნიშაა, რომელიც შესაძლოა თავდაპირველად სარკმელი იყო და შემდეგ ამოაშენეს. ის დღეს ნახევრად ღიაა. თუმცა ყველაზე უკეთ მაინც შენობის ეს ნაწილია შემონახული. გვაქვს ნახევარწრიულ-კამაროვანი გადახურვაც. ამიტომ, სწორედ ამ ოთახს დღეს სოფლის მოსახლეობა სალოცავად იყენებს.

შესაძლოა ცენტრალური ნავიდან ჩრდილოეთ ნაგში გასასვლელი არსებობდა, ამის დადგენა დღეს ძნელია. კედელი მთლიანად ჩამონგრეულია და საძირკველიც არ ჩანს. ასევე დაზიანებულია ჩრდილოეთი ფასადი, სადაც შესაძლებელია შემოსასვლელი კარი იყო. დასავლეთ სივრცეს რაც შეეხება, მას ერთი სარკმელი უნდა ჰქონოდა. ეს ოთახი ჩრდილოეთ და სამხრეთის ნაგებს ორი ფართო თალით უკავშირდება. შემორჩენილია კამაროვანი გადახურვის ნაწილიც. აღნიშნულ ნავსა და ცენტრალურ ნავს შორის ამოქოლილი თაღოვანი ღიობია, რომელიც შესაძლოა აგრეთვე კარს ან სხვა რაიმე კომუნიკაციას ნიშნავდა.

საინტერესოა ის ფაქტი, რომ არსად ჩანს საღიაკვანე. მღვდელთმსახურებისათვის საჭირო დამატებითი გამოყოფილი სადგომები საკურთხეველის სამხრეთით და ჩრდილოეთით VI საუკუნიდან ჩნდება [1]. ეს ძეგლი კი ოდნავ მოგვიანო პერიოდისაა (იხ. ქვემოთ), შესაბამისად - ამ ოთახების არსებობა აქ სრულებით შესაძლებელია. რაც შეეხება საღიაკვანეს, ის ალბათ ტაძრის სამხრეთ-აღმოსავლეთ ფრთაში უნდა ყოფილიყო (ტაბ.4). თუმცა, რადგან სამხრეთის შემორჩენილ ნაგში - „ეკლესიაში“ არ არსებობს გამყოფი კედლის კვალი, სავარაუდოა, რომ აქ საღიაკვანე არ იყო. ორივეს ფუნქციას ალბათ ინტერიერის სხვა მონაკვეთი ითავსებდა. მსგავსი მაგალითები გვხვდება ამ ტიპის ადრეულ ბაზილიკებში.

ცენტრალურ ეკლესია-ნაგში შესასვლელ სამხრეთის კარს, რომელიც გარედან არქიტრავულია, მთელს სიგანეზე დიდი ბალაგარის ქვა ამშვენებს, შიგნითა მხარეს კი არქიტრავზე შეისრული ფორმის თალია გამართული (ტაბ.5).

საკურთხეველში გვაქვს სამი ნიშა. ერთი შედარებით დიდი ნალისებრი ფორმის სარკმლის ქვემოთ, ოდნავ გვერდით (ეს ნიშა მღვდელთმსახურთა ჩამოსაჯდომად უნდა ყოფილიყო განკუთვნილი) და თითო-თითო მცირე ოთხკუთხა ნიშა მის ორსავე მხარეს.

თაღების და კამარების ნალისებრი ფორმა საქართველოში ფართოდ იყო გავრცელებული მხოლოდ VII ს-მდე, ე.ი. არაბთა შემოსევამდე. შემდეგ კი თანდათანობით გაქრა [1]. განსხვავებული მოსაზრება არსებობს, რომ ნალისებრი

თალი V ს-დან X ს-ის ჩათვლით გვხვდება. თაღის ისრისებრი ფორმა კი VII-IX საუკუნიდან ვრცელდება და დიდხანს ცოცხლობს [2]. ამ ტაძარში ორივე ფორმის არსებობა კი, ვფიქრობთ, VII საუკუნეში მის აგებაზე უნდა მიანიშნებდეს.

ძეგლზე არ გვხვდება არანაირი წარწერა, ტაძრის აშენების თუ აღმშენებლის შესახებ. როგორც ვთქვით, არ გვაქვს რაიმე საფასადო მორთულობა, რელიეფური გამოსახულება ან ორნამენტი, რაც ერთგვარად გაგვიადვილებდა ძეგლის ზუსტი თარიღის დადგენას

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, „სამეკლესიან“ ბაზილიკას, როგორც არქიტექტურულ თემას, საფუძველი ეყრება VI ს. შუა წლებში. ის საქართველოს გარეთ უცნობია, VII ს-დან მოყოლებული გარკვეულ ევოლუციას განიცდის და ისევე როგორც კლასიკური ბაზილიკა, ძირითადად X საუკუნემდეა შენარჩუნებული (უფრო გვიანდელ ნიმუშებს ვებრიძე მხოლოდ სპორადულად მიიჩნევს [1]).

ზემოთქმულიდან გამომდინარე, განხილული ძეგლი VII-X საუკუნეებს უნდა მიეკუთვნებოდეს. უფრო კონკრეტული დათარიღებისათვის ხელმოსაჭიდი ბევრი არაფერია. შეგვიძლია მხოლოდ პარალელები ვეძიოთ ამ პერიოდის ძეგლებში. შორს წასვლა არ დაგვჭირდება, რადგან კახეთმა შემოგვინახა ქრისტიანობის პირველი ეტაპის ხუროთმოძღვრების ყველაზე მეტი ნიმუში, განსაკუთრებით სამეკლესიანი ბაზილიკებისა. ამ ტიპის ტაძრებს მიეკუთვნება კარდენახის „საბაწმინდა“, კისისხევის „კონდამიანი“, ველისციხის სამეკლესიანი ბაზილიკა, საბუეში „წმ. შიოს“ ტაძარი, ვახისუბნის „სამკარიანი“, ზეგანის „ყველაწმინდა“, სამეკლესიანი ბაზილიკა ნეკრესში, ვანნაძიანის „ამიდასტური“, ჭერემის „წვეროლაბალი“ და სხვ. ამათგან ქვემო ხოდაშნის სამებასთან არქიტექტურული ფორმების მხრივ განსაკუთრებულ სიახლოვეს ავლენს ოთხი ტაძარი: ველისციხის, საბუეს, ვახისუბნის და ჭერემის ეკლესიები [5]. თითოეული მათგანი სამეკლესიანი ბაზილიკაა - აბსიდიანი მოზრდილი ცენტრალური ნავით (საიდანაც შევდივართ დამატებით სათავსო - სამკვეთლოში), გვერდითი ეკლესიებისა და მათი შემაერთებული დასავლეთის მოცულობით. ყველა ეკლესიაში (გარდა ველისციხისა, რომელსაც მხოლოდ დასავლეთიდან აქვს შესასვლელი), ცენტრალურ ნაგში შევდივართ ორი მხრიდან, სამხრეთსა და დასავლეთიდან. ამდენად, ჩვენ მიერ განსახილველ ტაძარშიც დასავლეთით არსებული ღიობი ალბათ კარი უნდა ყოფილიყო, რომელიც დროთა განმავლობაში მიწით დაიფარა ან შემდგომში ამოქოლეს. საბუეში ცენტრალური შესას-

ვლელი დასავლეთიდანაა, სამმაგი ნაღისებრი თაღებით, ისევე როგორც ჭერებთან წვერობა-ბაღში, ოღონდ ამ შემთხვევაში სამხრეთის მხრიდან. დანარჩენ ორ ტაძარში ძნელია ამის დადგენა დაზიანების გამო. საბუეში და ჭერებში გვერდითა, სამხრეთის ეკლესია აბსიდით მთავრდება, განსხვავებით ქვემო ხოდაშნის სამებისაგან. აქვე ისიც უნდა აღინიშნოს, რომ თითოეულ ამ ტაძარში გარშემოსავლელი სივრცე სამი თანაბარი სივრცის მოცულობისაა, თუ არ ჩავთვლით სამების ეკლესიაში დასავლეთის ოდნავ განიერ გარშემოსავლელს ჩრდილოეთისა და სამხრეთის ნაგებთან შედარებით. ამიტომ გვგონია, რომ აღნიშნული ძეგლები ერთ კონკრეტულ პერიოდს უნდა ეკუთვნოდეს.

