

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი  
GEORGIAN TECHNICAL UNIVERSITY  
ГРУЗИНСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ISSN 1512-0996

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

№2(488)



თბილისი – TBILISI – ТБИЛИСИ  
2013

### სარედაქციო კოლეგია:

ა. ფრანგიშვილი (თავმჯდომარე), ლ. კლიშიაშვილი (თავმჯდომარის მოადგილე), ზ. გასიტაშვილი (თავმჯდომარის მოადგილე), ა. აბრალავა, გ. აბრამიშვილი, ა. აბშილავა, თ. ამბროლაძე, ე. ბარათაშვილი, 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. მესხი, ბ. იმნაძე, ი. კვესელავა, ტ. კვიციანი, თ. ლომინაძე, ი. ლომიძე, მ. მაცაბერიძე, თ. მეგრელიძე, ა. მოწონელიძე, ლ. მძინარიშვილი, დ. ნატროშვილი, ნ. ნაცვლიშვილი, შ. ნემსაძე, დ. ნოზაძე, გ. სალუკვაძე, ქ. ქოქრაშვილი, ე. ქუთელია, ა. შარვაშიძე, მ. ჩხეიძე, თ. ჯაგოდნიშვილი, ნ. ჯიბლაძე, თ. ჯიშკარიანი.

### EDITORIAL BOARD:

A. Prangishvili (chairman), L. Klimiashvili (vice-chairman), Z. Gasitashvili (vice-chairman), A. Abzalava, G. Abramishvili, A. Abshilava, T. Ambroladze, E. Baratashvili, T. Batsikadze, J. Beridze, T. Gabadadze, J. Gakhokidze, O. Gelashvili, A. Gigineishvili, Al. Grigolishvili, E. Elizbarashvili, S. Esadze, Vl. Vardosanidze, U. Zviadadze, O. Zumburidze, D. Tavkheldidze, E. Tevzadze, M. Meskhi, B. Imnadze, I. Kveselava, T. Kvitsiani, T. Lominadze, I. Lomidze, M. Matsaberidze, T. Megrelidze, A. Motzonelidze, L. Mdzinarishvili, D. Natroshvili, N. Natsvlishvili, Sh. Nemsadze, D. Nozadze, G. Salukvadze, K. Kokrashvili, E. Kutelia, A. Sharvashidze, 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. Амброладзе, Е. Бараташвили, Т. Бацикадзе, Дж. Беридзе, Т. Габададзе, Дж. Гахокидзе, О. Гелашвили, А. Гигинеишвили, Ал. Григолишвили, Э. Элизбарашвили, С. Эсадзе, Вл. Вардосанидзе, У. Звиаддзе, О. Зумбуридзе, Д. Тавхелидзе, Е. Тевзадзе, М. Месхи, Б. Имнадзе, И. Квеселова, Т. Квициани, Т. Ломинадзе, И. Ломидзе, М. Мацаберидзе, Т. Мегрелидзе, А. Моцонелидзе, Л. Мдзинаришвили, Д. Натрошвили, Н. Нацвлишвили, Ш. Немсадзе, Д. Нозадзе, Г. Салуквадзе, К. Кокрашвили, В. Кутелия, А. Шарвашидзе, М. Чхеидзе, Т. Джагоднишвили, Н. Джибладзе, Т. Джишкარიани.



საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 2013

Publishing House “Technical University”, 2013

Издательский дом “Технический Университет”, 2013

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



Verba volant,  
scripta manent

# შინაარსი

## მშენებლობა

ა. სოსაძე, გ. მაისურაძე, ლ. ჩალაძე, ი. აბრამიშვილი. მრავალსართულიანი კარკასული შენობების ღუნვადი ელემენტები ხისტარმატურიანი კვითებით .....9

ლ. ჩალაძე. მრავალსართულიანი კარკასული შენობების ღუნვადი ელემენტები ხისტარმატურიანი კვითებით ..... 13

ზ. ციხელაშვილი, გ. ჯერენაშვილი, შ. ციხელაშვილი, ა. გრიგოლიშვილი, ი. მარგალიტაძე. საინჟინრო ნაგებობებისა და მათი ელემენტების სამქსკალუბრაციო მდგრადობა-ვარდისიანობის მახასიათებელი პარამეტრების ექსპერტული შეფასების მეთოდობა ..... 16

## ენერგეტიკა და ტელეკომუნიკაცია

ვ. მელიქიშვილი. ღუნვის ბარდამქმნელში ბარდამავალი ელექტრომაგნიტური პროცესების გამოკვლევის სასრულ-სხვაობითი მეთოდის განზოგალება ..... 19

ვ. მელიქიშვილი. ორბობიან ბარდამქმნელში ბარდამავალი პროცესების გამოსაკვლევი სრულყოფილი სხვაობითი ბანტოლების ბამოქვანა ..... 24

## სამთო-ბეოლოგია

უ. ზვიადაძე, მ. მარდაშოვა, ა. ქემოკლიძე. ხულონჰის მშენებლობის ბანახლებასთან დაკავშირებული საინჟინრო-ბეოლოგიური საკითხები ..... 30

ნ. მოლოდინი, რ. მოლოდინი. ვაკუუმ-ამბრავების საკონტაქტო ზედაპირების ოპტიმალური პარამეტრების კვლევა და ანალიზი ..... 36

ნ. კიენაძე ნ. მექვაბიშვილი. საბანბბო სიტუაციებისაბან ინდივიდუალური დამცავი საშუალებების ბამოქმენბა ..... 40

## ქიმიური ტექნოლოგია, მეტალურგია

ზ. საბაშვილი, დ. თავხელიძე, ა. სულამანიძე, ნ. კოდუა, ზ. მჭედლიშვილი. წყლის ორთქლის ბარემოში პლახმური დამუშავების თბური ბალანსი ..... 44

ზ. საბაშვილი, დ. თავხელიძე, ა. სულამანიძე, ნ. კოდუა, ი. ფუხაშვილი. პლახმური ჰრა მაღალ წნევეზა ..... 48

ა. სარუხანიშვილი, დ. ბიბილეიშვილი, ქ. კობიაშვილი. ბარიუმის შიმცველი რიბი სილიკატების  $\Delta H^0_{f,298}$ -სა და  $S^0_{298}$ -ის დამბნა ბრავიკული და საანბარიშო ხერხებით ..... 52

გ. გორდეზიანი, გ. ჯანდიერი, რ. ზეჟალაშვილი. Fe-Cr-C სისტემის არარეზულარული მქარი ხსნარის სამ ფახალ ბანშრევეების თერმოდინამიკური მოდელირება ..... 56

ა. დგებუაძე, ბ. გოდიბაძე, ა. ფეიქრიშვილი, ა. გორდეზიანი, მ. ოქროსაშვილი. ცხლად ავითქებით ნანოსტრუქტურული ვოლფრამ-მერცხლის კომპოზიციური ნამზადების დანენბა და მათი სტრუქტურის კვლევა ..... 60

მ. ძეკონსკაია, ს. კოპალეიშვილი ტ. ბუაჩიძე. ცელობიოზა, რობორც ცელულოზური კომპლექსების ენდოგლუქანაზების მარმბულირებაელი რმაქციის აქტივატორი ..... 65

მ. ძეკონსკაია, ს. კოპალეიშვილი, თ. ბუაჩიძე. ცელულოზის ფერმენტული ჰიდროლიზი ..... 67

## ტრანსპორტი, მანქანათმშენებლობა

თ. მეგრელიძე, გ. გუგულაშვილი, ე. სადალაშვილი, გ. ბერუაშვილი. აბსორბციულ მაცივარში მუშა აბენტის ცირკულაციის ახალი სქემა ..... 71

თ. მეგრელიძე, ზ. ჯაფარიძე, ე. სადალაშვილი, გ. გუგულაშვილი. ახალი მემბრანული აპარატი კვების თხევალი პროდუქტების ბაშენებლობისათვის ..... 76

ზ. ჩიტიძე, ი. გელაშვილი, ვ. კანდელაკი, მ. ჩიტიძე. ლენტური ხერხების რხევეების ბანსახლვრა ..... 82

**ზ. ჩიტბე, ი. გელაშვილი, ვ. კანდელაკი, მ. ჩიტბე, ვ. აბაიშვილი. დამუშავებული  
ზედაპირის სისუფთავე მერქნული კომპოზიციური მასალების დახერხვისას .....84**

**არქიტექტურა, ურბანისტიკა, დიზაინი**

**რ. ალიევა. ნარღარანის ისტორიულ-კულტურული ნაკრძალის სამოქალაქო  
არქიტექტურა (სასახლეები და საყოფაცხოვრებო-სამეურნეო ნაგებობები)..... 88**

**მ. მიკაილოვა. XIX და XX საუკუნის დასაწყისის ბაქოს არქიტექტურის სტილის  
ხასიათი..... 93**

**ბიზნესინჟინერინგი**

**ნ. გამყრელიძე. ვრაზეო-სემანტიკური კლასი “სუბიექტის პიროვნული თვისებები”  
ინტერსუბიექტურ ჯრილში ..... 97**

**ნ. გამყრელიძე. “ენა – ვარიანტის” ურთიერთმიმართების საკითხი თანამედროვე  
გერმანულ ენაში ..... 101**

**ავტორთა საკივბელი ..... 104**

**ავტორთა საქურადღებოდ ..... 105**

# CONTENTS

## BUILDING

- A. Sokhadze, G. Maisuradze, L. Chaladze, I. Abramishvili.** THE MULTISTORYED FRAME BUILDINGS COLUMNS WITH RIGID REINFORCED SECTIONS ..... 9
- L. Chaladze.** THE MULTISTORY FRAME BUILDINGS BENDING ELEMENTS WITH RIGID REINFORCED SECTIONS..... 13
- Z. Tsikhelashvili, G. Jerenashvili, Sh. Tsikhelashvili, A. Grigolishvili, I. Margalitadze.** METHODS OF PEER REVIEW OF THE CHARACTERISTIC PARAMETERS OF OPERATIONAL STABILITY - PROFITABILITY FOR ENGINEERING STRUCTURES AND THEIR ELEMENTS..... 16

## ENERGETICS AND TELEKOMMUNICATION

- V. Melikishvili.** GENERALIZATION OF FINAL-DIFFERENTIAL METHOD FOR INVESTIGATION OF TRANSIENT ELECTRO-MAGNETIC PROCESSES IN THE CURRENT TRANSFORMER..... 19
- V. Melikishvili.** DERIVATION OF PERFECT DIFFERENTIAL EQUATION FOR INVESTIGATION OF TRANSIENT PROCESS IN TWO-BRIDGES TRANSFORMER ..... 24

## MINING AND GEOLOGY

- U. Zviadadze, M. Mardashova, A. Kemoklidze.** ENGINEERING – GEOLOGICAL QUESTIONS CONNECTED WITH RENEWAL OF KHUDONI HYDRO-ELECTRIC POWER STATION ..... 30
- N. Molodini, R. Molodini.** RESULTS OF THE THEORETICAL AND EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE VACUUM – DRIVES OPTIMAL PARAMETERS AND THEIR ANALYSIS ..... 36
- N. Kiknadze, N. Mekvabishvili.** USE OF INDIVIDUAL PROTECTIVE MEANS FROM EXTRAORDINARY SITUATIONS..... 40

## CHEMICAL TECHNOLOGY, METALLURGY

- Z. Sabashvili, D. Tavkhelidze, A. Sulamanidze, N. Kodua, Z. Mchedlishvili.** THERMAL BALANCE OF PLASMATIC PROCESSING OF MATERIALS IN THE ENVIRONMENT OF WATER STEAM..... 44
- Z. Sabashvili, D. Tavkhelidze, A. Sulamanidze, N. Kodua, I. Pukhashvili.** PLASMATIC ARC CUTTING AT HIGH PRESSURES ..... 48
- A. Sarukhanishvili, D. Bibileishvili, K. Kobiashvili.** DETERMINATION OF  $\Delta H_{f,298}^{\circ}$  AND  $S_{298}^{\circ}$  FOR SOME BARIUM-CONTAINING SILICATES BY THE GRAPHIC AND CALCULATION METHOD ..... 52
- G. Gordeziani, G. Jandieri, R. Zekalashvili.** THERMODYNAMIC MODELING OF SEPARATION INTO THREE PHASES OF IRREGULAR SOLID SOLUTION OF FE-CR-C SYSTEM..... 56
- A. Dgebuadze, B. Godibadze, A. Peikrishvili, A. Gordeziani, M. Okrosashvili.** HOT EXPLOSIVE PRESSING OF NANOSTRUCTURAL TUNGSTEN-SILVER COMPOSITE BILLETS AND INVESTIGATION THEIR STRUCTURE..... 60
- M. Dzekonskaia, S. Kopaleishvili, T. Buachidze.** CELLOBIOSE, AS A REGULATOR OF ENDOGLUCANASE ACTIVITY OF CELLULOSE COMPLEXES MECHANISM OF THE REGULATION..... 65
- M. Dzekonskaia, S. Kopaleishvili, T. Buachidze.** THE FERMENT HYDROLYSIS OF CELLULOSE ..... 67

## TRANSPORT, MECHANICAL ENGINEERING

- T. Megrelidze, G. Gugulashvili, E. Sadagashvili, G. Beruashvili.** THE NEW SCHEME OF CIRCULATION OF WORKING AGENT IN ABSORPTION REFRIGERATOR..... 71
- T. Megrelidze, Z. Japaridze, E. Sadagashvili, G. Gugulashvili.** NEW MEMBRANE APPARATUS FOR THE NEUTRALIZATION OF LIQUID FOOD PRODUCTS ..... 76
- Z. Chitidze, I. Gelashvili, V. Kandelaki, M. Chitidze.** DEFINITION OF BAND-SAW OSCILLATIONS..... 82
- Z. Chitidze, I. Gelashvili, V. Kandelaki, M. Chitidze, V. Abaishvili.** PROCESSED SURFACE CONDITION AT SAWING OF TIMBER COMPOSITE MATERIALS ..... 84

**ARCHITECTURE, URBANIZATION, DESIGN**

**R. Aliyeva.** CIVIL ARCHITECTURE OF THE STATE HISTORICO-CULTURAL PRESERVE OF NARDARAN  
(PALACE, HOUSING-ECONOMIC BUILDINGS) ..... 88

**M. Mikayilova.** THE STYLE CHARACTER OF ARCHITECTURE IN BAKU IN THE XIX - EARLY XX CENTURY ..... 93

**BUSINESS-ENGINEERING**

**N. Gamkrelidze.** PHRASEO - SEMANTIC CLASS "SUBJECT'S PERSONAL CHARACTERISTICS" IN INTERSUBJECTIVE  
DESIGN ..... 97

**N. Gamkrelidze.** LANGUAGE INTERRELATION AND ITS VARIANT IN THE MODERN GERMAN LANGUAGE ..... 101

**AUTHORS INDEX** ..... 104

**TO THE AUTHORS ATTENTION** ..... 107

# СОДЕРЖАНИЕ

## СТРОИТЕЛЬСТВО

<b>А.П. Сохадзе, Г.Дж. Маисурадзе, Л.Р. Чаладзе, И.Т. Абрамишвили.</b> КОЛОННЫ МНОГОЭТАЖНЫХ КАРКАСНЫХ ЗДАНИЙ С ЖЕСТКИМ СЕЧЕНИЕМ АРМАТУРЫ .....	9
<b>Л.Р. Чаладзе.</b> ГИБКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ МНОГОЭТАЖНЫХ КАРКАСНЫХ ЗДАНИЙ С ЖЕСТКИМ СЕЧЕНИЕМ АРМАТУРЫ .....	13
<b>З.И. Цихелашвили, Г.В. Джеренашвили, Ш.З. Цихелашвили, А.Р. Григолишвили, И.Н. Маргалитадзе.</b> МЕТОДИКА ЭКСПЕРТНОЙ ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ УСТОЙЧИВОСТИ-ВЫГОДНОСТИ ДЛЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ И ИХ ЭЛЕМЕНТОВ .....	16

## ЭНЕРГЕТИКА И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

<b>В.Т. Меликишвили.</b> ОБОБЩЕНИЕ КОНЕЧНО-РАЗНОСТНОГО МЕТОДА ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ В ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ ТОКА.....	19
<b>В. Т. Меликишвили.</b> ВЫВОД УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО РАЗНОСТНОГО УРАВНЕНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ДВУХМОСТОВОМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕ.....	24

## ГОРНОЕ ДЕЛО И ГЕОЛОГИЯ

<b>У.И. Звиададзе, М.Л. Мардашова, А.М. Кемоклидзе.</b> ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ, СВЯЗАННЫЕ С ВОЗОБНОВЛЕНИЕМ СТРОИТЕЛЬСТВА ХУДОНИ ГЭС .....	30
<b>Н.Ш. Молодини, Р.Н. Молодини.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОНТАКТНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ВАКУУМ –ПРИВОДА .....	36
<b>Н.Т. Кикнадзе, Н.З. Меквабишвили.</b> ПРИМЕНЕНИЕ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЗАЩИТНЫХ СРЕДСТВ ОТ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ .....	40

## ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ, МЕТАЛЛУРГИЯ

<b>З.В. Сабашвили, Д.Д. Тавхелидзе, А.К. Суламанидзе, Н.П. Кодуа, З.Т. Мчедлишвили.</b> ТЕПЛОВЫЙ БАЛАНС ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ В СРЕДЕ ВОДЯНОГО ПАРА .....	44
<b>З.В. Сабашвили, Д.Д. Тавхелидзе, А.К. Суламанидзе, Н.П. Кодуа, И.В. Фухашвили.</b> ПЛАЗМЕННАЯ РЕЗКА НА ПОВЫШЕННЫХ ДАВЛЕНИЯХ .....	48
<b>А.В. Саруханишвили, Д.В. Бибилейшвили, К.Э. Кобиашвили.</b> УСТАНОВЛЕНИЕ $\Delta n_{f,298}^0$ И $S_{298}^0$ ДЛЯ РЯДА БАРИЙСОДЕРЖАЩИХ СИЛИКАТОВ СПОСОБАМИ ГРАФИКИ И РАСЧЕТА.....	52
<b>Г.А. Гордезиани, Г.В. Джандиери, Р.К. Зекалшвили.</b> ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАССЛОЕНИЯ НА ТРИ ФАЗЫ НЕРЕГУЛЯРНОГО ТВЁРДОГО РАСТВОРА СИСТЕМЫ FE-CR-C.....	56
<b>А.А. Дгебуадзе, Б.А. Годибадзе, А.В. Пеикришвили, А.Г. Гордезиани, М.Н. Окросашвили.</b> ГОРЯЧЕЕ ВЗРЫВНОЕ ПРЕССОВАНИЕ НАНОСТРУКТУРНОЙ КОМПОЗИЦИИ ВОЛЬФРАМ-СЕРЕБРО И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ СТРУКТУРЫ .....	60
<b>М.Л. Дзеконская, С.Г. Копалеишвили, Т.Ш. Буачидзе.</b> ЦЕЛЛОБИОЗА – РЕГУЛЯТОР АКТИВНОСТИ ЭНДОГЛЮКАНАЗ ЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ КОМПЛЕКСОВ МЕХАНИЗМА РЕГУЛЯЦИИ.....	65
<b>М.Л. Дзеконская, С.Г. Копалеишвили, Т.Ш. Буачидзе.</b> К ВОПРОСУ О ФЕРМЕНТАТИВНОМ ГИДРОЛИЗЕ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ .....	67

## ТРАНСПОРТ, МАШИНОСТРОЕНИЕ

<b>Т.Я. Мегрелидзе, Г.Л. Гугулашвили, Э.З. Садагашвили, Г.Ш. Бериашвили.</b> НОВАЯ СХЕМА ЦИРКУЛЯЦИИ РАБОЧЕГО АГЕНТА В АБСОРБЦИОННОМ ХОЛОДИЛЬНИКЕ .....	71
<b>Т.И. Мегрелидзе, З.Ш. Джапаридзе, Э.З. Садагашвили, Г.Л. Гугулашвили.</b> НОВЫЙ МЕМБРАННЫЙ АППАРАТ ДЛЯ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ЖИДКИХ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ .....	76

<b>З.Д. Читидзе, И.Н. Гелашвили, В.Э. Канделаки, М.З. Читидзе. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛЕБАНИЙ ЛЕНТОЧНЫХ ПИЛ</b> .....	82
<b>З.Д. Читидзе, И.Н. Гелашвили, В.Э. Канделаки, М.З. Читидзе, В.В. Абаишвили. ЧИСТОТА ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ РАСПИЛОВКЕ ДРЕВЕСНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ</b> .....	84
<b>АРХИТЕКТУРА, УРБАНИСТИКА, ДИЗАЙН</b>	
<b>Р. Ш. Алиева. ГРАЖДАНСКАЯ АРХИТЕКТУРА ГОСУДАРСТВЕННОГО ИСТОРИКО-КУЛЬТУРНОГО ЗАПОВЕДНИКА НАРДАРАН (ДВОРЦЫ И ЖИЛИЩНО-ХОЗЯЙСТВЕННЫЕ СТРОЕНИЯ)</b> .....	88
<b>М.Н. Микаилова. СТИЛЕВОЙ ХАРАКТЕР АРХИТЕКТУРЫ БАКУ В XIX – НАЧАЛЕ XX ВЕКА</b> .....	93
<b>БИЗНЕС-ИНЖЕНЕРИНГ</b>	
<b>Н.О. Гамкрелидзе. ФРАЗЕО - СЕМАНТИЧЕСКАЯ ГРУППА „ОСОБЕННОСТИ ЛИЧНОСТИ“ В ИНТЕРСУБЪЕКТИВНОМ ПЛАНЕ</b> .....	97
<b>Н.О. Гамкрелидзе. ВЗАИМООТНОШЕНИЕ ЯЗЫКА И ЕГО ВАРИАНТА В СОВРЕМЕННОМ НЕМЕЦКОМ ЯЗЫКЕ</b> .....	101
<b>ПЕРЕЧЕНЬ АВТОРОВ</b> .....	104
<b>К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ</b> .....	109



# სამშენებლო სექცია

შპს 624.15

მრავალსართულიანი კარკასული შენობების ღუნვადი ელემენტები  
ხისტარმატურიანი კვეთებით

ა. სოხაძე, გ. მაისურაძე, ლ. ჩალაძე, ი. აბრამიშვილი\*

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

E-mail: iabramishvili@stucky.ch

**რეზიუმე:** მრავალსართულიანი კარკასული შენობები, სადაც დატვირთვები საგრძნობლად დიდია, როგორც მშენებლობის პროცესში ასევე ექსპლუატაციის დროს, მიზანშეწონილია გამოვიყენოთ რკინაბეტონის კონსტრუქციები ხისტარმატურიანი კვეთებით. ამის გათვალისწინებით გთავაზობთ სვეტებს ხისტარმატურიანი კვეთებით, სადაც ხისტ არმატურად გამოყენებულია ტესებრი კვეთის პროფილები. ჩვენ მიერ წარმოდგენილ სვეტებს ხისტარმატურიანი კვეთებით გარკვეული ტექნიკურ-ეკონომიკური უპირატესობა აქვს.

**საკანძო სიტყვები:** მრავალსართულიანი კარკასული შენობების სვეტები; ხისტარმატურიანი კვეთები; ხისტი არმატურა ტესებრი პროფილებით.

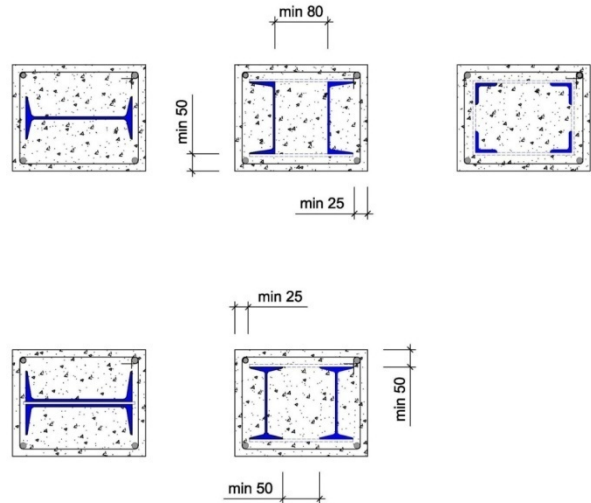
## 1. შესავალი

მრავალსართულიანი კარკასული შენობების სვეტები ექსცენტრიულად შეკუმშული ელემენტებია რომელთა დეფორმაციას იწვევს მღუნავი მომენტებისა და გრძივი ძალების ერთობლივი მოქმედება. ხისტარმატურიანი კვეთები გამოიყენება ისეთ შენობებში, სადაც დატვირთვები საგრძნობლად დიდია, ხოლო სვეტის კვეთის ზომები შეზღუდული. ხისტარმატურიანი კვეთები ძირითადად შედგება: ხისტი პროფილისაგან, არმატურის ღეროსაგან და მაკავშირებელი ელემენტებისაგან, რომელთა ნაირსახეობები გამოსახულია 1-ელ ნახ-ზე.

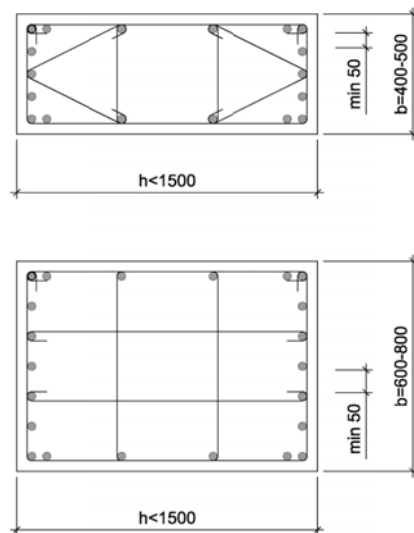
## 2. ძირითადი ნაწილი

სვეტის კვეთის სიმტკიცე და სიხისტე ძირითადად დამოკიდებულია კვეთის h სიმაღლეზე და მოკლე გვერდის გასწვრივ განლაგებულ არმატურის ღეროების ფართობზე. კოლონის კვეთის არმირების მაგალითები ღეროების რეკომენდებული რაოდენობით ნაჩვენებია მე-2 ნახ-ზე.

უნდა აღინიშნოს, რომ როდესაც ღეროების რაოდენობა აჭარბებს რეკომენდებულ რიცხვს ხდება პილონის არმირების ტიპზე გადასვლა.



ნახ. 1

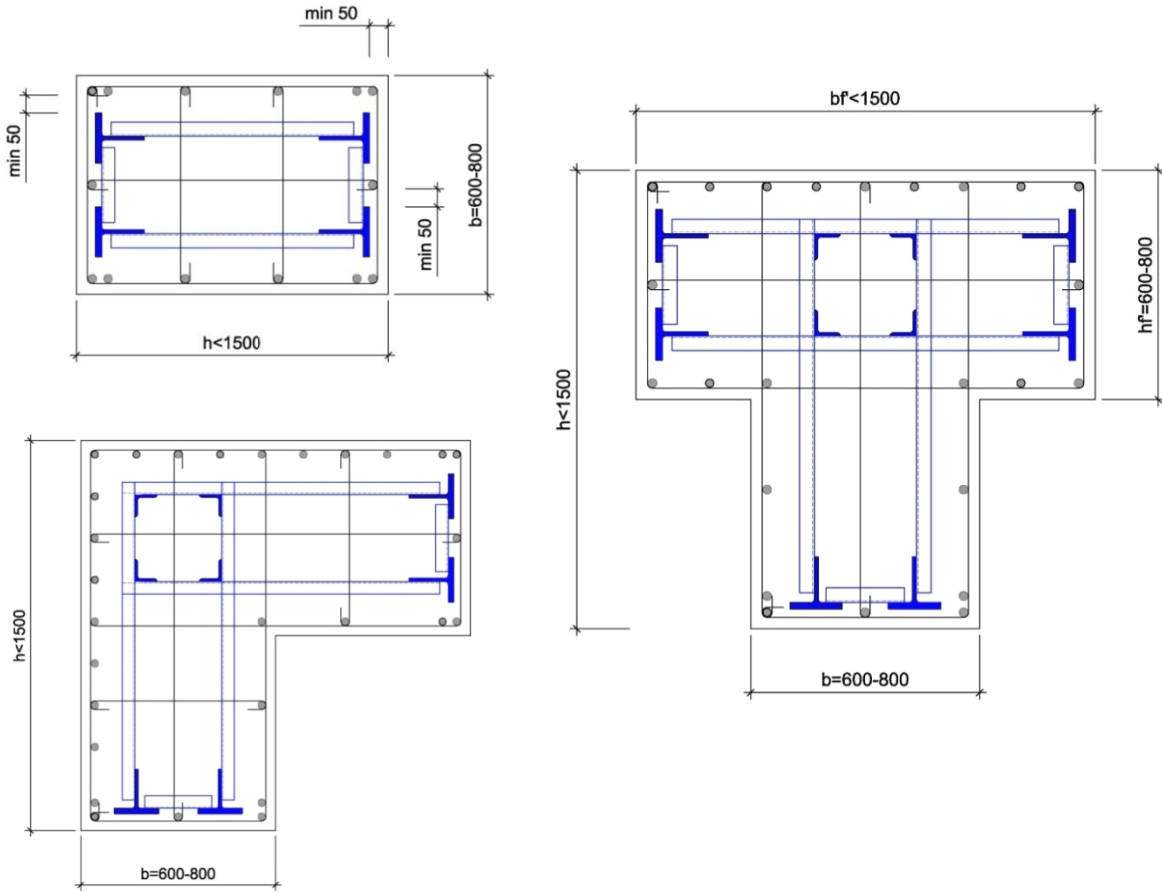


ნახ. 2

ხისტარმატურიან კვეთებში ხისტი პროფილის განლაგება ისე უნდა მოხდეს, რომ კვეთის ყველა წერტილში ბეტონის თავისუფლად მოხვედრის მიზნით არ იჭრებოდეს სვეტის კვეთი.

ჩვენ მიერ დამუშავებულ იქნა ხისტარმატუ-

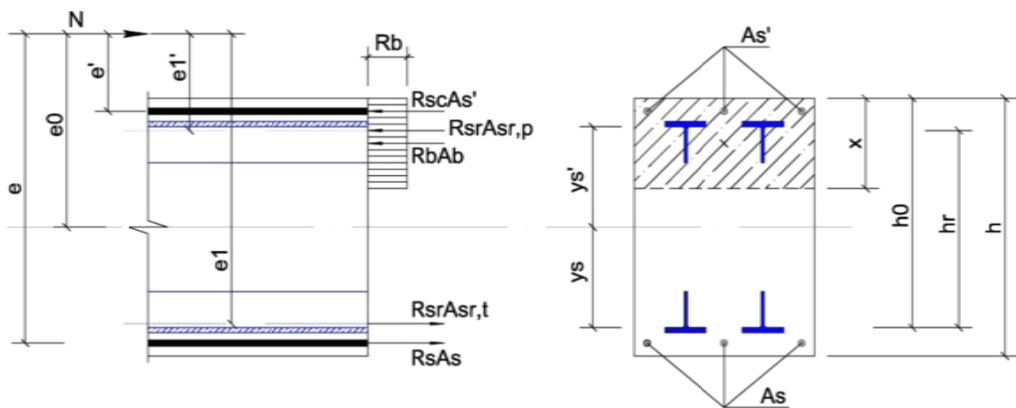
რიანი სხვადასხვა კვეთის სვეტები, სადაც ხისტ პროფილად გამოყენებულია ტესებრი კვეთის პროფილები, ხოლო მაკავშირებელ ელემენტებად კუთხოვანისა და შეველერის პროფილები (ნახ. 3).



ნახ. 3

ასეთი ტიპის კვეთის ანგარიში ექსცენტრიკულ კუმშვაზე წარმოებს ისევე როგორც მოქნილარმატურიანი არაცენტრალურად შეკუმშული ელემენტის შემთხვევაში. მართკუთხა პროფილის არაცენ-

ტრალურად შეკუმშული ელემენტის გრძივი ღერძისადმი ნორმატიული კვეთის ძაღვების სკემა სიმტკიცეზე გაანგარიშებისას, დიდი ექსცენტრიციტეტის შემთხვევაში ნაჩვენებია მე-4 ნახ-ზე.



ნახ. 4

წონასწორობის პირველი პირობის თანახმად, პირობით, რომ კვეთაზე მოქმედი ძალების გეომილეების ჯამი ელემენტის გრძივ ღერძზე ნულის ტოლია, მივიღებთ

$$N = R_b A_b + R_{sc} A'_s + (R_{sr} - R_b) A_{sr,c} - R_s A_s - R_{sr} A_{sr,t}$$

საიდანაც განისაზღვრება შეკუმშული ზონის სიმაღლე მოცემული კვეთისათვის.

წონასწორობის მეორე პირობის თანახმად, პირობით, რომ კვეთაზე მოქმედი ძალების მომენტების ჯამი გაჭიმული არმატურის კვეთის სიმძიმის ცენტრზე გამავალი ღერძის მიმართ ნულის ტოლია, მივიღებთ სიმტკიცის ფორმულას

$$N e_1 \leq R_b A_b (h_0 - 0,5x) + R_{sc} A'_s (h_0 - a') + (R_{sr} - R_b) A_{sr,c} h_r$$

მოქნილი არაცენტრალურად შეკუმშული ელემენტების გაანგარიშება წარმოებს გადიდებული ექსცენტრისიტეტის მიხედვით. სიმტკიცის პირობაში  $e$  მანძილი გრძივი ძალიდან გაჭიმული ზონის გრძივი მუშა არმატურის სიმძიმის ცენტრამდე დადგინდება ფორმულით  $e = e_0 \eta + y_s$ .

მოქნილი ელემენტების გაღუნვის გასათვალისწინებელი  $\eta$  კოეფიციენტი იანგარიშება ფორმულით:

$$\eta = \left( \frac{1}{1 - N/N_{cr}} \right)$$

$N$  არის საანგარიშო გრძივი ძალა,  $N_{cr}$  – არის პირობით კრიტიკული გრძივი ძალა

$$N_{cr} = \frac{6,4 E_b}{\ell_0^2} \left[ \frac{J}{\ell_0} \left( \frac{0,11}{0,1+\delta} + 0,1 \right) + \alpha_{sr} J_{sr} + \alpha_s J_s \right]$$

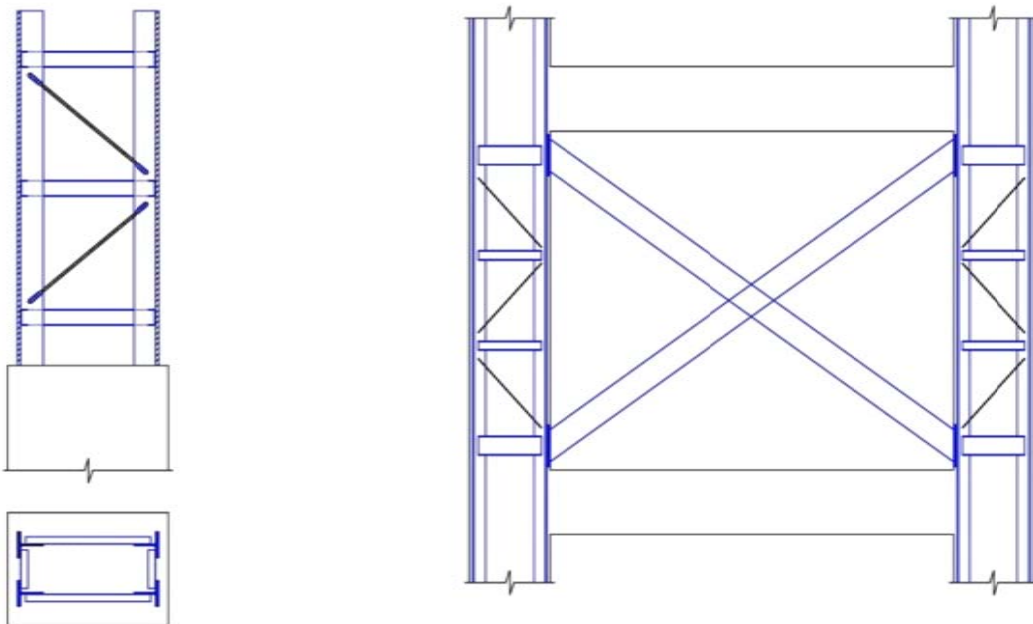
აქ

$$\alpha_{sr} = \frac{E_{sr}}{E_b}, \quad \alpha_s = \frac{E_s}{E_b}$$

ჩვენ მიერ წარმოდგენილ ხისტარმატურიანი კვეთის შემთხვევაში მოქნილობისა და დატვირთვის მოქმედების ხანგრძლივობის გავლენის გათვალისწინებით შესაძლებელია სვეტის  $h$  სიმაღლის შემცირება 30%-მდე.

ამასთან, სვეტებისათვის ლითონის კარკასების მოწყობა შესაძლებელია 12-მ სიმაღლეზე, რაც თავის მხრივ იძლევა მოქნილი არმატურის 10 – 15%-ით ეკონომიას (ხდება მოქნილი არმატურის პირგადადებით გადაბმის ზონების შემცირება მთელ სიმაღლეზე).

აღნიშნული ხისტარმატურიანი კვეთების გამოყენება შესაძლებლობას იძლევა სვეტებს შორის გართულების გარეშე მოვაწყოთ ლითონის ჯვარედინი კავშირები, რაც თავის მხრივ აამაღლებს მთლიანი შენობის სიხისტეს (ნახ. 5).



ნახ. 5

**3. დასკვნა**

მრავალსართულიან კარკასულ შენობებში ჩვენ მიერ წარმოდგენილ სვეტებს სისტარმატურიანი კვეთებით გარკვეული ტექნიკურ-ეკონომიკური უპირატესობა აქვს.

**ლიტერატურა**

1. Бондаренко В.М. Суворкин Д.Г. Железобетонные и каменные конструкции. М.: высшая школа, 1987 г.
2. Байков В.Н., Сигалов Э.Е. Железобетонные конструкции. М.: Стройиздат, 1976 г.

**UDC 624.15****THE MULTISTORY FRAME BUILDINGS COLUMNS WITH RIGID REINFORCED SECTIONS**

**A. Sokhadze, G. Maisuradze, L. Chaladze, I. Abramishvili**

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

**Resume:** The multistory frame buildings, where loadings are significantly larger during construction, as well as in exploitation, are frequent in the modern construction. In this case it is reasonable to use reinforced concrete elements with rigid reinforced sections. With that in mind we offer you bended element with rigid reinforced section, in which T-section profiles are used as rigid reinforcement. Above suggested columns with rigid reinforced sections have definitive technical-economic advantage.

**Key words:** multistory frame buildings columns; rigid reinforced sections; rigid reinforcement with T-section profiles.

**УДК 624.15****КОЛОННЫ МНОГОЭТАЖНЫХ КАРКАСНЫХ ЗДАНИЙ С ЖЕСТКИМ СЕЧЕНИЕМ АРМАТУРЫ**

**Сохадзе А.П., Маисурадзе Г.Дж., Чаладзе Л.Р., Абрамишвили И.Т.**

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

**Резюме:** При строительстве многоэтажных каркасных зданий, где нагрузка значительно больше как во время строительного процесса, так и в течение эксплуатации, рекомендуется использовать железобетонные конструкции с жёстко армированным сечением. Имея это в виду, мы предлагаем колонны с жёстко армированным сечением, где использованы профили жесткой арматуры с Т-образным сечением. Предложенные нами колонны с жестким армированным сечением имеют определенное технико-экономическое преимущество.

**Ключевые слова:** колонны многоэтажных каркасных зданий; жёстко армированные сечения; жесткая арматура с Т-образным профилем.

*მიღებულია დასაბუტად 11.02.2013*

**შპს 624.15**

**მრავალსართულიანი კარკასული შენობების ღუნვადი ელემენტები ხისტარმატურიანი კვეთებით**

**ლ. ჩალაძე**

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

E-mail: levan.chaladze@tbilisi.gov.ge

**რეზიუმე:** თანამედროვე მშენებლობაში ხშირია მრავალსართულიანი კარკასული შენობები, სადაც დატვირთვები საგრძნობლად დიდია, როგორც მშენებლობის პროცესში ასევე ექსპლუატაციის დროს. ასეთ შემთხვევაში მიზანშეწონილია გამოვიყენოთ რკინაბეტონის კონსტრუქციები ხისტარმატურიანი კვეთებით. ამის გათვალისწინებით გთავაზობთ ღუნვად ელემენტს ხისტარმატურიანი კვეთით, სადაც ხისტ არმატურად გამოყენებულია პერფორირებული ლითონის ორტესებრი კოჭი. მთლიანკედლიანი კვეთისგან განსხვავებით პერფორირებული ხისტი არმატურის გამოყენება მასალის ეკონომიის ხარჯზე საშუალებას იძლევა ავამადლოთ სიმტკიცისა და სიხისტის მახასიათებლები.

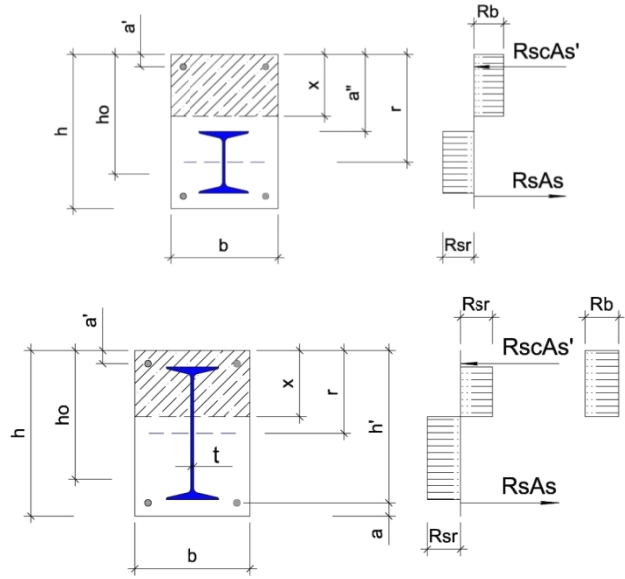
**საკვანძო სიტყვები:** რკინაბეტონის ღუნვადი ელემენტები; ხისტარმატურიანი კვეთი; პერფორირებული ლითონის კოჭი.

**1. შესავალი**

მრავალსართულიანი კარკასული შენობების ღუნვადი ელემენტები ხისტარმატურიანი კვეთებით განპირობებულია, როცა მასზე მოსული ძალები დიდია. ბეტონის გამკვრივებამდე ხისტი არმატურა მუშაობს როგორც ლითონკონსტრუქცია, რომელსაც მშენებლობის პროცესში უწევს წარმოქმნილი დატვირთვების ატანა, ხოლო ბეტონის გამკვრივების შემდეგ ის ერთგვარა მუშაობაში როგორც რკინაბეტონის შემადგენელი ნაწილი.