### 3. დასკვნა

ამრიგად, ჩვენ შევეცადეთ დაგვეზუსტებინა სამების ეკლესიის ხუროთმოძღვრული დეტალები. თუ გავითვალისწინებთ ზემოთ აღნიშნულ ყველა მოსაზრებას, ტაძრის აშენების თარიღი ადრეული შუა საუკუნეების საწყის ეტაპზე უნდა მიუთითებდეს. ძეგლის სიძველეზე მეტყველებს თაღების ნაღისებრი და ისრისებრი ფორმების თანაარსებობა; სადიაკვნეს არარსე-

ბობა, რაც ხუროთმოძღვრული თვალსაზრისით საკუროთხევლის განუვითარებელ საფეხურზე მიანიშნებს. დასასრულ, ჩვენი ინტერესის ობიექტის გარკვეული მსგავსება კახეთში შემორჩენილ სხვა ძეგლებთან საშუალებას გვაძლევს სამების ეკლესიის აგების ქვედა ზღვარი VII საუკუნით განვსაზღვროთ.

შემდგომი კვლევა კი საშუალებას მოგვცემს უფრო ნათლად წარმოვადგინოთ მთელი კომპლექსის განვითარების ისტორია და ქრონოლოგიური საზღვრები.

### ლიტერატურა

1. ვ. ბერიძე. ძველი ქართული ხუროთმოძღვრება. თბილისი, 1974.
2. გ. აბრამიშვილი, პ. ზაქარაია, ი. ციციშვილი. ქართული ხუროთმოძღვრების ისტორია. თბილისი, 2000.
3. გ. ჩუბინაშვილი. ქართული ხელოვნების ისტორია. ტ.1. თბილისი, 1936.
4. გ. ჩუბინაშვილი, ნ. სვეეროვი. ქართული არქიტექტურის გზები. ტფილისი, 1936.
5. Чубинашвили Г. Н. Архитектура Кахетии. Тбилиси, 1959.

UDC 726.54

## THE TEMPLE OF THE TRINITY IN KVEMO KHODASHENI

T. Shiukashvili

Department of social sciences, Georgian Technical University, 77, Kostava str, Tbilisi, 0175, Georgia

**Resume:** There are 12 churches and several ruins of churches in Kvemo Khodasheni. Monuments of architecture existing are not still studied there. Until now they don't become the subject matter for any historian or fine art expert, except the passports of monuments, composed by P. Kikacheishvili and A. Topuria in 1986 and 1993.

In so-called Kvemo Khodasheni "complex" is especially interesting the temple of the Trinity. This construction is very injured. Nevertheless, the temple plan is seen well. It should be referred to the tri-church basilica, early samples of which (7th century) are preserved in Georgia and don't exist anywhere. This architectural theme, beginning from the 7th century experiences certain evolution and as well as the basilica, basically keeps its actuality up to the 10th century.

Adjustment of architectural composition of our research subject and its definite similarity with other monuments preserved in Kakheti, allows to take 7<sup>th</sup> century for the lower time limit of the construction.

**Key words:** architecture; georgian; church; christian; kvemo Khodasheni.

УДК 726.54

**ЦЕРКОВЬ ТРОИЦЫ В КВЕМО ХОДАШЕНИ****Шиукашвили Т.Б.**

Департамент общественных наук, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. Костава, 77

**Резюме:** В Квемо Ходашени сохранилось 12 церквей и несколько останков церквей. Существующие там памятники зодчества не изучены. Они по сей день не стали предметом внимания какого-либо историка или искусствоведа, если не считать паспорта памятников, составленные в 1986 и 1993 годах П. Кикачейшвили и А. Топуриа.

В т.н. «комплексе» Квемо Ходашени особенно интересен храм «Троицы». Строение сильно повреждено. Несмотря на это, просматривается план храма. Его необходимо отнести к типу трехцерковной базилики, ранние образцы которой (VI век) сохранились в Грузии и не встречаются больше нигде. Эта архитектурная тема, начиная с VII века, претерпевает определенную эволюцию и так же, как и базилика, в основном сохраняет свою актуальность до X века.

Уточнение зодческой композиции объекта нашего исследования и его определенное сходство с другими памятниками, сохранившимися в Кахетии, дает возможность принять VII век за нижнюю временную границу строительства.

**Ключевые слова:** архитектура; грузинский; церковь; христианский; Квемо Ходашени.

*მიღებულია დასაბუჯლად 17.11.10*

შპაპ 80

**ფრაზეოლოგიური ერთეულის შინაგორმა, სიმბოლიზაციისა და კვაზისტიმეოტიკული სიტუაციის მოდელი****ნ. გამყრელიძე**

უცხოური ენებისა და კომუნიკაციის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, კოსტავას 77

E-mail: n.gamkrelidze@mail.ru,

**რეზიუმე:** ნაშრომში ფრაზეოლოგიური ერთეული, იდიომი და მეტაფორა განხილულია, როგორც სამყაროს ენობრივი სურათის შექმნის საშუალება, რომელიც ენაში უკვე არსებული მნიშვნელობის კოგნიტური მანიპულირების შედეგად წარმოიქმნა. ხაზგასმულია იდიომის უნარი რაციონალურად და შეკუმშულად გადმოსცეს ობიექტური რეალობა და ასახოს სინამდვილე. ის ამა თუ იმ სიტუაციის დამახასიათებელ ნიშან-თვისებებს ლაკონურად გამოხატავს და ორიენტირებულია სუბიექტის ცნობიერებაში არსებულ სამყაროს ენობრივ ხატზე.

**საკვანძო სიტყვები:** იდიომი; მეტაფორა; ფრაზეოლოგიური ერთეული; შინაგანი ფორმა; ფრემი; ფონური ცოდნა; სამყაროს ენობრივი

ხატი; იდიომატიზაცია; მეტაფორიზაცია; ცნობიერების პროდუქტი; პირველადი ნომინაცია; მეორადი ნომინაცია; შეფასებით-ემოციური დამოკიდებულება; სიმბოლიზაცია; პრაგმატული აღქმა.

**1. შესავალი**

იდიომი ობიექტური რეალობისა და სუბიექტის გარემომცველი სინამდვილის ასახვის რაციონალურად გადმოსცემის საუკეთესო საშუალებაა. ის ლაკონურად და შეკუმშულად გამოხატავს ამა თუ იმ სიტუაციის დამახასიათებელ ყველა ნიშან-თვისებას, რაც კონკრეტული ენის მატარებლის ენობრივ ცნობიერებაში „სამყაროს ენობრივი ხატის“ ფორმით არის წარმოდგენილი. სხვადასხვა იდიომის

რედუცირების ხარისხი განსხვავდება ერთმანეთისაგან. ის დამოკიდებულია არა მარტო ენის განვითარების კონკრეტულ ეტაპზე, არამედ იმ გარემოებაზე, თუ როგორ აღიქვამს ამ ენის მატარებელი სუბიექტი იდიომის შინაფორმას, როგორც სამყაროს ცოცხალ, თუ უკვე წაშლილ ენობრივ ხატს. სამყაროს ცოცხალი ენობრივი ხატის შემთხვევაში ადამიანის ცნობიერებაში გადაიშლება სამყაროს სურათი მის ცნობიერებაში არსებული სამყაროს ენობრივი ფრაგმენტის რომელიმე ვარიანტი. რაც შეეხება იდიომის ცნობიერებაში წაშლილი სამყაროს ენობრივი ხატი ის მხოლოდ ნომინაციის მიზნებზე მიაწინებს და არაარსებითი კავშირების აბსტრაქტიზებას ახდენს.

ნაშრომის მიზანია ფრაზეოლოგიური ერთეულის შინაფორმა განიხილოს, როგორც სიმბოლიზაციისა და კვაზისტერეოტიპული სიტუაციის მოდელი, როგორც იდიომატიზაციისა და მეტაფორიზაციის პროცესის შედეგი და განისაზღვროს მისი ზეგავლენა ფრაზეოლოგიური ერთეულის შინაფორმაზე.

## 2. ძირითადი ნაწილი

ფრაზეოლოგიური ერთეულები ენის არაფრაზეოლოგიური ერთეულების მსგავსად ენობრივი ცნობიერების პროდუქტია და ასახავს ობიექტურ სინამდვილეს კომუნიკაციის პროცესში. აღნიშნული დაფიქსირებულია იდიომებში მათი შინაფორმის სახით. შეიძლება ვთქვათ, რომ იდიომის შინაფორმა ასოციაციურ-ხატოვან საფუძველზე მოტივირებული კომპლექსია, რომელიც შინაარსის ფორმირებაზეა ორიენტირებული. იდიომი წარმოიქმნება მაშინ, როდესაც აღმნიშვნელი კარგავს პირდაპირ კავშირს აღსანიშნთან და გამოიყენება ახალი აღსანიშნის ნომინაციის მიზნით. ნებისმიერ ენაში იდიომები ენობრივი კოდექტივის კომპეტენციაში არსებული ენობრივი ნიშნებია, რომელთა საფუძველია იდიომატურობა.

შეიძლება ვთქვათ, რომ ხშირ შემთხვევაში იდიომის ეტიმოლოგია უცნობია. ასე მაგალითად, რთულია დაადგინო, თუ რა ენობრივ-ასოციაციური ხატი უდევს საფუძვლად ქართულ იდიომს: “ჭიბი აქვს მოჭრილი” და მის რუსულ და გერმანულ ანალოგებს “Он собою съел на этом деле” “er versteht sich darauf” “er ist ein Meister in diesem Fach”, თუმცა ნათელია, რომ სამივე შემთხვევაში დაპარაკია: 1. პროფესიული საქმიანობის რომელიმე კონკრეტულ სფეროში დიდი გამოცდილების მქონე ადამიანზე ან 2. ადამიანზე, რომელსაც

რაიმე კონკრეტულ ჩვევაში აქვს გადაზრდილი. საყურადღებოა, რომ ამ იდიომის მნიშვნელობას სწორად აღიქვამს, როგორც ქართული, ისე გერმანული და რუსული ენის მატარებელი სუბიექტი.

მოცემული ფაქტი იმ გარემოებაზე მეტყველებს, რომ იდიომის შინაფორმა განსაკუთრებულ და სპეციფიკურ მნიშვნელობას იძენს ე.წ. “რეალური ფაქტისაგან” დამოუკიდებლად. ის ასრულებს “კვაზისტუაციის” სიმბოლოს როლს, რომელიც დამკვიდრებულია იდიომის შინაფორმაში. აქედან გამომდინარე, შეიძლება ვთქვათ, რომ იდიომი არა მარტო იმას აღნიშნავს, რაც დამკვიდრებულია მის შინაფორმაში, არამედ მისი შინაფორმის გარეთ არსებულ ხატოვან-სიმბოლური დატვირთვის მქონე ცნებით-კონცეპტუალურ სუბსტანციასაც [1].

ობიექტური სინამდვილის კონცეპტუალიზაცია და ვერბალიზაცია იდიომის მეშვეობით სხვადასხვაგვარად შეიძლება განხორციელდეს. იდიომის შინაფორმა მეტაფორიზაციის შედეგად სუბიექტის ცნობიერებაში ხატოვნად ასახავს ობიექტურ სინამდვილეს. ის ჩვენ ცნობიერებაში აირეკლება, როგორც ენობრივ მოცემულობაში დამკვიდრებული სამყაროს შესაძლო ხატი და რეალია. აღნიშნული მეტყველებს იმ გარემოებაზე, რომ ლინგვოკრეაციული აზროვნება თავისთავად გულისხმობს საგნობრივი სამყაროს რეალურ კავშირებსა და დამოკიდებულებებს სამყაროს სურათის “ფრაგმენტების” შექმნაში. უფრო მეტიც, შეიძლება ვთქვათ, რომ სწორედ ამ პროცესში ხდება სუბიექტის მიერ, მის სუბიექტისეულ ფანტაზიაზე დაყრდნობით სამყაროს ვერბალური გააზრება, რაც ენობრივი ცნობიერების შემოქმედებითი ხასიათის უცილობელი დადასტურებაა. საყურადღებოა, რომ პირველადი ნომინაციისაგან განსხვავებით, რაც ობიექტური სინამდვილის ვერბალიზაციას გულისხმობს, იდიომის შექმნა მეორადი ნომინაციის პროცესის შედეგია. აღნიშნული გულისხმობს, რომ ენობრივი ცნობიერების ფრაგმენტი უკვე პირველადი ნომინაციისას დაკავშირებულია არსებულ ენობრივ ერთეულთან, ენობრივი ნიშანი შერჩეულია, რომლის პრიზმაშიც მეორადი ნომინაციის პროცესი მიმდინარეობს. ლინგვოკრეაციულ აზროვნებას, რომლის დასაყრდენი ბაზა ეროვნული ენაა, ენობრივ ინვენტარში შეაქვს ეროვნულ-კულტუროლოგიური მსოფლმხედველობა, რომლის შეუზღუდავი ბუნება სუბიექტს აძლევს ენობრივი ერთეულის ნეიტრალური სემანტიკიდან ე.წ. ემოციური სემანტიკისაკენ გადასვლის წინაპირობას. ემოციური სემანტიკა კი, თავის მხრივ ყოველთვის მიუთით-



თებს სუბიექტისეულ შეფასებით-ემოციურ დამოკიდებულებაზე.

ნებისმიერი ენის ფრაზეოლოგიური სისტემა თავის შემადგენლობაში ისეთ სიტყვებს აერთიანებს, სიტყვათშეთანხმებებს და სტრუქტურებს, რომლებიც ინფორმაციას გვაწვდის ენის სისტემის დინამიკაში განვითარების გზების, მეთოდების და ტენდენციების შესახებ. ვფიქრობთ, ამ კუთხით მეტაფორის ფრაზეოლოგიასთან კავშირის კვლევის პროცესს განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება, რადგან ხშირ შემთხვევაში სწორედ მეტაფორაა იდიომის წარმოშობის წინაპირობა. ამ საკითხთან დაკავშირებით საინტერესოა ჯ. ლაინსის მოსაზრება, რომლის თანახმადაც ერთმანეთისაგან უნდა განვასხვავოთ მეტაფორა, რომელიც ახალი იდიომის წარმოქმნის საწინდარია, ე.წ. ხატოვანი, თავისუფალი მეტაფორისაგან. მეტაფორა, რომელიც იდიომის წარმოქმნას უდევს საფუძვლად, მოკლებულია ინდივიდუალურობას და მას ერთგვარი სტანდარტული სახე აქვს. თუმცა, აღნიშნულის მიუხედავად, ამ ტიპის მეტაფორა ინაჩუნებს საკუთარ ხატოვნებას და იგავურ ბუნებას [2].