**2. ძირითადი ნაწილი**

ხისტარმატურიანი კვეთის ღუნვადი ელემენტების გაანგარიშების დროს ვაწყდებით ორ შემთხვევას: I როცა შეკუმშულ ზონაში არ გვხვდება ხისტი არმატურის პროფილები და II როცა შეკუმშულ ზონას კვეთს ხისტი არმატურის პროფილი (ნახ. 1).



ნახ. 1

I შემთხვევაში სიმტკიცის პირობა გამოისახება შემდეგნაირად:

$$M \leq R_b b x (h_0 - 0,5x) + R_{sc} A'_s (h_0 - a')$$

თუ  $x > \xi_R h_0$

$$M \leq R_b b h_0^2 \xi_R (1 - 0,5\xi_R) + R_{sc} A'_s (h_0 - a')$$

შეკუმშული ზონის სიმაღლე გამოიანგარიშება ფორმულით:

$$x = (R_{sr} A_{sr} + R_s A_s - R_{sc} A'_s) / (b R_b) < \bar{a},$$

II შემთხვევაში სიმტკიცის პირობა გამოისახება შემდეგნაირად:

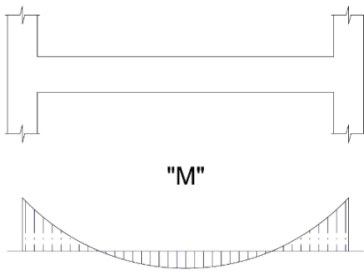
$$M \leq 0,5 R_b b x^2 + R_{sr} [W_{pl} + (r - x)^2 \delta_t] + R_s A_s (h' - x) + R_{sc} A'_s (x - a')$$

სადაც  $W_{pl}$  არის წინაღობის პლასტიკური მომენტი.

შეკუმშული ზონის სიმაღლე გამოიანგარიშება ფორმულით:

$$x = (2R_{sr} \delta_{tr} + R_s A_s - R_{sc} A'_s) / (b R_b + 2R_{sr} \delta_t)$$

კარკასული შენობების რიგელებში მაღლის მოთვლი სიგრძეზე ხდება გაჭიმული და შეკუმშული ზონების მონაცვლეობა (ნახ. 2), ამიტომ, მიზანშეწონილია გამოვიყენოთ ხისტარმატურიანი კვეთის II შემთხვევა.

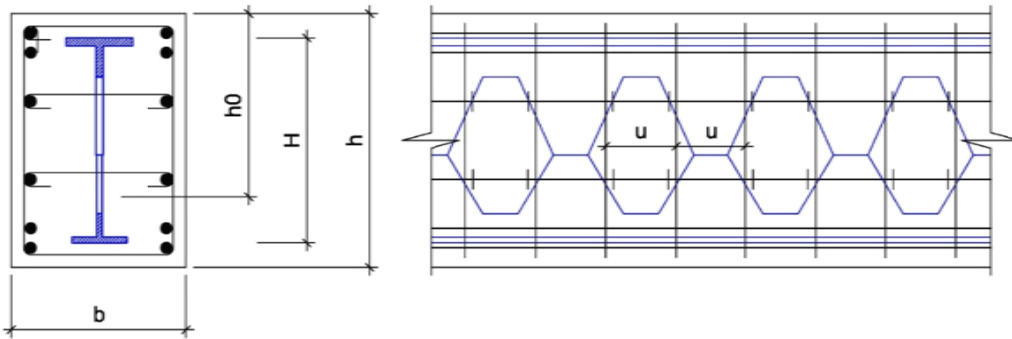


ნახ. 2

ჩვენს შემთხვევაში ხისტ პროფილად მიღებულია პერფორირებული კედლის მქონე ორტესებრი კოჭი. იმის გამო, რომ კვეთის ზედა ზონაში ძალები

ჭარბობს ქვედა ზონაში წარმოქმნილ ძალებს, ამიტომ მიზანშეწონილია ხისტი პროფილი შევადგინოთ ამ პირობის გათვალისწინებით.

პერფორირებული ხისტი პროფილის ჩადება განპირობებულია იმის გამო, რომ რიგელები ღუნვასთან ერთად განიცდის გრესას, რის გამოც რიგელების კვეთის ბორტებზე ხდება მუშა არმატურის ჩადება, ხოლო დიდი  $Q_y$  განივი ძალების გამო კი ამ სიბრტყეში არმატურების საკიდებით ერთმანეთთან დაკავშირება. მთლიანკვეთიანი ხისტი პროფილის შემთხვევაში ეს ფაქტიურად შეუძლებელი იქნებოდა თუ არ ჩავთვლით შედეგებით შეერთებას (ნახ. 3).



ნახ. 3

პერფორირებული ხისტი პროფილის სქემა ნაჩვენებია (ნახ. 4), სადაც რეკომენდებულია დაცვათ შემდეგი დამოკიდებულებები.

ლითონის კოჭის  $x-x$  ღერძის მიმართ წინაღობის მომენტის მიხედვით.

პერფორირებული კოჭი 1, 2, 3, 4 წერტილები სათვის უნდა აკმაყოფილებდეს შემდეგ პირობებს:

ზედატესები პროფილისათვის:

$$\frac{M_r h_1}{J_x} + \frac{Q_{r1} a}{2W_{1,max}} \leq R_{y1} \gamma_c;$$

$$\frac{M_r h_1}{J_x} + \frac{Q_{r1} a}{2W_{1,max}} \leq \frac{R_{u1} \gamma_c}{\gamma_u}$$

ქვედატესები პროფილისათვის

$$\frac{M_r h_2}{J_x} + \frac{Q_{r2} a}{2W_{2,max}} \leq R_{y2} \gamma_c;$$

$$\frac{M_r h_2}{J_x} + \frac{Q_{r2} a}{2W_{2,max}} \leq \frac{R_{u2} \gamma_c}{\gamma_u}$$

საყრდენი კვეთისათვის:

$$\frac{Q_{r3} s}{\delta_t a h_3} \leq R_s \gamma_s,$$

სადაც  $M_r$  არის კვეთში მდუნავი მომენტი რომელსაც იტანს პერფორირებული ლითონის კოჭი.

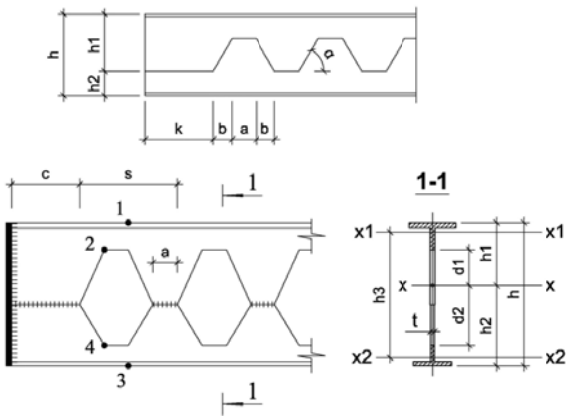
$$Q_{r1} = Q_r \frac{J_1}{J_1 + J_2}; \quad Q_{r2} = Q_r \frac{J_2}{J_1 + J_2}.$$

$Q_r$  არის კოჭის კვეთში განივი ძალა, რომელსაც იტანს პერფორირებული ლითონის კოჭი.

$$Q_r = Q - Q_b - Q_{sw}$$

ამასთან, პერფორირებული ლითონის კოჭი უნდა აკმაყოფილებდეს განივი ძალების პირობას.

$$Q \leq \left( \frac{H}{h_0} \delta_t R_{sr} + \frac{R_{sw} A_{sw,n}}{u} \right) C_0 + \frac{k_2 R_b b h_0^2}{C_0}.$$



ნახ. 4

$$h_1 = (0,6 \div 0,75)h \quad a \geq 90\text{მმ},$$

$$\alpha = 40 \div 70^\circ, \quad k \geq 250\text{მმ}$$

ჩვენ მიერ წარმოდგენილი ხისტარმატურაიანი კვეთის სიმტკიცეზე გაანგარიშება წარმოებს ზემოთ მოყვანილი II ვარიანტის ფორმულების მიხედვით, სადაც  $W_{pl}$  აიღება პერფორირებული

**3. დასკვნა**

მრავალსართულიანი კარკასული შენობების ღუნვად ელემენტებში, სისტარმატურიანი კვითების სისტ არმატურად პერფორირებული ლითონის კოჭების გამოყენება საშუალებას იძლევა სიმტკიცისა და სისისტის მასასიათებლების ამალელებას მასალის ეკონომიის ხარჯზე ლითონის კარკასის მოწყობის ტექნოლოგიური პროცესის გამარტივებას.

**ლიტერატურა**

1. Бондаренко В.М., Суворкин Д.Г. Железобетонные и каменные конструкции. М.: Высшая школа, 1987 г.
2. Байков В.Н., Сигалов Э.Е. Железобетонные конструкции. М.: Стройиздат, 1976 г.
3. СНИП II-23-81. Металлические конструкции.

**UDC 624.15****THE MULTISTORY FRAME BUILDINGS BENDING ELEMENTS WITH RIGID REINFORCED SECTIONS****L. Chaladze**

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

**Resume:** The multistory frame buildings, where loadings are significantly larger during construction, as well as in exploitation, are frequent in the modern construction. In this case it is reasonable to use reinforced concrete elements with rigid reinforced sections. With that in mind we offer you bended elements with rigid reinforced section, in which perforated double T section beam is rigid reinforcement. Unlike normal section perforated rigid reinforcement gives us ability to increase indices of strength and hardness with less material.

**Key words:** reinforced concrete bending elements; rigidd reinforced section; perforated metal beam.

**УДК 624.15** **ГИБКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ МНОГОЭТАЖНЫХ КАРКАСНЫХ ЗДАНИЙ С ЖЕСТКИМ СЕЧЕНИЕМ АРМАТУРЫ****Чаладзе Л.Р.**

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

**Резюме:** В современном строительстве часто встречаются многоэтажные каркасные здания, где нагрузка значительно больше как во время строительного процесса, так и в течение эксплуатации. В этом случае рекомендуется использовать железобетонные конструкции с жёстко армированным сечением. Имея это в виду, мы предлагаем гибкие элементы с жёстко армированным сечением, где перфорированный двутавр - это жесткая арматура. В отличие от целостенных сечений, использование перфорированной жёсткой арматуры помогает повысить показатели прочности и твёрдости за счет экономного расхода материала.

**Ключевые слова:** железобетонные гибкие элементы; жёстко армированные сечения; перфорированная металлическая балка.

*მიღებულია დასაბეჭდად 11.02.2013*

**შპს 69.059.1****საინჟინრო ნაგებობებისა და მათი ელემენტების სამსახურადაც მდგრადობა-ვარგისიანობის მახასიათებელი პარამეტრების ექსპერტული შეფასების მეთოდიკა**

**ზ. ციხელაშვილი\*, გ. ჯერენაშვილი, შ. ციხელაშვილი, ა. გრიგოლიშვილი, ი. მარგალიტაძე**  
 წყალმომარაგების, წყალარინების, თბოაირმომარაგებისა და შენობათა საინჟინრო აღჭურვის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, კოსტავას 77

E-mail: zaur\_tsikhe@mail.ru

**რეზიუმე:** შემოთავაზებულია საინჟინრო ნაგებობებისა და მათი ელემენტების საექსპლუატაციო მდგრადობა-ვარგისიანობის მახასიათებელი პარამეტრების სუბიექტურ-ხარისხობრივი შეფასების განსაზღვრის მეთოდიკა, რაც „არამკაფიო“ ლოგიკური რეგულატორის“ პრინციპის გამოყენებით (სტოქასტიკური განუსაზღვრელობის პირობებში) საანალიზო პარამეტრების სუბიექტურ და ექსპერიმენტულ განაზომთა „არამკაფიო“ სახის მონაცემთა მათემატიკური დამუშავებისა და შესაბამისად ეფექტური ექსპერტული გადაწყვეტილებების მიღების საშუალებას იძლევა.

**საკვანძო სიტყვები:** საინჟინრო ნაგებობები; ელემენტები; საექსპლუატაციო მდგრადობა-ვარგისიანობის მახასიათებელი პარამეტრები; ექსპერტული შეფასების მეთოდიკა; „არამკაფიო ლოგიკური რეგულატორი“; სტოქასტიკური განუსაზღვრელობა; დესკრიფციული მოდელირება; გურვიცის კრიტერიუმი; ეფექტური ექსპერტული გადაწყვეტილება.

**1. შესავალი**

საინჟინრო შენობა-ნაგებობები და მათი შემადგენელი ელემენტები (ფუძე-საძირკვლები და სხვა) ხანგრძლივი ექსპლუატაციის პროცესში სხვადასხვა სახის ბუნებრივი და კატასტროფული (მიწისძვრა, მეწყერი და სხვა) მოვლენების არასასურველ ზემოქმედებას განიცდიან, რაც შედეგად, მდგრადობა-ვარგისიანობის დაგეგმილი ნორმატიული მახასიათებელი პარამეტრების იძულებით ცვლილებას იწვევს და ავარიული მდგომარეობის გამომწვევ მიზეზებად გვევლინება.

აღნიშნულ კონტექსტში მნიშვნელოვანია საინჟინრო შენობა-ნაგებობების და მათი ცალკეული შემადგენელი ელემენტების (ფუძე-საძირკვლები და სხვა) საექსპლუატაციო მდგრადობა-ვარგისიანობის მახასიათებელი პარამეტრების

შეფასების მეთოდიკის შემუშავება, რასაც წინამდებარე ნაშრომი ეძღვნება.

**2. ძირითადი ნაწილი**

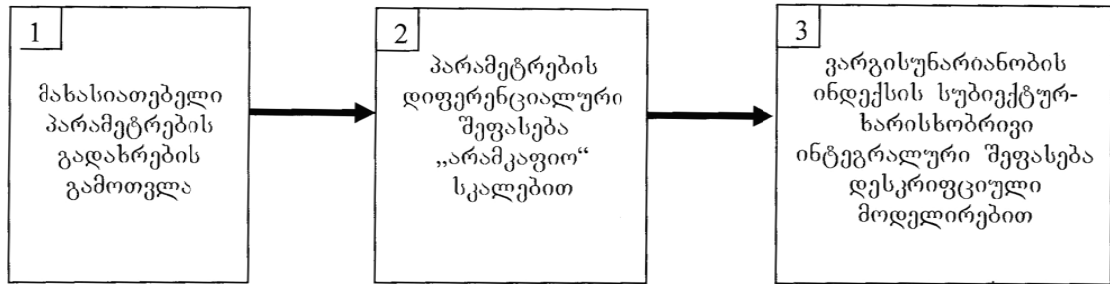
როგორც ცნობილია საინჟინრო შენობა-ნაგებობების და მათი შემადგენელი ელემენტების (ფუძე-საძირკვლები და სხვა) დაპროექტებისას ითვალისწინებენ მათი საექსპლუატაციო ვარგისუნარიანობის მახასიათებელ მაჩვენებლებს, რომლებსაც ძირითადად იღებენ ნორმატიული მნიშვნელობების მიხედვით. მაგრამ უნდა აღინიშნოს, რომ ხანგრძლივი ექსპლუატაციის პროცესში შესაძლებელია ამ ფაქტორებიდან, რომელიმე მახასიათებელი პარამეტრის ექსტრემალური მნიშვნელობა არ დაკმაყოფილდეს ან კიდევ დაერთოს კატასტროფული მოვლენის (მიწისძვრა, მეწყერი და სხვა) ზემოქმედება-განვითარების ისეთი მდგომარეობა, რამაც შეიძლება გამოიწვიოს ავარიული შემთხვევები. აქედან გამომდინარე ხანგრძლივ ექსპლუატაციაში მყოფი საინჟინრო ნაგებობებისათვის (ფუძე-საძირკვლების და სხვა ელემენტების) საექსპლუატაციო მდგრადობა-ვარგისიანობის მახასიათებელი პარამეტრების შეფასება რთული საინჟინრო და ძნელად ფორმალიზებადი ამოცანაა, ხოლო მისი გადაწყვეტა - აქტუალური.

ზოგადად ე.წ. „არამკაფიო ლოგიკური რეგულატორის“ პრინციპის გამოყენება შესაძლებლობას იძლევა გადაწყვეტილ იქნეს საკვლევი საინჟინრო და ძნელად ფორმალიზებადი ამოცანა, რაც, რიგ შემთხვევებში, ცნობილი ანალიტიკური სახის მათემატიკური მეთოდების გამოყენებით შეიძლება ვერ მოხერხდეს [1]. ამ შემთხვევაში გარდა „არამკაფიო ლოგიკური რეგულატორისა“, კომპლექსურად მიმართავენ ე.წ. არა ფორმალური მათემატიკური აღწერის მიდგომის გამოყენებას სტოქასტიკური განუსაზღვრელობის პირობებში [2] დესკრიფციული მოდელირების მეთოდის გამოყენებით [1]. შედეგად, სრულდება სუბიექტური და ექსპერიმენტული სახის განაზომთა „არამკაფიო“ (არამკვეთრი) სახის მონაცემების დამუშავება, რაც ექსპერტის



(ან ექსპერტთა ჯგუფის) მიერ გენერირებული სუბიექტურ-ხარისხობრივი შეფასებების მიხედვით ეფექტური გადაწყვეტილების მიღების საფუძველს იძლევა. ამ ამოცანის გადასაწყვეტად ჩვენ მიერ განაზომთა მონაცემების დასამუშა-

ვებლად, და შესაბამისად, გადაწყვეტილებების მისაღებად შემოთავაზებულია „არამკაფიო ლოგიკური რეგულატორის“ პრინციპის გამოყენება (როგორც მრავალკრიტერიული ამოცანის), რომელიც წარმოდგენილია ნახაზზე:



არამკაფიო ლოგიკური რეგულატორი

1-ელი ბლოკი მოიცავს საკვლევი ობიექტის შესახებ მახასიათებელი პარამეტრების გადახრების შესახებ ინფორმაციას; მე-2 ბლოკით სუბიექტურ-ხარისხობრივი სკალების შესაბამისად განისაზღვრება საანალიზო „არამკაფიო“ ხასიათის პარამეტრების დიფერენციალური შეფასებები: „ცუდი მდგომარეობა“ - 0.00 - 0.37; „შუალედური მდგომარეობა“ - 0.37-0.67; „კარგი მდგომარეობა“ - 0.67-1.00. აქ 0 – შეესაბამება აბსოლუტურად ცუდ მდგომარეობას, ხოლო 1 – აბსოლუტურად კარგ მდგომარეობას. მე-3 ბლოკით განისაზღვრება შენობა-ნაგებობების (ფუძე-საძირკვლები და სხვ.) ვარგისუნარიანობის ინდექსის (ინტეგრალური მანვერების) მახასიათებელი პარამეტრების სუბიექტურ-ხარისხობრივი ინტეგრალური შეფასება იგივე მოყვანილი გრადაციების შესაბამისად: ცუდი, დამაკმაყოფილებელი, კარგი.

გარდა ამისა, სტოქასტიკური განუსაზღვრელობის პირობებში ექსპერტული გადაწყვეტილებების სიმრავლის ფორმირებაში, კომპლექსურად რეკომენდებულია გამოყენებულ იქნეს გურვიცის პესიმიზმ-ოპტიმიზმის კრიტერიუმი. ამ შემთხვევაში ექსპერტები ეფექტური გადაწყვეტილების მისაღებად ხელმძღვანელობენ, არც უკიდურესი პესიმიზმის (ყოველთვის გაითვალისწინე უარესი!) და არც უკიდურესი უაზრო ოპტიმიზმის პრინციპით (ყველაფერი მოხდება საუკეთესოდ!). გურვიცის კრიტერიუმი რეკომენდაციას იძლევა ექსპერტული შეფასების ვარაუდი დაემყაროს მათ შორის აღებულ რაიმე შუალედურ სიდიდეს.

კრიტერიუმს გააჩნია შემდეგი სახე [2]:

$$H = \max [a \min Bij + (1-a) \max Bij],$$

$$1 \leq i < m \quad 1 \leq j < n \quad 1 \leq i < m$$

სადაც a-რაიმე კოეფიციენტი, რომელიც შეირჩევა 0-და 1-ს შორის. როდესაც  $0 < a < 1$ , გადაწყვე-

ტილება იღებს შუალედურ მნიშვნელობას - უკიდურეს პესიმიზმსა და უკიდურეს ოპტიმიზმს შორის. ზოგადად, a კოეფიციენტის შერჩევა ატარებს სუბიექტურ ხასიათს და მისი ადგენა დამოკიდებულია ექსპერტის მიერ განვითარებული შეფასების ხასიათზე. ამავე დროს, ექსპერტები, თავის დაზღვევის მიზნით, ცდილობენ გადაწყვეტილებათა მიღების პროცესში a - კოეფიციენტის მნიშვნელობა აიღონ 1-თან მიახლოებით.

**3. დასკვნა**

შემოთავაზებულია საინჟინრო ნაგებობებისა და მათი ელემენტების საექსპლუატაციო მდგრალობა-ვარგისიანობის მახასიათებელი პარამეტრების სუბიექტურ-ხარისხობრივი შეფასების განსაზღვრის მეთოდოლოგია, რაც „არამკაფიო“ ლოგიკური რეგულატორის“ პრინციპის გამოყენებით (სტოქასტიკური განუსაზღვრელობის პირობებში) საანალიზო პარამეტრების სუბიექტურ და ექსპერტიმენტულ განაზომთა „არამკაფიო“ სახის მონაცემთა მათემატიკური დამუშავებისა და შესაბამისად ეფექტური ექსპერტული გადაწყვეტილებების მიღების საშუალებას იძლევა.

**ლიტერატურა**

1. Цихелашвили З.И., Прангишвили А.И., Чхенкели Б.Дж. Основы построения интеллектуальных систем управления пространственно – временными сетевыми потоками. Тбилиси: Мецნიереба, 1997. - 264 с.
2. ზ. ციხელაშვილი, თ. გველესიანი, პ. გიორგაძე, ნ. მურდულია, ლ. ზამბახიძე. სტოქასტიკური განუსაზღვრელობის პირობებში წყალდიდობის საანგარიშო ხარჯის მოდელირების შესახებ // სტუ-ს შრომები, „მშენებლობა“, №3(10), 2008, გვ.18-22.

---

UDC 69.059.1

**METHODS OF PEER REVIEW OF THE CHARACTERISTIC PARAMETERS OF OPERATIONAL STABILITY - PROFITABILITY FOR ENGINEERING STRUCTURES AND THEIR ELEMENTS**

**Z. Tsikhelashvili, G. Jerenashvili, Sh. Tsikhelashvili, A. Grigolishvili, I. Margalitzadze**

Department of water-supply, drainage, heat-gas supply and engineering equipment of building, Georgian Technical University, 77, Kostava str, Tbilisi, 0175, Georgia

**Resume:** There is offered the methods of determining subjective - criterial estimates of characteristic parameters of stability, profitability for buildings, structures and their elements in the process of long life, that with the use of "fuzzy logic controller" (in terms of stochastic uncertainty) allows mathematical processing of the measured "fuzzy" nature of the subjective and experimental data and obtain an effective peer review.

**Key words:** engineering buildings; elements; parameters of operational stability-profitability; methodics of experimental estimate; "fuzzylogic controller"; stochastic uncertainty; descriptive modelling; criterion of Gurvits; effective experimental decision.

---

УДК 69.059.1

**МЕТОДИКА ЭКСПЕРТНОЙ ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ УСТОЙЧИВОСТИ-ВЫГОДНОСТИ ДЛЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ И ИХ ЭЛЕМЕНТОВ**

**Цихелашвили З.И., Джеренашвили Г.В., Цихелашвили Ш.З., Григолишвили А.Р.,  
Маргалитадзе И.Н.**

Департамент водоснабжения, водоотведения, теплогазоснабжения и оснащения зданий, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. Костава, 77

**Резюме:** Предлагается методика определения субъективно-критериальных оценок характерных параметров эксплуатационной устойчивости-выгодности для инженерных сооружений и их элементов, что с применением "нечеткого логического регулятора" (в условиях стохастической неопределенности) дает возможность математической обработки измеренных "нечеткого" характера субъективных и экспериментальных данных и получения эффективных экспертных оценок.

**Ключевые слова:** инженерные сооружения; элементы; характерные параметры эксплуатационной устойчивости – выгодности: методика экспертной оценки; "нечеткий логический регулятор"; стохастическая неопределенность; дескриптивное моделирование; критерий Гурвица; эффективное экспертное решение.

---

*მიღებულია დასაბუჯდად 03.01.2013*

# ინჟინერინგისა და ტექნოლოგიების სექტორი

УДК 621.314.5/6

## ОБОБЩЕНИЕ КОНЕЧНО-РАЗНОСТНОГО МЕТОДА ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ В ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ ТОКА

**В.Т. Меликишвили**

Департамент электротехники и электроники, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. Костава 77

E-mail: melikishvili37@mail.ru

---

**Резюме:** Изложено решение известной в теории преобразования тока проблемы, заключающейся в выводе разностных уравнений, не содержащих углов коммутации при любых сочетаниях индуктивных и активных сопротивлений схемы. Разработанным методом дискретно эквивалентных уравнений (МДЭУ) удалось получить обобщенное разностное уравнение указанного типа, позволяющее исследовать точные закономерности переходных процессов в симметричных преобразователях (выпрямителях и инверторах) любой фазности. В результате решения упомянутой проблемы существенно повышается роль метода разностных уравнений в изучении статистики и динамики преобразователей тока.

**Ключевые слова:** преобразователь тока; выпрямитель; инвертор; угол коммутации; переходные и установившиеся процессы; дискретно эквивалентные дифференциальные уравнения; разностные уравнения.

---

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Вентильные преобразователи тока (выпрямители и инверторы) относятся к группе нелинейных объектов, характеризующихся временной повторяемостью параметров, причем последние меняются дискретно и в общем случае не через равные интервалы времени. Дискретный характер изменения параметров преобразователей в моменты отпирания и запираания вентилей обусловил привлечение одного из методов дискретной математики – метода разностных уравнений для анализа электромагнитных процессов в них. Многочисленные публикации убедительно свидетельствуют, что

метод разностных уравнений является удачно подобранным “математическим ключом” исследования разнообразных переходных и установившихся процессов в цепях с вентильными преобразователями. Эффективность этого метода обусловлена тем, что здесь является возможность расчленения сложной задачи нахождения полной непрерывной картины протекания исследуемого процесса на две сравнительно облегченные подзадачи, одна из которых заключается в отборе информации об изменении рассматриваемой величины в специально подобранные дискретные моменты времени. Вторая же подзадача сводится к восстановлению по имеющимся дискретным данным точной непрерывной информации о ходе процесса на отрезках времени, заключенных между любыми двумя последующими дискретами. Иначе говоря, на основании полученной после решения первой подзадачи дискретной информации решается вторая подзадача, сравнительно облегченная, в результате чего получаем полную непрерывную картину протекания исследуемого процесса. Однако в подавляющем большинстве случаев нет практической надобности решения второй подзадачи, т.к. полученная в результате решения первой подзадачи дискретная информация является точной и она с достаточной для инженерной практики точностью аппроксимирует всю непрерывную картину протекания процесса. Поэтому наиболее важной является первая подзадача, требующая составления и решения разностных уравнений.

Таким образом, метод разностных уравнений позволяет существенно упростить сложную задачу расчета электромагнитных процессов в преобразователях и тем самым открывает новые возможности исследования более сложных задач, решение ко-

торых другими методами невозможно без уступки в точности анализа. Достоинства конечно-разностного метода особо ярко проявляются, если на вооружении имеются разностные уравнения, не содержащие переменных и неизвестных углов коммутации, в противном же случае преимущества метода будут сильно занижены, либо вовсе утеряны. Поэтому центральным моментом анализа процессов в вентильных преобразователях является вывод разностных уравнений, не содержащих углов коммутации. Что же касается их решения, то этот вопрос тривиален: если разностное уравнение допускает решение в замкнутой форме, то его всегда можно найти одним из известных методов, например, классическим методом, или при помощи дискретных преобразований Лапласа (D – преобразований) или Лорана (Z – преобразований), а также другими способами. Если же разностное уравнение аналитически неразрешимо, то электромагнитный процесс можно рассчитать с любой точностью в числах методом “шаг за шагом”, используя при этом свойство рекуррентности разностных уравнений, что весьма удобно для компьютерного расчета. Кстати, в этом заключается одно из достоинств этого метода.

## 2. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

К настоящему времени в отношении вопроса вывода разностных уравнений сложилось следующее положение: задача вывода разностных уравнений, не содержащих углов коммутации, решена для цепей, состоящих из вентилей, источников э.д.с. и индуктивностей. Если же дополнительно учесть и активные сопротивления, то разностные уравнения указанного типа могут быть получены лишь в одном частном случае, когда декременты затухания, а следовательно, постоянные времени или добротности на стороне переменного и стороне постоянного тока преобразователя одинаковы, т.е. когда выполняется условие

$$x_{\gamma}/R_{\gamma} = x_d/R_d, \quad (1)$$

где пары  $x_{\gamma}, R_{\gamma}$  и  $x_d, R_d$  – эквивалентные индуктивные и активные сопротивления на сторонах переменного и постоянного тока соответственно [3, 4, 5].

Условие (1) сильно сужает границы применения метода разностных уравнений, к тому же оно на практике, как правило, не выполняется. Следовательно, решение вопроса вывода разностных уравнений, не содержащих углов коммутации, для цепей, состоящих из вентилей, индуктивностей, активных сопротивлений и источников э.д.с., при произвольных значениях

параметров  $x_{\gamma}, R_{\gamma}, x_d, R_d$  составляет интерес как с научной, так и с практической точки зрения.

При разъяснении разработанного обобщенного метода воспользуемся обобщенной схемой выпрямителя, представленной на рис.1. Сторона переменного тока представлена симметричной  $m$ -фазной системой э.д.с.  $e_k$ , индуктивными  $x_{\gamma}$  и активными  $R_{\gamma}$  сопротивлениями, приведенными к вентильной части схемы:

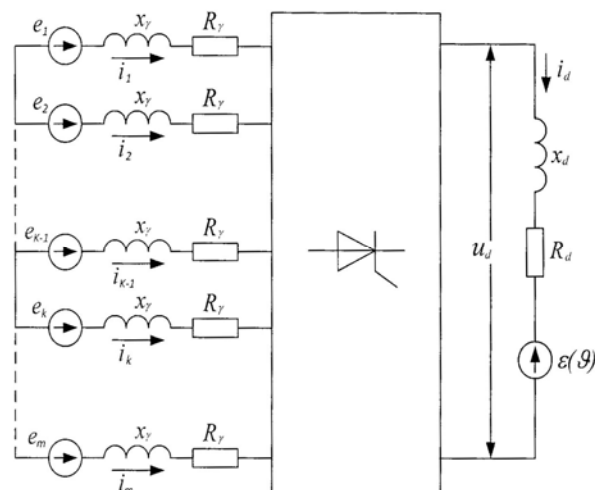


Рис. 1.

$$e_k = E_m \sin \left[ \vartheta + \alpha_0 - (k - 1) \frac{2\pi}{m} \right]; \quad (2)$$

$$(k = 1, 2, \dots, m)$$

$E_m$  – амплитуда э.д.с.  $e_k$ ;  $\alpha_0$  – угол отпирания вентилей в первом промежутке повторяемости;  $m$  – число пульсаций выпрямленного напряжения за период переменной э.д.с. питающей сети;  $\vartheta = \omega t$  – время, выраженное в угловых единицах, причем  $\omega$  – угловая частота переменного тока питающей сети.

Вентильная часть преобразователя, обозначенная на рис.1 четырехугольником, представляет собою любую  $m$ -фазную симметричную вентильную схему, осуществляющую непосредственное преобразование тока. Она содержит только вентили.

Цепь постоянного тока состоит из источника противо э.д.с.  $\varepsilon(\vartheta)$ , индуктивного  $x_d$  и активного  $R_d$  сопротивлений.

Поскольку излагаемый обобщенный метод основывается на эквивалентности дифференциальных уравнений относительно дискретных моментов отпирания вентилей, то назовем его методом дискретно эквивалентных уравнений с аббревиатурой МДЭУ. Условимся также, что в дальнейшем под названием “разностное уравнение” будем подразумевать разностное уравнение, не содержащее углов коммутации.

В настоящей работе МДЭУ рассматривается при следующих условиях:

1. Параметры  $x_\gamma, R_\gamma, x_d, R_d$  – любые, т.е. ограничение (1) снято.
2.  $m$ -фазный симметричный преобразователь (однотактный или двухтактный) работает в выпрямительном режиме, когда углы коммутации  $\gamma_n$  не превышают промежутки повторяемости, т.е.
 
$$0 \leq \gamma_n \leq (2\pi/m) + \alpha_{n+1} - \alpha_n, \quad (3)$$
 причем одновременно коммутируются (перекрываются) не более двух вентилей преобразователя. Здесь  $\alpha_n$  – угол отпирания какого-то  $K$ -го вентиля в момент  $\vartheta_n$ , а  $\alpha_{n+1}$  – угол отпирания очередного вентиля в момент  $\vartheta_{n+1}$ . Условию (3) соответствует режим нормальных нагрузок и кратковременно допустимых перегрузок преобразователя, что является наиболее распространенным (рабочим) режимом выпрямителя.
3. Углы отпирания вентилей  $\alpha_n$  и противо э.д.с.  $\varepsilon(\vartheta)$  изменяются по любым законам, не противоречащим условию (3).
4. Принимаются общеизвестные допущения, применяемые в теории преобразования тока: вентили считаются идеальными, пренебрегается намагничивающими токами и индуктивностями рассеяния трансформаторов.

Весь переходный процесс разобьем на интервалы времени, заключенные между двумя очередными отпираниями вентилей, называемые промежутками повторяемости. Обозначим моменты отпирания вентилей в хронологической последовательности через  $\vartheta_0, \vartheta_1, \dots, \vartheta_n, \vartheta_{n+1}, \dots$ . Допустим, переходный процесс начинается в первом промежутке повторяемости  $(\vartheta_0, \vartheta_1)$ . Выделим произвольный  $(n + 1)$ -й промежуток повторяемости  $(\vartheta_n, \vartheta_{n+1})$ , в начале которого, т.е. в момент  $\vartheta_n = (2\pi/m)n + \alpha_n - \alpha_0$  отпирается какой-то  $K$ -й вентиль, после чего сразу же начинается коммутация с  $(K - 1)$ -ым вентилем, которая завершается запираанием последнего в момент  $\vartheta_n + \gamma_n$ . После этого наступает межкоммутационный интервал, заканчивающийся в момент  $\vartheta_{n+1} = (2\pi/m)(n + 1) + \alpha_{n+1} - \alpha_0$ .

В промежутке повторяемости  $(\vartheta_n, \vartheta_{n+1})$  имеется единственный контур, который непрерывно проводит ток в этом интервале времени в целом. В частности, таким является контур, проходящий через источник переменного питающего напряжения  $e_k$ , элементы  $x_\gamma, R_\gamma$   $K$ -й вентиль и цепь постоянного тока  $x_d, R_d$  и источник противо э.д.с.  $\varepsilon(\vartheta)$ . Для этого контура по

второму закону Кирхгофа составляем дифференциальное уравнение типа

$$\frac{d\phi(\vartheta)}{d\vartheta} + F(\vartheta) = f(\vartheta), \quad (4)$$

где

$$\phi(\vartheta) = x_\gamma i_k + (q_1 x_\gamma + q_2 x_d) i_d, \quad (5)$$

$$F(\vartheta) = R_\gamma i_k + (q_1 R_\gamma + q_2 R_d) i_d. \quad (6)$$

Здесь  $q_1$  и  $q_2$  – отвлеченные числа, полученные в результате приведения параметров цепей переменного тока к вентильной части устройства, зависящие от конкретной схемы преобразователя. (Например, для трехфазной мостовой схемы  $q_1 = q_2 = 1$ ).  $i_k$  – ток  $K$ -ого вентиля, отпирающегося в момент  $\vartheta_n$ , а  $i_d$  – выпрямленный ток.

Функции  $\phi(\vartheta)$  и  $F(\vartheta)$  – разные, они тождественно не равны друг другу. Функция  $f(\vartheta) = e_\Sigma(\vartheta) - \varepsilon(\vartheta)$  представляет собою возмущающую функцию, содержащую большинство величин, изменение которых вызывает переходный процесс: углов отпирания  $\alpha_n$ , противо э.д.с.  $\varepsilon(\vartheta)$  и э.д.с.  $e_\Sigma(\vartheta)$ . Последняя представляет собою суммарную эквивалентную гармоническую функцию, полученную векторным сложением определенных фазных или линейных э.д.с. данной преобразовательной схемы. Кроме перечисленных, переходный процесс может быть вызван и изменением параметров  $x_\gamma, R_\gamma, x_d, R_d$ , входящих в левую часть уравнения (4).

Заменим уравнение (4) уравнением

$$\frac{d\phi(\vartheta)}{d\vartheta} + [M_{n+1}W(\vartheta) + N_{n+1}] = f(\vartheta), \quad (7)$$

т.е. в (4) применим подстановку

$$F(\vartheta) = M_{n+1}W(\vartheta) + N_{n+1}, \quad (8)$$

где  $W(\vartheta)$  – произвольно выбранная функция, интегрируемая на сегменте  $[\vartheta_n, \vartheta_{n+1}]$  и не имеющая разрывов в точках  $\vartheta_n$  и  $\vartheta_{n+1}$ ;  $M_{n+1}$  и  $N_{n+1}$  – неопределенные коэффициенты, которые могут быть определены при помощи граничных условий для  $(n + 1)$ -го промежутка повторяемости:

если

$$\begin{aligned} \vartheta = \vartheta_n, \text{ то } i_k(\vartheta) &= i_k(\vartheta_n) = i_{k,n} = 0; i_d(\vartheta) = \\ &= i_d(\vartheta_n) = i_{d,n}; \end{aligned} \quad (9)$$

а если

$$\begin{aligned} \vartheta = \vartheta_{n+1}, \text{ то } i_k(\vartheta) &= i_k(\vartheta_{n+1}) = i_d(\vartheta_{n+1}) = \\ &= i_{d,n+1}; i_d(\vartheta) = i_d(\vartheta_{n+1}) = i_{d,n+1}. \end{aligned} \quad (10)$$

Подставив значения  $\vartheta_n$  и  $\vartheta_{n+1}$  в (8), получим следующую систему:

$$\begin{cases} M_{n+1}W_n + N_{n+1} = F_n, \\ M_{n+1}W_{n+1} + N_{n+1} = F_{n+1}, \end{cases} \quad (11)$$

откуда определяем

$$M_{n+1} = (F_{n+1} - F_n) / (W_{n+1} - W_n); \quad (12)$$

$$N_{n+1} = (F_n W_{n+1} - F_{n+1} W_n) / (W_{n+1} - W_n), \quad (13)$$

где  $F_n = F(\vartheta_n), F_{n+1} = F(\vartheta_{n+1}),$   
 $W_n = W(\vartheta_n), W_{n+1} = W(\vartheta_{n+1}).$

Сравнение уравнений (4) и (7) показывает, что если коэффициенты  $M_{n+1}$  и  $N_{n+1}$  будут определены по формулам (12) и (13), то решения указанных дифференциальных уравнений в точках  $\vartheta_n$  ( $n = 0, 1, 2, \dots$ ) будут совпадать, в то время, как в других точках их решения будут расходиться, т.е. указанные уравнения будут дискретно эквивалентны.

Для вывода искомого разностного уравнения необходимо, чтобы диффуравнение (7) было разрешимо в замкнутой форме. Это, в свою очередь, требует выбора функции  $W(\vartheta)$  надлежащим образом. В частности, если в качестве функции  $W(\vartheta)$  возьмем функцию  $\phi(\vartheta)$ , то получим линейное диффуравнение первого порядка

$$\frac{d\phi(\vartheta)}{d\vartheta} + [\eta_{n+1}\phi(\vartheta) + \lambda_{n+1}] = f(\vartheta), \quad (14)$$

которое решается в замкнутой форме (аналитически). Коэффициенты  $\eta_{n+1}$  и  $\lambda_{n+1}$  определяются согласно формулам (12) и (13):

$$\eta_{n+1} = (F_{n+1} - F_n) / (\phi_{n+1} - \phi_n), \quad (15)$$

$$\lambda_{n+1} = (F_n \phi_{n+1} - F_{n+1} \phi_n) / (\phi_{n+1} - \phi_n) \quad (16)$$

и зависят от  $n$ . Здесь

$$\phi_n = (q_1 x_\gamma + q_2 x_d) i_{d,n}; \quad \phi_{n+1} = [(q_1 + 1)x_\gamma + q_2 x_d] i_{d,n+1}, \quad (17)$$

$$F_n = (q_1 R_\gamma + q_2 R_d) i_{d,n}; \quad F_{n+1} = [(q_1 + 1)R_\gamma + q_2 R_d] i_{d,n+1}. \quad (18)$$

С целью кратчайшего вывода разностного уравнения, заранее заметим, что линейное дифференциальное уравнение первого порядка

$$L(x) \frac{dy}{dx} + P(x)y = Q(x). \quad (19)$$

$$L(x) \neq 0$$

можно представить в форме

$$\frac{d}{dx} \left\{ y \exp \left[ \int \frac{p(x)}{L(x)} dx \right] \right\} = \frac{Q(x)}{L(x)} \exp \left[ \int \frac{p(x)}{L(x)} dx \right]. \quad (20)$$

Учитывая это, диффуравнение (14) представим в виде

$$\frac{d}{d\vartheta} [\phi(\vartheta) \exp(\eta_{n+1} \vartheta)] = [f(\vartheta) - \lambda_{n+1}] \exp(\eta_{n+1} \vartheta). \quad (21)$$

Проинтегрировав (21) на сегменте  $[\vartheta_n, \vartheta_{n+1}]$  с учетом равенств (5), (6) и граничных условий (9), (10), получим разностное уравнение

$$\phi_{n+1} \exp\left(\frac{\vartheta_{n+1}}{\theta_{n+1}}\right) - \phi_n \exp\left(\frac{\vartheta_n}{\theta_{n+1}}\right) + \lambda_{n+1} \int_{\vartheta_n}^{\vartheta_{n+1}} \exp\left(\frac{\vartheta}{\theta_{n+1}}\right) d\vartheta$$

$$= \int_{\vartheta_n}^{\vartheta_{n+1}} f(\vartheta) \exp\left(\frac{\vartheta}{\theta_{n+1}}\right) d\vartheta, \quad (22)$$

где

$$\theta_{n+1} = 1/\eta_{n+1} =$$

$$= \frac{[(q_1 + 1)x_\gamma + q_2 x_d] i_{d,n+1} - (q_1 x_\gamma + q_2 x_d) i_{d,n}}{[(q_1 + 1)R_\gamma + q_2 R_d] i_{d,n+1} - (q_1 R_\gamma + q_2 R_d) i_{d,n}} = \frac{[(q_1 + 1)x_\gamma + q_2 x_d] \xi_{n+1} - (q_1 x_\gamma + q_2 x_d)}{[(q_1 + 1)R_\gamma + q_2 R_d] \xi_{n+1} - (q_1 R_\gamma + q_2 R_d)} \quad (23)$$

– постоянная времени в  $(n + 1)$ -ом промежутке повторяемости в относительных единицах. Она зависит от отношения токов  $\xi_{n+1} = i_{d,n+1}/i_{d,n}$  и, значит, – и от  $n$ .