მეტაფორა უნივერსალური ენობრივი მოვლენაა, რაც ვლინდება, როგორც სივრცესა და დროში, ასევე ენის სტრუქტურასა და ფუნქციონირებაში. ის ყველა ენისათვის დამახასიათებელია დროის ნებისმიერ ისტორიულ ჭრილში, ენის სხვადასხვა ასპექტს მოიცავს და მის ფუნქციურ სახესხვაობებში ვლინდება [3]. მეტაფორისაგან საფუძველი ცნების ბუნდოვანებაა. სუბიექტი კომუნიკაციის პროცესში „სარგებლობს“ რა ამგვარი ბუნდოვნებით, საკუთარ ცნობიერებაში მუდმივად ასახავს ცვალებად ექსტრალინგვისტურ ქმედებებს.

თანამედროვე ლინგვისტიკაში მეტაფორის პრობლემა, ანუ ენობრივი გამონათქვამის ახალი მნიშვნელობის შექმნის პროცესი და მზა მეტაფორული მნიშვნელობა განიხილება, როგორც სტილისტური საშუალება ან მხატვრული ხერხი. მართებულად მიგვაჩნია ის განვიხილოთ, როგორც სამყაროს ენობრივი სურათის შექმნის საშუალება, რომელიც ენაში უკვე არსებული მნიშვნელობის კოგნიტური მანიპულირების შედეგად წარმოიქმნა.

მეტაფორისაგან განსხვავებით ფრაზეოლოგიურ ერთეულში მნიშვნელობის ფორმირება ხდება მთელი რიგი ენობრივი გარემოებების გათვალისწინებით და მას, როგორც წესი, სიტყვათშეთანხმების ფორმა აქვს. ერთმნიშვნელოვნად შეიძლება იმის აღნიშვნა, რომ მეტაფორულ საფუძველზე შექმნილი “ენობრივი ხატი” მდგრადი ფენომენია და ის ხატოვანი მეტაფორის

სახით დამახასიათებელია ყველა ფრაზეოლოგიური ერთეულისათვის.

მეტაფორები, რომლებიც იდიომების წარმოქმნის საფუძველია, ენობრივი კოლექტივის არსებობის გარკვეულ ისტორიულ მომენტში აბსოლუტურად სტანდარტული მოვლენებისა და სიტუაციების ნომინაციას ახდენდნენ. თუმცა, ენათმეცნიერებაში ცნობილია ისეთი მეტაფორებიც, რომლებიც მხოლოდ ადამიანის ცნობიერებაში არსებული არარეალური საგნებისა და მოვლენების შედარების საფუძველზე აღმოცენდა [4]. ასეთ შემთხვევებში საუბარია ბუნებაში არარსებულ ცნებებზე. ამ ტიპის მეტაფორის არსებობა ენაში ენის მატარებელთა ფონურ ცოდნაზე, ინდივიდუალურ ფრეიმულ სემანტიკაზე აღმოცენებული სტერეოტიპია. ის არის ეროვნული მსოფლმხედველობით განპირობებული წარმოსახვის უნარის ნაყოფი, რაც კომუნიკაციის პროცესში ერთ-ერთ მნიშვნელოვანი ასპექტია. მაგალითად, “показать где раки зимуют” – “ich werde dir zeigen wo der Pfeffer waechst” – “er weiss wo Barthel den Most holt” - “კუდიტ ქვას გასროლინებ” – “შავ დღეს დაგაყრი”. საყურადღებოა, რომ ასეთი ტიპის ნომინაცია, როგორც წესი, მხოლოდ იდიომატიკაში არსებობს. ასე მაგალითად, თუ კომუნიკანტთა ცნობიერებაში არსებობს ისეთი ვირტუალური ცნებები, როგორიცაა დევები, ქაჯები, ცხრათავიანი ან სამთავიანი გველეშაპები და ა.შ.

ენაში მიმდინარე ფრაზეოლოგიზაციის პროცესი გარკვეულ ენობრივ მექანიზმებთანაა დაკავშირებული. ამგვარ მექანიზმში ენობრივი ნიშნის უნარი იგულისხმება ჩამოაყალიბოს ენობრივი ერთეულის მოტივირებული მეორადი ნომინაცია, ენობრივი ნიშნის პირველადი მნიშვნელობის გადატანის საფუძველზე. ასეთ მოტივირებას საფუძვლად უდევს არა მარტო მეტყველების ხატოვანი ასპექტები, არამედ ისეთი ენობრივი საშუალება, როგორიც “სიმბოლიზაციაა”. ის არ არის პირდაპირ დაკავშირებული ამა თუ იმ ცნების ხატოვან გადააზრებასთან. მისი სპეციფიკა მდგომარეობს ენობრივი ნიშნის მოტივაციაში, რომელიც დაკავშირებულია არა მარტო მნიშვნელობის გადატანასთან, როგორც ეს “ტროპების” შემთხვევაში ხდება, არამედ სამყაროს ენობრივ ხატთან, კონკრეტული ენობრივი კოლექტივის ე.წ. “ფონურ ცოდნასთან”, ფრეიმთან, რომელშიც ძველი აკუმულირებული ინფორმაციაა დეკოდირებული და ამა თუ იმ ცნების, ან სტერეოტიპული სიტუაციის პრაგმატულად აღქმის უნართან.

### 3. დასკვნა

დასკვნის სახით შეიძლება აღვნიშნოთ, რომ ლექსიკური ერთეულების მიღმა სუბიექტის ცნობიერებაში გარკვეული ნიშნებია ჩადებული, ასოციაციურ-სიტუაციური მოდელები, რომლებიც ვერბალური მეტყველების პროცესში გადატანითი მნიშვნელობით გამოიყენება. ეს ცნებები, კონკრეტული ენობრივი კოლექტივის ცნობიერებაში ეროვნულ მსოფლმხედველობაზე დაფუძნებული ემოციური იმპულსის წარმოქმნის საწინდარია, რომელიც შესაძლოა იყოს როგორც დადებითი, ასევე უარყოფითი ელფერის მატარებელი. ასევე საყურადღებოა, რომ ვირტუალური ცნების ამგვარი ნომინაცია გასაგებია კონკრეტული ენობრივი კოლექტივის უკლებლივ ყველა წევრისათვის. ფრაზეოლოგიური ერთეულის შინაფორმა იდიომატიზაციისა და მეტაფორიზაციის შედეგია. ის სიმბოლიზაციისა და კვაზის-

ტერეოტიპული სიტუაციის ერთგვარი მოდელია. ზემოთქმულიდან გამომდინარე ვთვლით, რომ აღნიშნული უნდა განვიხილოთ, როგორც სამყაროს ირაციონალური, ინტუიციურ-გრძნობადი, ასოციაციურ-მეტაფორული და ანთროპომორფული ასახვის კომპლექსი.

### ლიტერატურა

1. Шахнарович А.М., Графова Т.А. Человеческий фактор в языке. Языковые механизмы экспрессивности. М.: Наука, 1991.- 140 с.
2. Lyons J. Semantique. Linguistique, Paris. 1980. P. 200-202.
3. Гак В.Г. Метафора, универсальное и специфическое. М.: Наука, 1988, с.11-12.
4. Черданцева Т.З. Метафора и символ. Метафора в языке и тексте. М.: Наука, 1988, с.79.

### UDC 80

## THE INTERNAL FORM OF PHRASEOLOGICAL UNIT, AS A MODEL OF SYMBOLIZATION AND QUASYSYSTEREOTYPE SITUATION

N. Gamkrelidze

Department of foreign languages and communications, Georgian Technical University, 77, Kostava str, Tbilisi, 0175, Georgia

**Resume:** The Idiom is the best means as for display of an objective reality, and for rational and compact statement. It economically expresses characteristic values and properties of various situations and is focused on a language icon existing in the subject knowledge. The idiom is necessary for considering as means of creation of a language picture of the world, which has been formed in language as a result of cognition manipulations of already existing value.

**Key words:** idiom; metaphor; phraseological unit; internal form; frame; background knowledge; language icon of the world; idiomatization; metaphorization; knowledge product; primary nomination; evaluating-emotional dependence; symbolization; pragmatic perception.

### УДК 80

## ВНУТРЕННЯЯ ФОРМА ФРАЗЕОЛОГИЧЕСКОЙ ЕДИНИЦЫ, КАК МОДЕЛЬ СИМВОЛИЗАЦИИ И КВАЗИСТЕРЕОТИПНОЙ СИТУАЦИИ

Гамкrelidze Н. О.

Департамент иностранных языков и коммуникаций, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. Костава, 77

**Резюме:** Идиома является лучшим средством как для отображения объективной реальности и действительности, так и для их рационального и компактного изложения. Она экономично выражает характерные значения и свойства той или иной ситуаций и ориентирована на существующую в познании субъекта языковую икону. Идиому необходимо рассмотреть как средство создания языковой картины мира, которая была образована в языке в результате когнитивного манипулирования уже существующего значения.

**Ключевые слова:** идиома; метафора; фразеологическая единица; внутренняя форма; фрейм; фоновое знание; языковая картина мира; идиоматизация; метафоризация; продукт познания; первичная номинация; оценочно-эмоциональная зависимость; символизация; прагматичное восприятие.

მიღებულია დასაბუჯლად 01.11.10

**შპაგ 80****ფრეიმი და ადამიანის მეტაფორული აზროვნება****ნ. გამყრელიძე**

უცხოური ენებისა და კომუნიკაციის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, კოსტავას 77

E-mail: n.gamkrelidze@mail.ru

**რეზიუმე:** ობიექტური რეალობა და სოციალური გარემო, რომელშიც ჩვენ ვცხოვრობთ განაპირობებს ენობრივი ნიშნის შინაფორმას. ის ყალიბდება ასოციაციურ წარმოდგენათა კვაზისტერეოტიპების კომპლექსში და ვერბალური საშუალებებით აერთიანებს ობიექტური რეალობის შემადგენელი ამა თუ იმ მოვლენისადმი „მიწერილ“ ნიშან-თვისებებს. აღნიშნული ენათმეცნიერებაში ცნობილია ტერმინით „Gestalt“ და ადამიანის მეტაფორული აზროვნების განუყოფელი შემადგენელი ნაწილია. მასში თითოეული სიტყვა ქმნის ე.წ. „კონკრეტულ ფრეიმს“ რაც ინდივიდის ფონურ ცოდნას მისი ეროვნული მსოფლმხედველობით განპირობებულ ასოციაციურ კავშირებს, აკუმულირებულ მენტალურ და ასოციაციურ-სიტუაციურ მოდელებს ემყარება.

**საკვანძო სიტყვები:** ენობრივი ნიშნის შინაფორმა; ასოციაციური წარმოდგენები; ასოციაციურ-სიტუაციური მოდელები, კვაზისტერეოტიპების კომპლექსი; „Gestalt“-ი, „გესტალტფსიქოლოგია“; მეტაფორული აზროვნება, ფონური ცოდნა; კონტრასტის ფსიქოლოგიური ზემოქმედება, ენობრივი ნიშნის მოტივაცია.

**1. შესავალი**

ნებისმიერ ენაში ენობრივი ერთეულის შინაფორმას განაპირობებს როგორც გარემომცველი სინამდვილე და სოციალური გარემო რომელშიც ვცხოვრობთ, ასევე მასში არსებული ძლიერი მეტაფორული ხატოვანება. ენობრივი ნიშნის შინაგანი ფორმა კომუნიკაციის პროცესში გაიაზრება საზოგადოების ცხოვრებისეული და შემოქმედებითი გამოცდილების ჭრილში. ის ყალიბდება ასოციაციურ წარმოდგენათა კვაზისტერეოტიპების კომპლექსში და ენობრივი საშუალებებით აერთიანებს ობიექტური რეალობის შემადგენელი ამა თუ იმ მოვლენისადმი „მიწერილ“ ნიშან-თვისებებს. ამგვარი სტერეოტიპები ენათმეცნიერებაში ცნობილია ტერმინით „Gestalt“ და ადამიანის მეტაფორული აზროვნების განუყოფელი შემადგენელი ნაწილია.

**2. ძირითადი ნაწილი**

„გესტალტფსიქოლოგიაში“ დამკვიდრებული მოსაზრების თანახმად სუბიექტი ყველა თავის ქმედებას, მათ შორის ენობრივსაც „გესტალტების“ მეშვეობით წარმართავს. ამდენად ნებისმიერი ენობრივი მოცემულობა ადამიანის ფონურ ცოდნაზე დამყარებულ „გესტალტურ მთლიანობად“ შეიძლება წარმოვიდგინოთ. თუ დავეყრდნობით ფსიქოლოგიაში არსებულ „ფიგურისა“ და „კონტრასტის“ ცნებებს, მაშინ ენობრივი ნიშნის ექსპრესიული ბუნებაც კონტრასტის ფსიქოლოგიური ზემოქმედების მექანიზმით შეიძლება ავხსნათ [1].

ენობრივი ნიშნის მოტივაციისა და მისი ნებისმიერობის პრობლემა კვლევის საგანს ჯერ კიდევ ანტიკურ პერიოდში წარმოადგენდა. ასე მაგალითად, ჩინური კლასიკური ფილოსოფიის აყვავების ხანაში ჩ.წ. აღრიცხვამდე V-III საუკუნეებში ამ საკითხის კვლევით დაინტერესებულნი იყვნენ კონფუცი და მისი მიმდევრები, ასევე ლევისტებისა და დაოსის ფილოსოფიური სკოლების წარმომადგენლები ამავე პრობლემას იკვლევდნენ ჩ.წ. აღრიცხვით V-VI საუკუნეებში ძველი ინდური გრამატიკული სკოლის წარმომადგენლები ბხატრიხარის ხელმძღვანელობით. თუმცა, უნდა აღინიშნოს, რომ სიტყვის „იდეის“ როგორც მოცემულობის კვლევას საფუძველი პირველად პლატონმა ჩაუყარა [2]. მან პირველმა უწოდა სახელის მოტივაციის საფუძველს „იდეა“ და განმარტა ის, როგორც შემაერთებელი რგოლი სახელსა და მის შინაარსს შორის.