После подстановки в (22) значений  $\vartheta_n, \vartheta_{n+1}, \phi_n, \phi_{n+1}, f(\vartheta), \lambda_{n+1}$  и простых преобразований получаем искомое обобщенное разностное уравнение

$$\begin{aligned} & [(q_1 + 1)x_\gamma + q_2 x_d] i_{d,n+1} - (q_1 x_\gamma + q_2 x_d) \exp(-\Delta\vartheta_{n+1}/\theta_{n+1}) i_{d,n} + \\ & \frac{q_2(x_\gamma R_d - x_d R_\gamma) [1 - \exp(-\Delta\vartheta_{n+1}/\theta_{n+1})]}{[(q_1 + 1)R_\gamma + q_2 R_d] \xi_{n+1} - (q_1 R_\gamma + q_2 R_d)} i_{d,n+1} = \\ & = \exp(-\vartheta_{n+1}/\theta_{n+1}) \int_{\vartheta_n}^{\vartheta_{n+1}} [e_\Sigma(\vartheta) - \varepsilon(\vartheta)] \exp(\vartheta/\theta_{n+1}) d\vartheta, \quad (24) \end{aligned}$$

где

$$\Delta\vartheta_{n+1} = \vartheta_{n+1} - \vartheta_n = (2\pi/m) + \alpha_{n+1} - \alpha_n = (2\pi/m) + \Delta\alpha_{n+1} \quad (25)$$

– длительность  $(n + 1)$ -го промежутка повторяемости. Очевидно, что  $\Delta\vartheta_{n+1} = const$ , если приращение угла отпираания  $\Delta\alpha_{n+1} = const$  и  $\Delta\vartheta_{n+1} = var$ , если  $\Delta\alpha_{n+1} = var$ . В случае  $\alpha_n = const$ , длительность  $\Delta\vartheta_{n+1} = 2\pi/m$ .

### 3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании выполненной работы можно сделать следующие основные выводы:

1. Разработанный метод дискретно эквивалентных уравнений (МДЭУ) позволил решить известную проблему вывода разностных уравнений, не содержащих углов коммутации, для любого симметричного  $m$ -фазного преобразователя при произвольных сочетаниях индуктивных и активных сопротивлений схемы с учетом всех основных факторов, влияющих на ход переходных процессов в преобразователе.

2. Полученное обобщенное разностное уравнение (24) соответствует работе преобразователей в наиболее важном режиме, охватывающем диапазон номинальных токовых нагрузок и кратковременно допустимых перегрузок, при котором углы коммутации обычно не превосходят промежутки повторяемости, т.е. выполняется условие (3).

3. Выведенное уравнение (24) является трансцендентным разностным уравнением первого порядка, которое за исключением некоторых частных случаев неразрешимо в замкнутой форме. Однако с привлечением итерационных методов оно позволяет электромагнитные переходные процессы в преобразователе рассчитать с любой точностью.

4. Как известно, разностные математические схемы естественно вписываются в правила компьютерного расчета. Поэтому с применением методов машинного анализа на основании разностного уравнения (24) можно изящно рассчитать разнообразные переходные процессы в преобразователях.

5. В обобщенное разностное уравнение (24) заложена возможность исследования точных закономерностей как стационарных, так и нестационарных электромагнитных процессов в преобразователях. Поэтому с его помощью можно оценить точность других методов анализа.

6. Уравнение (24) выведено для выпрямительного режима, но оно справедливо и для инверторного режима, если в указанном уравнении поменять знак  $\varepsilon(\vartheta)$ .

7. Метод дискретно эквивалентных уравнений (МДЭУ) позволяет существенно повысить гибкость и значимость метода разностных уравнений в иссле-

довании электромагнитных процессов в преобразователях тока.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Меликишвили В.Т. О методе вывода разностных уравнений для расчета переходных процессов в преобразователях //Материалы III республиканской научно \_ технической конференции по метрологии. Часть I, Тбилиси, 1974 г.
2. Меликишвили В.Т. Некоторые обобщения анализа стационарных и нестационарных электромагнитных процессов в мостовых преобразователях тока. Кандидатская диссертация, Тбилиси, 1975 г.
3. Поссе А.В. Применение метода разностных уравнений для расчета переходных процессов в преобразователях //Труды НИИПТ, 1972 г, сб. 18.
4. Нейман Л.Р. Обобщенный метод анализа переходных и установившихся процессов в цепях с преобразователями с учетом активных сопротивлений // Энергетика и транспорт, №2, 1972 г.
5. Зборовский И.А., Янко-Триницкий А.А. Аналитический метод исследования переходных и установившихся процессов в трехфазной мостовой схеме выпрямителя. //Электричество, №12, 1966 г.

#### შპს 621.314.5/6

### დენის გარდამქმნელებში გარდამავალი ელექტრომაგნიტური პროცესების გამოკვლევის სასრულო-სხვაობითი მეთოდის განზოგადება

#### ვ. მელიქიშვილი

ელექტროტექნიკისა და ელექტრონიკის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, კოსტავას 77

**რეზიუმე:** დენის გარდამქმნის თეორიაში მოყვანილია ცნობილი პრობლემის გადაწყვეტა, რომელიც მდგომარეობს კომუტაციის კუთხეების არშემცველი სხვაობითი განტოლების გამოყვანაში სქემაში შემავალი ინდუქციური და აქტიური წინაღობების ნებისმიერი თანაფარდობის დროს. შემუშავებული დისკრეტულად ეკვივალენტური განტოლებების მეთოდით (დეგმ-ით) შესაძლებელი გახდა მითითებული ტიპის განზოგადებული სხვაობითი განტოლებების გამოყვანა, რომელიც ნებისმიერი ფაზიანობის სიმეტრიულ გარდამქმნელებში (გამმართველებსა და ინვერტორებში) გარდამავალი პროცესების ზუსტი კანონზომიერებების გამოკვლევის საშუალებას იძლევა. სხვენებული პრობლემის გადაწყვეტის შედეგად არსებითად იზრდება სხვაობითი განტოლებების მეთოდის როლი დენის გარდამქმნელთა სტატიკისა და დინამიკის შესწავლაში.

**საკვანძო სიტყვები:** დენის გარდამქმნელი; გამმართველი; ინვერტორი; კომუტაციის კუთხე; გარდამავალი და დამყარებული პროცესები; დისკრეტულ-ეკვივალენტური დიფერენციალური განტოლება; სხვაობითი განტოლება.

UDC 621.314.5/6

**GENERALIZATION OF FINAL-DIFFERENTIAL METHOD FOR INVESTIGATION OF TRANSIENT ELECTRO-MAGNETIC PROCESSES IN THE CURRENT TRANSFORMER****V. Melikishvili**

Department of electrical engineering and electronics, Georgian Technical University, 77, Kostava str, Tbilisi, 0175, Georgia

**Resume:** There was given the solution of the known problems in the theory of transformation of current, which includes the derivation of differential equation not comprising the commutating angles. During any type of equilibrium of induction and active resistances comprising the circuit by means of the method of discrete equivalent equations (MDEE) it has become to derive the generalized equations of indicated type, which gives a possibility to investigate the precise regularities of transient processes in symmetric transformers of any phase (rectifiers and inverters). As a result of solution of indicated problems the role of the method of differential equations is considerably increased during the study of statistics and dynamics of the transformers.

**Key words:** current transformer; rectifier; inverter; commutating angle; transient and having been established processes; discrete; equivalent differential equations; difference equation.

*მიღებულია დასაბუჯდად 12.03.213*

УДК 621.314.5/6

**ВЫВОД УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО РАЗНОСТНОГО УРАВНЕНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ДВУХМОСТОВОМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕ****В. Т. Меликишвили**

Департамент электротехники и электроники, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. Костава 77

E-mail: melikishvili37@mail.ru

**Резюме:** Приводится вывод высокоточного разностного уравнения применительно к основному режиму работы двухмостового (12-фазного) преобразователя с учетом всех основных факторов, влияющих на электромагнитные процессы в нем. Полученное разностное уравнение не содержит углов коммутации, наличие которых сильно снижает эффективность метода разностных уравнений. Разработанным методом дискретно эквивалентных уравнений стал возможным вывод уравнения указанного типа при любых сочетаниях активных и индуктивных сопротивлений схемы. Уравнение позволяет исследовать точные закономерности переходных и установившихся процессов при работе преобразователя как выпрямителем, так и инвертором, ведомым сетью.

**Ключевые слова:** преобразователь тока; выпрямитель; инвертор; угол коммутации; переходный процесс; разностные уравнения.

**1. ВВЕДЕНИЕ**

Разработка новых и улучшение параметров имеющихся в эксплуатации преобразователей требует тщательного анализа протекающих в них электромагнитных процессов. Рассматриваемый в данной статье двухмостовой, т.е. 12-фазный двухтактный преобразователь, вместе с одномотовым, т.е. 6-пульсным преобразователем является важнейшим агрегатом современной силовой преобразовательной техники. Например, в системах передач постоянного тока с целью получения достаточно высокого напряжения



требуется последовательное соединение нескольких однофазных преобразователей, для чего и используются 12-фазные мостовые преобразователи последовательного типа.

В двухфазных 12-пульсных преобразователях достигается как увеличение мощности, отдаваемой в нагрузку, так и улучшение гармонического состава выходного напряжения и тока, потребляемого из сети. Эти достоинства обусловили весьма широкое применение двухтактных 12-пульсных преобразователей в области больших мощностей. В частности, 12-фазный режим является основным нормальным режимом работы выпрямительных и инверторных подстанций в системах передач постоянного тока.

Как правило, 12-фазные двухтактные преобразователи на практике работают в так называемом режиме 4-5, при котором вентили проводят группами по 4 и по 5, причем углы коммутации  $\gamma_n$  остаются в пределах промежутков повторяемости, т.е. удовлетворяются условия

$$0 < \gamma_n < \pi/6 + \alpha_{n+1} - \alpha_n. \quad (1)$$

( $\alpha_n$  и  $\alpha_{n+1}$  – соответственно углы отпирания вентилей в моменты начала и конца  $(n + 1)$  – го промежутка повторяемости  $\vartheta_n$  и  $\vartheta_{n+1}$ ). Ввиду важности

режима 4-5 вопрос вывода разностного уравнения в данной статье рассматривается исключительно для этого режима.

## 2. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Эквивалентная схема рассматриваемого 12-фазного последовательного мостового преобразователя и его временные диаграммы для режима 4-5 приведены соответственно на рисунках 1 и 2.

Предположим, что преобразователь работает в выпрямительном режиме. Схема состоит из двух трансформаторов  $Tr1$  и  $Tr2$ , первичные обмотки которых характеризуются индуктивными и активными сопротивлениями  $x_1, R_1$  и  $3x_1, 3R_1$  соответственно. Сопротивления вторичных обмоток  $-x_2$  и  $R_2$ . Цепь постоянного тока состоит из источника противо э.д.с.  $\varepsilon(\vartheta)$ , индуктивного  $x_d$  и активного  $R_d$  сопротивлений. Индуктивное и активное сопротивления фаз питающей сети –  $x_0$  и  $R_0$ . В работе приняты общеизвестные в теории преобразования тока допущения.

При решении поставленной задачи будем руководствоваться методом дискретно эквивалентных уравнений (МДЭУ) [1].

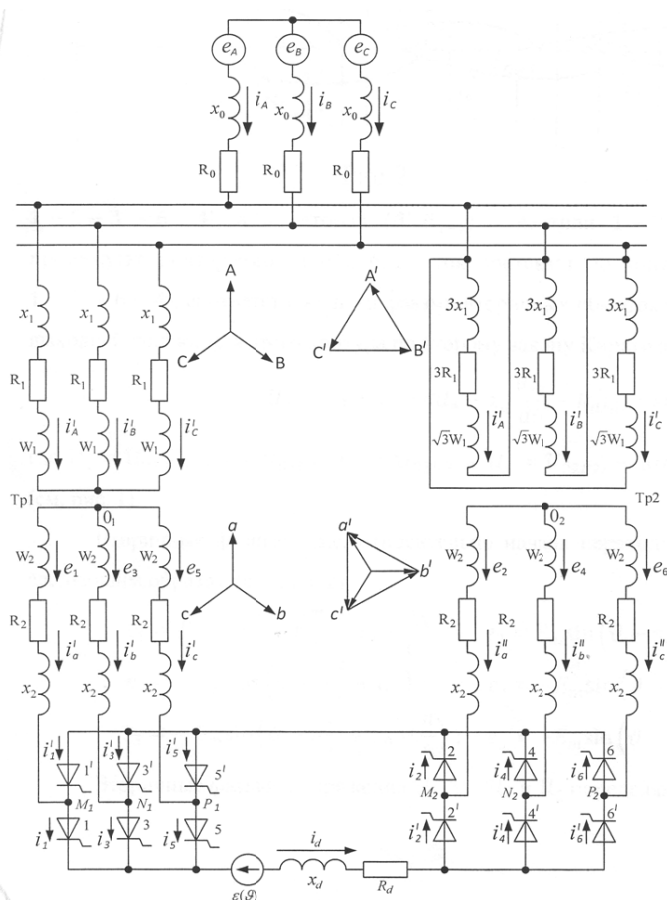


Рис. 1

Рассмотрим произвольный  $(n + 1)$ -й промежуток повторяемости  $(\vartheta_n, \vartheta_{n+1})$ . В первой (коммутационной) части этого промежутка  $(\vartheta_n, \vartheta')$  токопроводящими являются вентили  $1 - 5 - 3' - 6 - 4'$ , а во второй  $(\vartheta', \vartheta_{n+1})$  – вентили  $1 - 3' - 6 - 4'$ . В течение всего промежутка повторяемости  $(\vartheta_n, \vartheta_{n+1})$  ток протекает по контуру, замкнутому вентилями  $1 - 3' - 6 - 4'$ , соответствующими фазами вторичных обмоток трансформаторов Тр1 и Тр2 и выходной цепью. Для этого

контура по второму закону Кирхгофа составляем уравнение

$$U_1 - U_3 + U_6 - U_4 - x_d \frac{di_d}{d\vartheta} - R_d i_d = \varepsilon(\vartheta), \quad (2)$$

где  $U_1 = U_{01M1}$ ,  $U_3 = U_{01N1}$ ,  $U_4 = U_{02N2}$  и  $U_6 = U_{02P2}$ , – вторичные фазные напряжения (см. рис. 1).

Вторичные фазные э.д.с. относительно начала переходного процесса  $\vartheta_0$  запишутся следующим образом (см. рис. 2) :

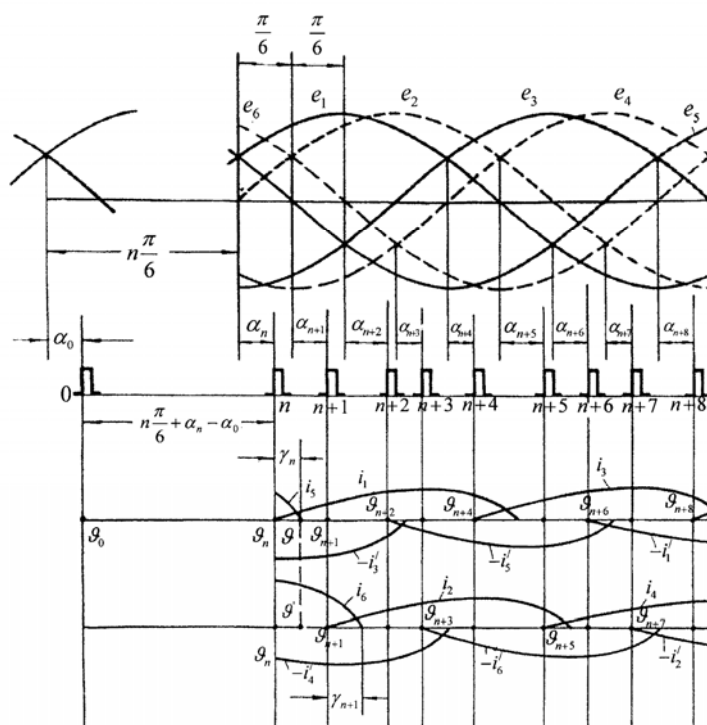


Рис. 2

$$\left. \begin{aligned} e_1 &= E_m \sin \left( \vartheta - n \frac{\pi}{6} + \alpha_0 + \frac{\pi}{6} \right); \\ e_2 &= E_m \sin \left( \vartheta - n \frac{\pi}{6} + \alpha_0 \right); \\ e_3 &= -E_m \cos \left( \vartheta - n \frac{\pi}{6} + \alpha_0 \right); & e_4 &= -E_m \sin \left( \vartheta - n \frac{\pi}{6} + \alpha_0 + \frac{\pi}{3} \right); \\ e_5 &= -E_m \sin \left( \vartheta - n \frac{\pi}{6} + \alpha_0 - \frac{\pi}{6} \right); & e_6 &= -E_m \sin \left( \vartheta - n \frac{\pi}{6} + \alpha_0 - \frac{\pi}{3} \right); \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Вторичные фазные напряжения  $U_1, U_3, U_4$  и  $U_6$  определяются по выражениям:

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= e_1 - x \frac{d}{d\vartheta} \left[ i_1 - i'_1 + \frac{K_1}{\sqrt{3}} (i_2 - i'_2 - i_4 + i'_4) \right] - R \left[ i_1 - i'_1 + \frac{K_2}{\sqrt{3}} (i_2 - i'_2 - i_4 + i'_4) \right]; \\ U_3 &= e_3 - x \frac{d}{d\vartheta} \left[ i_3 - i'_3 + \frac{K_1}{\sqrt{3}} (i_4 - i'_4 - i_6 + i'_6) \right] - R \left[ i_3 - i'_3 + \frac{K_2}{\sqrt{3}} (i_4 - i'_4 - i_6 + i'_6) \right]; \\ U_4 &= e_4 - x \frac{d}{d\vartheta} \left[ i_4 - i'_4 + \frac{K_1}{\sqrt{3}} (i_3 - i'_3 - i_1 + i'_1) \right] - R \left[ i_4 - i'_4 + \frac{K_2}{\sqrt{3}} (i_3 - i'_3 - i_1 + i'_1) \right]; \\ U_6 &= e_6 - x \frac{d}{d\vartheta} \left[ i_6 - i'_6 + \frac{K_1}{\sqrt{3}} (i_5 - i'_5 - i_3 + i'_3) \right] - R \left[ i_6 - i'_6 + \frac{K_2}{\sqrt{3}} (i_5 - i'_5 - i_3 + i'_3) \right]. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Так как в исследуемом промежутке повторяемости в момент  $\vartheta_n$  отпирается вентиль 1, то согласно методике вывода разностного уравнения, приведенного в [2], из системы (4) следует исключить все токи,

кроме  $i_1$  и  $i_d$ . С учетом того, что  $i_1 + i_5 = i_d, i'_3 = i'_4 = i_6 = i_d$ , а остальные вентильные токи равны нулю, на основании (3), (4) и (2) приходим к уравнению

$$\begin{aligned} \frac{d}{d\vartheta} [xi_1 + (3x + 2\sqrt{3}K_1x + x_d)i_d] + [Ri_1 + (3R + 2\sqrt{3}K_2R + R_d)i_d] = \\ = 2\sqrt{3}E_m \cos\left(\vartheta - n\frac{\pi}{6} + \alpha_0 - \frac{\pi}{12}\right) \cos\frac{\pi}{12} - \varepsilon(\vartheta), \end{aligned} \quad (5)$$

где  $K_1 = x_0/c^2x$ ,  $K_2 = R_0/c^2R$ ,  $c = W_1/W_2$  – коэффициент трансформации,  $ax = \frac{x_0+x_1}{c^2} + x_2$  и  $R = \frac{R_0+R_1}{c^2} + R_2$  – соответственно суммарное индуктивное и активное сопротивления питающей сети, первичной и вторичной обмоток трансформаторов, приведенные к вторичной обмотке трансформаторов. Сопоставим уравнению (5) уравнение

$$\begin{aligned} \frac{d}{d\vartheta} [xi_1 + (3x + 2\sqrt{3}K_1x + x_d)i_d] + \eta_{n+1}[xi_1 + (3x + 2\sqrt{3}K_1x + x_d)i_d] + \lambda_{n+1} = \\ = 2\sqrt{3}E_m \cos\left(\vartheta - n\frac{\pi}{6} + \alpha_0 - \frac{\pi}{12}\right) \cos\frac{\pi}{12} - \varepsilon(\vartheta). \end{aligned} \quad (6)$$

Коэффициенты  $\eta_{n+1}$  и  $\lambda_{n+1}$  определяются решением системы уравнений, полученной подстановкой значений  $\vartheta_n$  и  $\vartheta_{n+1}$  в уравнение

$$\eta_{n+1}[xi_1 + (3x + 2\sqrt{3}K_1x + x_d)i_d] + \lambda_{n+1} = Ri_1 + (3R + 2\sqrt{3}K_2R + R_d)i_d. \quad (7)$$

С учетом граничных условий  $i_1 = 0$ ,  $i_d = i_{d,n}$  при  $\vartheta = \vartheta_n$  и  $i_1 = i_{d,n+1}$ ,  $i_d = i_{d,n+1}$  при  $\vartheta = \vartheta_{n+1}$  упомянутая система примет вид

$$\left. \begin{aligned} (3x + 2\sqrt{3}K_1x + x_d)i_{d,n}\eta_{n+1} + \lambda_{n+1} &= \\ &= (3R + 2\sqrt{3}K_2R + R_d)i_{d,n} \\ (4x + 2\sqrt{3}K_1x + x_d)i_{d,n+1}\eta_{n+1} + \lambda_{n+1} &= \\ &= (4R + 2\sqrt{3}K_2R + R_d)i_{d,n+1} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Отсюда определяем постоянную времени для (n+1)-го промежутка повторяемости:

$$\begin{aligned} \theta_{n+1} = \frac{1}{\eta_{n+1}} = \frac{(4x + 2\sqrt{3}K_1x + x_d)i_{d,n+1} - (3x + 2\sqrt{3}K_1x + x_d)i_{d,n}}{(4R + 2\sqrt{3}K_2R + R_d)i_{d,n+1} - (3R + 2\sqrt{3}K_2R + R_d)i_{d,n}} = \\ = \frac{(4x + 2\sqrt{3}K_1x + x_d)\xi_{n+1} - (3x + 2\sqrt{3}K_1x + x_d)}{(4R + 2\sqrt{3}K_2R + R_d)\xi_{n+1} - (3R + 2\sqrt{3}K_2R + R_d)}, \end{aligned} \quad (9)$$

где  $\xi_{n+1} = i_{d,n+1}/i_{d,n}$ ,

$$\begin{aligned} \lambda_{n+1} = \frac{[2\sqrt{3}Rx(K_2 - K_1) + R_dx - R_xd]i_{d,n}i_{d,n+1}}{(4x + 2\sqrt{3}K_1x + x_d)i_{d,n+1} - (3x + 2\sqrt{3}K_1x + x_d)i_{d,n}} = \\ = \frac{[2\sqrt{3}Rx(K_2 - K_1) + R_dx - R_xd]i_{d,n+1}}{(4x + 2\sqrt{3}K_1x + x_d)\xi_{n+1} - (3x + 2\sqrt{3}K_1x + x_d)}. \end{aligned} \quad (10)$$

При таких значениях  $\theta_{n+1}$  и  $\lambda_{n+1}$  дифференциальные уравнения (5) и (6) будут дискретно эквивалентными, т.к. значения их решений в моменты  $\vartheta_n$  и  $\vartheta_{n+1}$ , а следовательно, и в любых других точках отпираания вентилей совпадут.

Запишем уравнение (6) в форме

$$\begin{aligned} \frac{d}{d\vartheta} \left\{ [xi_1 + (3x + 2\sqrt{3}K_1x + x_d)i_d] \exp\left(\int \eta_{n+1} d\vartheta\right) \right\} \\ + \lambda_{n+1} \exp\left(\int \eta_{n+1} d\vartheta\right) = \end{aligned}$$

$$= \left[ 2\sqrt{3}E_m \cos\left(\vartheta - n\frac{\pi}{6} + \alpha_0 - \frac{\pi}{12}\right) \cos\frac{\pi}{12} - \varepsilon(\vartheta) \right] \exp\left(\int \eta_{n+1} d\vartheta\right). \quad (11)$$

Проинтегрируем это уравнение в пределах рассматриваемого (n + 1)-го промежутка повторяемости  $[\vartheta_n, \vartheta_{n+1}]$ , т.е. от  $\vartheta_n = n\frac{\pi}{6} + \alpha_n - \alpha_0$  до  $\vartheta_{n+1} = (n + 1)\frac{\pi}{6} + \alpha_{n+1} - \alpha_0$ , учитывая при этом граничные условия: при  $\vartheta = \vartheta_n$ ,  $i_1(\vartheta_n) = 0$ ,  $i_d(\vartheta_n) = i_{d,n}$ , а при  $\vartheta = \vartheta_{n+1}$ ,  $i_1(\vartheta_{n+1}) = i_{d,n+1}$ ,  $i_d(\vartheta_{n+1}) = i_{d,n+1}$ .

После простых преобразований искомое разностное уравнение можно записать в форме

$$\begin{aligned}
 & (4x + 2\sqrt{3}K_1x + x_d)i_{d,n+1} - (3x + 2\sqrt{3}K_1x + x_d)\exp(-\Delta\vartheta_{n+1}/\theta_{n+1}) \cdot i_{d,n} + \\
 & + \frac{[2\sqrt{3}Rx(K_2 - K_1) + R_d x - Rx_d][1 - \exp(-\Delta\vartheta_{n+1}/\theta_{n+1})] \cdot i_{d,n} \cdot i_{d,n+1}}{(4R + 2\sqrt{3}K_2R + R_d)i_{d,n+1} - (3R + 2\sqrt{3}K_2R + R_d)i_{d,n}} = \\
 & = \exp(-\vartheta_{n+1}/\theta_{n+1}) \int_{\vartheta_n}^{\vartheta_{n+1}} [2\sqrt{3}E_m \cos(\vartheta - n\frac{\pi}{6} + \alpha_0 - \frac{\pi}{12}) \cos \frac{\pi}{12} - \varepsilon(\vartheta)] \exp(\vartheta/\theta_{n+1}) d\vartheta. \quad (12)
 \end{aligned}$$

Здесь  $\Delta\vartheta_{n+1} = \vartheta_{n+1} - \vartheta_n = \pi/6 + \alpha_{n+1} - \alpha_n$  – длительность  $(n + 1)$ -го промежутка повторяемости.

Для мощных преобразователей пренебрегают активными сопротивлениями. Полагая  $R = R_0 = R_d = 0$ , разностное уравнение (12) примет вид

$$\begin{aligned}
 & (4x + 2\sqrt{3}K_1x + x_d)i_{d,n+1} - \\
 & - (3x + 2\sqrt{3}K_1x + x_d)i_{d,n} = \int_{\vartheta_n}^{\vartheta_{n+1}} [2\sqrt{3}E_m \cos(\vartheta - n\frac{\pi}{6} + \alpha_0 - \frac{\pi}{12}) \cos \frac{\pi}{12} - \varepsilon(\vartheta)] d\vartheta \quad (13)
 \end{aligned}$$

На практике нередко переходные процессы протекают в условиях постоянства возмущающих факторов, т.е. при  $E_m = const$ ,  $\varepsilon(\vartheta) = const$  и  $\alpha_n = \alpha = const$ . В этом случае (13) превращается в уравнение

$$\begin{aligned}
 & (4x + 2\sqrt{3}K_1x + x_d)i_{d,n+1} - \\
 & - (3x + 2\sqrt{3}K_1x + x_d)i_{d,n} = \\
 & = \sqrt{3}E_m \cos\alpha - \frac{\pi}{6} E. \quad (14)
 \end{aligned}$$

Для нахождения установившегося тока  $i_{d,ycm}$ , в соответствующем разностном уравнении следует полагать:  $i_{d,n} = i_{d,n+1} = i_{d,ycm}$  ( $\xi_{n+1} = 1$ ),  $E_m = const$ ,  $\varepsilon(\vartheta) = E = const$ ,  $\alpha_n = \alpha = const$ , а вместо  $\theta_{n+1}$  – его установившееся значение

$$\theta_{ycm} = x/R, \quad (14)$$

которое получается на основании формулы (9) подстановкой  $\xi_{n+1} = 1$ . В установившемся режиме длительность любого промежутка повторяемости  $\Delta\vartheta_{n+1} = \vartheta_{n+1} - \vartheta_n = \pi/6$  постоянна. С учетом этих положений, например, для условий, соответствующих разностному уравнению (14), установившееся значение тока

$$i_{d,ycm} = \frac{\sqrt{3}E_m \cos\alpha - (\pi/6)E}{x}. \quad (16)$$

Это уравнение запишется в относительных единицах в форме

$$U_d^* = 2 \left( \cos\alpha - \frac{1}{\sqrt{3}} J_d^* \right), \quad (17)$$

где  $U_d^* = E / [(3/\pi)\sqrt{3}E_m]$  и  $J_d^* = i_{d,ycm} / (E_m/x)$ .

Выражение (17) представляет собой известное уравнение внешней характеристики двухмостового преобразователя для режима 4-5 при любом значении  $x_d$ , в том числе и при  $x_d = \infty$ [4]. Это является следствием того, что в дискретные моменты отпирания вентилей значения выпрямленного тока не зависят от индуктивного сопротивления сглаживающего реактора.

### 3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненная работа позволяет сделать следующие выводы:

1. Разработанным методом дискретно эквивалентных уравнений стал возможен вывод разностного уравнения, отображающего точные закономерности переходных процессов в двухмостовом преобразователе тока при любых соотношениях индуктивных и активных сопротивлений схемы.

2. Уравнение выведено для самого важного режима работы преобразователя (режима 4-5), охватывающего диапазон номинальных токов и допустимых перегрузок, причем оно не содержит углов коммутации, что значительно повышает эффективность анализа электромагнитных процессов.

3. Выведенное уравнение позволяет исследовать переходные процессы, возникающие при изменении амплитуды питающего напряжения выпрямителя, противо э.д.с., угла отпирания вентилей, а также, при скачкообразном изменении параметров схемы (индуктивных и активных сопротивлений).

4. При наличии обратной связи в преобразовательной системе, например, при регулировании угла отпирания вентилей выходным током, выведенное разностное уравнение можно дополнить уравнением регулятора и переходный процесс рассчитать решением системы этих уравнений.

5. Полученное уравнение является нелинейным трансцендентным уравнением первого порядка, которое за исключением некоторых частных случаев, неразрешимо в замкнутой форме, но расчет исследуемых процессов с любой точностью можно успешно провести с привлечением средств компьютерного расчета.

6. Хотя разностное уравнение выведено для выпрямительного режима, но его можно использовать и для инвертора, ведомого сетью, поменяв знак противо э.д.с. в уравнении.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Меликишвили В. Т. Обобщение конечно-разностного метода исследования переходных электромагнитных процессов в преобразователе тока // Научные труды ГТУ, № 2(488), 2013 г., Тбилиси, 2013г.
2. Меликишвили В. Т. Некоторые обобщения анализа стационарных и нестационарных электромагнитных процессов в мостовых преобразователях тока. Кандидатская диссертация. Тбилиси, 1975 г.
3. Меликишвили В.Т. Разностные уравнения для анализа переходных процессов в двухмостовом преобразователе при начальных режимах // Научные труды ГПИ, №1(183), Электромеханика и электроника. Тбилиси, 1976 г.
4. Поссе А. В. Схемы и режимы электропередач постоянного тока. Ленинград, 1973 г.

შპს 621.314.5/6

## ორბოგიან ბარდამქმნელში ბარდამავალი პროცესების გამოსაკვლევი სრულყოფილი სხვაობითი განტოლების გამოყვანა

**ვ. მელიქიშვილი**

ელექტროტექნიკისა და ელექტრონიკის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, კოსტავას 77

**რეზიუმე:** გამოყვანილია ორბოგიანი (12-ფაზა) გარდამქმნელის ძირითად რეჟიმში მუშაობის ამსახველი სხვაობითი განტოლება მოწყობილობაში მიმდინარე ელექტრომაგნიტურ პროცესებზე ზეგავლენის მქონე ყველა ძირითადი ფაქტორის გათვალისწინებით. მიღებული სხვაობითი განტოლება არ შეიცავს კომუტაციის კუთხეებს, რომელთა გამო ძლიერ ქვეითდება სხვაობითი განტოლებების მეთოდის ეფექტურობა. შემუშავებული დისკრეტულად ეკვივალენტური განტოლებების მეთოდით მოხერხდა სხენებული ტიპის განტოლების გამოყვანა სქემაში შემავალი აქტიური და ინდუქციური წინაღობების ნებისმიერი თანაფარდობის დროს. განტოლება საშუალებას იძლევა გამოვიკვლიოთ გარდამავალი და დამყარებული პროცესების ზუსტი კანონზომიერებები გარდამქმნელის როგორც გამმართველად, ასევე ქსელის მიმყოფ ინვერტორად მუშაობისას.

**საკვანძო სიტყვები:** დენის გარდამქმნელი; გამმართველი; ინვერტორი; კომუტაციის კუთხე; გარდამავალი პროცესი; სხვაობითი განტოლება.

UDC 621.314.5/6

## DERIVATION OF PERFECT DIFFERENTIAL EQUATION FOR INVESTIGATION OF TRANSIENT PROCESS IN TWO-BRIDGES TRANSFORMER

**V. Melikishvili**

Department of electrical engineering and electronics, Georgian Technical University, 77, Kostava str, Tbilisi, 0175, Georgia

**Resume:** There has been derived a differential equation describing the work of two-bridges (120 phase) transformer in the equipment with allowance of all main factors having the influence of electromagnetic processes on running electromagnetic processes. The obtained differential equation does not comprise the commutation angles, because of which a methodic efficiency of the differential equations are being greatly lowered. By the developed method of discrete equivalent equations it has been managed to derive the equation of indicated type. During any kind of equilibrium of active and induction resistance comprising the circuit of the equation gives a possibility to investigate the precise regularities of transient and based processes of the transformer working both as a rectifier and accompanying inverter of the network.

**Key words:** current transformer; rectifier; inverter; commutating angle; transient process; differential equations.

*მიღებულია დასაბეჭდად 12.03.2013*

# სამთო-გეოლოგიის სექცია

შპს 624.131.31

ხულონის მშენებლობის განახლებასთან დაკავშირებული  
საინჟინრო-გეოლოგიური საკითხები

უ. ზვიადაძე, მ. მარდაშოვა\* ა. ქემოკლიძე

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

E-mail: m\_mardashova@gtu.ge

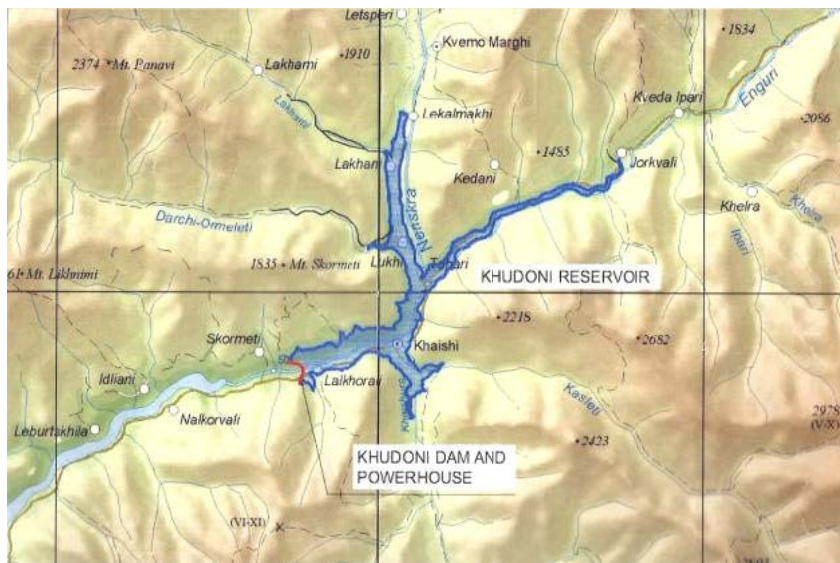
**რეზიუმე:** სტატიაში განხილულია საინჟინრო-გეოლოგიური, ნაწილობრივ ჰიდროგეოლოგიური პროცესები, რომლებიც ფაქტობრივად არსებული ობიექტური მიზეზების გამო, ნეგატიურად უნდა იქნეს მიჩნეული ხულონის ჰიდროკვანძის მშენებლობის და შემდგომი ექსპლუატაციის პერიოდში არა მარტო გარემოზე, არამედ საკუთრივ ჰიდროკვანძის ნაგებობებზე უარყოფითი ზემოქმედების თვალსაზრისით.

**საკვანძო სიტყვები:** კაშხალი; წყალსაცავი; პლასტიკური და ბლოკური მეწერები; შვავი; შეტბორვა.

## 1. შესავალი

ხულონის ჰიდროელექტროსადგურის მშენებლობის განახლებასთან დაკავშირებით საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის გეოლოგთა

ჯგუფმა 10 დღის განმავლობაში შეასრულა საველე-სარეკონოსცირებო სამუშაო ზემო სვანეთის სოფ. ხაიშის და მისი შემოგარენის ტერიტორიაზე ჰიდროტექნიკური კომპლექსის (კაშხალი, წყალსაცავი, სადერივაციო გვირაბი და სხვ.) მშენებლობის და შემდგომი ექსპლუატაციის პერიოდში ჰიდროგეოლოგიური და საინჟინრო-გეოლოგიური პროცესების მხრივ გარემოზე შესაძლო ზემოქმედების შეფასების მიზნით. საველე მარშრუტების საშუალებით ვიზუალურად შესწავლილ იქნა ტერიტორია, რომელიც წყალსაცავის შექმნის შემდეგ დატბორვის ზონაში უნდა მოექცეს. მათ შორისაა დასახლებული პუნქტები – ლალხორაღი, ენგურს გაღმა და გამოღმა ხაიში, ლუხი, ტობარი, ლახანი, წირმინდი, ნაწილობრივ ლეკალმახის და ჯორკვალის შემოგარენი.



სურ. 1. ხულონის ჰესის საპროექტო წყალსაცავის კონტური

მარშრუტული აგეგმვის პერიოდში, რომელმაც მდინარეების – ენგურის, ხაიშურას (თხეიშის), ნენსკრას და ლახანის ხეობები მოიცავს, აღწერილ და GPS კოორდინატებით, აგრეთვე ფოტოდოკუმენტებით დაფიქსირებულ იქნა დაკვირვების 41 წერტილი. მოპოვებული მდიდარი ფაქტობრივი მასალის ანალიზი და ამ მასალის საფონდო და ლიტერატურულ წყაროებთან შეჯერება საშუალებას გვაძლევს დასაბუთებულად ვიმსჯელოთ ჰიდროტექნიკური კომპლექსის, განსაკუთრებით წყალსაცავის გარემოზე ნეგატიური ზემოქმედების იმ საინჟინრო-გეოლოგიური და ჰიდროგეოლოგიური ფაქტორების შესახებ, რომლებიც დეტალურად არის განხილული ქვემოთ აღწერილობაში.

## 2. ძირითადი ნაწილი

შესრულებული კვლევების შედეგების აღწერამდე მიზანშეწონილია გავეცნოთ საერთო მონაცემებს საკუთრივ ხუდონჰისის პარამეტრების, განსახილველი ტერიტორიის ფიზიკურ-გეოგრაფიული პირობების და გეოლოგიური აგებულების შესახებ. ეს მონაცემები სათანადო ლიტერატურული წყაროებიდან არის მოძიებული [1].

ხუდონის კაშხალი შენდება ზემო სვანეთში, ალპურ ზონაში, რომელიც კავკასიონის ქედის სამხრეთ კალთებზე მდებარეობს. აღსანიშნავია, რომ სამუშაოების გარკვეული ნაწილი ჯერ კიდევ გასული საუკუნის 80-იან წლებში შესრულდა და შემდგომი “დეტალური და ეკონომიკური კვლევების შედეგად დადგინდა, რომ ხუდონის კაშხლის საპროექტო ტერიტორიაზე არსებული ნაწილობრივ განხორციელებული სამუშაოები წარმოადგენს პროექტის საუკეთესო აღტერნატივას” [2]. ჩვენი აზრით, ეს მოსაზრება მხოლოდ ნაწილობრივ შეიძლება ჩაითვალოს მართებულად, სახელდობრ, საკუთრივ კაშხალთან მიმართებაში. ფერდობების კონფიგურაციიდან და აგებულებიდან გამომდინარე, კაშხლის მშენებლობის ადგილი სწორად არის შერჩეული. მდინარის ამ კვეთზე ხეობა ვიწროა (დაახლოებით 50 მ) და მისი ორივე ფერდობი მკვერივი ქვიშაქვებით არის აგებული. განსხვავებული სურათი გვაქვს არახელსაყრელი საინჟინრო-გეოდინამიკური პროცესების მხრივ, რაზეც ყურადღება შემდგომ აღწერილობაში არის გამახვილებული.

ხუდონის ჰიდროელექტროსადგურის ძირითადი საპროექტო პარამეტრები შემდეგია:

- ბეტონის თაღოვან-გრაფიტაციული კაშხალი;
- სიმაღლე – 200.5 მ;
- თხემის სიგრძე – 522 მ;
- დატბორილი ტერიტორიის ფართობი – 528 ჰა;

- თხემის სიგანე – 6.02 მ;
- ქვედა ნაწილის სიგანე ყველაზე დაბალ წერტილში – 31.7 მ;
- წყალსაცავის მოცულობა – 364.5 მილიონი მ<sup>3</sup>;
- წყლის მაქსიმალური დონე – 700.0 მ;
- მინიმალური საექსპლუატაციო დონე – 640.0 მ;
- მაქსიმალური სიდიერის მოსალოდნელი მიწისძვრა (რიხტერის შკალით) – 9 ბალი.

ცხადია, აღნიშნული პარამეტრების კონკრეტულ სიდიდეებს არსებითი ზეგავლენა აქვს გარემოზე და მათი გათვალისწინების გარეშე გარემოზე ზემოქმედების შეფასება შეუძლებელი იქნებოდა.

ხუდონის ჰიდროელექტროსადგურის მშენებლობის რაიონისთვის დამახასიათებელია მკვეთრად დანაწევრებული მთაგორიანი რელიეფი აბსოლუტური ნიშნულების მოკლე მანძილებზე ცვალებადობის დიდი ამპლიტუდით. აქ წარმოდგენილი რელიეფის ძირითადი ტიპებიდან აღსანიშნავია:

- ტექტონიკური, მაღალმთიანი, ძლიერ ეროზიული რელიეფი, რომელიც პალეოზოური, ტრიასული, ქვედა და შუა იურული ასაკის მეტამორფული და ტერიგენული ქანების სუბსტრატზე არის განვითარებული;
- რელიეფის დენუდაციურ-აკუმულაციური ფორმები, რომლებიც სუსტად დატერასებული ღრმა ალუვიურ ხეობებში გვხვდება.

ცალკეული მწვერვალების აბსოლუტური ნიშნულები 2000 - 3000 მეტრის ფარგლებში მერყეობს. მდინარეთა ხეობებს V-სებრი კონფიგურაცია აქვთ, ციცაბო და მაღალი ფერდობებით, რომლებიც გარდა ალპური სარტყლისთვის დამახასიათებელი ბალახოვანი საფარისა, უმთავრესად ტყის მცენარეულობით არის დაფარული. შედარებით მცირედ დახრილ მონაკვეთებზე რელიეფის მიკროფორმები ვლინდება ვიწრო, ლოკალური გავრცელების ტერასების და გამოტანის კონუსების სახით.

საკვლევი რაიონში გავრცელებული გეოლოგიური წარმონაქმნების ფართო ასაკობრივი სპექტრიდან უშუალოდ წყალსაცავის და მის მიმდებარე ტერიტორიებზე ორი ძირითადი ფორმაცია არის წარმოდგენილი:

- შუა იურის აალენური ასაკის თიხაფიქლების და ქვიშაქვების წყება ( $J_2^a$ ), რომელიც ლითოლოგიურად მუქი ნაცრისფერი თიხაფიქლების და ნაცრისფერი წვრილმარცვლოვანი ქვიშაქვების მონაცვლეობით არის აგებული;

- შუა იურის ბაიოსის ასაკის პორფირიტული წყება ( $J_2b_j$ ), რომელიც ტუფოქვიშაქვების, ტუფობრექციების, ტუფოკონგლომერატების, პორფირიტული განფენების და ტუფების მონაცვლეობით არის წარმოდგენილი.

ააღენური სართულის ქანები მდ. ენგურის ხეობაში, სოფ. ხაიშიდან სოფ. ლალხორალამდე მონაკვეთზე, აგრეთვე მდ. ხაიშურას ხეობაში არის განვითარებული, ხოლო ბაიოსის ტუფოგენებით მდ. ნენსკრას და ხაიში-ჯორკვალის მონაკვეთზე მდ. ენგურის ხეობები არის აგებული.

ტყის ხშირი საფარი, მკვერივი ქანებით აგებული მაღალი და ციცაბო ფერდობები, მდინარეთა ვიწრო კალაპოტები ხელს არ უწყობს მეოთხეული ნალექების დიდი რაოდენობით აკუმულაციას. ამის მიუხედავად, ცალკეულ, შედარებით ფართო კალაპოტის და კალაპოტზედა ტერასების მონაკვეთებზე თანამედროვე ალუვიონის საკმაოდ დიდძალი დანაგროვები გვხვდება, რაც ძირითადად მდინარეების ნენსკრას და ხაიშურას აუზებისთვის არის დამახასიათებელი. გარდა ამისა, უნდა აღინიშნოს ზედა მეოთხეული ასაკის მყინვარული და ფლუვიოგლაციალური წარმონაქმნები, რომლებიც მდინარეების ნენსკრას და ნაკრას ზემო წელში არის გავრცელებული, სადაც მათი სიმძლავრე რამდენიმე ათეული მეტრის ფარგლებში იცვლება.

საქართველოს ტერიტორიის გეოტექტონიკური დარაიონების სქემის მიხედვით, ხუდონის მშენებლობის რაიონი კავკასიონის ნაოჭა (ნაოჭა-ზეწრული) სისტემის (I) შემადგენელი ნაწილია [3]. აღნიშნული სისტემა, თავის მხრივ, ოთხ მსხვილ ზონად იყოფა, რომელთა შორის უშუალოდ განსახილველი ტერიტორიის მეტი ნაწილი ლიასის და შუა იურის თიხაფიქლების ყაზბეგ-ლაგოდების ზონას ( $I_2$ ) და, ნაწილობრივ, გაგრა-ჯავის ზონის პორფირიტული იურის (ბაიოსი) ჩრდილოეთ ქვეზონას ( $I_3$ ) უჭირავს. ტექტონიკური სურათი ძალზე რთულია. ხაზობრივი ნაოჭების პარალელურად განფენის ტიპის სტრუქტურებიც ხშირია, რომლებიც რეგიონული და ლოკალური წყვეტითი დისლოკაციებით არის გართულებული.

ბუნებრივია, საკვლევი ტერიტორიის სარეკონოსცირებო მარშრუტებით შესწავლის პროცესში ყურადღება გამახვილებულია იმ უბნებზე, რომლებიც საშიში გეოდინამიკური მოვლენების თვალსაზრისით, გარემოზე ზემოქმედების მხრივ განსაკუთრებით მოწყვლადია. სტატიაში წამოჭრილი საკითხის სპეციფიკურობიდან გამომდინარე, გარემოზე ზემოქმედების შეფასების სოციალურ ასპექტს საერთოდ არ ვეხებით [4].

კლასიკური გაგებით, ტიპური მეწვრული ფერდობები, მიწის დიდი მოცულობის მოძრაობის მასით,

ხშირია მდინარეების ენგურის, ნენსკრას, ლახანის, ხაიშურას და კასლეთის ხეობებში. ასევე ხშირია ჩამონგრევის ტიპის ბლოკური მეწვრები, რომლებიც ყველა შესწავლილი ხეობისთვის არის დამახასიათებელი. ნაშალი ფერდობები, რომლებიც უმთავრესად თიხა ფიქლების სხვადასხვა ზომის ნატეხებით არის აგებული (ნაწილობრივ ქვიშაქვების ნატეხებითაც), მიეკუთვნება შეგების კატეგორიას. არც მათი გავრცელების არეალია შეზღუდული ერთი ან ორი რომელიმე ხეობით. გამომდინარე სტატის ლიმიტირებული მოცულობიდან, ცხადია, ყველა დამახასიათებელი უბნის აღწერა ვერ მოხერხდება და ამიტომ, განსაკუთრებით საშიშ უბნებს განვიხილავთ, სათანადო ფოტოდოკუმენტაციის თანხლებით. ამასთან, აუცილებელია ხაზგასმით აღინიშნოს, რომ აღწერას დაქვემდებარებულია მხოლოდ ის უბნები, რომლებიც წყალსაცავის შექმნის შემდეგ მისი უშუალო ზემოქმედების ქვეშ აღმოჩნდება, თორემ, სხვა მხრივ, შესწავლილ ტერიტორიაზე საინჟინრო-გეოლოგიური თვალსაზრისით მწვავედ სენსიტიური უბნები უამრავია.

დავიწყოთ დელუვიურ საფარში განვითარებული პლასტიკური მეწვრებით. ერთ-ერთი ამგვარი ტიპური ფერდობი იმ ადგილას მდებარეობს, სადაც სოფ. ხაიშის შესასვლელთან საგზაო ფირნიშია.



სურ. 2. მეწვერი მდ. ენგურის ხეობის მარცხენა ფერდობზე, სოფ. ხაიშთან



სურ. 3. ბეტონის დამცავი კედელი იგივე ფერდობის გასწვრივ



ფერდობი მაღალი და ციცაბოა, თითქმის შვეული. ზედა ნაწილში ქვიშნარის შემავსებლიანი, დიდი ზომის, კარგად დამუშავებული ლოდნარი და კაჭარ-კენჭნარია გაშიშვლებული. ამ მონაკვეთზე ფერდობი აშკარად მობილურია, რაზეც მის გასწვრივ, დაახლოებით 60 მეტრის სიგრძეზე ამოშენებული ბეტონის საყრდენი კედელი მიუთითებს. წყალსაცავის ექსპლუატაციაში გადაცემის შემდეგ, პერიოდულად დასველების პირობებში, ფერდობის ჩამოშლა და წყალსაცავში ჩაქცევა გარდაუვალია. ანალოგიური სურათი აღინიშნება ცენტრალური საავტომობილო გზის ხაიში – ლალხორალის (კაშხლის საპროექტო ადგილმდებარეობა) მონაკვეთის თითქმის მთლიან სიგრძეზე, რაც მდგომარეობას კიდევ უფრო ართულებს. სავარაუდოა, რომ ფერდობის მოწყვეტის სიბრტყეზე გაშიშვლებული ლოდები და კაჭარი ძირითად განლაგებაში არსებული უხეშნატეხოვანი ფხვიერი კონგლომერატი უნდა იყოს, რომელიც ბუნებრივად მშრალ მდგომარეობაშიც კი, უაღრესად არასტაბილურია.

მრავალთა შორის მეორე დამახასიათებელი უბანი მდ. ენგურის ხეობის მარჯვენა ნაპირზე მდებარეობს, წყალსაგდები გვირაბის ზედა პორტალიდან დაახლოებით 300 მეტრის დაშორებით დინების აღმა.



სურ. 4. მეწყერი მდ. ენგურის ხეობის მარჯვენა ნაპირზე

მაღალი და ციცაბო ფერდობის ძირში ენგურს-გალმა ხაიშის გრუნტის გზა გადის. ფერდობის ზედა ნაწილში მოჩანს უხეშმარცვლოვანი მკერივი ქვიშაქვების გაშიშვლება, ხოლო ძირში გაშიშვლებიდან მოწყვეტილი ლოდების დანაგროვებია. აქვეა წვრილმარცვლოვანი ღვარული ნაშალი. ქვედა მხრიდან ფერდობს საკმაოდ მძლავრი დეჰლუვიონი აგრძელებს, რომელიც მიუხედავად მასზე განვითარებული მცენარეულობისა, აშკარად მობილური მასაა. ადვილი მისახვედრია, რომ

წყალში დასველების შემდეგ მეწყერი პროცესი მნიშვნელოვნად გააქტიურდება.

ჩამონგრევის ტიპის ბლოკური მეწყერების თვალსაჩინო მაგალითად გამოდგება მდინარეების ენგურის და ნენსკრას ხეობებში აღწერილი მრავალთაგან ზოგიერთი უბანი.



სურ. 5. ბლოკური მეწყერი სოფ. ლახანთან



სურ. 6. ბლოკური მეწყერი მდ. ნენსკრას ხეობის მარჯვენა ფერდობზე

მდ. ენგურის ხეობის მარჯვენა ნაპირზე, სოფ. ლახანის დასაწყისში, საავტომობილო გზის ზედა ფერდობზე განვითარებული ბლოკური ჩამონგრევა-მეწყერი ფუძეზე 30 მეტრის სიგანის ჩამონგრევის კონუსით არის წარმოდგენილი. ფერდობის ზედა ნაწილში ქვიშაქვების მძლავრი გაშიშვლებაა კარნიზის სახით, რომელიც პერიოდული ჩამონგრევის კერას წარმოადგენს. ფერდობი უშუალოდ ებჯინება მესტია-ზუგდიდის საავტომობილო გზის ვაკისს, რომელიც ამ მონაკვეთზე პერმანენტულ გაწმენდას საჭიროებს.

მეორე მეწყერი უბანი მდ. ნენსკრას ხეობის მარჯვენა ნაპირზე მდებარეობს. ფერდობის გასწვრივ გამავალი საავტომობილო გზის ზედა მხარეს, დაახლოებით 300 მეტრის სიგრძის მონაკვეთზე ჩამონგრევის უზარმაზარი მასა არის დაგროვილი. ფერდობი საფეხურებრივია,

ზედა ნაწილში – ციცაბო, ქვევით – შედარებით დამრეცი. ფოტოზე ნათლად მოსჩანს ძირითადი ქანების მძლავრი გაშიშვლება, რომელიც ჩამონგრევის კერაა. ზოგადად უნდა აღინიშნოს, რომ მდ. ნენსკრას და მდ. ლახანის შესართავიდან დაწყებული ქვევით, დაახლოებით 3 კმ-ის მანძილზე, წინამთიანეთის ზოლი უკიდურესად არასტაბილურია და რეალურ საფრთხეს უქმნის მომავალი წყალსაცავის ექსპლუატაციას, მით უმეტეს, თუ მდ. ნენსკრაზე ცალკე კაშხლის მშენებლობა განხორციელდა, როგორც ეს პროექტით არის გათვალისწინებული.

წყალსაცავის ექსპლუატაციის სერიოზულ გამართლებელ ფაქტორებს შორის უპირატესი როლი მძლავრ, ნაშალ ფერდობებს მიეკუთვნება, რამდენადაც წყალსაცავის ტევალობის მკვეთრად შემცირება სწორედ ნაშალი მასის ჩამოცურებასთან იქნება დაკავშირებული. ტექსტის გადატვირთვის თავიდან აცილების მიზნით მრავალთაგან მხოლოდ ერთ-ერთი ფერდობის აღწერილობაზე შევჩერდებით, რომელიც სოფ. ჯორკვალის სამხრეთით, დაახლოებით 0.5 კმ დაშორებით, მდ. ენგურის ხეობის მარჯვენა ნაპირზე მდებარეობს და დატბორვის ზონაში ხვდება.



სურ. 7. ფერდობი მძლავრი ნაშალით სოფ. ჯორკვალთან

ამ ადგილას უზარმაზარი ნაშალი ფერდობია, რომელიც ძირითადი ქანების გაშიშვლებებს შორისაა მოქცეული. ნაშალი მასალა თიხაფიქლების ნამსხვრევებით არის წარმოდგენილი, უფრო იშვიათად ქვიშაქვის ნატეხებსაც ვხვდებით. ფერდობის ძირში, საავტომობილო გზის ვაკის სიახლოვეს დიდი ზომის ლოდები არის დაგროვილი. მესტია-ხაიშის გზის მარცხენა მხარეს, მდინარის კალაპოტამდე, 200 მეტრი სიგანის მოვაკებული ტერასა მდებარეობს, რომელზეც საცხოვრებელი სახლები და საკარმიდამო ეზოები განლაგებული. დატბორვის შემდეგ, ცხადია,

ტერასა წყლით დაიფარება, ხოლო ზემოთ ნახსენები ნაშალი ფერდობი წყალსაცავში დაუბრკოლებლად გადაინაცვლებს.



სურ. 8. სოფ. ჯორკვალი, ვიწრო ალუვიური ტერასა

TRANS ELECTRICA LIMITED-ის მიერ შედგენილ ტექნიკურ რეზიუმეში წყალსაცავში ნატანის დაგროვებასთან დაკავშირებით აღნიშნულია, რომ ძირითადად გასათვალისწინებელია მდ. ენგურის მიერ ჩამოტანილი მასალის სელიმენტაცია, რადგანაც მდ. ენგურის ნატანის მოცულობასთან შედარებით, შენაკადების (მათ შორის, მდ. ნენსკრას) ნატანის მოცულობა ძალიან მცირეა [5]. როგორც ჩანს, აქ არ არის გათვალისწინებული მაღალი, მობილური, შლადი, ციცაბო ფერდობები, რომელთა პერიოდული ჩამოშლა წყალსაცავში სავსებით რეალურია, რაც სავარაუდოდ მკვეთრად აღემატება მდინარის მიერ შემოტანილ ნატანის მოცულობას. მდ. ნენსკრას და მდ. ხაიშურას შედარებით კარგად განვითარებული კალაპოტები და კალაპოტზედა ტერასები აქვთ, რომლებზეც ქვიშის და ხრეშის შემავსებლიანი კაჭარის და ლოდნარის სახით დიდი რაოდენობის უხეშნატეხოვანი მასალა არის დაგროვილი. ეს მონაკვეთები დატბორვის ზონაში ხვდება. კალაპოტში დაგროვილ კლასტური მასალის უზარმაზარ მასას ჩამოშლილი ფერდობებიც რომ დაემატება, წყალსაცავი ვერ შეინარჩუნებს საპროექტო მოცულობას – 364.5 მილიონი მ<sup>3</sup>. ამის მისაღწევად საჭირო გახდება წყალსაცავის ფსკერიდან ნაშალი მასალის დიდი რაოდენობის პერმანენტულად ამოღება.

ორიოდე სიტყვით ჰიდროგეოლოგიური გამართლებელი ფაქტორის შესახებ. წყალსაცავის უქმნის შემდეგ ფერდობებიდან მდინარეთა ხეობებში შემომავალი გრუნტის წყლების განტვირთვა დაბრკოლდება, ადგილი ექნება შეტბორვას, რის შედეგადაც გრუნტის წყლების დონე აიწვეს და ფერდობებზე გავრცელებული ხშირი მცენარეულობა ჭარბტენიანობის პირო-

ბებში აღმოჩნდება. ამან შეიძლება დააზიანოს მცენარეთა გარკვეული ენდემური სახეობები.

### 3. დასკვნა

თუ სტატიაში მოყვანილ ფაქტობრივ მასალას შევავჯამებთ, ადვილი შესამჩნევია ავტორთა უარყოფითი დამოკიდებულება ზოგადად ხუდონის ჰიდროტექნიკური კომპლექსის მშენებლობის მიმართ, მაგრამ თუ გარკვეული სახელმწიფოებრივი ასპექტების გამო, კომპლექსის მშენებლობა აუცილებლად უნდა განხორციელდეს, ჩვენი აზრით, უმჯობესი იქნება კაშხლის სიმაღლე განისაზღვროს არა უმეტეს 100 მეტრისა. ამ ვარიანტში დატბორვის ფართობი მნიშვნელოვნად შემცირდება და საინჟინრო-გეოლოგიური თვალსაზრისით ბევრ კატასტროფულ უბანს ავცდებით.

### ლიტერატურა

1. ხუდონის გარემოზე და სოციალური ზემოქმედების შეფასება. საქართველოს ენერჯეტიკის სამინისტრო. საბოლოო ანგარიში. თბილისი, 2008.
2. Republic of Georgia Ministry of Energy. Khudoni Hydro-power Project. Tbilisi, 20122.
3. Геология СССР. Грузинская ССР. Том X, / Ред. Гамквелидзе П.Д. Москва: НЕДРА, 1964.
4. უ. ზვიადაძე, მ. მარდაშოვა. ანგარიში ხუდონის მშენებლობის გარემოზე ზემოქმედების შეფასების შესახებ. თბილისი, 2011.
5. TRANS ELECTRICA LIMITED – Khudoni hydro power project (702 MW), Technical summary, Tbilisi, 2010.

UDC 624.131.31

## ENGINEERING – GEOLOGICAL QUESTIONS CONNECTED WITH RENEWAL OF KHUDONI HYDRO-ELECTRIC POWER STATION

U. Zviadadze, M. Mardashova, A. Kemoklidze

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

**Resume:** There are considered the engineering – geological, partially hydrogeological processes, which due to the actual existence objective reasons should be considered as negative during the building and further exploitation of Khudoni hydroknot both from point of view not only on environment's impact, but also directly on the hydroknot buildings.

**Key words:** dam; reservoir; plastic and block landslides; avalanche; ponding.

УДК 624.131.31

## ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ, СВЯЗАННЫЕ С ВОЗОБНОВЛЕНИЕМ СТРОИТЕЛЬСТВА ХУДОНИ ГЭС

Звиаддзе У.И., Мардашова М.Л., Кемоклидзе А.М.

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

**Резюме:** Рассмотрены инженерно-геологические, частично гидрогеологические вопросы, которые, из-за наличия фактически существующих объективных причин, должны быть признаны как негативные в процессе строительства и дальнейшей эксплуатации Худонского гидроузла с точки зрения отрицательного воздействия не только на окружающую среду, но и собственно на сооружение гидроузла.

**Ключевые слова:** плотина; водохранилище; пластичные и блочные оползни; завал; подпружинивание.

*მიღებულია დასაბუჯდად 27.02.2013*

შპს 622.647

**ვაკუუმ-ამძრავების საკონტაქტო ზედაპირების ოპტიმალური პარამეტრების კვლევა და ანალიზი****ნ. მოლოდინი\*, რ. მოლოდინი**

სამთო ტექნოლოგიების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, კოსტავას 77

E-mail: nor\_mol@gtu.ge; nor\_mol@mail.ru

**რეზიუმე:** ნაშრომში განხილულია ვაკუუმ-ამძრავის ახალი საკონტაქტო ზედაპირის კვლევის შედეგები; დამუშავებულია ვაკუუმის წყაროსთან საკონტაქტო ზედაპირის შემაერთებელი კვანძის გაანგარიშების მეთოდოლოგია; ელასტოპლასტიკური რეჟიმის ანუ ზომერფედლის რიცხვის გათვალისწინებით, შერჩეულია ამძრავის რგოლურ ჭვრიტეში ხახუნის პროცესის ლენტურ საკისართან გაიგიაგების სქემა; საკონტაქტო ზედაპირის ყველა პარამეტრი გამოსახულია ძირითადი ელემენტების ზომების მიხედვით: ვაკუუმის წყაროსთან შემაერთებელი ნახვრეტის დიამეტრით, ვაკუუმ-დოლის დიამეტრით და საკონვეიერო ლენტის სიგანით.

**საკვანძო სიტყვები:** საწყისი დაჭიმულობა; ჩაჭიდების კოეფიციენტი; წვეის ფაქტორი; ვაკუუმ-დოლი; ვაკუუმ-ამძრავი; ელასტოპლასტიკური რეჟიმი; ამძრავის რგოლური ჭვრიტე; ზომერფედლის რიცხვი; ლენტური საკისარი.

**1. შესავალი**

ფხვიერი და ნატეხი ტვირთის ტრანსპორტირების ერთ-ერთი სრულყოფილი და პერსპექტიული საშუალება არის უწყვეტი მოქმედების დანადგარი – ლენტური კონვეიერი. თანამედროვე დანადგარებში წვეის ძალების რეალიზაცია ძირითადად ხორციელდება: საკონვეიერო ლენტის საწყისი დაჭიმულობის ან ამძრავი დოლების რაოდენობის ცვლილებით ლენტის შემოხვევის კუთხის გაზრდის ხარჯზე, რაც იწვევს საწყისი დაჭიმულობის შემქმნელი საჯალამბრე მოწყობილობისა და ძვირად ღირებული მაღალი სიმტკიცის საკონვეიერო ლენტის აუცილებელ საჭიროებას. წვეის ძალების რეალიზაციის ძირითად მეთოდად მივიჩნით წვეის ფაქტორი ( $e^{\mu\alpha}$ ) და აქცენტი გავაკეთეთ მაღალი ჩაჭიდების კოეფიციენტზე ( $\mu$ ). აღნიშნულ შემთხვევაში საკონვეიერო ლენტის სიმტკიცე მაქსიმალურად გამოყენებული იქნება არა დაჭიმულობის გაზრდით,

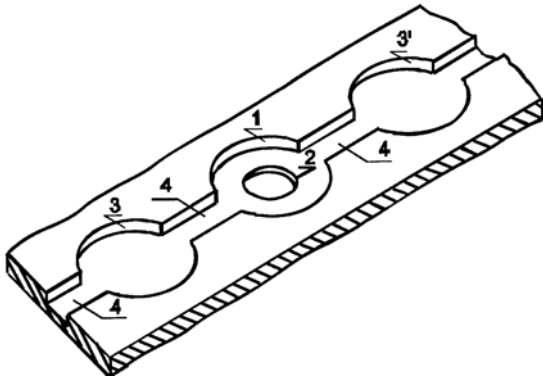
სათვის, არამედ დანადგარის მაღალი მწარმოებლურობის მისაღწევად ან კონვეიერის დგარის სიგრძის გასაზრდელად. ამ მიზნის მისაღწევად, საავტორო უფლებით, ახალი კონსტრუქციის ამძრავი ვაკუუმ-დოლის შემოთავაზებით მოცემულია ვაკუუმ-ამძრავის ახალი კონსტრუქციის საკონტაქტო ზედაპირის კვლევის შედეგები.

**2. ძირითადი ნაწილი**

კვლევის გამართვების მიზნით, წინამდებარე ნაშრომში, საავტორო უფლებით ჩვენ მიერ შემოთავაზებული ამძრავის რგოლური ჭვრიტეს ფიზიკური მოდელი შევადარეთ ლენტურ საკისარს და კვლევების დაგეგმვა-ანალიზისას გავითვალისწინეთ: მაკროელასტოპლასტიკური რეჟიმის, ვაკუუმში ფიზიკური პროცესების, მოცულობითი პლასტიკური მანქანების მუშაობის თეორიის, ტრიბოიკის და მექანიკის ზოგადი დებულებები.

თეორიული კვლევების შედეგად, ჩვენი შემთხვევისათვის, მიღებულია ვაკუუმ-დოლის საკონტაქტო ზედაპირები და ვაკუუმის წყაროსთან მათი შემაერთებელი კვანძები: გრძივი ღარებით 4, ამ ღარებზე ცენტრალური 1, პერიფერიული წრიული 3 და 3' ამონაჩარხებით და მიღებული მოცულობების ავტონომიური ვაკუუმური მექანიზმების (აშმ-ის) დგუშისეულ სივრცესთან შემაერთებელი ცენტრალური ნახვრეტებით 2 (იხ. ნახ.1) წარმოდგენილი მარტივი ელემენტების სახით. კოლექტორიან ვაკუუმ-დოლებში ეს ელემენტები საკმაოდ გრძელი და რთული ლაბირინთული რეციპიენტები ანუ ვაკუუმ-არხებია. გეომეტრიული პარამეტრების (მილსადენების სიგრძე, ნახვრეტების დიამეტრი და სიღრმე, გრძივი არხების მოცულობები, მათი გეომეტრიული ფორმები და ზომები და ა.შ.) გაანგარიშებისას და რგოლურ ჭვრიტეში მიმდინარე ხახუნის პროცესის უპირატეს პირობებში წარმართვისათვის შერჩეულ იქნა ხახუნის სველი და ზღვრული რეჟიმები, როდესაც ცოცია, ჩვენი შემთხვევისათვის საკონვეიერო ლენტი, საყრდენ ზედაპირზე ანუ ვაკუუმ-დოლის საკონტაქტო ზედაპირზე

ტანგენციალური მოძრაობით განაპირობებს მისი შემკავებელი – შემხეთი სითხის გამოწნეხვას.



ახალი საკონტაქტო ზედაპირი

მივიღეთ, რომ გასაუხშოებელი რგოლური ჭვრიტესა და გამაუხშოებელი მექანიზმის შემაერთებელი ელემენტის – ნახვრეტის დიამეტრი გამოითვლება ფორმულით [1]

$$d_{66b} = 0,95\sqrt{Q} \cdot 4\sqrt{\frac{\rho}{\Delta p}} \quad (1)$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ ამ გამოსახულებაში ერთეულოვანი დროის  $Q=V$ , მაშინ

$$V = 2\sqrt{\frac{2\Delta p}{p}}$$

$d_{66b}$ -ის მნიშვნელობის საანგარიშოდ საჭიროა დათვლილ იქნეს გრძივი არხის მოცულობის ( $V=Q$ )-ს ის რეალური მნიშვნელობა, რომლიდანაც „დრეკადი სრიალის“ რკალის გარბუნამდე, სითხე უწყვეტ ნაკადად გადაედინება დგუშისეულ სივრცეში. ამიტომ ვსარგებლობთ გამოსახულებით [3]

$$Q = V_{შესაძლო} = \frac{(0,1...0,2)\pi R_{ღ} V_{ცბრ}}{V_{ღენტ}}$$

$V_{შესაძლო}$ -ს მიღებული მნიშვნელობა არის ვაკუუმ-დოლის საკონტაქტო ზედაპირის გრძივი არხის მოცულობა, ხოლო (1) გამოსახულებით ნაანგარიშები  $d_{66b}$ -ის მნიშვნელობა არის წრიული ამონაჩარხების ერთმანეთთან და აშშ-ის დგუშისეულ სივრცესთან შემაერთებული გრძივი ღარების სიგანე.

ექსპერიმენტული მონაცემების მიხედვით წრიული ამონაჩარხების ოპტიმალური დიამეტრი  $d_{ამონაჩ} = 3d_{66b}$ ; ხოლო ამონაჩარხების ცენტრებს შორის მანძილი  $l_{ამონაჩ} = 2d_{ამონაჩ} = 6d_{66b}$ .

ამონაჩარხების რაოდენობა ერთ გრძივ არხზე

$$n_{ამონაჩ} = \frac{B_{ღ} - 2d_{ამონაჩ}}{2d_{ამონაჩ}} = \frac{B_{ღ}}{6d_{66b}} - 1.$$

სადაც  $B_{ღ}$  არის საკონვეიერო ლენტის სიგანე;  $d_{66b}$  - ვაკუუმ-მექანიზმის ვაკუუმ არხთან დამაკავშირებელი ნახვრეტის დიამეტრი.

გრძივი არხების ბიჯი

$$t = (4 - 4,5) \cdot d_{ამონაჩ} = (12 - 13,5) \cdot d_{66b}.$$

არხების რაოდენობა დოლის საკონტაქტო ზედაპირზე

$$n_{არხ} = \frac{\pi D_{ღ}}{t} = \frac{\pi D_{ღ}}{(12 - 13,5)d_{66b}} = (0,26 - 0,23) \frac{D_{ღ}}{d_{66b}}.$$

$D_{ღ}$  - ვაკუუმ-დოლის დიამეტრი, გრძივი არხის ფართობი

$$S_{არხ} = \frac{\pi d_{ამონაჩ}^2}{4} \cdot n_{ამონაჩ} + n_{ამონაჩ} \cdot d_{66b} \cdot d_{ამონაჩ};$$

$$S_{არხ} = \frac{\pi(3d_{66b})^2}{4} \cdot \left( \frac{B_{ღ}}{6d_{66b}} - 1 \right) + \left( \frac{B_{ღ}}{6d_{66b}} - 1 \right) \cdot d_{66b} \cdot 3d_{66b},$$

დასასრულ წრიულამონაჩარხებიანი გრძივი არხის ფართობი

$$S_{არხ} = d_{66b} (1,678B_{ღ} - 10,065d_{66b}). \quad (3)$$

წინამდებარე ნაშრომის (2) და ადრინდელ კვლევებში მიღებული გამოსახულების მიხედვით [3]

$$V_{შესაძლო} = \frac{0,1\pi D_{ღ}}{V_{ღენტ}} V_{ცბრ}.$$

ხოლო ვაკუუმ-დოლის შერჩეული ეტალონური მოდელისათვის

$$V_{შესაძლო} = \frac{0,1\pi D_{ღ}}{V_{ღენტ}} V_{ცბრ} = \frac{0,1 \cdot 3,14 \cdot 2,674}{8,4} V_{ცბრ} = 0,0999 \cdot V_{ცბრ}. \quad (4)$$

მაშინ (3) და (4) გამოსახულებების გათვალისწინებით ეტალონური მოდელის ღარის სიღრმე

$$h_{ღარის} = \frac{V_{შესაძლო}}{S_{არხისა}} = \frac{0,0999 \cdot V_{ცბრ}}{d_{66b} (1,678B_{ღ} - 10,065d_{66b})}.$$

ამგვარად, ვაკუუმ-დოლის საკონტაქტო ზედაპირის ყველა გეომეტრიული ზომა გამოსახულია ნახვრეტის  $d_{66b}$  დიამეტრის, ვაკუუმ-დოლის  $D$  დიამეტრის და საკონვეიერო ლენტის  $B_{ღენტ}$  სიგანის საშუალებით. აღნიშნული პარამეტრების გაანგარიშებისას ვსარგებლობთ მე-2 ცხრილის მონაცემებით [1], საიდანაც ცხრილის რიცხვით მნიშვნელობებს ვირჩევთ იმ რეგიონის კლიმატური პირობების მიხედვით, სადაც უნდა იმუშაოს დასაპროექტებელმა ობიექტმა (ლენტურმა კონვეიერმა მოდერნიზებული ვაკუუმ-ამძრავით).

ლენტური კონვეიერების ამძრავი ვაკუუმ-დოლებისა და მისი საკონტაქტო ზედაპირების კონსტრუქციების შესწავლით, ლენტთან საკონტაქტო რგოლურ ჭვრიტეში მაკროელასტოპიდროდინამიკური რეჟიმისას, ვაკუუმის შექმნის პროცესების ანალიზით და ახალი ტიპის (კონსტრუქციის) საკონტაქტო ზედაპირზე სითხის შრის სისქისა და მისი სადრენაჟო ეფექტის თეორიული და ექსპერიმენტული გამოკვლევების [4,5] შედეგების საფუძველზე, შეიძლება გაკეთდეს შემდეგი დასკვნები და რეკომენდაციები.

### 3. დასკვნა

1. შემოთავაზებული ახალი ტიპის (კონსტრუქციის) საკონტაქტო ზედაპირი არის საკონვეიერო ლენტისათვის კარგი საყრდენი და მცირე საწყისი მოცულობის მქონე ცენტრალური გაწოვის ვაკუუმ-არხებით დაპროექტებულ საკონტაქტო ვაკუუმ-ზედაპირი.

2. ავტონომიურ ვაკუუმურ მექანიზმებიანი (აშმ) ამძრავები შემოთავაზებული ახალი საკონტაქტო ზედაპირით, პერსპექტიულია და იძლევა საშუალებას:

– საკონტაქტო ზედაპირზე, რგოლურ ჭვრიტეში ვაკუუმში შეიქმნას, პრაქტიკულად უკუმშვადი წვეთოვანი სითხის (თხევადი დგუშის) საშუალებით;

– იდენტური წვეის ძალებისას სხვა ტიპის ამძრავებთან შედარებით, გამოვიყენოთ უფრო ნაკლები სიმტკიცის ლენტი ან გავზარდოთ საკონვეიერო დგარის სიგრძე;

– მივიღოთ მაღალი და თანაბრად განაწილებული ვაკუუმის ამძრავის როგორც განივი, ასევე წრიული მიმართულებით, რაც ამაღლებს მის ეფექტურად გამოყენებას მარგი ქმედების კოეფიციენტისა და ამძრავის საკონტაქტო ზედაპირზე დაყვანილი კუთრი სიმძლავრის გაზრდის შედეგად;

– ვაკუუმის ფორმირება დავასრულოთ კომპაქტური აშმ-ის საშუალებით მთელი საკონტაქტო რგოლური ჭვრიტეს (0,05-0,2) ა<sub>გ</sub> შესაბამის რკალზე, რომელიც იწვება ამძრავზე ლენტის სწრაფობის წერტილიდან ანუ ე.წ. “შედარებითი სიმშვიდის რკალზე”;

3. მაკროელასტოპიდროდინამიკურ რეჟიმში მომუშავე ვაკუუმ-დოლის, ლენტურ საკისართან გაიგივების შემდეგ, იტერაციული ოპერაციების საშუალებით, ლენტური კონვეიერების ამძრავების გაანგარიშების თეორიაში პირველად, გამოყენებულ იქნა შეხეთვის გაანგარიშების კლასიკური მეთოდები და მათი შედეგები.

4. დავსახეთ ხახუნის (ჩაჭიდების) კოეფიციენტის სიდიდის მართვის პროცესის რეალურად განხორციელების იდეა და მივადწიეთ მო-

სრიალე ზედაპირების წყვილის, შეხეთვისა და ხახუნის (ჩაჭიდების) ხასიათის ცვლილების განსაზღვრას კლასიკური მეთოდების გათვალისწინებით, რომელიც წარმოდგენილია გრაფიკული სახით კოორდინატებში ზომერფელდის განზოგადებული (5a) რიცხვი, ხახუნის (f) (ანუ ჩაჭიდების  $\mu$ ) კოეფიციენტი [4,7] 5. ნავიე-სტოქსისა და რეინოლდსის განტოლებებზე დაყრდნობით განისაზღვრა დოლისა და საკონვეიერო ლენტის საკონტაქტო ჭვრიტეში სითხის შრის სისქე  $h$ , მისი  $h_0$  მნიშვნელობა შემოხვევის საძიებო კუთხის ცენტრალურ ნაწილში [5] და მათ შორის განსხვავება  $\Delta h$  ორი კონკრეტული შემთხვევისათვის: 1) როდესაც საკონტაქტო ზედაპირი გაყოფილია “დრეკადი სრიალის” და არამოსრიალე ანუ “შედარებითი სიმშვიდის” უბნებად და 2) პირობისათვის, რომლის მიხედვით საკონტაქტო ზედაპირზე “სიმშვიდის რკალი” არ არსებობს;

6. ორივე შემთხვევისათვის მიღებულია განტოლებები  $\Delta h$ ,  $h_0$  და  $h$ -ის გაანგარიშებისათვის [5], რამაც საშუალება მოგვცა განგვესაზღვრა ვაკუუმის შექმნის პროცესის სრულყოფისათვის საკონტაქტო ზედაპირის გრძივი არხების ოპტიმალური კონსტრუქცია [6] და მათი საწყისი აუცილებელი მოცულობის მნიშვნელობა.

7. დამუშავებულია რგოლური ჭვრიტედან ვაკუუმის შემქმნელი მექანიზმის (კერძო შემთხვევაში დგუშისეული სივრცის) მოცულობასთან დამაკავშირებელ ნახვრეტში სითხის უწყვეტ ნაკადად გადაღინების გაანგარიშების მეთოდიკა, რომელიც უზრუნველყოფს თანაბარი და საჭირო ვაკუუმის სიდიდის ფორმირებასა და შენარჩუნებას. გაანგარიშების მეთოდიკა მისაღებია ნებისმიერი დიამეტრის ამძრავისათვის, ლენტის ნებისმიერი სიქარისათვის, ტემპერატურული რეჟიმისა და ვაკუუმის საჭირო სიდიდის გათვალისწინებით.

8. ფიზიკური მოდელების საშუალებით ვაკუუმ-ამძრავების ვაკუუმს დაქვემდებარებული მოხახუნე ზედაპირების მაკროსიმქისეების, ლოკალურ რეზერვუარებსა და კაპილარებში სითხის მოძრაობის თეორიულად და ექსპერიმენტულად შესწავლამ განაპირობა ვაკუუმ-ამძრავების საკონტაქტო ზედაპირებისა და ვაკუუმის შემქმნელი მექანიზმების ოპტიმალური პარამეტრების (ვაკუუმ-არხების და მათი ურთიერთდამაკავშირებელი კვანძებისა და ნახვრეტების, ცილინდრ-დგუშების და მუშტა მექანიზმების და ა.შ.) დადგენა.

9. დამუშავებულია ტექნიკური მოთხოვნები ვაკუუმ-ამძრავების ყველა ტექნოლოგიური რგოლისათვის. შესწავლილმა სამეცნიერო-კვლევით-

მა და ჩვენ მიერ შესრულებულმა თეორიულმა და ექსპერიმენტულმა კვლევებმა უტყუარად გვიჩვენა, რომ თანაბარი და საჭირო სიდიდის ვაკუუმის ფორმირება დამოკიდებულია არა მხოლოდ საკონტაქტო ზედაპირების კონსტრუქციისა და ვაკუუმის შემქმნელი მექანიზმების შესაძლო ამოტუმბვის სისწრაფეზე, არამედ მათი შემაერთებელი ვაკუუმური არხების (რეციპიენტების, ნახვრეტების) გამტარუნარიანობაზეც.

### ლიტერატურა

1. ნ. მოლოდინი, რ. მოლოდინი. ვაკუუმ-ამძრავის საკონტაქტო ჭვრიტედან გაუსწოების მექანიზმამდე სითხის უწყვეტ ნაკადად გადაღების კვლევა // სამთო ჟურნალი, №1-2 (18-19). თბილისი, 2007, გვ. 31-36.
2. ნ. მოლოდინი, რ. მოლოდინი. ამძრავი ვაკუუმ-დოლის ვაკუუმური მექანიზმების ძირითადი პარამეტრების გაანგარიშება // სამთო ჟურნალი, №1(24). თბილისი, 2010, გვ. 85-87.
3. ნ. მოლოდინი, რ. მოლოდინი. ვაკუუმ-დოლის უძრავი მრუდწირული მიმართველების ოპტიმალური პარამეტრების გაანგარიშება // სამთო ჟურნალი, №1(26), თბილისი, 2011, გვ. 80-83.
4. Д. Мур. Трение и смазка эластомеров. Москва: Химия, 1977, с. 87-171.

UDC 622.647

## RESULTS OF THE THEORETICAL AND EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE VACUUM – DRIVES OPTIMAL PARAMETERS AND THEIR ANALYSIS

N. Molodini, R. Molodini

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

**Resume:** There is analyzed results of scientific researchs for vacuum - drives new contact surface - and calculation method of the most advantageous connective unit of the vacuum - drive with vacuum - source is received. Taking into consideration the questions, concerning with elasto-hydrodynamics, that the Sommerfeld number, theoretical circuit of technological process of friction regime in advantageous conditions, which takes place in circular hole is realized. All the parameters of the contact surface are expressed by the sizes of main elements, such as: diameter of the connective hole with vacuum - source, diameter of the vacuum - drum and width of the conveyor belt.

**Key words:** initial tension; coefficient of cohesion; traction factor; vacuum-drum; vacuum – drive; elasto-hydrodynamics; drive circular-hole; Sommerfeld number; belt bearing.

УДК 622.647

## ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОНТАКТНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ВАКУУМ – ПРИВОДА

Молодини Н.Ш., Молодини Р.Н.

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

**Резюме:** Дается анализ исследований для новой контактной поверхности вакуум-привода. Разработана методика расчета узла присоединения к источнику вакуума. С учетом эластогидродинамического режима, т.е. числа Зоммерфельда, выбрана схема сходства в кольцевой щели текущего режима трения с ленточным подшипником. Все параметры контактной поверхности выражены с помощью таких основных размеров элементов, какими являются: диаметр отверстия, соединяющего с источником вакуума, диаметр вакуума, барабана и ширина конвейерной ленты.