ენობრივი ნიშნის „შინაფორმის“ როგორც ცნების ფუძემდებელი, გერმანელი მეცნიერი - ენისა და კულტურის ფილოსოფოსი ვ.ფ. ჰუმბოლდტი. მისი თეორიის მიხედვით „სიტყვა საგნის არა მხოლოდ გრძობად-აღქმადი ეკვივალენტი, არამედ იმის ეკვივალენტიცაა, თუ როგორ გაიაზრება ის ენობრივ-შემოქმედებითი აქტის პროცესში“ [3].

სიტყვის „შინაფორმის“ პრობლემამ მიიპყრო არა მარტო ენათმეცნიერთა, არამედ ფსიქოლოგთა ყურადღებაც. ქართველმა ფსიქოლოგმა დ.უზნაძემ, რომელმაც ფსიქოლოგიაში სრულიად ახალი მიმართულება შექმნა „განწყობის თეორიის“ სახით აღნიშნული საკითხის კვლევა ფსიქოლოგიურ ჭრილში განახორციელა. თავის

ნაშრომში “ენის შინაფორმა” [4]. დ. უზნაძე ენაში ლექსიკური ერთეულების შინაფორმის ფსიქოლოგიურ სტატუსს ადგენს და ხაზს უსვამს ერთი და იმავე საგნის სხვადასხვაგვარად ნომინაციის შესაძლებლობას. მას მოჰყავს ჰუმბოლდტის მიერ შემოთავაზებული კლასიკური მაგალითი, კონკრეტულად კი “სპილოს” აღმნიშვნელი სახელები სანსკრიტში. სიტყვა-სიტყვით ეს ლექსიკური ერთეული ნიშნავს “ორჯერ მსმელს” “ორკილიანს” “ორეშვიანს”. აღნიშნულ ფაქტს დ. უზნაძე ხსნის იმით, რომ ერთი და იმავე საგნის მიმართ ადამიანებს, სხვადასხვა დროს, სხვადასხვა განწყობა უჩნდებათ. ამის შესაბამისად, დ. უზნაძე აღნიშნავს, რომ სუბიექტს რეფერენტის ნომინაცია შეუძლია, როგორც სხვადასხვა ასპექტში, ასევე მისთვის კონკრეტულ მომენტში რელევანტური კუთხით. დ. უზნაძის მიხედვით სიტყვა განისაზღვრება არა ამა თუ იმ კონცეფციით ან იდეით, არამედ სუბიექტის მიერ წინასწარ “ფონური ცოდნის” საფუძველზე შექმნილი განწყობით. სიტყვის შინაფორმას კი, ქმნის არა ენის “ინტელექტუალური ნაწილი” ან ფსიქოლოგიური შინაარსი (ფუნდტი), არამედ განწყობა.

შეიძლება ვთქვათ, რომ სუბიექტი საგნის შემცენებისა და მისი ნომინაციის პროცესში ხაზს უსვამს აღსანიშნის იმ მარკერს, რაც კონკრეტულ მომენტში მისთვის მნიშვნელოვანი და რელევანტურია. საყურადღებოა ის გარემოება, რომ სუბიექტში იგულისხმება არა მხოლოდ ცალკე აღებული ინდივიდი, არამედ მთელი ენობრივი კოლექტივი, რომლის ენობრივი ხატი მის “ფონურ ცოდნაზე” დაფუძნებული მსოფლმხედველობითი ორიენტირებით განისაზღვრება. ცხადია, განსხვავებულ ენებში არსებობს სხვადასხვა ენობრივი მოცემულობა, რომელთა შინაგანი ფორმა და ხატოვანი მხარე ერთმანეთს ემთხვევა. ამდენად, საკვებით შესაძლებლად მიგვაჩნია, რომ სხვადასხვა ენაზე მოლაპარაკე ხალხს ამა თუ იმ კონკრეტული საგნის ნომინაციის მიმართ ერთნაირი წინასწარი განწყობა შეექმნას. აღნიშნული ფაქტის ახსნას ჩვენ ცხადია ვერ შევძლებთ საერთო ენობრივი სივრცით ან საერთო ისტორიულ-კულტურული განვითარების ტენდენციებით. სხვადასხვა ენობრივ კოლექტივში ერთგვაროვანი განწყობის არსებობა მსგავსი ასოციაციებისა და ზოგადად ადამიანური აზროვნების არსებობაზე მიუთითებს. ინდივიდის წინასწარ ფსიქოლოგიურ განწყობას რეფერენტის ნომინაციის პროცესში წინ უსწრებს ასოციაციის გზით მის “ფონურ ცოდნაზე” და ეროვნულ მსოფლმხედველობაზე დაფუძნებული აკუმულირებული შინაარსი, მენტალური და სიტუაციური მოდელი - ფრეიმი, რაც სუბიექტს

აძლევს შესაძლებლობას ობიექტის ნომინაცია განახორციელოს სხვადასხვა კუთხით მისთვის რელევანტური საშუალებებით.

მართებულად მიგვაჩნია მოკლედ განვმარტოთ ენობრივი ერთეულის ფრეიმულ სემანტიკასა და ლექსიკურ-სემანტიკურ ველს შორის არსებული ფუნდამენტური განმასხვავებელი პრინციპი. კერძოდ, უნდა აღვნიშნოთ, რომ ლექსიკურ-სემანტიკური ველის ამოსავალი არის სიტყვა და მისი მიმართებები სხვა სიტყვებთან. ფრეიმულ სემანტიკას რაც შეეხება, მასში თითოეული სიტყვა ქმნის ე.წ. “კონკრეტულ ფრეიმს” რაც ინდივიდის ფონურ ცოდნას მისი ეროვნული მსოფლმხედველობით განპირობებულ ასოციაციურ კავშირებს და მასში აკუმულირებულ მენტალურ, ასოციაციურ-სიტუაციურ მოდელებს ემყარება.

კვაზისიტემების კომპლექსი, ანუ იგივე “გემტალტები” უხვადაა ფოლკლორული ტიპის ზეპირ, თუ წერილობით ტექსტებში. მათი წარმოქმნის ძირითადი ხერხია საზოგადოებაში ჩამოყალიბებული მიზეზ-შედეგობრივი კავშირის გადატანა გარე სამყაროზე. ამგვარად სამყაროს შესახებ მიღებული “ფონური ცოდნა”, რომელიც ჩვენშია აკუმულირებული, კონდენსირდება და გადაეცემა ადამიანთა ურთიერთმიმართებების ყველა სფეროსა და ფორმას. ასე მაგალითად, როდესაც ვამბობთ „მელასავით ცბიერი ადამიანი“, ადამიანს მივაწერთ იმ ნიშან-თვისებას, რომელსაც თითქოსდა ფლობს მელა „თითქოს მელას შესწევს უნარი იყოს ცბიერი“ [5].

### 3. დასკვნა

ამრიგად, შეიძლება ვთქვათ, რომ სხვადასხვა ერში სემანტიკური ადეკვატურობის ახსნა, ალბათ უფრო საერთო ინტერკულტუროლოგიური განვითარების ტენდენციებში უნდა ვეძიოთ. ხატოვანება, რომელსაც შეიცავს „გემტალტი“ ადრესანტს უადვილებს კომუნიკაციის პროცესში საკუთარი ემოციური მდგომარეობის გამოხატვას და უზრუნველყოფს ადრესატის მიერ ნათქვამის სწორად გაგებას. ამის საწინდარი კი ის სტერეოტიპია, რომელიც ადრესატის ცნობიერებაში უკვე წინასწარ მზა ფორმით მოცემულ “ფონურ ცოდნაზე“, მსოფლმხედველობით ორიენტირებზე და მის ცნობიერებაში არსებულ ფრეიმულ სქემებზეა დაფუძნებული. ხატოვანება, რომელსაც შეიცავს „გემტალტი“ ადრესანტს უადვილებს კომუნიკაციის პროცესში საკუთარი ემოციური მდგომარეობის გამოხატვას და უზრუნველყოფს ადრესატის მიერ ნათქვამის სწორად გაგებას. ამის საწინდარი კი ის სტერეოტიპია, რომელიც ადრესატის ცნობიერებაში უკვე წინასწარ მზა ფორმით მოცემულ “ფონურ ცოდნაზე“, მსოფლმხედველობით ორიენტირებზე

და მის ცნობიერებაში არსებულ ფრეიმულ სტრუქტურებს დაფუძნებული.