**Ключевые слова:** предварительное натяжение; коэффициент сцепления; тяговый фактор; вакуум-барабан; вакуум-привод; эластогидродинамика; кольцевая щель привода; число Зоммерфельда; ленточный подшипник.

მიღებულია დასაბუჯლად 27.02.2013

შპს 628.16.08

## საგანგებო სიტუაციებისა და ინდივიდუალური დამცავი საშუალებების გამოყენება

ნ. კიკნაძე ნ. მექვაბიშვილი

შრომის უსაფრთხოებისა და საგანგებო სიტუაციების მართვის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, კოსტავას 77

E-mail: n.kiknadze@alltours.ge

**რეზიუმე:** განხილულია საგანგებო სიტუაციებისა და ინდივიდუალური დაცვის საშუალებების გამოყენება. ინდივიდუალური დაცვის საშუალებებისადმი ფრთხილი დამოკიდებულება უზრუნველყოფს საშიში და მავნე საწარმოო ფაქტორების მოქმედების თავიდან აცილების მაღალ ალბათობას. ელექტრომაგნიტური გამოსხივების დროს გათვალისწინებულია გენერატორთან მუშაობის სანიტარული ნორმები, მომუშავეთა დაცვის მეთოდური მითითებები. სტატიაში მოყვანილია საწარმოო სათავსების გეომეტრიული ნორმები.

**საკვანძო სიტყვები:** რესპირატორები; აერო-ზოლები.

### 1. შესავალი

მეცნიერულ-ტექნიკური პროგრესის შემდგომი განვითარება და წარმოებების მასშტაბების გაფართოება სახალხო მეურნეობის ყველა დარგში დაკავშირებულია სხვადასხვა მავნე ფაქტორების რადიოაქტიური, ლაზერული, ელექტრომაგნიტური, ინფრაწითელი, მომწამვლავი ნივთიერებების გამოყენებასთან. ყოველივე ეს იწვევს მომუშავე პერსონალის საგანგებო სიტუაციების ქვეშ დაყენების შესაძლებლობას. უბედური შემთხვევების დროს შეიძლება მომსახურე პერსონალის ორგანიზმის დაზიანება, ზოგ შემთხვევაში სამუდამო ინვალიდობა ან სიკვდილი.

შრომის სწორი ორგანიზაციისა, ინდივიდუალური დამცავი საშუალებების და ღონისძიებების ზუსტად შესრულებისას ყველა სახიფათო საგანგებო სიტუაციები შეიძლება თავიდან ავიცილოთ.

### 2. ძირითადი ნაწილი

სამუშაოს დაწყების წინ აუცილებელია დამცავი მოწყობილობების ეფექტურობის შემოწმება. ინდივიდუალური დაცვის საშუალებებისადმი

ფრთხილი დამოკიდებულება უზრუნველყოფს საშიში და მავნე საწარმოო ფაქტორების მოქმედების თავიდან აცილების მაღალ ალბათობას.

ზოგიერთ ხელსაწყოთან მხოლოდ სრულწლოვანი ახალგაზრდები დაიშვებიან. ელექტრომაგნიტური გამოსხივების დროს გათვალისწინებული უნდა იყოს გენერატორთან მუშაობის სანიტარული ნორმები, აგრეთვე ზემაღალი სიხშირის გამოსხივებისა და მომუშავეთა დაცვის მეთოდური მითითებები.

I ჯგუფის დანადგარები უნდა მოთავსდეს განცალკევებულ სათავსებში, სადაც დაუშვებელია ისეთი სამუშაოების შესრულება, რომლებიც აღნიშნული დანადგარების ექსპლუატაციასთან არ არის დაკავშირებული.

II ჯგუფის დანადგარები, გარდა ელექტრონული მიკროსკოპისა და ელექტრონულ-სხივური დანადგარისა, საწარმოო საჭიროების შემთხვევაში შეიძლება განლაგდეს საერთო სათავსებში. ლაბორატორიის სათავსი უნდა იყოს მშრალი და გამთბარი.

სამუშაო სათავსის ვენტილაცია უნდა აკმაყოფილებდეს გათბობის ვენტილაციისა და ჰაერის კონდენცირების პროექტირების ნორმებს. გათვალისწინებული უნდა იქნეს ჭარბი სითბოს გაყვანის აუცილებლობა.

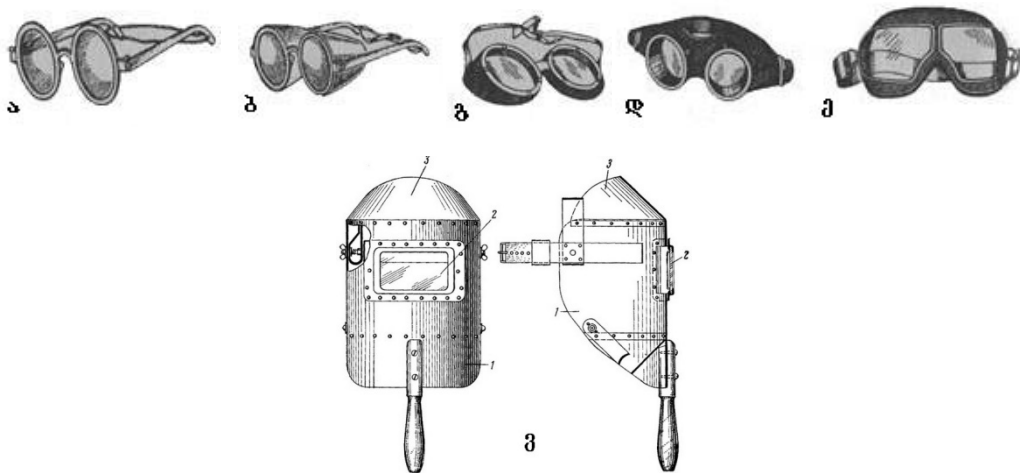
ჰიგიენური თვალსაზრისით დიდი მნიშვნელობა აქვს დანადგარის სწორ განთავსებას და სათავსის სწორ დაგეგმარებას.

სამუშაოს ხასიათის მიხედვით თვალზე მომქმედი საწარმოო ფაქტორებია: მექანიკური, ქიმიური, თერმული, გარდა ამისა თვალის დაზიანების მიზეზები შეიძლება იყოს ზემაღალი სიხშირის დენები და გამოსხივებები.

თვალის დაცვის საშუალებების ეფექტურობა დამოკიდებულია სათვალის სწორ არჩევაზე, ინდივიდუალურ მორგებაზე, საიმედო ფიქსაციაზე, მათ მოვლაზე და შენახვაზე.

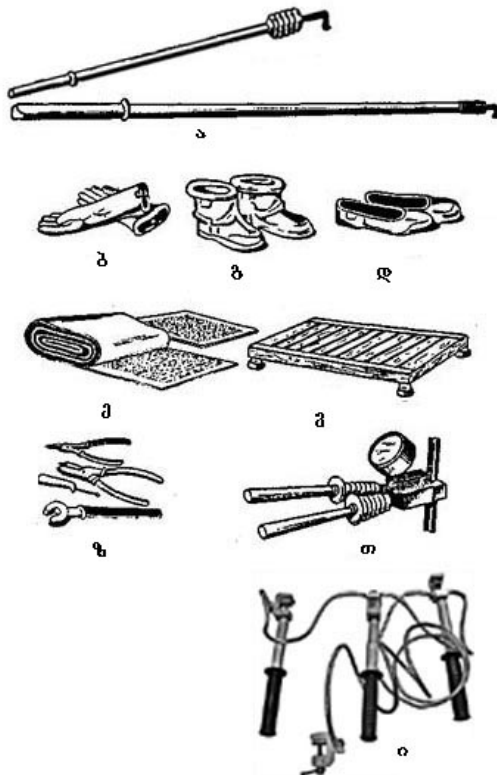
1-ელ ნახაზზე გამოსახულია ინდივიდუალური დამცავი სათვალეები.





ნახ.1. თვალის დამცავი საშუალებები: ა – ღია ტიპის სათვალე გვერდულას გარეშე „ОЗК“; ბ – ღია ტიპის სათვალე „ОЗ-Н“ კაპრონის ბადით და გადასაწვეი გვერდულათი; გ – დამცავი სათვალე შემომჭრელებისათვის; დ – ჰერმეტიკული სათვალე; ე – ელექტრომაგნიტური გამოსხივებისაგან დამცველი სათვალე; ვ – უნივერსალური ფარი-ნიღაბი ელექტროშემდუღებლებისათვის /МНОТ 51/54/1 – ფიბრის ეკრანი, 2 – შუქფილტრი. 3 – სათავის

ელექტროდანადგარების მომსახურების დროს გამოიყენება შემდეგი დამცავი საშუალებები (ნახ.2)



ნახ.2. ელექტროდანადგარების მომსახურების დროს გამოიყენებული დამცველი საშუალებების ზოგიერთი სახე: ა – მაიზოლირებელი შტანგი, ბ, გ, დ, – დიელექტრიკული ხელთათმანები, ბოტები, კალოშები, ე – რეზინის ხალიცები, ვ – მაიზოლირებელი ქვესადგამი, ზ – მონიტორის ინსტრუმენტი მაიზოლირებელი სახელურებით, თ – დენგამზომი მარწუხი, ი – გადასატანი ჩამიწება: 1 – ხრახნიანი მომჭერი, 2 – სადენი ფაზების დასამოკლებლად, 3 – ჩამამიწებელი სადენი, 4 – ქანჩყურიანი ქანჩის ბუნიკი

სმენის ორგანოების დაცვის საშუალებები და მახასიათებლებიდან გამომდინარე. სმენის შეირჩევა სამუშაო ზონაში ხმაურის დონიდან ორგანოების დაცვის საშუალებები სწორად

შერჩეული ითვლება, თუ სამუშაო ზონაში, ინდივიდუალური დაცვის საშუალებების გამოყენებით, ხმაურის დონეები არ აღემატება ზღვრულ დასაშვებ მნიშვნელობებს.

სპეციალური დამცავი ტანსაცმლის დანიშნულებაა დაიცვას მომუშავე მავნე და საშიში მექანიკური, ქიმიური და მეტეოროლოგიური ფაქტორებისაგან. სპეცტანსაცმლის კონსტრუქციამ უნდა უზრუნველყოს ეფექტური დაცვა.

სასუნთქი ორგანოების დაცვის საშუალებებია: რესპირატორები, აირწინალები, მაიზოლირებელი სასუნთქი აპარატები. მათი დანიშნულებაა ადამიანების დაცვა მავნე აეროზოლების აირების, ორთქლის ზემოქმედებისაგან, თუ სამუშაო გარემოში მათი შემცველობა აღემატება ზღვრულ დასაშვებ კონცენტრაციას.

მე-3 ნახ-ზე გამოსახულია სუნთქვის ორგანოების დაცვის საშუალებები.



ნახ.3. რესპირატორები: ა – „Лепесток“; ბ – Ф-62III; გ – „Астра-2“; დ – და ე – უნივერსალური PV-60M სათვალეების გარეშე და სათვალეებით“

საწარმოო სათავსების გეომეტრიული ზომები დართულია დანართზე

დანართი

საწარმოო სათავსების გეომეტრიული ნორმები

№	ნორმირებადი სიდიდე	მინიმალური დასაშვები სიდიდე
1	საწარმოო სათავსის ფართობი ყოველ 1 მუშაზე	4,5 მ <sup>2</sup>
2	საწარმოო სათავსის მოცულობა ყოველ 1 მუშაზე	1,5 მ <sup>3</sup>
3	ერთსართულიანი შენობების სიმაღლე (იატაკიდან მზიდი კონსტრუქციების ქვედა ზედაპირამდე)	3,0 მ
4	მრავალსართულიანი შენობის სართულის სიმაღლე	3,0 მ
5	საწარმოო სათავსის სიმაღლე იატაკიდან ჭერის ყველაზე ქვედა ზედაპირიდან	2,2 მ
6	საწარმოო სათავსის სიმაღლე იატაკიდან კომუნიკაციების ჩამოშვებული ნაწილებიდან: 1.ადამიანების რეგულარულად გასასვლელ ადგილებში. 2.ადგილები, სადაც ადამიანები რეგულარულად არ მოძრაობენ.	2,0 მ 1,5 მ
7	ქვეითი მოძრაობისათვის განკუთვნილი გვირაბები, გალერეები და ესტაკადები: 1. გვირაბებისა და გალერეების სიმაღლე იატაკიდან გადახურების ყველაზე დაბლა ჩამოშვებულ ნაწილამდე. 2. გვირაბები, გალერეებისა და ესტაკადების სიგანე	2,1 მ
8	სატრანსპორტო და საკომუნიკაციო გვირაბების, გალერეებისა და ესტაკადების სიგანე: 1. გასასვლელის სიმაღლე 2. გასასვლელის სიგანე: ა-ერთი ლენტური კონვეირის შემთხვევაში ბ-ორ ლენტურ კონვეირს შორის გ-მილსადენების კაბელებისა და სხვა შემთხვევაში	1,8 0,7 1,0 0,7

**3. დასკვნა**

განვიხილეთ სახალხო მეურნეობის ყველა დარგში სხვადასხვა მანე ფაქტორებისაგან, რადიოაქტიური, ლაზერული, ელექტრომაგნიტური, მომწამვლავი ნივთიერებებისაგან მომსახურე პერსონალის დაცვის საკითხები.

ინდივიდუალური დამცავი საშუალებების გამოყენება და მათი მნიშვნელობა მომსახურე პერსონალის საგანგებო სიტუაციებისაგან დაცვის მიზნით.

**ლიტერატურა**

1. ლ. ჩხეიძე, ნ. ხვარელია. საწარმოო სანიტარია და შრომის ჰიგიენა. თბილისი, 2003.
2. ლ. ჩხეიძე, ნ. ხვარელია, ნ. ბოჭორიშვილი, ი. ბოჭორიშვილი. ზოგადი და საინჟინრო ეკოლოგიის საფუძვლები. თბილისი, სტუ: 2005.
3. Нормы радиационной безопасности НРБ-75. АТОМИЗДАТ, 1978.
4. Поленов В.В. Дозиметрические приборы для населения. М.: ЭНЕРГОИЗДАТ, 1991.
5. ნ. მექვაბიშვილი. საწარმოო უსაფრთხოება და ინდივიდუალური დამცავი საშუალებები. თბილისი, 2013 წ.

**UDC 628.16.08****USE OF INDIVIDUAL PROTECTIVE MEANS FROM EXTRAORDINARY SITUATIONS****N. Kiknadze, N. Mekvabishvili**

Department of labour safety and extraordinary situations management, Georgian Technical University, 77, Kostava str, Tbilisi, 0175, Georgia

**Resume:** There is considered issue of defence of the service stuff in all spheres of national economy from harmful radio-active, laser, electro-magnetic influences, war gas, use of individual protective means in case of extraordinary situations.

**Key words:** respirators; sprays.

**УДК 628.16.08****ПРИМЕНЕНИЕ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЗАЩИТНЫХ СРЕДСТВ ОТ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ****Кикнадзе Н.Т., Меквабишвили Н.З.**

Департамент управления безопасностью труда и чрезвычайными ситуациями, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. Костава, 77

**Резюме:** Рассмотрены вопросы защиты служащего персонала во всех отраслях народного хозяйства от вредного радиационного, лазерного, электромагнитного воздействия отравляющих веществ; применения индивидуальных средств защиты в случае чрезвычайной ситуации.

**Ключевые слова:** респираторы; аэрозоли.

*მიღებულია დასაბუჯდად 11.02.2013*

# ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის სექცია

УДК 621.791.755

## ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ В СРЕДЕ ВОДЯНОГО ПАРА

З. В. Сабашвили\*, Д. Д. Тавхелидзе, А. К. Суламанидзе, Н. П. Кодуа, З. Т. Мchedlishvili

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

E-mail: z\_sabashvili@gtu.ge

**Резюме:** При разработке технологии одной из важнейших задач является составление, исследование и расчет теплового баланса технологического процесса для конкретной плазмообразующей среды. Тепловой баланс плазменной резки материалов в среде водяного пара выражается формулой

$$I(U_a + \varphi_a + \frac{3}{2} \times \frac{KT}{e}) + \eta_{эфф.} \times IEL + q_{рек.H_2O} + q_{рек.H_2} = V\rho[c(T_{пл} - T_0) + q] + \lambda T_{пл}.$$

Увеличению тепловой мощности дуги способствуют высокая напряженность электрического поля плазменной дуги и тепловые энергии, выделяемые при рекомбинации молекул водорода и кислорода, а также атомов водорода. Расчеты, проведенные с использованием экспериментальных данных, показали, что потребляемая мощность источника питания для плазменной резки от сети, в случае использования водяного пара в качестве плазмообразующей среды, по сравнению со сжатым воздухом уменьшается примерно на 20%.

**Ключевые слова:** плазматрон; тепловой баланс; тепловая мощность; сила тока дуги; напряжение на дуге; рекомбинация молекул и атомов; напряженность электрического поля дуги; эффективный к.п.д.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Развитие технологии плазменной обработки материалов связано с тем, что плазменная дуга представляет собой теплоноситель с высоким теплосодержанием и температурой. Ее генерирование возможно в любой газовой среде. Выбор плазмообразующей среды зависит от ее теплофизических и химических свойств.

При разработке технологии, одной из важнейших задач является составление, исследование и расчет теплового баланса технологического процесса для конкретной плазмообразующей среды. В технологии плазменной резки наиболее перспективным является применение перегретого водяного пара [1;2].

Представлялось интересным составление теплового баланса процесса плазменной обработки в среде водяного пара по сравнению со сжатым воздухом.

### 2. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

При плазменной резке электрическая мощность дуги почти полностью превращается в тепловую ( $q_{ст}$ ) и расходуется на нагрев плазматрона (в основном на нагрев его электрода ( $q_k$ ) и сопла ( $q_c$ )), окружающей среды ( $q_{ср}$ ) (на открытом участке столба дуги) и обрабатываемого изделия ( $q_{из}$ ). Часть тепла теряется с потоком плазмы, проникающей через толщину металла ( $q_{пп}$ ):

$$q_{ст} = q_k + q_c + q_{ср} + q_{из} + q_{пп}. \quad (1)$$

Тепловая энергия, получаемая изделием, состоит из двух компонентов:  $q'_{из}$  - энергии, получаемой через электрический ток, и  $q''_{из}$  - энергии, получаемой через теплообмен с плазмой столба дуги. Данная тепловая энергия расходуется на нагрев всего изделия ( $q_{из.н}$ ), на локальное выплавление металла ( $q_{из.пл.}$ ), а также на испарение ( $q_{из.исп.}$ ) и излучение с нагреваемой поверхности ( $q_{из.изл.}$ ):

$$q'_{из} + q''_{из} = q_{из.н} + q_{из.пл.} + q_{из.исп.} + q_{из.изл.}. \quad (2)$$

Для упрощения расчетов, можно пренебречь потерями на излучение и испарение.

Энергия, передаваемая посредством электрического тока, зависит от потенциальной, кинетической и термической энергии электронов:

$$q'_{из} = I(U_a + \varphi_a + 3/2 \times KT/e) . \quad (3)$$

$U_a$ - анодное падение напряжения;  $\varphi_a$ - работа выхода материала анода;  $K$ - постоянная Больцмана;  $T$ - температура дуги;  $e$  – заряд элетрона.

Энергия, передаваемая через теплообмен со столбом плазменной дуги, зависит от тока дуги, эффективного к.п.д. и рода плазмообразующей среды:

$$q''_{из} = \eta_{эфф.} \times q_{ст.} \quad (4)$$

Тепло, необходимое для нагрева и плавления металла, рассчитывается по формуле

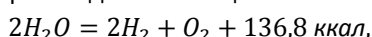
$$q_{из.н} + q_{из.пл.} = V\rho[c(T_{пл} - T_0) + q] + \lambda T_{пл}, \quad (5)$$

где  $V$ - скорость резки;  $\rho$  - плотность обрабатываемого материала;  $c$ - удельная теплоемкость обрабатываемого материала;  $\lambda$ -коэффициент теплопроводности обрабатываемого материала;  $q$ - скрытая теплота плавления;  $T_0$  и  $T_{пл}$  - начальная температура и температура плавления. Если полную тепловую мощность дуги представить посредством напряженности элетрического поля плазменной дуги, и учитывая вышеизложенное, выражение (2) примет следующий вид :

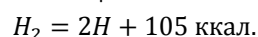
$$I(U_a + \varphi_a + 3/2 \times KT/e) + \eta_{эфф.} \times IEI = V\rho[c(T_{пл} - T_0) + q] + \lambda T_{пл}, \quad (6)$$

где  $E$ -напряженность эл.поля;  $l$  - длина плазменной дуги.

При использовании водяного пара процесс диссоциации происходит с поглощением тепла:



а при  $T = 5000^{\circ}C$  диссоциация водорода сопровождается большим поглощением тепла:



При соприкосновении горячей плазмы с холодным изделием происходит рекомбинация молекул водорода и кислорода, а также атомов водорода. При этом выделяется поглощенное тепло, которое складывается с тепловой мощностью дуги, и увеличивается эффективность теплового воздействия дуги на металл. В среде водяного пара выражение (6) запишется следующим образом:

$$I(U_a + \varphi_a + 3/2 \times KT/e) + \eta_{эфф.} \times IEI + q_{рек.H_2O} + q_{рек.H_2} = V\rho[c(T_{пл} - T_0) + q] + \lambda T_{пл}. \quad (7)$$

При расчетах теплового баланса как для одноатомных газов, так и для сжатого воздуха целесообразно воспользоваться выражением (6). Сравнивая формулы (6) и (7) при допуске, что в обоих случаях одинаковы значения тока дуги, можно заключить, что энергия, передаваемая в случае водяного пара, выше по сравнению со сжатым воздухом из-за высокой напряженности электрического поля и тепловых энергий, выделенных при рекомбинации молекул и атомов.

Приведем результаты сравнительных исследований плазменной резки стали марки Ст3 толщиной 16 мм, как в среде сжатого воздуха, так и в среде водяного пара. В таблице 1 представлены значения основных технологических параметров.

Таблица 1

**Значения технологических параметров**

Род плазмообразующей среды	Ток дуги, А	Напряжение дуги, В	Длина дуги, мм	Напряженность электрического поля дуги, В/мм	Эффективный к.п.д., %	Эффективная мощность дуги, ккал/сек
Сжатый воздух	180	220	12	18,3	75	7,1
Водяной пар	180	260	12	21,6	85	9,6

Данные, приведенные в таблице 1, подтверждают, что повышение эффективной мощности дуги и эффективного к.п.д. обусловлено выделением тепловых энергий при рекомбинации молекул и атомов.

В тепловом балансе не учтена зависимость напряжения дуги от температуры водяного пара на входе плазматрона [3]. Увеличение напряжения с повышением температуры дает возможность снизить ток дуги при неизменной мощности дуги.

Исходя из вышеизложенного можно заключить, что при плазменной резке металлов определенной толщины в среде перегретого водяного пара, по сравнению со сжатым воздухом, необходимую мощность дуги можно обеспечить при пониженном токе дуги. В таблице 2 представлены значения, полученные при исследовании электрических параметров режимов плазменной резки стали марки Ст3. толщиной 16 и 20 мм [4].

Таблица 2

Род плазмообразующей среды	Толщина, мм	Ток дуги, А	Напряжение дуги, В	Температура, °С
Сжатый воздух	16	200	220	-
	20	220	220	-
Водяной пар	16	170	250	120
		160	275	200
		150	285	300
		140	290	400
	20	180	250	120
		160	270	200
		150	285	300
		140	290	400

При исследованиях представлялось интересным изучение потребляемой мощности от сети. Известно, что потребляемая мощность ( $P$ ) источника питания для плазменной резки от сети рассчитывается с помощью напряжения холостого хода ( $U_{xx}$ ) и номинального тока:

$$P = U_{xx} I_{ном}$$

Эксперименты проводились на источнике питания с  $U_{xx} = 300$  В при использовании сжатого воздуха  $I_{ном} = 200$  А и  $P = 300 \times 200 = 60$  кВА, а в случае перегретого водяного пара в среднем (для всех температур)  $I_{ном} = 160$  А и  $P = 300 \times 160 = 48$  кВА. Как видно из представленного расчета, потребляемая мощность ( $P$ ) источника питания для плазменной резки от сети, в случае использования водяного пара в качестве плазмообразующей среды, по сравнению со сжатым воздухом уменьшается примерно на 20%.

### 3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе вышеизложенного, можно заключить:

1. При использовании перегретого водяного пара в качестве плазмообразующей среды, по сравнению со сжатым воздухом, увеличению тепловой мощности дуги способствуют высокая напряженность электрического поля плазменной дуги и тепловые энергии, выделяемые при рекомбинации молекул водорода и кислорода, а также атомов водорода.

2. Потребляемая мощность источника питания для плазменной резки от сети уменьшается примерно на 20%.

### ЛИТЕРАТУРА

1. ზ. საბაშვილი, გ. ხურციძე, ვ. მამუკაშვილი. პლაზმური ჭრა წყლის ორთქლის გარემოში // III რესპუბლიკური სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენციის მოხსენებათა კრებული "შედულების პრობლემები საქართველოს სახალხო მეურნეობაში" ქ. ქუთაისი 1991 წ. 78-83 გვ.
2. Сабашвили З.В., Тавхелидзе Д.Д., Мчедlishვილი З.Т. Водяной пар, как плазмообразующая среда // "Проблемы механики" Международный научный журнал, N4(21), 2005 г.
3. ზ. საბაშვილი, გ. ხურციძე, ზ. სიამაშვილი. პლაზმური რკალის პარამეტრებზე პლაზმატონის შესასვლელზე წყლის ორთქლის ტემპერატურის გავლენის გამოკვლევა // სტუდენტური შრომები, N5 (416), 1997 წ.
4. ზ. საბაშვილი, გ. ხურციძე, ვ. მამუკაშვილი. წყლის ორთქლის პლაზმური რკალის ელექტრული მახასიათებლები // III რესპუბლიკური სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენციის მოხსენებათა კრებული "შედულების პრობლემები საქართველოს სახალხო მეურნეობაში" ქ. ქუთაისი, 1991 წ. 78-83 გვ.

შპს 621.791.755

**წყლის ორთქლის გარემოში პლაზმური დამუშავების თბური ბალანსი****ზ. საბაშვილი, დ. თავხელიძე, ა. სულამანიძე, ნ. კოდუა, ზ. მჭედლიშვილი**

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

**რეზიუმე:** ტექნოლოგიების შემუშავებისას, ერთ-ერთ მნიშვნელოვან ამოცანას წარმოადგენს კონკრეტული პლაზმაწარმოქმნელი გარემოსათვის ტექნოლოგიური პროცესისათვის თბური ბალანსის შედგენა, გამოკვლევა და ანგარიში. წყლის ორთქლის გარემოში პლაზმური ჭრის პროცესის თბური ბალანსი გამოისახება ფორმულით:  $I(U_a + \varphi_a + 3/2 \times KT/e) + \eta_{\text{ფფ}} \times IEl + q_{\text{რეკ.H}_2\text{O}} + q_{\text{რეკ.H}_2} = V\rho[c(T_{\text{пл}} - T_0) + q] + \lambda T_{\text{пл}}$  რკალის თბური სიმძლავრის მომატებას განაპირობებს პლაზმური რკალის ელექტრული ველის მაღალი დაძაბულობა, წყალბადის მოლეკულებისა ატომების და უანგბადის მოლეკულების რეკომბინაციისას გამოყოფილი სითბოს რაოდენობები. ექსპერიმენტური მონაცემების საფუძველზე ჩატარებულმა ანგარიშებმა გვიჩვენა, რომ პლაზმური ჭრის კვების წყაროს ქსელიდან მოხმარებული სიმძლავრე წყლის ორთქლის შემთხვევაში 20%-ით ნაკლებია შეკუმშულ ჰაერთან შედარებით.

**საკვანძო სიტყვები:** პლაზმატრონი; თბური ბალანსი; თბური სიმძლავრე; დენის ძაბვა; მოლეკულების და ატომების რეკომბინაცია; რკალის ელექტრული ველის დაძაბულობა; ელექტრული მქ კოეფიციენტი.

UDC 621.791.755

**THERMAL BALANCE OF PLASMATIC PROCESSING OF MATERIALS IN THE ENVIRONMENT OF WATER STEAM****Z. Sabashvili, D. Tavkhelidze, A. Sulamanidze, N. Kodua, Z. Mchedlishvili**

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

**Resume:** When developing the technology, one of the key tasks is composition, investigation and calculation of technological process thermal balance for concrete plasma forming environment. Thermal balance of plasma cutting of materials in water steam environment is expressed with formula:

$$I(U_a + \varphi_a + 3/2 \times KT/e) + \eta_{\text{ფფ}} \times IEl + q_{\text{რეკ.H}_2\text{O}} + q_{\text{რეკ.H}_2} = V\rho[c(T_{\text{пл}} - T_0) + q] + \lambda T_{\text{пл}}$$

The increase of heating capacity of arc is promoted by high intensity of plasma arc electric field and thermal energies emitted at recombination of hydrogen and oxygen molecules, as well as of hydrogen atoms. Calculations performed with experimental data proved, that the power consumption of the supply source for plasma cutting from net, in case of using water steam as plasma forming environment is decreased for approximately 20% compared to compressed air.

**Key words:** Plasmatron, thermal balance; thermal capacity; power arc current; a recombination of molecules and atoms; intensity of plasma arc electric field; effective efficiency.

*მიღებულია დასაბეჭდად 21.03.2013*

УДК 621.791.755

**ПЛАЗМЕННАЯ РЕЗКА НА ПОВЫШЕННЫХ ДАВЛЕНИЯХ****З.В. Сабашвили\*, Д.Д. Тавхелидзе, А.К. Суламанидзе, Н.П. Кодуа, И.В. Фухашвили**

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

E-mail: z\_sabashvili@gtu.ge

**Резюме:** Исследованиями установлено, что повышенное давление положительно влияет на электрические характеристики дуги и технологические параметры. В частности, с одной стороны, повышаются напряженность электрического поля столба плазменной дуги, мощность, силовое воздействие дуги на металл, интенсивность удаления расплавленного металла из полости реза, а с другой стороны, уменьшаются ширина реза и величины графа.

**Ключевые слова:** плазменная резка; плазмообразующая среда; давление водяного пара; напряженность электрического поля; силовое воздействие дуги; ширина реза; граф.

**1. ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время передовыми фирмами ("Telvin", "Oerlikon" и др.), производящими сварочное оборудование, выпускаются установки для воздушно-плазменной резки на повышенных давлениях (6-7 атм.). В среде сжатого воздуха, свыше 6-7 атм., в отличие от водяного пара, возбуждение дуги затрудняется. Целесообразно использовать водяной пар в качестве плазмообразующей среды, для плазменной резки на повышенных давлениях (до 10 атм.). Это объясняется тем, что увеличение давления плазмообразующей среды положительно влияет на электрические характеристики плазменной дуги и технологические параметры плазменной резки. В частности, повышается напряжение, силовое воздействие дуги на металл, мощность дуги, уменьшается ширина реза и т.д.

Повышение давления ограничено, поскольку возбуждение плазменной дуги в среде сжатого воздуха затрудняется. Однако в работах [1,2,3] показано преимущество применения водяного пара в качестве плазмообразующей среды. В статье рассмотрено влияние давления водяного пара на электрические характеристики плазменной дуги и технологические параметры плазменной резки.

**2. СНОВНАЯ ЧАСТЬ**

Исследования, которые проводились по изучению процесса плазменной резки в среде водяного пара, показали, что возбуждение плазменной дуги не затрудняется в области давления от 2 до 10 атм. Надо отметить, что в состоянии насыщения с повышением давления увеличивается и температура. Сила притяжения между молекулами водяного пара минимальная, и, чем выше давление, тем меньше силы сцепления как между молекулами, так и внутри атома. Поэтому работа ионизации, совершенная против сил взаимодействия между вырываемым электроном и остальной частью атома, намного меньше работы ионизации сжатого воздуха. При использовании перегретого водяного пара работа ионизации еще уменьшается и дистанционное возбуждение дуги не является проблемой.

С повышением давления увеличивается расходная скорость, и следовательно, с одной стороны, уменьшается рост теплового слоя, в результате чего сечение смыкания теплового и пограничного слоев смещается вниз по направлению потока и, с другой стороны, увеличение радиальной составляющей скорости способствует повышению осевой стабилизации дуги, обжатию и удлинению дуги. При этом увеличивается напряжение на дуге, скорость резки, уменьшается ширина реза и т.д.

Напряженность электрического поля в турбулентной дуге в зависимости от давления выражается формулой [4]

$$E = 2,64 \times 10^{-2} \times \frac{G^{0,15} P^{0,19}}{d^{0,92}} \left( 355 \times 10^{-2} \frac{l}{d} + 5,13 \times 10^{-7} \frac{l^2}{d^2} \right).$$

На рис. 1 приведены зависимости напряженности электрического поля плазменной дуги от давления водяного пара и сжатого воздуха. Как видно из данных зависимостей, значение напряженности выше в случае водяного пара и растет с повышением давления.

Не изменяя силу тока, с помощью давления можно регулировать напряжение на дуге, соответственно и мощность дуги, что имеет большое значение в разработке технологии. Если учесть еще и зависимость напряжения дуги от температуры водяного пара на



входе плазматрона [5], тогда необходимую мощность дуги можно поддержать на повышенных значениях давления и температуры при меньшем значении тока дуги, по сравнению со сжатым воздухом. С умень-

шением тока дуги увеличивается ресурс работы термодимического катода [6] и примерно на 20% снижается потребляемая мощность источника питания от сети.

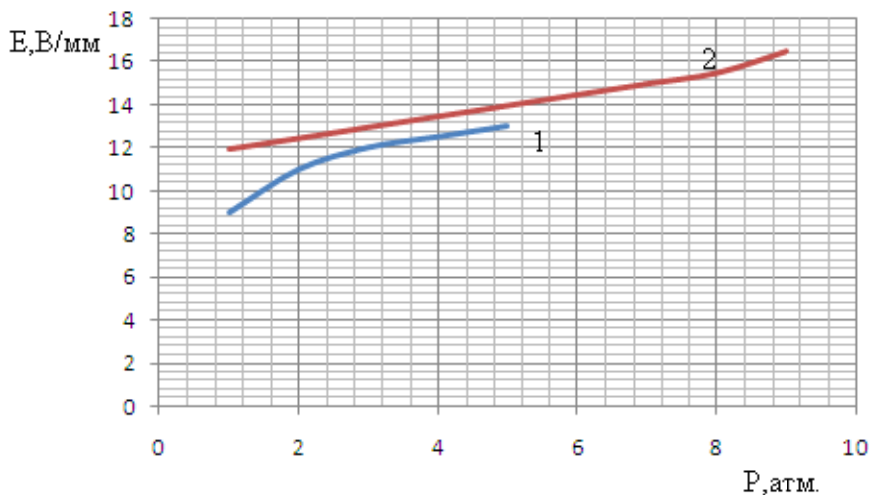


Рис.1. Зависимость напряженности электрического поля плазменной дуги от давления плазмообразующей среды:  
1- сжатый воздух, 2 - водяной пар

На рис. 2 представлен график зависимости силового воздействия дуги от давления плазмообразующей среды. Силовое воздействие дуги определяет проплавляющую способность дуги и интенсивность удаления расплавленного металла из полости реза. В

области давления от 2 до 5 атм. силовое воздействие дуги в среднем на 6% выше в среде водяного пара. Выше 5 атм, в среде сжатого воздуха дуга на нашей установке не возбуждалась, а в среде водяного пара плазменную дугу исследовали до 10 атм.

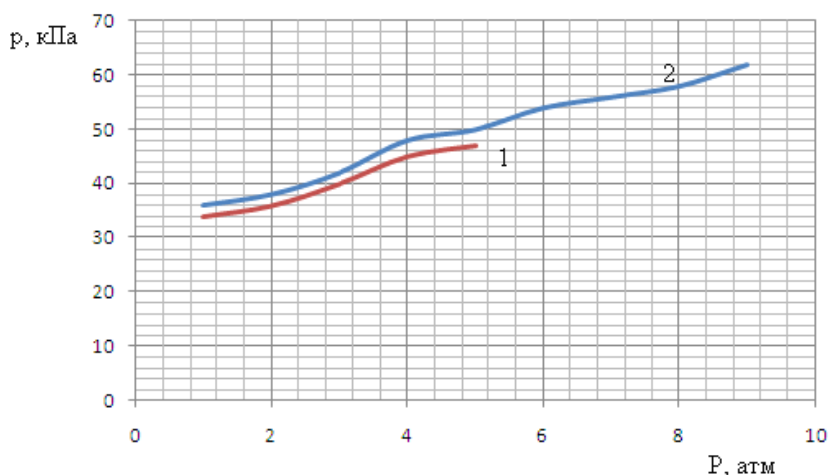


Рис. 2. Зависимость силового воздействия плазменной дуги от давления плазмообразующей среды:  
1 - сжатый воздух, 2 - водяной пар

Нами также были проведены исследования по изучению влияния давления на ширину реза и величины грата.

На рис. 3 представлен график зависимости средней ширины реза от давления плазмообразующей среды. В

области давления до 4 атм. ширина реза в случае водяного пара по сравнению со сжатым воздухом ниже на 0,35-0,4 мм, причиной чего является меньшее поперечное сечение дуги в среде водяного пара. Уменьшению поперечного сечения, кроме вышеизло-

женного, способствует интенсивное охлаждение периферийных участков столба дуги, которое обеспечивается поглощением большого количества тепла при диссоциации водорода. Из литературных данных [7] известно, что радиус дуги обратно пропорционален кубическому корню из энтальпии плазмо-

образующей среды на входе в плазматрон. Энтальпия водяного пара, в зависимости от температуры, в 3-5 – раз выше энтальпии сжатого воздуха, что также является одной из причин уменьшения сечения столба дуги водяного пара.

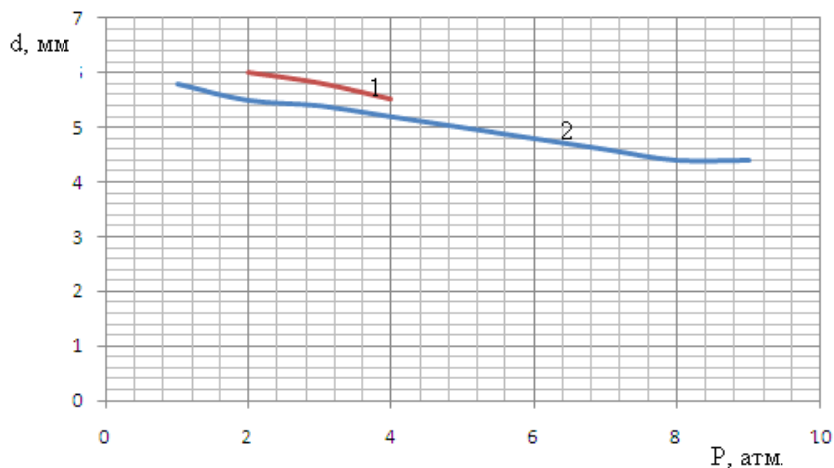


Рис.3. Зависимость средней ширины реза от давления плазмообразующей среды: 1- сжатый воздух, 2 - водяной пар

На рис. 4 представлен график зависимости величины грата от давления водяного пара. Размеры грата определяются по его ширине и высоте, которые не должны превышать размеров, установленных стандартом: 1,2 мм и 0,6 мм. Наличие грата и его размеры во многом зависят от величины силового воздействия дуги на нижнюю кромку листа, а последняя пропорциональна току дуги, давлению и температуре водяного пара. Это и объясняет

уменьшение величины грата с увеличением давления водяного пара. Как видно из рис.4, в среде водяного пара, начиная с 4 атм, размеры грата стали ниже установленных норм: при 6 атм  $B1=0,8$  мм,  $B2=0,4$ . С увеличением давления до 9 атм уменьшение высоты и ширины продолжается, но незначительно.

Надо отметить, что исследования проводились на плазматронах с соплом, с диаметром канала 2,5 мм.

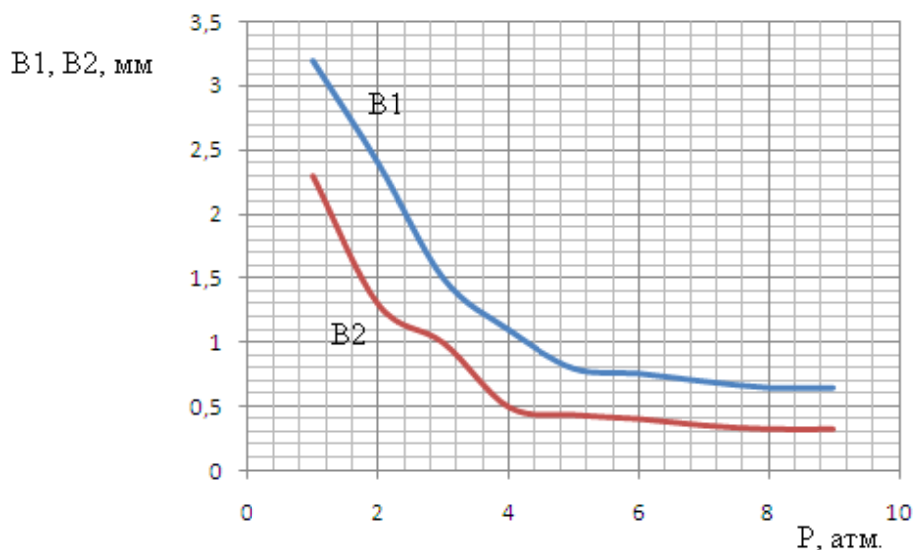


Рис.4. Зависимость величины грата от давления водяного пара: B1-ширина грата, мм; B2-высота грата, мм

### 3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе вышеизложенного можно заключить, что эффективность применения плазменной резки на повышенных давлениях плазмообразующей среды связано с повышением напряженности электрического поля столба плазменной дуги, мощности и силового воздействия дуги на металл. Повышенное давление положительно влияет и на технологические показатели. В частности, уменьшаются ширина реза и величины грата, увеличивается интенсивность удаления расплавленного металла из полости реза и т.д.