### ლიტერატურა

1. Лакофф Д.Ж., Джонсон М. Метафоры, которыми мы живем//Язык и проблемы социального взаимодействия. Москва: Наука, 1988, с.24-30, 359-361.
2. История лингвистических учений. Древний мир. Ленинград: Прогресс, 1980, с.94-97, 131-132.
3. Гумбольдт В.Ф. Различие строения человеческих языков и его влияние на духовное развитие человека // В.Ф. Гумбольдт. Избранные труды по языкознанию. Москва: Наука, 1984.
4. ღ. უზნაძე ენობრივი განწყობის შესახებ. ენის შინაფორმა // საქსსრ.აკადემიის. ფსიქოლოგიის ინსტიტუტის შრომები, თ.4, თბილისი, 1947.
5. Жоль К.К. Мысль, слово, метафора // Проблема семантики в философском освещении. Киев, 1984, с.40-45.

## UDC 80

### FRAME AND THE METAPHORIC THINKING OF A PERSON

**N. Gamkrelidze**

Department of foreign languages and communications, Georgian Technical University, 77, Kostava str, Tbilisi, 0175, Georgia

**Resume:** The Internal form of a language sign is defined by an objective reality and the surrounding social environment. It is established in a complex quasytereotypes of associative representations and verbal means unites attributed to the property phenomenon making an objective reality. In linguistics noted it is known under the term "Gestalt" and it is an integral part of metaphoric thinking of the person based on frame semantics. In it each word creates so-called "concrete frame" and is based on background knowledge of the individual, accumulated mental, associative-situational models, defined by national outlook of the associative unions.

**Key words:** internal form of a language sign, associative representations, associative-situational models, complex quasyystems, "Gestalt", "Gestalt psychology", metaphoric thinking, background knowledge, psychological influence of contrast, motivation of a language sign.

## УДК 80

### ФРЕЙМ И МЕТАФОРИЧЕСКОЕ МЫШЛЕНИЕ ЧЕЛОВЕКА

**Гамкრელიძე Н.О.**

Департамент иностранных языков и коммуникаций, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. Костава, 77

**Резюме:** Внутреннюю форму языкового знака определяет объективная реальность и окружающая социальная среда. Она устанавливается в комплексе квазистереотипов ассоциативных представлений и вербальными средствами объединяет приписанные к какому-либо явлению свойства, составляющие объективную реальность. В языкознании отмеченное известно под термином "Gestalt" и оно является неотъемлемой частью метафоричного мышления человека, основанного на фреймной семантике. В нем каждое слово создает т.н. "конкретный фрейм" и опирается на фоновое знание индивида, аккумулированные ментальные, ассоциативно-ситуационные модели, ассоциативные союзы, определенные национальным мировоззрением.

**Ключевые слова:** внутренняя форма языкового знака; ассоциативные представления; ассоциативно-ситуационные модели; комплекс квазисистем; "Gestalt"; "гештальд-психология"; метафоричное мышление; фоновое знание; психологическое влияние контраста; мотивация языкового знака.

*მიღებულია დასაბუჯლად 01.11.2010*

## ავტორთა საძიებელი

## Author's index

## Указатель авторов

ავალიანი ხ. 20	მღებრიშვილი ნ. 67, 78	Kublashvili Z. 72
ბერიშვილი მ. 51	მშვენიერაძე ი. 25	Mchedlishvili Z. 72
ბერიშვილი ნ. 9, 12	ნემსაძე შ. 36	Tavkheldze D. 72
ბერიძე ლ. 15	სიმონგულაშვილი ზ. 36	Амилахвари Г.Н. 46
ბუნნიკაშვილი პ. 82	ტოკაძე ლ. 51	Гулуа Д.В. 46
ბუნნიკაშვილი თ. 82	ქუთათელაძე რ. 87	Дарсавелидзе Г.Ш. 42
გამყრელიძე ნ. 95, 99	შარაშენიძე გ. 67, 78	Дарчиашвили М.Д. 42
გიორგობიანი რ. 9, 12	შარაშენიძე ს. 67, 78	Майсурадзе Н.И. 42
დუნდუა თ. 67, 78	შიუკაშვილი თ. 91	Микадзе О.И. 42
ზედგინიძე ი. 61	ჩიქოვანი ნ. 36	Пициа Г.М. 46
ზვიადაძე უ. 20	ჩხეიძე ი. 51	Топурия С.Б. 55
კლდიაშვილი ვ. 36	ციტრავა მ. 36	Хочолава В.В. 55
კობიაშვილი ა. 87	ხმელიძე თ. 9, 12	
კურტანიძე პ. 67, 78	Gvetadze D. 29	
მენაბდე თ. 61	Gvetadze R. 29	

## ავტორთა საყურადღებოდ!

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამეცნიერო შრომების [კრებული](#) არის რეგულარული პერიოდული გამოცემა, რომელიც გამოიცემა წელიწადში ოთხჯერ (პირველი ნომერი მოიცავს პერიოდს 1 იანვრიდან 31 მარტამდე, მეორე ნომერი - 1 აპრილიდან 30 ივნისამდე, მესამე ნომერი - 1 ივლისიდან 30 სექტემბრამდე და მეოთხე - 1 ოქტომბრიდან 31 დეკემბრამდე).

კრებულის დანიშნულებაა მეცნიერების განვითარების ხელშეწყობა, მეცნიერთა და სპეციალისტთა მიერ მოპოვებული ახალი მიღწევების, გამოკვლევათა მასალებისა და შედეგების ოპერატიულად გამოქვეყნება.

სტატიების მიღება შესაძლებელია ქართულ, რუსულ და ინგლისურ ენებზე (ქვეყნდება ორიგინალის ენაზე).

ავტორს შეუძლია მხოლოდ ორი სტატიის მოწოდება.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის თანამშრომელთათვის სტატიის გამოქვეყნება უფასოა.

სტატიის ავტორთა რაოდენობა ხუთს არ უნდა აღემატებოდეს.

კრებულში ქვეყნდება სტატიები მეცნიერული კვლევების ახალი შედეგების შესახებ შემდეგი თეორიული და გამოყენებითი დარგების მიხედვით:

- მშენებლობა
- ენერგეტიკა, ტელეკომუნიკაცია
- სამთო-გეოლოგია
- ქიმიური ტექნოლოგია, მეტალურგია
- არქიტექტურა, ურბანისტიკა, დიზაინი
- ინფორმატიკა, მართვის სისტემები
- სატრანსპორტო, მანქანათმშენებლობა
- ჰუმანიტარულ-სოციალური
- ნაგებობების, სპეციალური სისტემებისა და საინჟინრო უზრუნველყოფის ინსტიტუტი.