### ЛИТЕРАТУРА

1. ზ. საბაშვილი, გ. ხურციძე, ვ. მამუკაშვილი. პლაზმური ჭრა წყლის ორთქლის გარემოში// III რესპუბლიკური სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენციის მოხსენებათა კრებული “შედუღების პრობლემები საქართველოს სახალხო მეურნეობაში” ქ. ქუთაისი, 1991 წ., 78-83 გვ.
2. საბაშვილი ზ.ვ., თაველიძე დ.დ., მchedlishვილი ზ.ტ. Водяной пар, как плазмообразующая среда// Меж-

дународный научный журнал “Проблемы механики” N4(21)/2005 г., с.79-83.

3. საბაშვილი ზ.ვ., ბაბუციძე მ.ვ., ციკლაური თ.ს., სიამაშვილი ზ.მ. Исследование микротвердости поверхности реза при плазменной резке в среде водяного пара // “Проблемы металлургии, сварки и материаловедения”, N4(10)/2005 г., с.27-31.
4. დაუთოვ გ.ი., საზანოვ მ. ი. Напряженность электрического поля в стабилизированной вихрем дуге // ПМТВ, 1967 г., №4, с. 127-131.
5. ზ. საბაშვილი, გ. ხურციძე, ზ.სიამაშვილი. პლაზმური რკალის პარამეტრებზე პლაზმატრონის შესასვლელზე წყლის ორთქლის ტემპერატურის გავლენის გამოკვლევა// სტუ-ს შრომები, 5 (416), 1997 წ., გვ. 48-55.
6. საბაშვილი ზ.ვ., სულამანიძე ა.კ., გორდესიანი ა.გ., კოდა ნ.პ., მchedlishვილი ზ.ტ. Влияние плазмообразующей среды на ресурс работы термохимического катода // Труды ГТУ, #4 (486 ), 2012 г., с. 38-42.
7. Малаховский В. А. Плазменная сварка. М.: Высшая школа, 1987 г.- 80 с.

შპს 621.791.755

### პლაზმური ჭრა მაღალ წნევაზე

ზ. საბაშვილი, დ. თაველიძე, ა. სულამანიძე, ნ. კოდუა, ი. ფუხაშვილი

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

**რეზიუმე:** დღევანდელ დღეს მსოფლიოს მოწინავე შედეგების მოწყობილობათა მწარმოებელი ფირმები აწარმოებენ ჰაერ-პლაზმური ჭრის დანადგარებს მაღალ წნევაზე. 6-7 ატმ-ზე მეტ წნევაზე რკალის აღზნება შეკუმშული ჰაერის გარემოში, წყლის ორთქლთან შედარებით, რთულია. მაღალ წნევაზე (10 ატმ-მდე) პლაზმური ჭრისათვის მიზანშეწონილია გამოვიყენოთ წყლის ორთქლი. კვლევებით დადგინდა, რომ მაღალი წნევა დადებითად მოქმედებს რკალის ელექტრულ მახასიათებლებზე და ტექნოლოგიურ პარამეტრებზე. კერძოდ, ერთი მხრივ იზრდება პლაზმური რკალის ელექტრული ველის დაძაბულობა, სიმძლავრე, ლითონზე რკალის ძალური ზემოქმედება, ჭრის არედან გამდნარი ლითონის გამოდენის ინტენსიურობა, მეორე მხრივ კი მცირდება ჭრის სიგანე და ხიწვის ზომები.

**საკვანძო სიტყვები:** პლაზმური ჭრა; პლაზმაწარმოქმნელი გარემო; წყლის ორთქლის წნევა; ელექტრული ველის დაძაბულობა; რკალის ძალური ზემოქმედება; ჭრის სიგანე; ხიწვი.

UDC 621.791.755

**PLASMATIC ARC CUTTING AT HIGH PRESSURES****Z. Sabashvili, D. Tavkheldze, A. Sulamanidze, N. Kodua, I. Pukhashvili**

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

**Resume:** At present leading firms producing welding equipments are delivering utilities for air-plasma cutting at high pressures. In compressed air medium above 6-7 atm., as opposed to water steam, arc excitation is hampered. It is advisable to use water steam, as plasma forming medium for plasma cutting at high pressures (up to 10 atm.). The investigations proved, that high pressure acts positively on electric characteristics of arc and technical parameters. In particular, on the one hand electric field tension of plasma arc column, power, force action of arc on metal, intensity of melted metal removal from cutting cave are increased and on the other hand cutting width is decreased.

**Key words:** plasmatic arc cutting; plasma forming medium; pressure of water-steam; electric field tension; force action of arc; cutting width; burr.

*მიღებულია დასაბუჯდად 21.03.2012*

შპს 541.11

**ბარიუმის შემცველი რიგი სილიკატების  $\Delta H_{f,298}^{\circ}$ -სა და  $S_{298}^{\circ}$ -ის დადგენა ბრაჟიკული და საანბარიშო ხერხებით**

ა. სარუხანიშვილი, დ. ბიბილეიშვილი\*, ქ. კობიაშვილი

ქიმიური და ბიოლოგიური ტექნოლოგიის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, კოსტავას 77

E-mail: d.bibileishvili@gtu.ge

**რეზიუმე:** ბარიუმის რიგი სილიკატების  $\Delta H_{f,298}^{\circ}$ -სა და  $S_{298}^{\circ}$ -ის დასადგენად ორი განსხვავებული ხერხია გამოყენებული. BaO-SiO<sub>2</sub> სისტემის ორი სილიკატის შემთხვევაში თერმოდინამიკური პარამეტრები განისაზღვრება  $n[\text{SiO}_2]/[\text{BaO}] - \Delta H_{f,298}^{\circ}$  და  $n[\text{SiO}_2]/[\text{BaO}] - S_{298}^{\circ}$  დამოკიდებულებების აგებით, ხოლო Na<sub>2</sub>O-BaO-SiO<sub>2</sub> სისტემის ექვსი სილიკატის შემთხვევაში – სტრუქტურული ინგრედიენტების ადიტიური სისტემის მეთოდით.

**საკვანძო სიტყვები:** თერმოდინამიკური პარამეტრები; ბარიუმის სილიკატები; მყარი ხსნარები; სტრუქტურული ინგრედიენტები; ადიტიური სისტემა.

**1. შესავალი**

მეცნიერებისა და ტექნიკის მრავალი სფერო ინოვაციური ტექნოლოგიების განსახორციელებლად ბოლო დროს ახალი მასალების შექმნას ითხოვს. ამ მასალათა რიცხვს ბარიუმშემცველი ამორფული, ამორფულ-კრისტალური და კრისტალური კომპოზიტები მიეკუთვნება, რომლებიც განსაკუთრებული თბოფიზიკური და ელექტრული თვისებებით გამოირჩევა.

აღნიშნული კომპოზიტები, როგორც წესი, მაღალტემპერატურული ტექნოლოგიებით მიიღება, რომელთა განხორციელება დამოკიდებულია მრავალ ფაქტორზე, მათ შორის გამოსავალ კომპოზიციებში მიმდინარე ფიზიკურ-ქიმიური პროცესების მიმდინარეობის რეგულირებასა და ამ პროცესთა შედეგად მიღებული პროდუქტების ფაზუ-

რი შედგენილობის სრული ინფორმაციის ფლობის შესახებ.

ამ ინფორმაციის მოპოვების საუკეთესო საშუალებაა ექსპერიმენტული კვლევა. მაგრამ, იგი უმეტეს შემთხვევაში დაკავშირებულია მასალათა და ენერჯის მნიშვნელოვან ხარჯთან, შრომატევადობის მკვეთრ ზრდასთან, რაც ახალი მასალის დანერგვამდე დაუყვანას დაუშვებლად ახანგრძლივებს.

ამ ვითარებიდან გამოსავალი თერმოდინამიკურ პარამეტრთა გამოყენებით კომპოზიტების ოპტიმალური შედგენილობისა და სინთეზის პირობების თეორიულ პროგნოზირებაშია. როგორც, მსოფლიო პრაქტიკა გვიჩვენებს ქიმიური თერმოდინამიკის შესაძლებლობათა გამოყენებით კაცობრიობისათვის მეტად მნიშვნელოვანი, არაერთი ასეული პრობლემა გადაჭრილ იქნა. ჩვენს შემთხვევაშიც მსოფლიოში არსებულ გამოცდილებაზე დაყრდნობით სრულიად შესაძლებელი უნდა იყოს ბარიუმშემცველი კომპოზიტების მიღების საკითხების გადაჭრა, ერთი გარემოება რომ არა. როგორც ირკვევა, ამ კომპოზიტების სინთეზის თერმოდინამიკური შეფასება ძირითადად გამოსავალ კომპოზიციებში და თერმული დამუშავების შედეგად მიღებულ პროდუქტებში შემავალი მთელ რიგ ნაერთთა თერმოდინამიკური პარამეტრების დაუდგენლობის გამო ფერხდება. მათ რიცხვს რიგი ბარიუმშემცველი მარტივი და რთული სილიკატიც მიეკუთვნება, რომელთა თერმოდინამიკური პარამეტრების მოძიება საინფორმაციო წყაროებში უარყოფითი შედეგით დასრულდა.

ამითაა გამოწვეული ჩვენ მიერ ჩატარებული კვლევა, რომლის ძირითადი შედეგები მოტანილია მოცემულ ნაშრომში.

## 2. ძირითადი ნაწილი

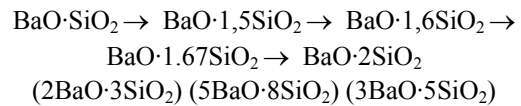
კვლევის მიზანია  $BaO-SiO_2$  - ს და  $Na_2O-BaO-SiO_2$  სისტემებში რიგ ნაერთთა ორი თერმოდინამიკური პარამეტრის – წარმოქმნის სტანდარტული მოლური ენთალპიის ( $\Delta H_{f,298}^{\circ}$ ) და სტანდარტული მოლური ენტროპიის ( $S_{298}^{\circ}$ ) დადგენის საშუალებათა ძიება და განხორციელება.

ცნობილია, რომ  $BaO-SiO_2$  სისტემაში ხუთი სილიკატი, რომელთა არსებობა საყოველთაოდ აღიარებულია –  $BaO \cdot SiO_2$ ,  $BaO \cdot 2SiO_2$ ,  $2BaO \cdot 3SiO_2$ ,  $2BaO \cdot SiO_2$  და  $3BaO \cdot SiO_2$  [1]. ამავე წყაროში აღინიშნება კიდევ ორი კომპოზიცია ( $3BaO \cdot 5SiO_2$  და  $5BaO \cdot 8SiO_2$ ), რომელთა შესახებ ორი განსხვავებული აზრი არსებობს. ერთნი მათ ინდივიდუალურ ნაერთებს მიაკუთვნებს, ხოლო მეორენი –  $2BaO \cdot 3SiO_2 - BaO \cdot 2SiO_2$  კერძო სისტემის მყარ

ხსნარებს. აღნიშნულ ნაერთთა (მყარ ხსნართა) პარამეტრები თერმოდინამიკურ მონაცემთა ბაზაში, ისევე როგორც სხვა საინფორმაციო წყაროებში, არ არსებობს [2-4].

ჩვენი მცდელობა გამოგვეყენებინა სხვადასხვა ნაშრომში შემოთავაზებული მეთოდები ნივთიერებათა თერმოდინამიკური თვისებების დასადგენად წარუმატებელი აღმოჩნდა. სხვადასხვა მეთოდით მიღებული შედეგები იმდენად განსხვავდება ერთმანეთისაგან, რომ რომელიმე მათგანის შერჩევის საშუალება არ მოგვეცა.

გამოსავლის ძიებაში ზემოაღნიშნული ბარიუმის სილიკატები გამოვსახეთ  $BaO$ -ს ერთ მოლეკულაზე მოსული  $SiO_2$ -ის ოდენობით ( $n=1 \div 2$ ), რის შედეგად მივიღეთ შემდეგი მწკრივი:



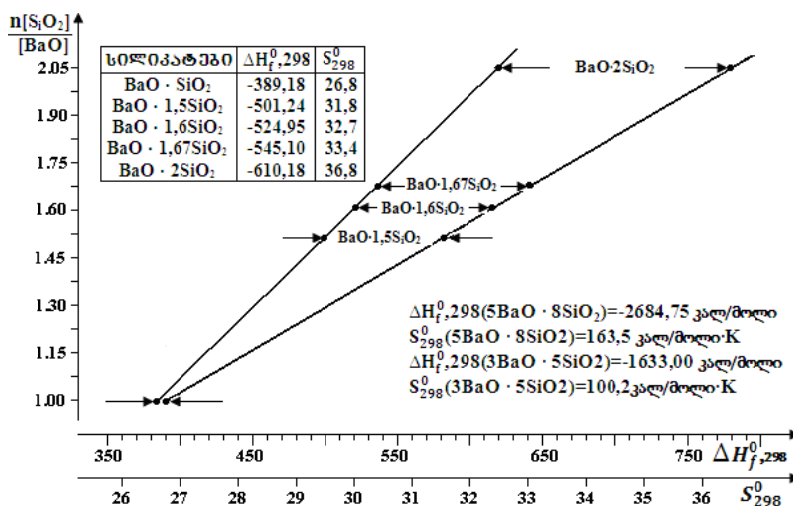
ამ სილიკატებიდან პირველი ორისა და მეხუთე ნაერთისათვის თერმოდინამიკურ მონაცემთა ბაზაში  $\Delta H_{f,298}^{\circ}$ -სა და  $S_{298}^{\circ}$ -ის სიდიდეები არსებობს და შესაბამისად უდრის 389,18 კკალ/მოლი და 26,8 კალ/მოლი·K ( $BaO \cdot SiO_2$ ), 501,24 კკალ/მოლი და 31,9 კალ/მოლი·K ( $BaO \cdot 1,5SiO_2$ ), 610,18 კკალ/მოლი და 36,8 კალ/მოლი·K ( $BaO \cdot 2SiO_2$ ). ამ სიდიდეთა გადატანამ გრაფიკზე კოორდინატებით  $n[SiO_2]/[BaO] - \Delta H_{f,298}^{\circ}$  და  $n[SiO_2]/[BaO] - S_{298}^{\circ}$  გვიჩვენა, რომ მიიღება წრფივი დამოკიდებულებები. ეს, როგორც ჩანს, მიგვითითებს, რომ სისტემაში არსებობს მყარი ხსნარები არა მხოლოდ როგორც აღინიშნება [1]-ში,  $2BaO \cdot 3SiO_2 - BaO \cdot 2SiO_2$  კერძო სისტემაში, არამედ ნაერთად სხეულები  $2BaO \cdot 3SiO_2$ -ც უნდა იყოს მყარ ხსნართა რიგის ერთ-ერთი წევრი კერძო სისტემაში  $BaO \cdot SiO_2 - BaO \cdot 2SiO_2$ . აღნიშნული მოსაზრება ეფუძნება ხსნარებისათვის დამახასიათებელ “თვისება-შედგენილობა” დამოკიდებულების სახეს.

ზემოთ მოყვანილი მოსაზრების კორექტულობა ჯერჯერობით არ არის დადასტურებული ექსპერიმენტულად. თუმცა ის, რომ თერმოდინამიკურად უცნობი სილიკატების საძიებელი თერმოდინამიკური პარამეტრების სიდიდეებიც უნდა განლაგდეს მიღებულ წრფივ დამოკიდებულებაზე, უდავოა. ამით ირიბად დასტურდება იმ მკვლევართა აზრი, რომლის მიხედვით 5  $BaO \cdot 8SiO_2$  და 3  $BaO \cdot 5SiO_2$  მყარი ხსნარებია.

$\Delta H_{f,298}^{\circ} - n[SiO_2]/[BaO]$  და  $S_{298}^{\circ} - n[SiO_2]/[BaO]$ -ის დამოკიდებულებები და მათი განმარტებები ნახატზეა მოყვანილი.

ნატრიუმსილიკატების  $\Delta H_{f,298}^{\circ}$ -სა და  $S_{298}^{\circ}$ -ის ანგარიშის მსგელობა და შედეგები

ნაერთები და მათი კრისტალოქიმიური ჯგუფი	$\Delta H_{f,298}^{\circ}$ -ის დადგენა (კკალ/მოლი)					$S_{298}^{\circ}$ -ის დადგენა (კკალ/მოლი·K)			
	სტრუქტურული ინგრედიენტები	სტრუქტურ. ინგრ. $\Delta H_{f,298}^{\circ}$	სტრუქტურ. ინგრ. $\Delta H_{f,298}^{\circ}$ ჯამი	$K_6$	$\Delta H_{f,298}^{\circ}$	სტრუქტურ. ინგრ. $S_{298}^{\circ}$	სტრუქტურ. ინგრ. $S_{298}^{\circ}$ ჯამი	$K_6$	$S_{298}^{\circ}$
$Na_2O \cdot BaO \cdot SiO_2$ (კუნძულოვანი სილიკატი)	$BaO \cdot SiO_2$ $Na_2O$	-389,18 -99,40	- 488,58	1.015	- 495.91	26.8 17.4	44.2	1.008	44.55
$Na_2O \cdot 2BaO \cdot 2SiO_2$ (ჯგუფური სილიკატი)	$2(BaO \cdot SiO_2)$ $Na_2O$	-778.36 -99,40	-877.76	1.005	882.15	53.6 17.4	71.0	1.019	72.35
$Na_2O \cdot 2BaO \cdot 3SiO_2$ (რგოლური სილიკატი)	$2(BaO \cdot SiO_2)$ $Na_2O \cdot SiO_2$ $SiO_2$	-778.36 -372.06 -217.75	-1368.17	1.007	-1377.75	53.6 27.2 10.0	90.8	0,97 3	88.34
$2Na_2O \cdot BaO \cdot 3SiO_2$ (ჯაჭვური სილიკატი)	$2(Na_2O \cdot SiO_2)$ $BaO \cdot SiO_2$	-744.12 -389.18	-1133.37	1.005	-1138.97	54.4 26.8	81.2	0.961	78.03
$4Na_2O \cdot 3BaO \cdot 5SiO_2$ (ჯაჭვური სილიკატი)	$3(BaO \cdot SiO_2)$ $2(Na_2O \cdot SiO_2)$ $2Na_2O$	-1167.54 -744.12 -198.80	-2110.46	1.005	-2121.01	80.4 54.4 34.8	169.6	0.961	162.99
$Na_2O \cdot 3BaO \cdot 6SiO_2$ (ფენოვანი სილიკატი)	$Na_2O \cdot SiO_2$ $3(BaO \cdot SiO_2)$ $2SiO_2$	-372.06 -1167.54 -435.50	-1975.10	1.007	-1988.93	27.2 80.4 20.0	127.6	1.036	132.19



$\Delta H_{f,298}^{\circ} - n[SiO_2]/[BaO]$  და  $S_{298}^{\circ} - n[SiO_2]/[BaO]$ -ის დამოკიდებულებები

უნდა აღინიშნოს, რომ გრაფიკულად დადგენილი საძიებელი თერმოდინამიკური პარამეტრების სიდიდეები კარგ შესაბამისობაშია, ჩვენ მიერ ნაცად საანგარიშო მეთოდებიდან, [2]-ში შემოთავაზებული მეთოდით მიღებულ სიდიდეებთან.

რაც შეეხება ნატრიუმ-ბარიუმ სილიკატებს, მათ დასადგენად მივმართეთ [2]-ში შემოთავაზებულ სტრუქტურულ ინგრედიენტთა ადიტიური

სისტემის მეთოდს, გამოვიყენეთ რა სილიკატების კრისტალოქიმიური კლასიფიკაციის თითოეული ჯგუფისათვის მათთვის მიღებული ნიველირების კოეფიციენტები ( $K_6$ ). ასე მაგალითად, კუნძულოვანი სილიკატებისათვის ( $Na_2O \cdot BaO \cdot SiO_2$ ),  $K_6=1.015$ ; ჯგუფური სილიკატებისათვის ( $Na_2O \cdot 2BaO \cdot SiO_2$ ),  $K_6=1.005$ ; რგოლურებისათვის ( $Na_2O \cdot 2BaO \cdot 3SiO_2$ ),  $K_6=1.007$ ; ჯაჭვურ-

ბისათვის ( $4\text{Na}_2\text{O}\cdot 3\text{BaO}\cdot 5\text{SiO}_2$  და  $2\text{Na}_2\text{O}\cdot \text{BaO}\cdot 3\text{SiO}_2$ ),  $K_f=1.005$ ; ხოლო ფენოვანი სილიკატებისათვის ( $\text{Na}_2\text{O}\cdot 3\text{BaO}\cdot 6\text{SiO}_2$ ),  $K_f=1.007$ .

აქ მოყვანილი ნიველირების კოეფიციენტები ( $K_f$ ) გამოყენებულ იქნა  $\Delta H_{f,298}^\circ$ -ის დასადგენად. დანარჩენი ინფორმაცია საძიებელი თერმოდინამიკური პარამეტრების სიდიდეების დადგენის შესახებ მოტანილია ცხრილში.

### 3. დასკვნა

ამგვარად, დავძენთ, რომ  $\text{BaO}\cdot\text{SiO}_2$  სისტემის ორი სილიკატისათვის დადგინდა  $5\text{BaO}\cdot 8\text{SiO}_2$ -ისა და  $3\text{BaO}\cdot 5\text{SiO}_2$ -ის  $\Delta H_{f,298}^\circ$  და  $S_{298}^\circ$ -ის სიდიდეები, ხსნარებისათვის დამახასიათებელი “თვისება-შედგენილობის” წრფივი დამოკიდებულების გამოყენებით.  $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{BaO}\cdot\text{SiO}_2$  სისტემის ექვსი სილიკატის იგივე თერმოდინამიკური პარამეტრების განსაზღვრა მოხერხდა სტრუქტურული ინგრედიენტების ადიტიური სისტემის მეთოდით.

მიღებული შედეგები ბარიუმშემცველ კომპონენტებში მიმდინარე ფიზიკურ-ქიმიური პრო-

ცესების თეორიული პროგნოზირებისათვის საჭირო თერმოდინამიკურ მონაცემთა ბაზას შეავსებს, რაც ამ კომპოზიციებიდან შესაბამისი კომპოზიტების მიღებას დააჩქარებს.

### ლიტერატურა

1. Топоров Р.А.и др. Диаграммы состояния силикатных систем. М.-Л.: Наука, 1965, с. 59-64.
2. Сарухანიшвили А.В., Мацаберидзе Э.Л. Метод расчета стандартных мольных значений термодинамических свойств безводных силикатов // II междунац. конф. хим. и техн. Ереван: ИОНХ НАН РА, 2010, с. 21-25.
3. Гвелесиани Г.Г., Багдавадзе Д.И. Расчетные методы определения термодинамических функций неорганических веществ и их применение при полном термодинамическом анализе металлургических процессов. Тб.: Универсал, 2006. – 128с.
4. Киреев В.А. Методы практических расчетов в термодинамике химических реакций. М.: Химия, 1975.– 536с.

#### UDC 541.11

### DETERMINATION OF $\Delta H_{f,298}^\circ$ AND $S_{298}^\circ$ FOR SOME BARIUM-CONTAINING SILICATES BY THE GRAPHIC AND CALCULATION METHOD

A. Sarukhanishvili, D. Bibileishvili, K. Kobiashvili

Department of chemical and biological technology, Georgian Technical University, 77, Kostava str, Tbilisi, 0175, Georgia

**Resume:** There are presented the results of determination of  $\Delta H_{f,298}^\circ$  and  $S_{298}^\circ$  for two silicates of the system:  $\text{BaO}\cdot\text{SiO}_2$  and for six ones of the system  $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{BaO}\cdot\text{SiO}_2$ . In the former case the dependencies  $n[\text{SiO}_2]/[\text{BaO}] - \Delta H_{f,298}^\circ$  and  $n[\text{SiO}_2]/[\text{BaO}] - S_{298}^\circ$  are used and in the latter case the method of additive system of structural components is used.

**Key words:** thermodynamic parameters; barium silicates; solid solution; structural components; additive system.

#### УДК 541.11

### УСТАНОВЛЕНИЕ $\Delta H_{f,298}^\circ$ И $S_{298}^\circ$ ДЛЯ РЯДА БАРИЙСОДЕРЖАЩИХ СИЛИКАТОВ СПОСОБАМИ ГРАФИКИ И РАСЧЕТА

Саруханишвили А.В., Бибилейшвили Д.В., Кобиашвили К.Э.

Департамент химической и биологической технологий, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. Костава, 77

**Резюме:** Предлагаются результаты определения  $\Delta H_{f,298}^\circ$  и  $S_{298}^\circ$  двух силикатов системы  $\text{BaO}\cdot\text{SiO}_2$  и шести – системы  $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{BaO}\cdot\text{SiO}_2$ . В первом случае используются зависимости  $n[\text{SiO}_2]/[\text{BaO}] - \Delta H_{f,298}^\circ$  и  $n[\text{SiO}_2]/[\text{BaO}] - S_{298}^\circ$ , а во втором – метод аддитивной системы структурных ингредиентов.

**Ключевые слова:** термодинамические параметры; силикаты бария; твердые растворы; структурные ингредиенты; аддитивная система.

მიღებულია დასაბუჯლად 28.03.2012

შპს 620.22: 669.01

**Fe-Cr-C სისტემის არარეგულარული მყარი ხსნარის სამ ფაზად განშრევის თერმოდინამიკური მოდელირება**გ. გორდეზიანი<sup>1</sup>, გ. ჯანდიერი<sup>2</sup>, რ. ზეკალაშვილი<sup>2</sup><sup>1</sup>მეტალურგიის, მასალათმცოდნეობისა და ლითონების დამუშავების ეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, კოსტავას 77<sup>2</sup>სსიპ ფერდინანდ თავაძის მეტალურგიისა და მასალათმცოდნეობის ინსტიტუტი, 0160, თბილისი, ალ. ყაზბეგის გამზირი 15

E-mail: ggordeziani@yahoo.com, gigo.jandieri@yahoo.com, rusikoz@yahoo.com

**რეზიუმე:** სამკომპონენტური არარეგულარული ხსნარების სამი მინიმუმით განშრევის გამოსაკვლევად შემუშავდა კრიტიკული წერტილის საანალიზო თერმოდინამიკური მოდელი. აღნიშნული მოდელის გამოყენებით Fe-Cr ფუზიან შენადნობებზე ჩატარდა კვლევები. კვლევებიდან დადგინდა Fe-Cr-C სისტემის არარეგულარული α-მყარი ხსნარის სამ ერთგვაროვან ფაზად განშრევის ტემპერატურულ-კონცენტრაციული პირობა. განშრევის ფაზებისათვის გამოთვლილია წონასწორული კონცენტრაციები და აგებულია შესაბამისი დიაგრამები.

**საკვანძო სიტყვები:** თერმოდინამიკური მოდელირება; სპინოდალური დაშლა; გიბსის პოტენციალი; ფაზური განშრევა; შეურევლობის არეები; კრიტიკული წერტილი; ურთიერთქმედების პარამეტრები.

**1. შესავალი**

თანამედროვე მასალათმცოდნეობაში ფართოდ ინერგება თერმოდინამიკური მოდელირების დარცხვითი ანალიზის მეთოდები, რომელთა გამოყენება არა მარტო ექსპერიმენტს აადვილებს, არამედ რიგ შემთხვევებში კვლევის ერთადერთ საშუალებად გვევლინება. ასე მაგალითად, ფაზური განშრევის, ე.წ. სეგრეგაციის პროცესების პრაქტიკულად დადგენა შესაძლებელია გიბსის პარამეტრების ერთმანეთთან შედარებით მატრიციდან ფაზის გამოყოფამდე და გამოყოფის შემდეგ. თუ პროცესი წარმართა გიბსის პარამეტრების (სტრუქტურის) შეუცვლელად, მაშინ ფაზური გარდაქმნა მუხრუჭდება, საკვლევი ხსნარი (ფაზა) გადადის არასტაბილურ (ლაბილურ) მდგომარეობაში და შეურევლობის არეების წარმოქმნით განშრევა მსგავსი სტრუქტურული აგებულების

და განსხვავებული კონცენტრაციული შედგენილობის ფაზებად.

ამ პროცესების შესწავლა და პროგნოზირება მეტად აქტუალურ საკითხს წარმოადგენს, ვინაიდან მისი გადაწყვეტა შესაძლებელს ხდის ვიმსჯელოთ მოცემული შენადნობის სხვადასხვა დანიშნულებისათვის გამოყენების მიზანშეწონილობაზე. ასე მაგალითად, როგორც ცნობილია განშრევის პროცესები საკონსტრუქციო შენადნობებზე უარყოფით ზეგავლენას ახდენს, ამიტომ, ცდილობენ მის თავიდან აცილებას. ამავ დროს ეს პროცესები გამოყენებულია ე.წ. კომპოზიციური მასალების მისაღებადაც.

მყარი ხსნარების შემთხვევაში აღნიშნული პროცესების ემპირიულად დაფიქსირება შესაძლებელია ექსპერიმენტულ მონაცემთა ანალიზის საფუძველზე; თხევადი ხსნარებისთვის კი მხოლოდ კარგად არგუმენტირებული თეორიული კვლევის მეთოდები გამოიყენება.

განშრევის წინაპირობა არის ნაჯერი ხსნარის კრიტიკულ ტემპერატურამდე გადაციება გარკვეული სიჩქარით, რაც განაპირობებს სისტემის მდგომარეობის უეცარ შეცვლას არამდგრადობისაკენ. ასეთ პირობებში გადაციებული ხსნარი კრიტიკულზე დაბალ ტემპერატურაზე თვითღონებით დაიშლება თერმოდინამიკურ წონასწორობაში მყოფ ორი ან სამი ხსნარის ნარევი (ორ-ფაზა ან სამფაზა განშრევა), რომელსაც ექნება საწყისი ხსნარზე ნაკლები თავისუფალი ენერგია.

განშრევის პროცესი სპინოდალური დაშლის მექანიზმით მიმდინარეობს [1], რომლის თანახმად გადაციებული ხსნარი კონცენტრაციულად განშრედება, თუ მისი შედგენილობა აღმოჩნდება თავისუფალი ენერგიის მრუდის შეზნექილობით ქვევით მიმართულ ნაწილში, რომლის გადაღუნვის წერტილებისთვის მართებულია ტოლობა:

$$\partial^2 G(T, x) / \partial x^2 = 0, \quad (1)$$

სადაც  $G$  არის გიბსის თავისუფალი ენერგია,  $T$  – ტემპერატურა,  $x$  – კონცენტრაცია.



**2. ძირითადი ნაწილი**

ჩვენ მიერ წარმოდგენილია კვლევის მეთოდოლოგია, რომელიც საშუალებას იძლევა თეორიულად დადგინდეს სამკომპონენტო არარეგულარული ხსნარების სამ ფაზად განშრეების ტემპერატურულ-კონცენტრაციული პირობები შესაბამისი ლითონური სისტემებისთვის. აღნიშნული ხსნარების თერმოდინამიკური ფორმით წარმოდგენისთვის შედგენილ იქნა გიბსის თავისუფალი ენერჯის (G – გიბსის პოტენციალი, ჯ/მოლი) ფუნქცია (2), რომლის სიზუსტის ხარისხი უზრუნველყოფილია მისი ენთალპიური მახასიათებლის პოლინომის რიგის გაზრდის შედეგად [2]:

$$G(x_1, x_2, T) = x_1x_3[\alpha_0 + \alpha_1(x_3-x_1) + \alpha_2(x_3-x_1)^2 + \alpha_3(x_3-x_1)^3 + \alpha_4(x_3-x_1)^4] + x_2x_3[b_0 + b_1(x_3-x_2) + b_2(x_3-x_2)^2 + b_3(x_3-x_2)^3 + b_4(x_3-x_2)^4] + x_1x_2[c_0 + c_1(x_2-x_1) + c_2(x_2-x_1)^2 + c_3(x_2-x_1)^3 + c_4(x_2-x_1)^4] + x_1^2x_2x_3d_0 + x_1x_2^2x_3d_1 + x_1x_2x_3^2d_2 + RT[x_1 \ln(x_1) + x_2 \ln(x_2) + x_3 \ln(x_3)]. \tag{2}$$

შემოთავაზებულ ფუნქციაში  $x_1, x_2$  და  $x_3$  ცვლადები ელემენტების კონცენტრაციებია მოლურ წილებში, სადაც  $x_1 + x_2 + x_3 = 1$ ; T – ტემპერატურა, K;  $\alpha_i, b_i, c_i$  – ორ ელემენტს შორის ურთიერთქმედების ხუთწევრიანი პარამეტრებია, ხოლო  $d_i$  – სამ ელემენტს შორის ურთიერთქმედების სამწევრიანი პარამეტრი. ეს პარამეტრები –  $\alpha_i, b_i, c_i, d_i$  (ჯ/მოლი), შედგება ტემპერატურაზე წრფივად დამოკიდებული და დამოუკიდებელი წევრებისაგან:  $\alpha_i = \alpha_{i0} + \alpha_{it}$ ,  $b_i = b_{i0} + b_{it}$ ,  $c_i = c_{i0} + c_{it}$ ,  $d_i = d_{i0} + d_{it}$ ; R – უნივერსალური მუდმივა და 8,31 ჯ/მოლი·კელ-ის ტოლია.

სამკომპონენტოანი შედგენილობის არარეგულარული ხსნარების სამი მინიმუმით განშრეებისას, მართებულია (1) ტოლობის შემდეგი სახით ფორ-

მულირება:  $\partial^2 G / \partial x_1^2 = 0$ ;  $\partial^2 G / \partial x_2^2 = 0$ ;  $\partial^2 G / \partial x_1 \partial x_2 = 0$ , რომლის თანახმად, სისტემა ექვემდებარება სამ ფაზად განშრეებას, თუ მისი ტემპერატურულ-კონცენტრაციული მანევრებლები თავისუფალი ენერჯის მეორე რიგის კერძო წარმოებულებს ერთდროულად გაანულებს. შესაბამისად, გიბსის პოტენციალის გამოსახულების (2) მინიმუმიდან გამომდინარე კერძო წარმოებულებამდე და მათი ნულთან გატოლებით ვღებულობთ განტოლებათა სისტემას (3-5). ეს სისტემა წარმოადგენს კრიტიკული წერტილის კოორდინატების – ტემპერატურის და კონცენტრაციების საანგარიშო მოდელს სამფაზა განშრეების დასადგენად:

$$\partial^2 G / \partial x_1^2 = RT(1/x_1 + 1/x_3) - 2\alpha_0 - 6\alpha_1(x_3-x_1) - 2\alpha_2[5(x_3-x_1)^2 - 4x_1x_3] - 2\alpha_3(x_3-x_1)[7(x_3-x_1)^2 - 12x_1x_3] - 2\alpha_4(x_3-x_1)^2[9(x_3-x_1) - 24x_1x_3] + 2b_1x_2 + 2b_2x_2(3x_3-2x_2) + 2b_3x_2(x_3-x_2)(6x_3-3x_2) + 4b_4x_2(x_3-x_2)^2(5x_3-2x_2) - 2x_2c_1 - c_2[4x_2(x_2-x_1) - 2x_1x_2] + c_3(2x_1x_2 - 2x_2^2)(3x_2-6x_1) + c_4(x_2-x_1)^2(20x_1x_2 - 8x_2^2) - 2x_2(d_0x_1 + d_1x_2 + d_2x_3) + 2x_2(x_3-x_1)(d_0 - d_2) = 0, \tag{3}$$

$$\partial^2 G / \partial x_2^2 = RT(1/x_2 + 1/x_3) - 2b_0 - 6b_1(x_3-x_2) - 2b_2[5(x_3-x_2)^2 - 4x_2x_3] - 2b_3(x_3-x_2)[7(x_3-x_2)^2 - 12x_2x_3] - 2b_4(x_3-x_2)^2[9(x_3-x_2) - 24x_2x_3] + 2\alpha_1x_1 + 2\alpha_2x_1(3x_3-2x_1) + 2\alpha_3x_1(x_3-x_1)(6x_3-3x_1) + 4\alpha_4x_1(x_3-x_1)^2(5x_3-2x_1) + 2x_1c_1 + c_2(6x_1x_2 - 4x_1^2) + c_3(2x_1x_2 - 2x_1^2)(6x_2-3x_1) + c_4(x_2-x_1)^2(20x_1x_2 - 8x_1^2) - 2x_1(d_0x_1 + d_1x_2 + d_2x_3) + 2x_1(x_3-x_2)(d_1 - d_2) = 0, \tag{4}$$

$$\partial^2 G / \partial x_1 \partial x_2 = RT/x_3 - \alpha_0 - 2\alpha_1(x_3-2x_1) + \alpha_2[4x_1(2x_3-x_1) - 3(x_3-x_1)^2] + \alpha_3(x_3-x_1)[6x_1(3x_3-x_1) - 4(x_3-x_1)^2] + \alpha_4(x_3-x_1)^2[8x_1(4x_3-x_1) - 5(x_3-x_1)^2] - b_0 + b_1(4x_2-2x_3) - b_2(3x_1^2 + 24x_2^2 + 20x_1x_2 - 6x_1 - 20x_2 + 3) - b_3[-4(x_3-x_2)(4x_2 - 5x_2^2 - 4x_1x_2) + (x_3-x_2)^2(4 - 10x_2 - 4x_1)] + b_4[(x_3-x_2)^2(8x_2 - 12x_2^2 - 8x_1x_2 + 5x_1^2 + 5 - 10x_1)] + c_0 + 2c_1(x_2-x_1) + c_2(3x_2^2 - 8x_1x_2 + 3x_1^2) + 2c_3(x_2-x_1)(2x_2^2 - 7x_1x_2 + 2x_1^2) + c_4(x_2-x_1)^2(5x_2^2 - 22x_1x_2 + 5x_1^2) + d_0[2x_1(x_3-x_2) - x_1^2] + d_1(2x_2x_3 - 2x_1x_2 - x_2^2) + d_2[x_3^2 - 2x_2x_3 - 2x_1(x_3-x_2)] = 0. \tag{5}$$

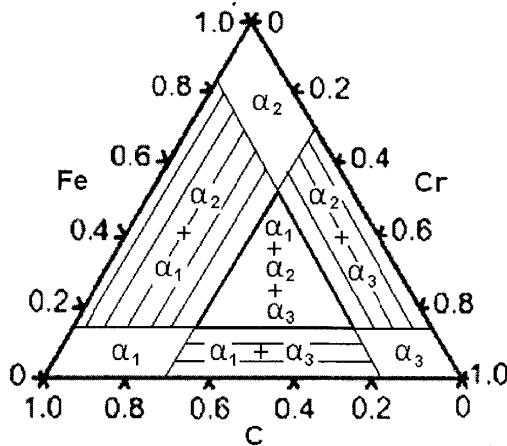
სამკომპონენტოანი არარეგულარული ხსნარების სამ ფაზად განშრეების პროცესების გამოსაკვლევად შეიქმნა სისტემები Fe-Cr-ის ფუძეზე, რომელიც ორფაზა განშრეების კლასიკური მაგალითია. ელემენტებს შორის ურთიერთქმედების პარამეტრების ( $\alpha_i, b_i, c_i, d_i$ ) რიცხვითი მნიშვნელობები აღებულ იქნა პროგრამა "Thermo-Calc"-ის ოპტიმიზირებული მონაცემთა ბაზებიდან [3]. შესაბამისად, მათი ჩასმით საანგარიშო მოდელში (3-5),

ვღებულობთ სამგანტოლებიან სისტემას სამუცნობიანი წევრებით - T,  $x_1, x_2$ , რაც მათი ამოხსნის საშუალებას იძლევა (მოდელში  $x_3$  არის დამოკიდებული ცვლადი და განისაზღვრება ტოლობით  $x_3 = 1 - x_1 - x_2$ ).

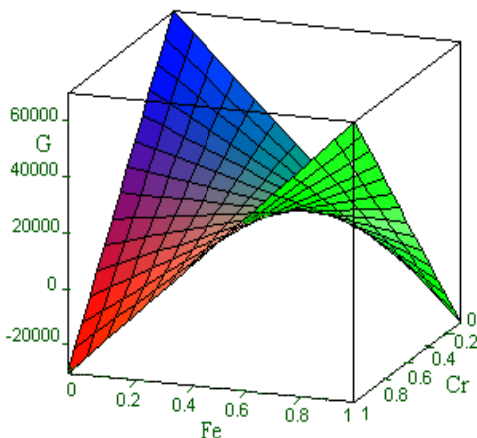
აღნიშნული მოდელით ჩატარებული გათვლებით მიღებულ იქნა დადებითი შედეგი Fe-Cr-C სისტემის არარეგულარული  $\alpha$  მყარი ხსნარისთვის (სივრცითკონტრირებული კუბური კრისტა-

ლური გისოსით). დადგინდა, რომ  $T = 342$  K კრიტიკულ ტემპერატურაზე გარკვეული სიჩქარით გადაცივებისას,  $\alpha$  ხსნარი მოლური შედგენილობით  $X_{Fe} = 0.72$ ,  $X_{Cr} = 0.25$ ,  $X_C = 0.03$ , გადადის არასტაბილურ მდგომარეობაში და კრიტიკულ ტემპერატურაზე ქვევით სამ ერთგვაროვან ფაზად განშრევდება:  $\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3$ .

პროცესის მეტი თვალსაჩინოებისათვის,  $T = 300$  K ტემპერატურაზე, სამ ფაზად განშრევებული Fe-Cr-C სისტემის არარეგულარული  $\alpha$  მყარი ხსნარისთვის აგებულია იზოთერმული ჭრილი (ნახ.1) და თავისუფალი ენერჯის კონცენტრაციაზე დამოკიდებულების სივრცითი დიაგრამა (ნახ.2), რომლებზეც ელემენტების კონცენტრაციები გადაზომილია მოლურ წილებში, ხოლო გიბსის თავისუფალი ენერჯია – ჯ/მოლ-ის ერთეულში.



ნახ. 1. Fe-Cr-C სისტემის სამ ფაზად განშრევებული არარეგულარული  $\alpha$  მყარი ხსნარის იზოთერმული ჭრილი  $T = 300$  K ტემპერატურაზე



ნახ. 2. სამ ფაზად განშრევებული არარეგულარული  $\alpha$  მყარი ხსნარის თავისუფალი ენერჯის კონცენტრაციაზე დამოკიდებულების სივრცითი დიაგრამა,  $T = 300$  K

UDC 620.22: 669.01

მიღებულ იზოთერმაზე (ნახ.1) წარმოდგენილია  $\alpha$  ხსნარის სამ ფაზად განშრევების თერმოდინამიკური წონასწორობა  $\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3$  (კონოლური სამკუთხედი), რომელიც თავის მხრივ მოიცავს ორფაზად განშრევების თერმოდინამიკურ წონასწორობებს:  $\alpha_1 + \alpha_2$ ;  $\alpha_2 + \alpha_3$ ;  $\alpha_1 + \alpha_3$  (კონოლებით შეერთებული უბნები).