გთავაზობთ სამეცნიერო სტატიის გაფორმების წესს:

- ნაშრომის მოცულობა განისაზღვრება A4 ფორმატის ქაღალდის 1,5 ინტერვალით ნაბეჭდი 5-7 გვერდით (მინდვრები 2 სმ) ნახაზების, გრაფიკების, ცხრილების და ლიტერატურის ჩამონათვალით;
- სტატია შესრულებული უნდა იყოს DOC ფაილის სახით (MS-Word) ჩაწერილი ნებისმიერ მაგნიტურ მატარებელზე;

- ქართული ტექსტისთვის გამოიყენეთ Acadnux შრიფტი, ზომა 12;
- ინგლისური და რუსული ტექსტის შრიფტი - Times New Roman, ზომა 12;
- სტატიის თავი უნდა შეიცავდეს შემდეგ ინფორმაციას:
  - უაკ-ს (უნივერსალური ათწილადი კლასიფიკაცია);
  - ავტორის/ავტორების სახელს, მამის სახელს, გვარს;
  - ავტორის/ავტორების ელექტრონული ფოსტის მისამართს და საკონტაქტო ტელეფონს;
  - დეპარტამენტის დასახელებას სამივე ენაზე;
  - საკვანძო სიტყვებს სამივე ენაზე.
- სტატიაში ქვესათაურებით გამოკვეთილი უნდა იყოს შესავალი, ძირითადი ნაწილი და დასკვნა;
- ნახაზების ან ფოტოების კომპიუტერული ვარიანტი შესრულებული უნდა იყოს TIFF ფორმატში გარჩევადობით 150 dpi;
- სტატიას უნდა ახლდეს რეზიუმე ქართულ, ინგლისურ და რუსულ ენებზე;
- სტატია შედგენილი უნდა იყოს წიგნიერად, სწორმეტყველებისა და ტერმინოლოგიის დაცვით, სტილისტური და ტექნიკური შეცდომების გარეშე;
- ავტორი/ავტორები პასუხს აგებს სტატიის შინაარსსა და ხარისხზე.

გთავაზობთ სტატიის წარმოდგენისთვის საჭირო დოკუმენტაციის ჩამონათვალს:

- ორი რეცენზია;
- ფაკულტეტის სწავლულ ექსპერტთა დარგობრივი კომისიის სხდომის ოქმის ამონაწერი;
- ფაკულტეტის ან მიმართულების სემინარის ოქმის ამონაწერი.



---

### **To the authors attention!**

Transactions of Georgian Technical University represents reviewed, periodical edition, which there is published four times in year. (the first number includes the period from 1 January to 31 March, the second number - from 1 April to 30 June, the third number - from 1 July to 30 September and the fourth - from 1 October to 31 December).

Purpose of collection is assistance of science development, new achievements of scientists and specialists, operative publication materials and results of scientific researches.

The articles are accepted in Georgian, English and Russian languages (are published in original language).

Author is allowed to present only two articles.

The publication of articles for the workers of Georgian Technical University is free of charge.

The amount of authors of article mustn't exceed 5.

In transactions are published articles about new results of scientific researches according to the following theoretical and applied sphere:

- Building
- Energetics, telecommunication
- Mining-geology
- Chemical technology, metallurgy
- Architecture, urbanist, design
- Informatic, systems of management
- Transport, engineering industry
- Humanitarian-social
- Institute of buildings, special systems and engineering maintenance

There is offered the rule of official registration of scientific articles:

- The volume of work is determined A4 paper size at 1,5 line spacing 5-7 printed page (margins - 2cm) draughts, diagrams, tables and a list of literature.
- The article should be carried out in form file DOC (MS-WORD), written down on any magnetic carrier
- For Georgian text is used Acadnux font, size 12
- For English and Russian texts is used font - Times New Roman, size 12;

- 
- The beginning of the article should contain the following informations
    - UDC (Universal Decimal Classification)
    - Name, surname, of author/authors
    - E-mail and contact telephone of author/authors
    - The name of department in all three languages
    - Key words in all three languages
  - In the article with subtitles should be isolated introduction, the body of the article and conclusion
  - Computer version of pictures or photos must be done in size TIFF with the recognition 150 dpi
  - The article should have resume in Georgian, English and Russian languages
  - The article should be written correctly, with the observance terminology, without stylistic and grammatical mistakes.
  - Author/authors are responsible for content and quality of article.

There is offered the following documentation for the article presentation:

- Two reviews;
- Extract from the minutes of a branch commission meeting of faculty learned experts;
- Extract from the seminar minutes of faculty or direction.

## К сведению авторов!

Сборник научных трудов Грузинского технического университета является реферированным периодическим изданием, которое выходит в свет четыре раза в год (первый номер включает период с 1 января по 31 марта, второй номер – с 1 апреля по 30 июня, третий номер – с 1 июля по 30 сентября и четвертый – с 1 октября по 31 декабря).

Назначение сборника – содействие развитию наук, новых достижений ученых и специалистов, оперативная публикация материалов и результатов исследований.

Принимаются статьи на грузинском, русском и английском языках (публикуются на языке оригинала).

Автор может представить только две статьи.

Для сотрудников Грузинского технического университета статьи публикуются бесплатно.

Количество авторов статьи не должно превышать 5.

В сборнике печатаются статьи, касающиеся новых результатов исследований по следующим теоретическим и прикладным отраслям:

- Строительство.
- Энергетика, телекоммуникации.
- Горное дело-геология.
- Химическая технология, металлургия.
- Архитектура, урбанистика, дизайн.
- Информатика, системы управления.
- Транспорт, машиностроение.
- Гуманитарная – социальная.
- Сооружения, специальные системы, инженерное обеспечение.

Предлагаем порядок оформления научных статей:

- Объем работы определяется форматом бумаги А4 с интервалом 1,5, 5-7 печатными страницами (поля = 2см), с перечислением рисунков, графиков, таблиц и списка литературы.
- Статья должна быть выполнена в виде файла DOC (MS-Word), записанного на любом магнитном носителе.
- Для грузинского текста используется шрифт Acadnusx, размер 12.
- Для английского и русского текстов – шрифт Times New Roman, размер 12.

- 
- В начале статьи должна содержаться следующая информация:
    - УДК (Универсальная десятичная классификация).
    - Фамилия, имя, отчество автора/авторов.
    - Адрес электронной почты автора/авторов и контактный телефон.
    - Название департамента на трех языках.
    - Ключевые слова на трех языках.
  - В статье подзаголовками следует выделить введение, основную часть и заключение.
  - Компьютерный вариант рисунков или фото должен быть выполнен в формате TIFF распознаванием 150 dpi.
  - Статья должна иметь резюме на грузинском, русском и английском языках.
  - Статья должна быть написана грамотно, с соблюдением терминологии, без стилистических и грамматических ошибок.
  - Автор/авторы ответствен/ы за содержание и качество статьи.

Для представления статьи необходимы следующие документы:

- Две рецензии.
- Выписка из протокола заседания отраслевой комиссии ученых-экспертов факультета.
- Выписка из протокола семинара факультета или направления.

რედაქტორები: ნ. დოლიძე, დ. ქურიძე, მ. პრეობრაჟენსკაია  
კომპიუტერული უზრუნველყოფა ე. ქარჩავასი

გადაეცა წარმოებას 12.01.2011. ხელმოწერილია დასაბეჭდად 18.03.2011. ბეჭდვა  
ოფსეტური. ქაღალდის ზომა 60X84 1/8. პირობითი ნაბეჭდი თაბახი 6,5. ტირაჟი 100 ეგზ.  
შეკვეთა №

საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, თბილისი, კოსტავას 77