Fe-Cr-C სისტემის სამ ფაზად განშრევებული არარეგულარული  $\alpha$  მყარი ხსნარისთვის გამოთვლილია შესაბამისი წონასწორული კონცენტრაციები მოლურ წილებში,  $T = 300$  K ტემპერატურაზე:

- 1)  $X_{Fe} = 0.14$ ,  $X_{Cr} = 0.29$ ,  $X_C = 0.57$ ; 2)  $X_{Fe} = 0.53$ ,  $X_{Cr} = 0.29$ ,  $X_C = 0.18$ ; 3)  $X_{Fe} = 0.14$ ,  $X_{Cr} = 0.68$ ,  $X_C = 0.18$

### 3. დასკვნა

ჩვენ მიერ შემუშავებული მოდელური მიდგომა საშუალებას იძლევა კვლევას დაექვემდებაროს არა ერთი კონკრეტული, არამედ გამოსაკვლევი სისტემების ფართო სპექტრი. სწორედ ამ კუთხით შეიძლება საანალიზოდ მთელი რიგი სამკომპონენტისანი შენადნობები, რომლებშიც განშრევების დადგენა ყველაზე უფრო მოსალოდნელი იყო Fe-Cr-ის ფუძეზე. კვლევის შედეგად დადგინდა, რომ Fe-Cr-C სისტემის არარეგულარული  $\alpha$  მყარი ხსნარი მოლური შედგენილობით  $X_{Fe} = 0.72$ ,  $X_{Cr} = 0.25$ ,  $X_C = 0.03$  გარკვეულ სიჩქარეზე გადაცივებისას,  $342$  K ტემპერატურის ქვევით სამ ერთგვაროვან ფაზად განშრევდება, რომლებიც ერთმანეთთან თერმოდინამიკურ წონასწორობაშია. კვლევის აღნიშნული მეთოდიკა ექსპერიმენტატორს უადვილებს პრაქტიკულად დააფიქსიროს განშრევების პროცესის დაწყება საანგარიშო მოდელით გამოთვლილ ნიშნულთან.

### ლიტერატურა

1. Harald P.C. Schaftenaar. Theory and Examples of Spinodal Decomposition in a Variety of Materials. Utrecht University, Padualaan 8, 3584 CH Utrecht, Netherlands, 2008.
2. გ. გორდუზიანი. ლითონურ მრავალკომპონენტის სისტემებში თერმოდინამიკური და ფაზური წონასწორობის გამოკვლევა და ხსნარების განშრევების პროცესების პროგნოზირება. ავტორეფერატი ტ.მ.კ. ხარისხის მოსაპოვებლად. თბილისი, 2005.
3. B. Sundman. Thermo-Calc Software, SSOL, TCA, PKP Databases, Royal Institute of Technology, Div of Computational Thermodynamics, Dept of Materials Science and Engineering, Stockholm, Sweden, 2002.

---

## THERMODYNAMIC MODELING OF SEPARATION INTO THREE PHASES OF IRREGULAR SOLID SOLUTION OF FE-CR-C SYSTEM

G. Gordeziani <sup>1</sup>, G. Jandieri <sup>2</sup>, R. Zekalashvili <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of metallurgy, materials science and metal-working, Georgian Technical University, 77, Kostava str, Tbilisi, 0175, Georgia

<sup>2</sup>LEPL Ferdinand Tavadze Institute of Metallurgy and Materials Science, A15, Al. Kazbegi av, 0160, Tbilisi, Georgia

**Resume:** Thermodynamic model of analysis of the critical point is elaborated for the study of the separation with the three minimum of irregular ternary solutions. Using this model the researches are carried out on alloys based on Fe-Cr. The temperature-concentration condition was determined for the separation into three homogeneous phases of irregular  $\alpha$ -solid solution of Fe-Cr-C system. The equilibrium concentrations were calculated and corresponding diagrams were constructed for phases.

**Key words:** Thermodynamic modeling; spinodal decomposition; Gibbs potential; phase exfoliation; miscibility gaps; critical point; interaction parameters.

---

УДК 620.22: 669.01

## ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАССЛОЕНИЯ НА ТРИ ФАЗЫ НЕРЕГУЛЯРНОГО ТВЁРДОГО РАСТВОРА СИСТЕМЫ FE-CR-C

Гордезиани <sup>1</sup> Г.А., Джандиери <sup>2</sup> Г.В., Зекалшвили <sup>2</sup> Р.К.

<sup>1</sup>Департамент металлургии, материаловедения и обработки металлов, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. Костава, 77

<sup>2</sup> ЮЛПП Ф.Тавадзе Институт металлургии и материаловедения, пр. Ал. Казбеги, №15, 0160, Тбилиси, Грузия

**Резюме:** Разработана термодинамическая модель анализа критической точки для исследования расслоения с тремя минимумами нерегулярных трехкомпонентных растворов. Проведено исследование сплавов на основе Fe-Cr с использованием указанной модели. В результате установлено температурно-концентрационное условие расслоения на три однородные фазы нерегулярного  $\alpha$ -твёрдого раствора системы Fe-Cr-C. Для расслоенных фаз рассчитаны равновесные концентрации и построены соответствующие диаграммы.

**Ключевые слова:** термодинамическое моделирование; спинодальный распад; потенциал Гиббса; фазовое расслоение; области несмешиваемости; критическая точка; параметры взаимодействия.

---

*მიღებულია დასაბუჯდად 01.03.2013*

**შპს 620.22: 669.01****ცხლად აწვითქმობით ნანოსტრუქტურული ვოლფრამ-პერცხლის კომპოზიციური ნამზადების დაწესა და მათი სტრუქტურის კვლევა**ა. დგებუაძე<sup>1</sup>, ბ. გოდებაძე<sup>1</sup>, ა. ფეიქრიშვილი<sup>1</sup>, ა. გორდეზიანი<sup>2</sup>, მ. ოქროსაშვილი<sup>2</sup><sup>1</sup>წულუკიძის სამთო ინსტიტუტი, საქართველო, თბილისი 0186, ემინდელის ქ. 7.<sup>2</sup>მეტალურგიის მასალათმცოდნეობის და ლითონების დამუშავების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, კოსტავას 77

E-mail: avtandildgebuadze@yahoo.com, bgodibadze@yahoo.com, apeikrishvili@yahoo.com, a.gordeziani@yahoo.com, mokrosashvili@yahoo.com

**რეზიუმე:** მოცემული ნაშრომის მთავარი მიზანი იყო შეგვესწავლა ნანოსტრუქტურული ვოლფრამ-პერცხლის დაწესის შესაღებლობა თეორიული სიმკვრივის მახლობლობაში ცხლად აწვითქმობით დაწესის ტექნოლოგიით.

იმისათვის, რომ მიგველო მაღალი სიმკვრივის ცილინდრული ნიმუშები და შეგვესწავლა ვერცხლის რაოდენობის გავლენა წნეხის პროცესზე ექსპერიმენტებში შერჩეული იყო ორი შემადგენლობის კომპოზიცია: W-10%Ag და W-50%Ag. დაწესა განხორციელებული იყო 950 °C ტემპურატურაზე, ხოლო დაწესის ინტენსივობა ცილინდრული კონტეინერის კედელზე არ აღემატებოდა 10გპა წნევას. როგორც პირველადმა გამოკვლევებმა აჩვენა მაღალი ტემპურატურისა და აწვითქმობის ენერჯის გამოყენებით შესაძლებელია დაიწესოს ნანოსტრუქტურული W-Ag ნამზადები თეორიული სიმკვრივის მახლობლობაში. ამასთან, ვერცხლის რაოდენობა მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს მიღებული კომპოზიციების ხარისხზე და მნიშვნელოვნად განაპირობებს მიღებული საბოლოო ნიმუშების ჰომოგენურობას. კერძოდ, 50% ვერცხლის შემცველობისას ცილინდრული ნამზადის ცენტრალურ ნაწილში ნიმუშის მთელ სიგრძეზე ადგილი აქვს ვერცხლის ფაზის კონცენტრაციის გაზრდას, რაც ალბათ მისი დაბალი სიმკვრივით არის გამოწვეული.

მთლიანობაში, როგორც სტრუქტურებიდან ჩანს დაწესილი ნიმუშები გამოირჩევა მაღალი სიმკვრივითა და მარცვლებს შორის ძლიერი შეჭიდულობით. ზოგიერთ ნიმუშებში რადიალური ბზარების არსებობა განპირობებული უნდა იყოს დაწესის მაღალი ტემპურატურითა და როგორც შედეგი თერმული ძაბვებით.

**საკვანძო სიტყვები:** აწვითქმობა; ცხლად აწვითქმობით; ნანოსტრუქტურული; კომპოზიციური მასალები; ნამზადები; დაწესა.

**1. შესავალი**

უკანასკნელ წლებში დიდი მოთხოვნით სარგებლობს მძიმე შენადნობები ვოლფრამის ბაზაზე. მათი უმრავლესობა შედგება ვოლფრამის ნაწილაკებისაგან, რომლებიც ერთმანეთთან შეკავშირებულია სხვადასხვა ლითონით. W-Ag კომპოზიციები შესაძლებელია ფართოდ გამოყენებულ იქნეს როგორც სითბოს გამბნევი მასალები მიკროელექტრონიკაში, ელექტროოპტიკურ ხელსაწყოებში, ამრეკლ ფირფიტებად თბურ რეაქტორებში, საპერო და კოსმოსურ ტექნოლოგიებში. ამასთან, გასათვალისწინებელია ის ფაქტიც, რომ საერთაშორისო ბაზარზე ვერცხლის ფაზის თითქმის 3-ჯერ უფრო ნაკლებია ნანოკრისტალური ვოლფრამის ფასთან შედარებით, რაც მნიშვნელოვნად ამცირებს მიღებული ნამზადების ღირებულებას W-Ag კომპოზიციების შემთხვევაში [1,2,3].

ყველა არსებულ ტექნოლოგიებს დადებით თვისებებთან ერთად უარყოფითი მხარეებიც გააჩნიათ. ნანოზომის ფხვნილები მეტად მგრძობიარეა ტემპურატურის მიმართ და ეს ხასიათი იზრდება ტემპურატურის მატებასთან ერთად. მარცვლის ზრდა კი გამოიწვევს ნანოსტრუქტურის სრულყოფილების დარღვევას და, როგორც შედეგი, მიღებული მონოლითური მასალა მოკლებული აღმოჩნდება იმ უნიკალური ფიზიკურ-მექანიკური თვისებებისაგან, რითაც გამოირჩევა ნანოსტრუქტურული აღნაგობის მასალები.

ნაკეთობაში ნანოკრისტალური აგებულების და, აქედან გამომდინარე, შესაბამისი სპეციფიკური თვისებების შენარჩუნების მიზნით ჩატარებულმა კვლევებმა გარკვეული შედეგი უკვე გამოიღო. პრობლემის გადაჭრა და ნანოსტრუქტურული მაღალი სიმკვრივის მასალის მიღება შესაძლებელი გახდა კომპოზიციაში ძნელდნობადი ლითონების გამოყენებით და ამ ნანოკრისტალური ძნელდნობადი ლითონის დაწესით მისი რეკრისტალიზაციის ტემპურატურის ქვემოთ. ასეთი მიდგომა განაპირობებს ძირითადი ფაზის

ნანოზომის შენარჩუნებას და მეორე შედარებით ადვილდნობად შემაკავშირებელი ფაზის მეშვეობით ნანოსტრუქტურული ორფაზიანი კომპოზიციის დაწნეხას.

ჩვენ მიერ შემოთავაზებული სიახლის არატრადიციული მიდგომა იმაში მდგომარეობს, რომ ცილინდრული გეომეტრიის ფორმის ნანოსტრუქტურული W-Ag ნამზადების დაწნეხა ნანოზომის ფხვნილებისაგან შემოთავაზებულია ორ საფეხურად:

ა) პირველ საფეხურზე ხორციელდება საწყისი ფხვნილების ნარევის აფეთქებით მოწნეხა ოთახის ტემპერატურაზე დატვირთვის ინტენსივობით 5-10 გპა. მისი მიზანია ნამზადის წინასწარი სიმკვრივის გაზრდა და ნარევი ნაწილაკების ზედაპირების გაააქტიურება;

ბ) მეორე საფეხურზე, იგივე წინასწარ დაწნეხილი ცილინდრული ნიმუში განმეორებით განიცდის აფეთქებით მოწნეხას ცხელ მდგომარეობაში 800-1100°C ტემპერატურაზე, ძნელდნობადი ნანოგანზომილებების ფაზის რეკრისტალიზაციის ტემპერატურის ქვემოთ, დატვირთვის ინტენსივობით 10 გპა.

აფეთქებით (დარტყმითი ტალღებით) W-Ag ფხვნილების დაწნეხა-კომპაქტირება განხორციელებულია ღერძულ-სიმეტრიული დატვირთვის სქემით. დარტყმითი ტალღები ინიცირებული იყო საწარმოო ფეთქებადი მასალებით და მათი ნარევებით სხვადასხვა პასიურ დანამატებთან, როგორცაა, მაგალითად, სელიტრა-ამონიუმის გვარჯილა  $NH_4NO_3$ .

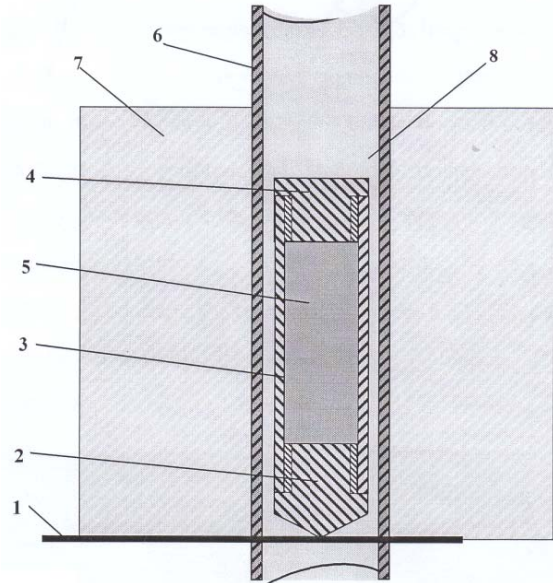
**2. ძირითადი ნაწილი**

ექსპერიმენტები ნანოსტრუქტურული W-10%Ag კომპოზიციების ცხლად აფეთქებით შესრულებულ იქნა გ. წულუკიძის სამთო ინსტიტუტის მიწისქვეშა ექსპერიმენტულ ამფეთქ კამერაში. ლითონების ცხლად აფეთქების დანადგარი იმართება სამართავი პულტით ექსპერიმენტული პავილიონიდან. ავტომატური ექსპერიმენტული დანადგარი საშუალებას გვაძლევს გავახსოროთ ნიმუში ჩვენთვის სასურველ ტემპერატურამდე 20±1200°C -ის ფარგლებში.

ფხვნილოვანი მასალების დაწნეხისათვის ჩვენ გამოვიყენეთ ცილინდრული დატვირთვის სქემა, რომელიც წარმოდგენილია 1-ელ ნახ-ზე.

როგორც წინასწარმა საცდელმა ექსპერიმენტებმა გვიჩვენა გარდა დატვირთვის ინტენსივობისა და დაწნეხის ტემპერატურისა, მნიშვნელოვანი პარამეტრი არის დასაწნეხი ფხვნილის წინასწარი სიმკვრივე. იმისდა მიხედვით, თუ რა სიმკვრივისაა დასაწნეხი ფხვნილი ცილინდრულ

კონტეინერში, მნიშვნელოვანადაა დამოკიდებული არა მარტო მიღებული ნაწნეხის მიკროსტრუქტურასა და ფაზურ შედგენილობაზე, არამედ გეომეტრიასა და საბოლოო სიმკვრივეზეც კი.



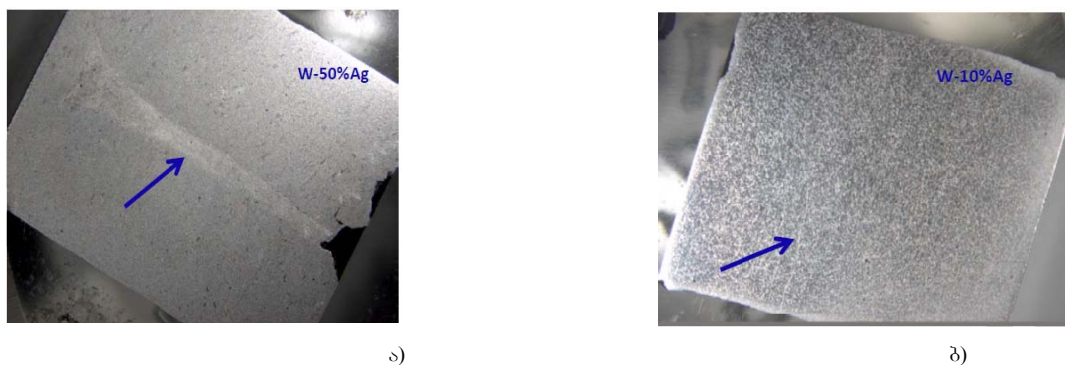
ცხლად დაწნეხის ექსპერიმენტის სქემა:

- 1-ამპულის ჩაშვების ლითონის ხისტი ზღუდარი; 2 და 4-ლითონის კონტეინერის (ამპულის) საცობები; 3-ლითონის კონტეინერის კედელი; 5- დასაწნეხი ფხვნილი;
- 6 - სატყორცნი მილი (თერმოიზოლატორი); 7 - ფეთქებადი ნივთიერების მუხტი; 8- სატყორცნი მანძილი

კვლევებმა გვიჩვენა, რომ აფეთქებით W-Ag ნანოსტრუქტურული ფხვნილების დაწნეხის დროს მნიშვნელოვანი ფაქტორია კომპოზიციაში ვერცხლის რაოდენობის რეგულირება და დაწნეხის ტემპერატურა. ჩატარებული კვლევების შედეგად შერჩეულ იქნა ასევე ოპტიმალური დაწნეხის ინტენსივობა და იგი განისაზღვრა ფხვნილოვანი მასალის წინასწარი დაწნეხით ოთახის ტემპერატურაზე 10გპა-თი, ხოლო განმეორებით ცხელ მდგომარეობაში 5გპა სიდიდით.

როგორც დაწნეხილი W-Ag ნიმუშების კვლევის მაკროსტრუქტურის შესწავლა გვიჩვენებს ვერცხლის რაოდენობის მომატება კომპოზიციაში, ერთნაირ პირობებში დაწნეხისას, განაპირობებს ცილინდრული ნიმუშის მთელ სიგრძეზე, ცენტრალურ ნაწილში მისი კონცენტრაციის მატებას და პრაქტიკულად ორზონიანი მაკროსტრუქტურის ფორმირებას.

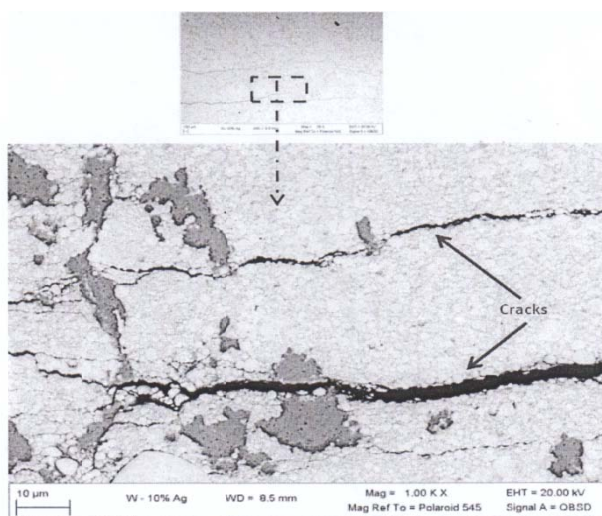
აფეთქებით 950°C ტემპერატურაზე ორსაფეხურად 5 გპა წნევით დაწნეხილი W-10%Ag და W-50%Ag კომპოზიციების გრძივი კვეთების მაკროსტრუქტურები წარმოდგენილია 1-ელ სურ-ზე.



სურ. 1. აფეთქებით ცხლად 950°C ტემპერატურაზე ორ საფეხურად დაწნეხილი ცილინდრული W-Ag კომპოზიციების გრძივი კვეთები: ა) W-10%Ag; ბ) W-50%Ag. წნევა ცხლად დაწნეხის პროცესში ფოლადის კონტეინერის კედელზე აღწევს 5გპა-ს. ისრებით ნაჩვენებია რადიალური ბზარების არსებობა (ა) და ცენტრალურ ზონაში ვერცხლის კონცენტრაციის მატება და სტრუქტურის პომოგენურობის დარღვევა

როგორც ზედაპირებზე დაკვირვება გვიჩვენებს დაწნეხის შემდგომ W-10%Ag კომპოზიციაში შეიმჩნევა რადიალური ბზარების არსებობა (ისარი სურათი 2), რაც დაწნეხის პროცესში მაღალი წნევისა (დატვირთვის ინტენსიურობის) ან მაღალი ტემპერატურის შედეგი უნდა იყოს. მაღალ ტემპერატურაზე დაწნეხა და შემდგომ ჰაერზე

გაცივება შემადგენელი W და Ag ფაზების სხვადასხვა ხაზოვანი გაფართოების კოეფიციენტების გამო გაცივების პროცესში იწვევს ბზარების ფორმირებას და პრაქტიკულად ნიმუშის მთლიანობის დარღვევას. W-10%Ag კომპოზიციის მაკროსტრუქტურა მასში წარმოქმნილი ბზარებთან ერთად წარმოდგენილია მე-2 სურათზე.

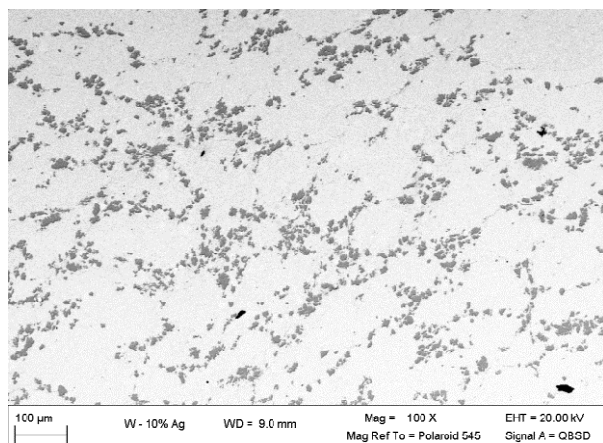


სურ. 2. აფეთქებით ცხლად 950 ჩ ტემპერატურაზე დაწნეხილი W-10%Ag მაკრო და მიკროსტრუქტურა სხაფასხვა გადიდების შემთხვევაში

როგორც ანალიზი აჩვენებს ბზარების წარმოქმნა უნდა იყოს შედეგი ძალზე მაღალი დაწნეხის ტემპერატურისა, რომელიც დატვირთვის პროცესში დარტყმითი ტალღის ფრონტზე წარმოქმნილი ტემპერატურის დანამატის გათვალისწინებით მნიშვნელოვნად ჭარბობს ვერცხლის დნობის ტემპერატურას (960°C). პრაქტიკულად დაწნეხილი ნამზადის გაცივება ხდება ვერცხლის დნობის ტემპერატურაზე გაცივებით უფრო მაღალი ტემპერატურებიდან შემდგომი კრისტალიზაციით. ვინაიდან გაცივება ხდება რადიალური მიმართუ-

ლებით ცენტრიდან ფოლადის კონტეინერის ნაპირისაკენ ამიტომ ბზარებს აქვთ რადიალური ფორმა. იმისათვის, რომ თავიდან აცილებული იყოს ბზარების ფორმირება აუცილებელია შემცირდეს დაწნეხის ტემპერატურა და როგორც შედეგი თავიდან აცილებული იყოს კრისტალიზაციის პროცესი. აღნიშნულის გათვალისწინებით შემდგომი ექსპერიმენტები ჩატარებულ იქნა შედარებით უფრო დაბალ ტემპერატურებზე, რამაც საშუალება მოგვცა თავიდან აგვეცილებინა ბზარების ფორმირება დაწნეხილ ნიმუშებში.

W-10%Ag კომპოზიციის ნიმუში დაწნეხილი 700°C ტემპერატურაზე წარმოდგენილია მე-3 სურათზე. როგორც მიკროსტრუქტურიდან ჩანს მიღებულ ნამზადში არ შეინიშნება რადიალური ბზარების კვალი და იგი გამოირჩევა მაღალი სიმკვრივით. ასევე მიკროსტრუქტურიდან ჩანს რომ სტრუქტურა ჰომოგენურია და ხასიათდება ფაზების ერთგვაროვანი განაწილებით.



სურ. 3. ცხლად, 700°C ტემპერატურაზე დაწნეხილი W-10%Ag კომპოზიციის ნიმუშის მიკროსტრუქტურა

როგორც დაბალ ტემპერატურაზე დაწნეხილი ნიმუშების მაკრო და მიკროსტრუქტურის შესწავლა გვიჩვენებს, კრისტალიზაციის პროცესის თავიდან აცილება განაპირობებს მაღალი სიმკვრივის ნამზადების მიღებას რადიალური ბზარების გარეშე, სრულყოფილი სტრუქტურითა და ფაზების თანაბარი განაწილებით. დაწნეხილი W-10%Ag ნიმუშების შესწავლა გვიჩვენებს, რომ აღნიშნული მასალები გამოირჩევა მარცვალთშორისი მტკიცე კავშირებით რაც საკმაოდ მნიშვნელოვანი ფაქტორია იმ ფაქტის გათვალისწინებით, რომ W-Ag კომპოზიცია წარმოადგენს აბსოლუტურად შეუთავსებელ წყვილს როგორც მყარ, ასევე თხევად

მდგომარეობაში არავითარ მყარ ხსნარს და ქიმიურ ნაერთებს არ წარმოქმნის.

რაც შეეხება წარმოდგენილი მასალების ფიზიკურ-მექანიკურ თვისებებს და ელექტრონულ მახასიათებლებს ისინი იცვლება კომპოზიციაში შემადგენელი ფაზების კონცენტრაციისა და დაწნეხის პარამეტრების მიხედვით.

### 3. დასკვნა

1. ცხლად აფეთქების ტექნოლოგიის გამოყენებით შესაძლებელია დაიწნეს ცილინდრული ფორმის ნანოსტრუქტურული W-Ag კომპოზიციები თეორიული სიმკვრივის მახლობლობაში ბზარებისა და დეფექტების გარეშე, სრულყოფილი სტრუქტურითა და შემადგენელი ფაზების ჰომოგენური განაწილებით.

2. მიღებული ნამზადის ხარისხი და თვისებები მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული დაწნეხის პარამეტრებზე (ტემპერატურა, წინასწარი სიმკვრივე, წნევა) და მათი ოპტიმალურად შერჩევის შემთხვევაში შესაძლებელია მიღებულ იქნეს სრულყოფილი სტრუქტურის მქონე უდაფექტო ნამზადები სასურველი ფიზიკურ-მექანიკური თვისებებით.

### ლიტერატურა

1. Euro PM 2007: International Powder Metallurgy Congress & Exhibition: 15-17 October 2007; Toulouse; France; Proceeding. Vol 2. Pg. 290.
2. Физическое металловедение / Под редакцией Р. Кана. Вып. II. Фазовая металлография. М.: Мир, 1986, с. 132-152.
3. მ.ოქროსაშვილი. ორთქლის მდგომარეობიდან ფორმირებული კონდენსატების სტრუქტურისა და ფაზური შედგენილობის კვლევა და ახალი ორთქლფაზური ტექნოლოგიების დამუშავება. დისერტაცია ტექნიკურ მეცნიერებათა დოქტორის სამეცნიერო ხარისხის მოსაპოვებლად. თბილისი, 1999. გვ. 263.

UDC 620.22: 669.01

## HOT EXPLOSIVE PRESSING OF NANOSTRUCTURAL TUNGSTEN-SILVER COMPOSITE BILLETS AND INVESTIGATION THEIR STRUCTURE

A. Dgebuadze<sup>1</sup>, B. Godibadze<sup>1</sup>, A. Peikrshvili<sup>1</sup>, A. Gordeziani<sup>2</sup>, M. Okrosashvili<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>Tsulukidze mining Institute. 7 E. Mindeli Str., 0186 Tbilisi, Georgia

<sup>2</sup> Department of metallurgy, science of materials and metal-working, Georgian Technical University, 77, Kostava str, Tbilisi, 0175, Georgia

**Resume:** The main purpose of submitted paper is to investigate possibility of pressing of nanostructural W-Ag near theoretical density by hot explosive pressing technology.

In order to fabricate high-dense cylindrical billets and to investigate influence of phase contents onto the pressing process there were selected two compositions: W-10%Ag and W-50%Ag. The pressing processes were performed in two stages: first at room temperature and second, same billets were reloaded at 950°C with intensity of loading on the steel container's wall up to 10GPa.

As preliminary investigations showed application of high temperatures and energy of explosion it's possible to press nanostructural W-Ag billets near the theoretical density. By this the contents of silver in composition has significant influence on the quality of fabricated samples and provides homogeneity of final product. For example 50% of silver contents in W-Ag compositions results in increasing of Ag concentration in central part of cylindrical billets along the whole length of samples. The mentioned may be result of low density of silver in contrast to tungsten during the propagation of shock wave front towards of center.

As a whole as it's seen from structures the pressed billets are characterized with high density and strong bonding between the pressed grains. The existence of radial cracks in pressed billets could be result of high pressure and temperature during the fabrication process and as a result of thermal stresses.

**Key words:** explosion; hot explosive; nanostructural; composite materials billets; pressing.

УДК 620.22: 669.01

## ГОРЯЧЕЕ ВЗРЫВНОЕ ПРЕССОВАНИЕ НАНОСТРУКТУРНОЙ КОМПОЗИЦИИ ВОЛЬФРАМ-СЕРЕБРО И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ СТРУКТУРЫ

Дгебуадзе А.А.<sup>1</sup>, Годибадзе Б.А.<sup>1</sup>, Пеикришвили А.В.<sup>1</sup>, Гордезиани А.Г.<sup>2</sup>, Окросашвили М.Н.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Горный институт им. Цулукидзе

<sup>2</sup>Департамент материаловедения металлургии и разработки металлов, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. Костава, 77

**Резюме:** Главная цель представленной работы - изучить возможность прессования наноструктурной композиции вольфрам-серебро вблизи теоретической плотности технологией горячей взрывной компактировки.

С целью получения высокоплотных цилиндрических образцов и изучения влияния содержания фазовых составляющих на процесс прессования были выбраны два состава композиции вольфрам-серебро: W-10%Ag и W-50%Ag. Прессование проводилось в горячем состоянии при температуре 950°C. Интенсивность нагрузки на стенке контейнера не превышала давление 10 ГПа.

Как показали предварительные исследования, применение предварительной высокой температуры и высокого давления позволяет прессовать наноструктурные W-Ag композиции вблизи теоретической плотности. К тому же содержание серебра в композиции имеет существенное влияние на качество полученной заготовки и обуславливает гомогенность структуры прессованных образцов. Например, 50% содержания серебра в композиции приводит к формированию богатой серебром зоны по всей длине в центре заготовки, что, по – видимому, является результатом смещения серебра к центру на фронте ударной волны из-за его низкой плотности по сравнению с вольфрамом.

В целом, как видно из структур, прессованные образцы отличаются высокой плотностью и прочными связями между зёрнами. Существование радиальных трещин в некоторых образцах является результатом термических напряжений, образовавшихся в образцах в результате высоких давлений и температур.

**Ключевые слова:** взрыв; горячее взрывание; наноструктурные; композиционные материалы; заготовка; напрессовка.

*მიღებულია დასაბუჯდად 11.02.2013*



УДК 661.728

**ЦЕЛЛОБИОЗА – РЕГУЛЯТОР АКТИВНОСТИ ЭНДОГЛЮКАНАЗ ЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ КОМПЛЕКСОВ МЕХАНИЗМА РЕГУЛЯЦИИ**

**М. Л. Дзеконская, С. Г. Копалеишвили\*, Т. Ш. Буачидзе**

Департамент химической и биологической технологий, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. Костава 77

E-mail: sofo-s@yahoo.com

**Резюме:** Показано, что целлобиоза в отличие от глюкозы является регулятором активности эндоглюканаз целлюлозных комплексов, полученных из различных источников. Целлобиоза – активатор низкомолекулярной эндоглюканазы, полученный из *T. Roningii*, и ингибитора высокомолекулярных эндоглюканаз, полученных из нового источника. Кинетический анализ реакции показал, что связывание целлобиозы или метилцеллобиозида с низкомолекулярной эндоглюканазой приводит к увеличению скорости деградации карбоксиметилцеллюлозы в шесть раз. Активирующее действие целлобиозы обусловлено её способностью выступать в роли дополнительного нуклеофильного агента в реакции транс-гликозилирования промежуточных олигосахаридов при ферментативном гидролизе целлюлозы.

**Ключевые слова:** целлобиоза; ферментная кинетика; ферментная активность; активатор.

**1. ВВЕДЕНИЕ**

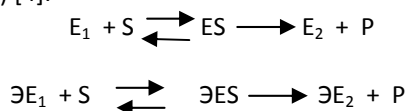
Целлобиоза влияет на скорость ферментативного гидролиза целлюлозы, причём она может быть ингибитором или активатором целлюлозного комплекса ферментов [1-3]. Поскольку целлобиоза представляет собой основной промежуточный продукт ферментативной деградации целлюлозы, характер её действия на ферменты целлюлозного комплекса может играть важную роль в эффективности ферментативного процесса. В первую очередь это относится к влиянию целлобиозы на эндоглюканазу целлюлозного комплекса, которая первой атакует нерастворимый субстрат [3]. Тем не менее, какие - либо определённые закономерности в действии целлобиозы как эффектора не обнаружены.

**2. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ**

Мы показали, что целлобиоза достаточно эффективный активатор очищенной низкомолекулярной эндоглюканазы ( $M_r = 13\ 000$ ), полученный из *Trichoderma Ronongii* (рис. 1). В то же время

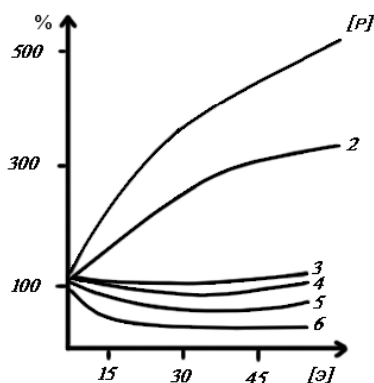
целлобиоза заметно ингибирует действие высокомолекулярных эндоглюканаз ( $M_1$  от 40 000 до 80 000), полученных из того же источника.

Формально - кинетический анализ наблюдаемых зависимостей протекает по следующей схеме (схема 1) [4]:



Здесь  $\Xi$  – добавленный эффектор - позволил показать, что целлобиозы, связываясь с фермент-субстратным комплексом, приводит к увеличению его реакционной способности в шесть раз или полностью ингибирует ферментативную активность по неконкурентному типу.

На рис. 1 также показано, что активирующее действие целлобиозы и метилцеллобиозы практически одинаково и превышает активацию *p* – нитрофенилглюкозидом. Метилглюкозид и глюкоза практически не влияют на эндоглюканазную активность в диапазоне концентрации до  $3 \times 10^{-2}$  М.



**Рис. 1.** Зависимость активности низкомолекулярной (1-4) и высокомолекулярной (5,6) эндоглюканазы из *T. Roningii* от концентрации добавленных эффекторов: а - целлобиоза, б – метилцеллобиозид, в - *p*-нитрофенилглюкозид, г – метилглюкозид, д – глюкоза. Концентрация субстрата 3 г/л, рН 4.5, 40 ° С. Активность ферментов определяли вискозиметрическим методом [5]. Кривые 1,2,5,6 построены теоретически [4] на основании схемы (1) для следующих значений констант: кривая 1  $\beta=6$ ,  $K_s = 15$  мМ; кривая 2  $\beta=2.7$ ,  $K_s = 5.7$  мМ; кривая 5  $\beta=0.78$ ,  $K_s = 6$  мМ; кривая 6  $\beta=0$ ,  $K_s = 5$  мМ

Следует отметить, что ингибирующее действие целлобиозы на суммарный целлюлозный комплекс зависит от источника ферментного препарата и коэффициента  $\beta$ , характеризующих степень сохранения активности в тройном комплексе фермент – субстрат – эффектор [4]. Он равен 0.78 для комплекса из T. Roningii рис. 1., 0.13 для целлюлозного препарата «Рапидаза» (Франция) и нулю для целлюлозного комплекса, полученного из T. Roningii.

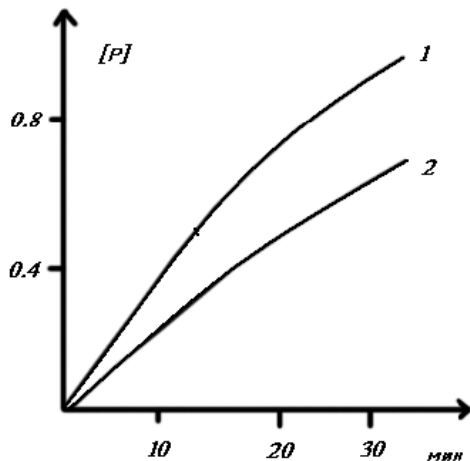


Рис. 2. Кинетические кривые образования восстанавливающих сахаров в ходе гидролиза растворимой карбоксиметилцеллюлозы под действием низкомолекулярной эндоглюканазы, полученных из T. Roningii в отсутствие эффекторов (1) и в присутствии 15 мМ метилцеллобиозида (2)

Нами было показано, что при использовании последнего метода активирующее влияние метилцеллобиозида на низкомолекулярную эндоглюканазу не проявляется. Напротив, наблюдается некоторое уменьшение скорости реакции (рис. 2), хотя при использовании той же концентрации метилцеллобиозида (15 мМ) активность фермента возросла до 360 % (рис. 1).

### 3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные нами данные указывают, что активация эндоглюканазы целлобиозой происходит по механизму транс-гликозилирования, где эффекторы выступают в роли дополнительных нуклеофильных агентов. В этом случае целлобиоза, конкурируя с водой, атакует фермент – субстратный комплекс, ускоряя его превращение в продукты реакции.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Березин И.В., Клёсов А.А. Практический курс химической и ферментативной кинетики. Москва: МГУ, 1976 г., стр. 79 – 109.
2. Рабинович М.Л., Клёсов А.А., Березин И.В. Биоорганическая химия. Т.3., Москва: МГУ, 1986 г., стр. 405 – 414.
3. Клёсов А.А., Рабинович М.Л. Инженерная энзимология и биоорганический катализ. - Сб. трудов, Москва: МГУ, 1990 г, стр. 20-23.
4. T.M. Wood, S. I. Mc Crae "Biochemistry" Journal № 7, New York, 1990 y. pg. 171, pg. 61-72.

### შპს 661.728

### ცელობიოზა, როგორც ცელულაზური კომპლექსების ენდოგლუკანაზების მარეგულირებელი რეაქციის აქტივატორი

მ. ძეკონსკაია, ს. კობალეიშვილი, ტ. ბუაჩიძე

ქიმიური და ბიოლოგიური ტექნოლოგიების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, კოსტავას 77

**რეზიუმე:** ნაჩვენებია რომ ცელობიოზა, მიღებული სხვადასხვა ნედლეულიდან, გლუკოზისაგან განსხვავებით წარმოადგენს ცელულაზური კომპლექსების ენდოგლუკანაზების აქტივობის მარეგულირებელ ფაქტორს. ცელობიოზა – აქტივატორია T. Roningii – ისგან გამოყოფილი დაბალმოლეკულური ენდოგლუკანაზისათვის და ინჰიბიტორია იგივე ნედლეულიდან მიღებული მაღალმოლეკულური ენდოგლუკანაზისათვის. კინეტიკურმა ანალიზმა აჩვენა, რომ ცელობიოზის ან მეტი-ცელობიოზის დაკავშირება დაბალმოლეკულურ ენდოგლუკანაზსთან იწვევს კარბოქსიმეთილცელულოზის ფერმენტული რეაქციის სიჩქარის ექვსჯერ გაზრდას. ცელობიოზის აქტივატორული ქმედება

აიხსნება მისი უნარით წარმოდგენილ იქნეს, როგორც დამატებითი ნუკლეოფილური აგენტი ცელულოზის ფერმენტული ჰიდროლიზისას განხორციელებული ოლიგოსაქარიდების ტრანსგლიკოზირების პროცესში.

**საკვანძო სიტყვები:** ცელობიოზა; ფერმენტის აქტივობა; ფერმენტული კინეტიკა; აქტივატორი.

UDC 661.728

## CELLOBIOSE, AS A REGULATOR OF ENDOGLUCANASE ACTIVITY OF CELLULOSE COMPLEXES MECHANISM OF THE REGULATION

**M. Dzekonskaia, S. Kopaleishvili, T. Buachidze**

Department of chemical and biological technologies, Georgian Technical University, 77, Kostava str, Tbilisi, 0175, Georgia

**Resume:** Cellobiose may have different effects on the activities of various endoglucanases. The endoglucanases of T. Roningii and Rapidase are noticeably suppressed by cellobiose at concentration above 3 mM. On the other hand, a low molecular weight endoglucanase from T. Roningii activated by cellobiose, whereas high molecular weight endoglucanases from the same source are inhibited by cellobiose. Detailed kinetic analysis of the effects showed, that the low molecular weight endoglucanase is activated by a trans glycosylation mechanism, in which cellobiose acts as an additional nucleophile. At the saturating concentrations of cellobiose ( $K_e = 15$  mM) the enzyme activity is increased six – fold.

**Key words:** cellobiose; ferment kinetic; ferment activity; activator.

*მიღებულია დასაბუჯდად 10.02.2013*

УДК 661.728

## К ВОПРОСУ О ФЕРМЕНТАТИВНОМ ГИДРОЛИЗЕ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

**М. Л. Дзеконская, С. Г. Копалеишвили\*, Т. Ш. Буачидзе**

Департамент химической и биологической технологии, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. Костава 77

E-mail: sofo\_s@yahoo.com

**Резюме:** Сравнительное изучение ферментативного и кислотного гидролиза целлюлозы с различной надмолекулярной структурой, скорость этих процессов охарактеризованы с помощью констант, рассчитанных по уравнению реакции первого порядка. Константы скорости ферментативного гидролиза цел-

люлозы, так же как и кислотного, уменьшаются во времени до постоянного значения, которое различно для исследованных образцов.

**Ключевые слова:** сульфитная и молотая целлюлоза; ферментный гидролиз; ферментная активность; субстрат.

## 1. ВВЕДЕНИЕ

В предыдущей работе [1], посвященной сравнительному изучению ферментативного и кислотного гидролиза целлюлозы с различной надмолекулярной структурой, мы предприняли попытку охарактеризовать скорость этих процессов с помощью констант, рассчитанных по уравнению реакции первого порядка. При этом в значение константы скорости ферментативного гидролиза вносили поправку на уменьшение активности фермента вследствие его инактивации во времени. На основании полученных данных был сделан вывод, что константы скорости ферментативного гидролиза целлюлозы, так же как и кислотного, уменьшаются во времени до постоянного значения, которое различно для исследованных образцов.

## 2. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Безусловно, принятый нами подход к характеристике ферментативного гидролиза целлюлозы является формальным и не охватывает всей сложности процесса: в частности, не было учтено влияние таких дополнительных факторов, как концентрация фермента и субстрата; ингибирование реакции продуктами гидролиза и др. Были проведены две серии опытов по гидролизу целлюлозы, в одной из которых процесс осуществляли при переменной концентрации фермента, а в другой – субстрата. В первой серии начальное содержание целлюлозы в суспензии составляло от 1 до 10 г в 100 мл раствора, фермента 0.35 г в 100 мл раствора. Во второй серии эксперимента содержание фермента в реакционной среде изменяли от 0.2 до 2.5 г в 100 мл при постоянном содержании целлюлозы, равном 5.2 г в 100 мл.

В работе использовали ферментный препарат, выделенный из культурной жидкости гриба *Trickoderma lignorum*. За единицу активности фермента принимали такое его количество, которое катализирует образование 1 мкмоль глюкозы в пробе за 1 мин при инкубации с целлюлозным субстратом. Определение эндоглюканазной активности проводили по методу [2], используя в качестве субстрата карбоксиметилцеллюлозу со степенью полимеризации 300 и степенью замещения 0.3-0.4. Для определения целобιοгидролизной активности [3] использовали макрокристаллическую целлюлозу со степенью полимеризации 100.

Ферментативный гидролиз целлюлозы проводили по методике [1] в 0.1 М ацетонном буфере pH 4.7, при температуре 47 °C и постоянном перемешивании. Продолжительность гидролиза для размолотой целлюлозы

составляла 6 часов, а для обычной - 24 часа. О глубине растворения целлюлозы судили по убыли массы субстрата, выраженной в процентах к массе исходного субстрата. После отделения остатка от реакционной среды, промывали его водой и сушили до постоянной массы при 105 °C. Опыты ставили в двукратной повторности.

Таблица 1

### Результаты ферментативного гидролиза целлюлозы при различных концентрациях фермента и одинаковом начальном содержании целлюлозы в суспензии (5.2 г / 100 мл)

Содержание фермента, г/100 мл	Количество перешедшей в раствор целлюлозы (% к исходной навеске) при гидролизе образца	
	неразмолотый	размолотый
0.20	18.5	28.6
0.35	19.8	37.5
0.40	26.5	40.0
0.60	36.8	45.3
0.80	38.0	52.2
1.25	50.8	65.7
1.81	55.0	70.0
2.50	57.0	72.5

Таблица 2

### Результаты ферментативного гидролиза целлюлозы при различном их содержании в суспензии и одинаковом начальном содержании фермента (0.35 г / 100 мл)

Содержание целлюлозы в суспензии, г/100 мл	Количество целлюлозы (% к исходной навеске) при гидролизе образца	
	неразмолотый	размолотый
0.70	60.9	82.6
1.00	59.3	83.0
1.40	53.0	76.0
1.80	47.5	70.0
2.60	35.0	60.9
5.20	19.8	44.1
10.20	-	25.8

В первой таблице установлено, что при продолжительности гидролиза шесть часов активность фермента снижалась до 96 %, а при продолжительности гидролиза 24 часа - до 82 % от исходной.

В таблице 2 приведены результаты ферментативного гидролиза целлюлозы, при различном начальном содержании их в суспензии и одинаковой концентрации фермента, равной 0.35 г / 100 мл.

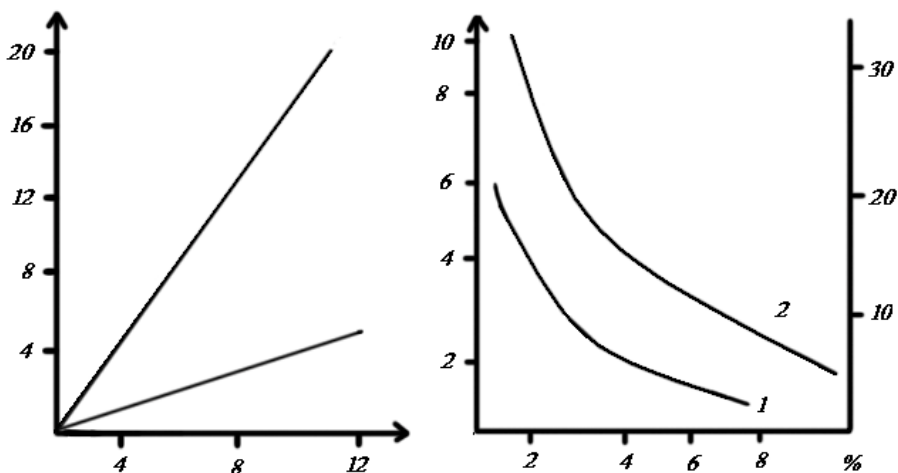


Рис. 1. Влияние концентрации ферментного препарата на скорость ферментативного гидролиза сульфатной (1) и размолотой (2) целлюлозы

На рис. 1 приведены полученные зависимости значений констант скорости гидролиза древесной размолотой и сульфатной целлюлозы, от концентрации фермента, взятой в степени  $\frac{1}{2}$ , которые выражаются прямыми линиями, имеющими разные углы наклона к оси абсцисс. Для размолотой целлюлозы, содержащей 71 % рыхлой фракции, угол наклона значительно больше, чем для исходного немодифицированного образца, содержащего 28 % такой фракции.

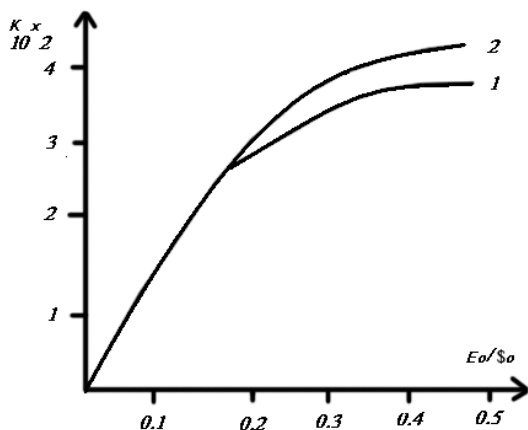


Рис. 2. Влияние концентрации субстрата на скорость ферментативного гидролиза сульфитной (1) и размолотой (2) целлюлозы. По оси ординат значения констант скоростей: слева – для сульфитной целлюлозы, справа – для размолотой целлюлозы

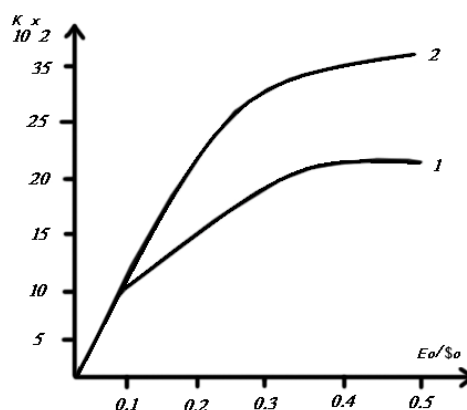


Рис. 3. Зависимость скорости растворения сульфитной (1) и размолотой (2) целлюлозы от соотношения концентраций фермента и субстрата: 1 – серия опытов при постоянной концентрации субстрата (5.2 г/ 100 мл), 2 - серия опытов при постоянной концентрации фермента (3.5 г/ 100 мл)

### 3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Показана возможность применения кинетического метода с использованием уравнения реакции первого порядка для оценки влияния отдельных факторов на процесс растворения целлюлозы при ферментативном гидролизе. Скорость ферментативного гидролиза целлюлоз зависит как от начальных концентраций фермента и субстрата, так и от соотношения концентраций фермента и субстрата, а также от надмолекулярной структуры целлюлозы.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Леванова В.П., Мухина К.Р., Смирнова Л.Т. Влияние надмолекулярной структуры целлюлозы на её реакционную способность // Просвещение. Москва, 1978 г., с. 19-24.

2. M. Mandels, R. Andreotti, C. Roche "Measurement of saccharization cellulose"; Washington; 1999 y.; 61 pg.: pg 21-33.

3. Леннинджер В. Биохимия. Т. 1. Москва: Мир, 1998 г., с. 88-94.

**შპს 661.728****ცელულოზის ფერმენტული ჰიდროლიზი**

**მ. ძეკონსკაია, ს. კოპალეიშვილი, თ. ბუაჩიძე**

ქიმიური და ბიოლოგიური ტექნოლოგიების დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, კოსტავას 77

**რეზიუმე:** ზემოლეკულური სტრუქტურის მქონე ცელულოზების ფერმენტული და მჟავური ჰიდროლიზის შედარებითი შესწავლა. ამ პროცესების რეაქციის სინქარე დახასიათებულია რეაქციის კონსტანტებით. ცელულოზის ფერმენტული რეაქციის სინქარის კონსტანტა, ისევე როგორც მჟავური ჰიდროლიზის კონსტანტაც მცირდება დროის მონაკვეთში მუდმივ მანვენებლამდე, რომელიც განსხვავებულია სხვადასხვა საკვლევი ნიმუშში.

**საკვანძო სიტყვები:** სულფატური და დაღერდილი ცელულოზა; ფერმენტული ჰიდროლიზი; ფერმენტული აქტივობა; სუბსტრატები.

**UDC 661.728****THE FERMENT HYDROLYSIS OF CELLULOSE**

**M. Dzekonskaia, S. Kopaleishvili, T. Buachidze**

Department of chemical and biological technologies, Georgian Technical University, 77, Kostava str, Tbilisi, 0175, Georgia

**Resume:** There is considered the level investigation of cellulose ferment and acid hydrolysis processes. Cellulose had various over molecular structure. Rate of these processes had kinetic constants. The cellulose ferment hydrolysis process kinetic constant and cellulose acid hydrolysis process kinetic constant, both of them were decreases on time to permanent significance, which are different for experimental model.

**Key words:** sulphate and grind cellulose; ferment hydrolysis; ferment activity; substrate.

*მიღებულია დასაბეჭდად 10.02.2013*

# სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობის სექცია

შპს 621.576

აბსორბციულ მაცივარში მუშა აგენტის ცირკულაციის ახალი სქემა

თ. მეგრელიძე, გ. გუგულაშვილი, ე. სადალაშვილი\*, გ. ბერუაშვილი

კვების ინდუსტრიის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, კოსტავას 77

E-mail: etosadagashvili@gmail.com

**რეზიუმე:** განხილულია აბსორბციული მაცივრების მუშაობის ეფექტურობის ამაღლების შესაძლებლობა. შემოთავაზებულია აბსორბციულ მანქანაში მაცივარი აგენტის ცირკულაციის ახალი სქემა. ეს სქემა აუმჯობესებს მაცივარი აგენტის ცირკულაციას და ამით ამაღლებს მაცივრის მუშაობის ეფექტურობას. წარმოდგენილია ცირკულაციის სქემის განხორციელებისათვის საჭირო ძირითადი პარამეტრების საანგარიშო ფორმულები.

**საკვანძო სიტყვები:** აბსორბცია; მაცივარი; ეფექტურობა; აგენტი; ცირკულაცია.

## 1. შესავალი

სამაცივრო ციკლის განხორციელების აუცილებელ პირობას წარმოადგენს მუშა აგენტის ცირკულაცია საორთქლებელსა და კონდენსატორს შორის: მუშა აგენტი საორთქლებელში გასაცივებელი პროდუქტიდან ღებულობს სითბოს, კონდენსატორში კი პროდუქტიდან მიღებულ ამ სითბოს გასცემს გარემოში.

აღნიშნული ცირკულაცია სხვადასხვა ტიპის მაცივრებში სხვადასხვაგვარად მიმდინარეობს: ორთქლის ეფექტორულ მაცივრებში გამოყენებულია საორთქლებლიდან ორთქლის ექსტრუქციის პროცესი წყლის ორთქლის დახმარებით; კომპრესიულ მაცივრებში მუშა აგენტის ცირკულაციას ახორციელებს მექანიკური კომპრესორი, ხოლო აბსორბციულ მაცივრებში გამოყენებულია თერმული კომპრესორი; საორთქლებელში წარმოქმნილ მუშა აგენტის ორთქლს შთანთქავს აბსორბერი და ამით ცვლის მექანიკური კომპრესორის შემწვარ შტოს. სადულარაში კი ძლიერი ხსნარის გაცხელების შედეგად მუშა

აგენტის ორთქლი წარმოიქმნება და მიეწოდება კონდენსატორს. შესაბამისად, სადულარა ასრულებს მექანიკური კომპრესორის დამჭირხნი შტოს ფუნქციას.

ორთქლის ეფექტორულ და კომპრესიულ მაცივრებთან შედარებით აბსორბციული მანქანები ხასიათდება მრავალი უპირატესობით, როგორცაა კონსტრუქციისა და მომსახურების სიმარტივე, მექანიკური მბრუნავი და მოხახუნე ელემენტების უქონლობა, ხმაურისა და ვიბრაციების არარსებობა და სხვ.

მაგრამ უნდა აღინიშნოს, რომ კომპრესიულ მაცივრებთან შედარებით აბსორბციული მანქანები ხასიათდება ნაკლები ენერგეტიკული ეფექტურობით. ერთნაირ პირობებში აბსორბციულ მაცივრებში მიიღწევა ნაკლები სიცივე უფრო მეტი დროის განმავლობაში. ამის მიზეზებს შორის კი შეიძლება აღინიშნოს სწორედ მუშა აგენტის ცირკულაციასთან დაკავშირებული სირთულეები, კერძოდ, თხევადი ამიაკის საორთქლებელში მიწოდების საკითხი.

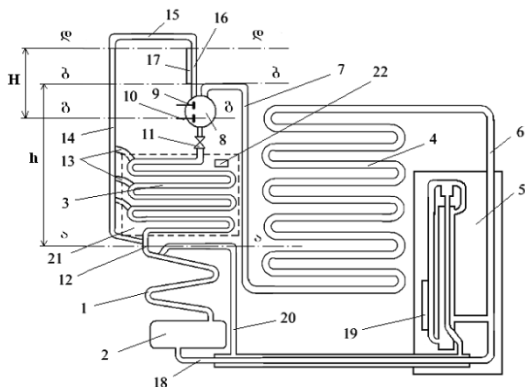
## 2. ძირითადი ნაწილი

როგორც აღინიშნა, კომპრესიული ტიპის მაცივრებში კონდენსატორიდან თხევადი მუშა აგენტის მიწოდება საორთქლებელში ხორციელდება კომპრესორის მიერ შექმნილი წნევის ხარჯზე. აბსორბციული ტიპის მაცივრებში კი კომპრესორი არ გამოიყენება (რაც, სწორედ მათს უპირატესობას განაპირობებს). კონდენსატორში შედის მუშა აგენტის (ამიაკის) ორთქლი და გარემოსთან თბოგადაცემის შედეგად გადადის თხევად მდგომარეობაში. შესაბამისად, კონდენსატორის მუშაობის პრინციპი განსაზღვრავს მის კონსტრუქციას – ორთქლი შედის კონდენსატორის ზედა ნაწილში, გათხევადების პროცესში

ჩამოიღვრება ქვევით და თხევადი ამიაკი გამოიყვანება კონდენსატორის ქვედა ნაწილიდან.

შესაბამისად იმისათვის, რომ თხევადი ამიაკი მიყვანილ იქნეს საორთქლებელში, აუცილებელი ხდება ტუმბოს გამოყენება ან კონდენსატორის განლაგება საორთქლებელზე მაღლა. აბსორბციული მაცივრების ტექნიკაში ყველაზე ხშირად გამოიყენება ტუმბოები. მართალია, ეს ტუმბოები მოიხმარს მცირე რაოდენობის ელექტროენერგიას, მაგრამ შეიძლება ითქვას, რომ მათი გამოყენება ფაქტიურად უგულვებელყოფს აბსორბციული მაცივრების მნიშვნელოვან უპირატესობას კომპრესიულთან შედარებით. კონსტრუქციაში ჩნდება მექანიკური მბრუნავი და მოხახუნე ელემენტები თავისი ხმაურითა და ვიბრაციებით. რაც შეეხება თხევადი ამიაკის კონდენსატორიდან საორთქლებელში მიწოდების მეორე გზას – კონდენსატორის განლაგებას საორთქლებელზე მაღლა, იგი საკმაოდ ფართოდ გამოიყენება საყოფაცხოვრებო მაცივრებში, მაგრამ კონსტრუქციული თვალსაზრისით არასასურველია, რადგან განაპირობებს მაცივრის გაბარიტების (სიმაღლის) გადიდებას, აქედან გამომდინარე, ყველა უარყოფითი მხარით.

კონდენსატორის ქვედა დონიდან თხევადი ამიაკის საორთქლებელში მიწოდებისათვის შეიძლება გამოყენებული იყოს პარლიფტის ეფექტი: ვერტიკალურ მილში ამიაკის ორთქლის გაცხელების შემთხვევაში ეს ორთქლი მოძრაობას დაიწყებს ქვევიდან ზევით და მილში წარმოქმნის გაიშვიათებას. წარმოქმნილი გაიშვიათება კი უზრუნველყოფს კონდენსატორის ქვედა დონიდან თხევადი ამიაკის ამოტანას ზევით განლაგებულ ჰურჭელში, რომელიც საორთქლებლის თავზე იმყოფება.



მაცივრის პრინციპული სქემა

პარლიფტის მქონე აბსორბციული მაცივრის კონსტრუქცია (ნახ. 1) შეიცავს აბსორბერს 1 ხსნარის შემგროვებლით 2, აბსორბერის თავზე

განლაგებულ საორთქლებელს 3, კონდენსატორს 4 და სადულარას 5. სადულარა 5 ვერტიკალური მილით 6 დაკავშირებულია კონდენსატორის 4 ზედა (შესასვლელ) ნაწილთან. კონდენსატორის 4 ქვედა (გამოსასვლელი) ნაწილი მიერთებულია თხევადი ამიაკის ამომყვან ვერტიკალურ მილთან 7, რომელიც თავისი ზედა ბოლოთი მიერთებულია საორთქლებლის 3 თავზე განლაგებულ ჰურჭელთან 8. ჰურჭელი 8 აღჭურვილია სითხის დონის ორი – ზედა 9 და ქვედა 10 გადამწოდით. ჰურჭელი 8 ვენტილის 11 გავლით დაკავშირებულია საორთქლებელთან 3. საორთქლებლის 3 ქვეშ განლაგებულია აბსორბერი 1, რომელიც მასთან დაკავშირებულია ჩამოღვრილი თხევადი მუშა აგენტის ჩამოსაშვები მილით 12 და საორთქლებლიდან აორთქლებული ამიაკის ორთქლის აბსორბერში 1 მიმწოდი მილებით 13. ამიაკის ორთქლის აბსორბერში 1 მიმწოდი მილები 13 შეერთებულია საერთო კოლექტორთან 14, რომელიც ქვედა ბოლოთი მიერთებულია აბსორბერთან 1. აბსორბერში ამიაკის ორთქლის მიმწოდი ამავე კოლექტორის 14 ზედა ბოლოსთან მილით 15 მიერთებულია ჰურჭლის 8 თავზე განლაგებული ვერტიკალური გამაცხელებელი მილი 16, რომელიც აღჭურვილია ელექტრული გამახურებლით 17. აბსორბერი 1 მიერთებულია მის ქვეშ განლაგებულ ხსნარის შემგროვებელთან 2, რომელიც თავის მხრივ მილით 18 დაკავშირებულია სადულარასთან 5. სადულარა 5 აღჭურვილია ელექტროგამახურებელით 19. სადულარა 5 გამომავალი გადარიბებული ხსნარის გამომყვანი მილი 20 მიერთებულია აბსორბერთან 1. საორთქლებელი 3 განლაგებულია სამაცივრო კამერაში 21, სადაც იმყოფება აგრეთვე სამაცივრო კამერაში ტემპერატურის მარეგულირებელი რელე 22.

აბსორბციული მაცივარი შემდეგნაირად მუშაობს.

ხსნარის შემგროვებლიდან 2 ძლიერი ხსნარი მილით 18 მიეწოდება სადულარას 5. გამახურებლის 19 ჩართვის შედეგად ადგილი აქვს ძლიერი ხსნარიდან ამიაკის აორთქლებას. აქ წარმოქმნილი ორთქლი ვერტიკალური მილით 6 მიეწოდება კონდენსატორში 4. სადულარაში 5 დარჩენილი გადარიბებული (სუსტი) ხსნარი მილის 20 დახმარებით მიეწოდება აბსორბერში 1. კონდენსატორში 4 მიმდინარეობს ამიაკის ორთქლის კონდენსაცია გარემოსთან თბოგადაცემის ხარჯზე. ორთქლი თანდათან გარდაიქმნება სითხედ, ჩამოიღვრება კონდენსატორის ქვედა ნაწილში და დაიკავებს იქ რაღაც დონეს ა – ა.

მაცივრის მუშაობის პროცესში ჰურჭელი 8 შევსებულია თხევადი ამიაკით. როდესაც მაცი-



ვრის სამაცივრო კამერის 21 ტემპერატურის მარეგულირებელი რელე 22 დააფიქსირებს კამერაში ტემპერატურის ამადლებას, გაიხსნება ვენტისილი 11 და თხევადი ამიაკი ჩამოიღვრება საორთქლებელში 3. აქ მიმდინარეობს საორთქლებლისათვის დამახასიათებელი ჩვეულებრივი პროცესი: თხევადი ამიაკი სამაცივრო კამერიდან მიიღებს სითბოს და ორთქლად გარდაიქმნება, ამის შედეგად კი სამაცივრო კამერაში 21 ტემპერატურა შემცირდება. თხევადი ამიაკი ჩამოიღვრება საორთქლებლის 3 ქვედა ბოლომდე. თუ ვერ მოხდა (არ იყო აუცილებელი) მთელი ამიაკის აორთქლება, მაშინ დარჩენილი თხევადი ამიაკი ჩამოიღვრება აბსორბერში 1 საორთქლებელში 3 წარმოქმნილი ამიაკის ორთქლი მიღებით 13 მიეწოდება აბსორბერში 1 ანუ აბსორბერში 1 მილით 20 მიწოდებული გადარიბებული (სადულარაში 5 ამიაკის აორთქლების შედეგად) ხსნარი აბსორბირებას უკეთებს მიღებში 13 შესულ ამიაკის ორთქლს კოლექტორის 14 გავლით.

როდესაც ჭურჭელში 8 თხევადი ამიაკის რაოდენობა შემცირდება და მისი დონე დაეცემა გადამწოდის 10 სიმაღლემდე ამოქმედდება ეს გადამწოდი 10. იგი დაკეტავს ვენტისს 11 და ხართავს ვერტიკალური გამაცხელებელი მილის 16 ელექტრულ გამახურებელს 17 და სადულარას 5 გამახურებელს 19. ამ დროს მთელ შიგა სისტემაში და, შესაბამისად, მილში 16 იმყოფება ამიაკის ორთქლი. მილის 16 გახურების შედეგად წარმოიქმნება ორთქლის სიმკვრივეთა სხვაობა მილის 16 ქვედა და ზედა დონეებს შორის, რაც განაპირობებს ამიაკის ორთქლის მოძრაობას ქვევიდან ზევით. აღნიშნული მოძრაობის შედეგად მილის 16 ქვედა ნაწილში, ჭურჭელში 8 და მის კონდენსატორთან 4 დამაკავშირებელ ვერტიკალურ მილში 7 წარმოიქმნება გაიშვიათება. ამ გაიშვიათების სიდიდე დამოკიდებულია ვერტიკალურ ამოყვან მილში 16 ორთქლის გაცხელების ტემპერატურაზე. რაც მეტია გაცხელების ტემპერატურა, მით უფრო ნაკლები ხდება ორთქლის სიმკვრივე, მით მეტი სიჩქარით გადაადგილდება ეს ორთქლი ქვევიდან ზევით და მით მეტი სიდიდის გაიშვიათებას შექმნის იგი ვერტიკალურ მილში 7.

აღნიშნული პროცესის პარალელურად სადულარაში 5 იწყება ძლიერი ხსნარიდან ამიაკის აორთქლება. წარმოქმნილი ორთქლი ინტენსიურად მიეწოდება კონდენსატორს 4. ეს განაპირობებს კონდენსატორში ახალი ორთქლის მიწოდებას, რომელიც კვლავ გაცემს სითბოს და კონდენსირდება. მეორე მხრივ, ორთქლის მიწოდება კონდენსატორის 4 შესასვლელ ნაწილში სწორედ იმ დროს, როდესაც ხდება ამ კონდენსატორის 4 გამოსასვლელი ნაწილიდან თხევადი ამიაკის გამოყოფა,

ხელს უწყობს აღნიშნული პროცესის მიმდინარეობის ეფექტურობის ამადლებას.

მილში 7 წარმოქმნილი გაიშვიათების და მილიდან 6 ამიაკის ორთქლის მიწოდების ერთდროული მოქმედება განაპირობებს კონდენსატორიდან 4 მილის 7 გავლით თხევადი ამიაკის ზევით ამოტანას და ჩადვრას ჭურჭელში 8. ჭურჭელი 8 თანდათან ივსება. როდესაც თხევადი ამიაკის დონე ჭურჭელში 8 მიაღწევს ზედა დონის გადამწოდს 9, გამახურებელი 17 გამოირთვება. გამოირთვება აგრეთვე სადულარას 5 გამახურებელიც 19 და ამიაკის ორთქლის მიწოდება კონდენსატორში 4 შეწყდება. ამის შემდეგ მაცივრის მუშაობის პროცესი კვლავ ძველებურად მიმდინარეობს.

როგორც ვხედავთ, მაცივრის მუშაობის განმსაზღვრელია ვერტიკალურ გამაცხელებელ მილში 16 ისეთი სიდიდის მქონე ვაკუუმის შექმნა, რომელიც უზრუნველყოფს კონდენსატორიდან 4 მილის 7 გავლით თხევადი მუშა აგენტის ამოყვანას ჭურჭელში 8. ბერნულის [8] განტოლებიდან გამომდინარე ფორმულას, რომელიც განსაზღვრავს ვაკუუმის დახმარებით მილში სითხის აწევის სიმაღლეს, აქვს სახე:

$$h = \frac{p_0 - p_1}{\rho g} - \frac{v^2}{2g} - \Delta p_{\text{დაწ}} \quad (1)$$

აღნიშნული ფორმულიდან მილში სითხის აწევის ცნობილი სიმაღლისათვის ვაკუუმის მნიშვნელობა შეიძლება განისაზღვროს.

$$\Delta p = p_0 - p_1 = \left[ h + \frac{v^2}{2g} + \Delta p_{\text{დაწ}} \right] \rho_{\text{სითხე}} g \quad (2)$$

სადაც  $p_0 - p_1$  იმ ვაკუუმის სიდიდეა, რომელიც საჭიროა სითხის მაღლა ამოსაყვანად,

$h$  სითხის ზევით ამოყვანის სიმაღლე,

$v$  ზევით ამოსვლისას სითხის მოძრაობის სიჩქარე,

$g$  სიმძიმის ძალის აჩქარება,

$\rho_{\text{სითხე}}$  სითხის (ჩვენს შემთხვევაში თხევადი ამიაკის) სიმკვრივე,

$\Delta p_{\text{დაწ}}$  წნევის დანაკარგები სითხის მილში მოძრაობაზე.

მიღებული გაიშვიათება უზრუნველყოფილი უნდა იქნეს ვერტიკალურ გამაცხელებელ მილში 16 მუშა აგენტის ორთქლის გაცხელების გზით. გაცხელების შედეგად მილში არსებული მუშა აგენტის ორთქლის სიმკვრივე  $\rho_2$  კლებულობს და ხდება  $\rho_3$ . სიმკვრივეთა სხვაობა კი განაპირობებს გაცხელებული ორთქლის ქვევიდან ზევით გადაადგილებას, რის შედეგადაც იქმნება სწორედ საჭირო გაიშვიათება.

გაიშვიათების სიდიდის განსაზღვრისათვის დავწეროთ ბერნულის განტოლება ვერტიკალური გამაცხელებელი მილის 16 ორი კვეთისათვის (გ-გ და დ-დ) [9]

$$Z_2 \rho_2 g + \rho_2 \frac{v_2^2}{2} + p_2 = Z_3 \rho_3 g + \rho_3 \frac{v_3^2}{2} + p_3 + p_{2ღან}, \quad (3)$$

სადაც  $Z_2$  და  $Z_3$  – გ-გ და დ-დ კვეთების სიმაღლეებია ათვლის პირობითი დონიდან,

$\Delta p_{2ღან}$  ჰიდრავლიკური წინააღმდეგობის დაძლევაზე წნევის დანაკარგები ვერტიკალურ გამაცხელებელ მილში,

$\rho_2$  მუშა აგენტის ორთქლის სიმკვრივე მილის ძირში (კვეთში გ-გ),

$\rho_3$  მუშა აგენტის ორთქლის სიმკვრივე მილის ზედა ნაწილში (კვეთში დ-დ),

$v_2$  მუშა აგენტის ორთქლის სინქარე მილის ძირში (კვეთში გ-გ),

$v_3$  მუშა აგენტის ორთქლის სინქარე მილის ზედა ნაწილში (კვეთში დ-დ),

$p_2$  მუშა აგენტის ორთქლის წნევა მილის ძირში (კვეთში გ-გ),

$p_3$  მუშა აგენტის ორთქლის წნევა მილის ზედა ნაწილში (კვეთში დ-დ).

(3) განტოლების წევრების დალაგების შემდეგ გვექნება

$$(p_2 - p_3) + (Z_2 \rho_2 - Z_3 \rho_3)g = \rho_3 \frac{v_3^2}{2} - \rho_2 \frac{v_2^2}{2} + p_{2ღან} \quad (4)$$

(4) განტოლების მარჯვენა ნაწილი წარმოადგენს სრულ ჰიდრავლიკურ წინააღმდეგობას.

გამოვიყენოთ (4) განტოლება მილის 16 მიერ შექმნილი გაიშვიათების განსაზღვრისათვის. ამისათვის მივიღოთ, რომ მილის ქვედა ბოლოს შეესაბამება ნულოვანი დონე  $Z_2 = 0$  (გ-გ დონე). მაშინ  $Z_3$  ტოლი იქნება ვერტიკალური გამაცხელებელი მილის სიმაღლისა  $Z_3 = H$ . ასეთ შემთხვევაში (4) განტოლება მიიღებს სახეს

$$p = (\rho_2 - \rho_3)Hg - \frac{\rho_2 v_2^2}{2} + \frac{\rho_3 v_3^2}{2} + p_{2ღან} \quad (5)$$

(5) განტოლებიდან განისაზღვრება ვერტიკალური გამაცხელებელი მილის სიმაღლე

$$H = \frac{p + \frac{\rho_2 v_2^2}{2} - \frac{\rho_3 v_3^2}{2} + p_{2ღან}}{g(\rho_2 - \rho_3)} \quad (6)$$

როგორც ვხედავთ, ვერტიკალური გამაცხელებელი მილის სიმაღლე დამოკიდებულია განსახორციელებელი ვაკუუმის სიდიდეზე, მილის თავსა და ბოლოში მუშა აგენტის ორთქლის სიმკვრივეებზე და წნევის დანაკარგებზე. რაც მეტია განსახორციელებელი ვაკუუმის სიდიდე და ჰიდრავლიკური წინააღმდეგობის დაძლევაზე წნევის დანაკარგები, მით მეტი უნდა იყოს გამაცხელებელი მილის სიმაღლე და პირიქით, რაც მეტია მილის თავსა და ბოლოში მუშა აგენტის სიმკვრივეთა სხვაობა, მით ნაკლები გამოდის მილის საჭირო სიმაღლე.

თუ გავაერთიანებთ (6) და (2) ფორმულებს, შეგვიძლია მივიღოთ გაერთიანებული დამოკიდებულება კონდენსატორიდან საორთქლებლის თავზე განლაგებულ ჭურჭელში თხევადი მუშა აგენტის ატანის სიმაღლესა და ასეთი ატანისათვის აუცილებელი ვაკუუმის შესაქმნელად ვერტიკალური გამაცხელებელი მილის სიმაღლეს შორის

$$H = \frac{h + \frac{v_1^2}{2g} + p_{1ღან} \rho_{სით} g + \frac{\rho_{ორთ.ციფ} v_2^2}{2} - \frac{\rho_{ორთ.ცხელ} v_3^2}{2} + p_{2ღან}}{g(\rho_{ორთ.ციფ} - \rho_{ორთ.ცხელ})} \quad (7)$$

სადაც  $H$  – ვერტიკალური გამაცხელებელი მილის სიმაღლეა,

$h$  თხევადი მუშა აგენტის კონდენსატორიდან მაღლა ამოტანის სიმაღლე,

$p_{1ღან}$  წნევის დანაკარგები მილში თხევადი მუშა აგენტის ზევით მოძრაობისას,

$p_{2ღან}$  წნევის დანაკარგები მუშა აგენტის ორთქლის ვერტიკალურ გამაცხელებელ მილში მოძრაობისას.

### 3. დასკვნა

ამრიგად, კონდენსატორის ქვედა დონიდან საორთქლებელში თხევადი ამიაკის მიწოდებისათვის შეიძლება გამოყენებული იყოს ვერტიკალურ მილში ამიაკის ორთქლის გაცხელების მეთოდი. გაცხელების შემთხვევაში ეს ორთქლი მილში დაიწყებს მოძრაობას ქვევიდან ზევით და მასში წარმოქმნის გაიშვიათებას. წარმოქმნილი გაიშვიათება კი უზრუნველყოფს კონდენსატორის ქვედა დონიდან თხევადი ამიაკის ამოტანას ზევით განლაგებულ ჭურჭელში, რომელიც იმყოფება საორთქლებლის თავზე.

### ლიტერატურა

1. თ. მეგრელიძე, ზ. ჯაფარიძე, გ. გუგულაშვილი, გ. გოლეითიანი, ა. ტყეშელაშვილი, გ. კვიციანი (საყოფაცხოვრებო მაცოდრები). თბილისი: 2008 – 144 გვ.
2. თ. მეგრელიძე, ზ. ჯაფარიძე, ს. სულაძე, გ. გუგულაშვილი, გ. გოლეითიანი, ა. ტყე-

- ნაძე, გ. კვირიკაშვილი, ზ. ომიადე. მაცივარი მანქანები (დგუშიანი კომპრესორები). თბილისი: ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2009. – 121 გვ.
3. თ. მეგრელიძე, ვ. ღვანლიანი, თ. გუგულაშვილი, გ. მეგრელიძე, ლ. გუგულაშვილი, გ. გუგულაშვილი. სატრანსპორტო საშუალების სამაცივრო მოწყობილობა. საპატენტო სიგელი № GE P 5075 B. 09.10.2010 წ. კლასი F 25 B 27/02, B 60 P 3/20.
  4. თ. მეგრელიძე, ე. სადალაშვილი, ვ. ღვანლიანი, გ. გუგულაშვილი. ნაძვეი აირების სითბოს ენერჯიაზე მომუშავე ავტომობილის მაცივარი// საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენციის შრომათა კრებული “ახალი ტექნოლოგიები თანამედროვე მრეწველობაში“. თბილისი, 2010 წ. 12-14 გვ.
  5. თ. მეგრელიძე, ვ. ღვანლიანი, ე. სადალაშვილი, გ. გუგულაშვილი. ახალი ენერგოდამზოვი ტექნოლოგიების გამოყენება სიცივის მისაღებად // საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის შრომათა კრებული “ენერგეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“. ქუთაისი, 2010 წ. 189-193 გვ.
  6. თ. მეგრელიძე, ე. სადალაშვილი, გ. ბერუაშვილი, გ. გუგულაშვილი. რთული ციკლის მქონე მაცივარი მანქანების მუშაობის ოპტიმალური რეჟიმების განსაზღვრა // საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის შრომები. თბილისი: ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2011 წ. № 2 (480), გვ. 91-96.
  7. თ. მეგრელიძე, გ. გუგულაშვილი, ვ. ღვანლიანი, ე. სადალაშვილი. აბსორბციული მაცივარი მანქანების ენერგეტიკული მახასიათებლების გაუმჯობესების გზები // საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის შრომები. თბილისი: ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2011 წ., № 2 (480), გვ. 96-101.
  8. Альтшуль А.Д., Животовский Л.С, Иванов Л.П. Гидравлика и аэродинамика. М.: Стройиздат, 1987 г.- 414 с.
  9. Чечеткин А.В, Занемонец Н.А. Теплотехника. М.: Высшая школа, 1986 г.- 344 с.

UDC 621.576

**THE NEW SCHEME OF CIRCULATION OF WORKING AGENT IN ABSORPTION REFRIGERATOR****T.Megrelidze, G.Gugulashvili, E.Sadagashvili, G.Beruashvili**

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

**Resume:** There is considered the absorption refrigerators working effectiveness raising possibility. There is proposed the new scheme of refrigerator agent circulation in absorption machines. This scheme improves the refrigerator agent circulation and zises the refrigerator working effectiveness. There is given for circulation scheme realization needful parameters calculating formulae.

**Key words:** absorpition; refrigerator; effectiveness; agent; circulation.

УДК 621.576

**НОВАЯ СХЕМА ЦИРКУЛЯЦИИ РАБОЧЕГО АГЕНТА В АБСОРБЦИОННОМ ХОЛОДИЛЬНИКЕ****Мегрелидзе Т.Я., Гугулашвили Г.Л., Садагашвили Э.З., Беруашвили Г.Ш.**

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

**Резюме:** Рассмотрена возможность повышения эффективности работы абсорбционных холодильных машин. Предложена новая схема циркуляции рабочего агента в абсорбционной машине. Данная схема улучшает циркуляцию рабочего агента и тем самым повышает эффективность работы холодильника. Приведены формулы для расчета основных параметров, обеспечивающих осуществление новой схемы циркуляции.

**Ключевые слова:** абсорбция; холодильник; эффективность; агент; циркуляция.

*მიღებულია დასაბეჭდად 03.04.2013*

შპს 351.773

**ახალი მემბრანული აპარატი კვების თხევადი პროდუქტების გაუმწებლობისათვის****თ. მეგრელიძე, ზ. ჯაფარიძე, ე. სადაღაშვილი\*, გ. გუგულაშვილი**

კვების ინდუსტრიის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, კოსტავას 77

E-mail: etosadagashvili@gmail.com

**რეზიუმე:** დასმულია კვების პროდუქტების გაუმწებლობის აუცილებლობის საკითხები. განხილულია კვების თხევადი პროდუქტების გაუმწებლობის პრობლემები და იმ მანერე მიკროორგანიზმების სახეობები და ზომები, რომელთა მოცილება აუცილებელია კვებისათვის უსაფრთხო პროდუქტის მისაღებად. წარმოდგენილია ახალი კონსტრუქციის მემბრანული აპარატი, რომელშიც ხორციელდება დასაყოფი სითხის დამატებითი ტურბულიზაცია ამ სითხის ორი სხვადასხვა, ურთიერთმართობულად მიმართული ნაკადის წარმოქმნის ხარჯზე. ამასთან, ტურბულიზაციის ეფექტის გაძლიერებას ხელს უწყობს აღნიშნული ორი ნაკადის წნევათა განუწყვეტელი ცვლილება. ინტენსიური ტურბულიზაცია კი ხელს უწყობს აპარატის მუშაობის ეფექტურობისა და სითხის დაყოფის ხარისხის ამაღლებას.

**საკვანძო სიტყვები:** სითხე; საკვები; მიკროორგანიზმები; მემბრანა; ტურბულიზაცია.

**1. შესავალი**

კვების მრეწველობის წინაშე მდგარ პრობლემებს შორის ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესია სურსათის უვნებლობის პრობლემები. სურსათის უვნებლობა ადამიანის საყოველთაოდ აღიარებული უფლების – ჯანმრთელობისა და სიცოცხლის დაცვის ერთ-ერთი აუცილებელი პირობაა და შესაბამისად, სურსათის რისკებისაგან დაცვას გულისხმობს. ცნობილმა მეცნიერმა ლუი პასტერმა უამრავი დაკვირვებისა და ცდების ჩატარების შემდეგ განაცხადა: “ახლა მტკიცედ მწამს და შემიძლია თამამად განვაცხადო, რომ რძე, ხორცი, ლუდი, ღვინო, პური და სხვა პროდუქტები შეიცავს თვალთ უხილავ ორგანიზმებს – მიკრობებს, რომლებიც გვიტყვენ და იწვევენ პროცესებს, რის შედეგადაც ამ პროდუქტების გამოყენება საფრთხეს უქმნის ადამიანის ჯანმრთელობას“. ეს პროცესები დღესდღეობით

კვლავ რჩება საზოგადოებრივი ჯანდაცვის ერთ-ერთ მნიშვნელოვან პრობლემად. ესაა მიკრობიოლოგიური საფრთხე, რომელიც სურსათში სხვადასხვა გზით წარმოიქმნება. სურსათის უვნებლობა განსაკუთრებით რთული და კომპლექსური საკითხია, რომელიც მრავალმხრივ გადაწყვეტას მოითხოვს.

კვების პროდუქტების რიცხვს, რომელიც ტრადიციულად შედის ადამიანის კვების რაციონში, მიეკუთვნება სხვადასხვა სასმელი: ღვინო, ლუდი, არაყი, კონიაკი, წვენი, მინერალური წყალი და სხვ. რომლებიც შედგენილობის და ხარისხის უაღრესად დიდი ასორტიმენტით გამოირჩევა. ეს კი განაპირობებს როგორც საწყისი ნედლეულის, ასევე მათი გადამამუშავებისათვის გამოყენებული ტექნოლოგიების მრავალფეროვნებას.

**2. ძირითადი ნაწილი**

თხევადი სურსათის გაუმწებლობა საწყისი თვისებების მახასიათებლების მაქსიმალური შენარჩუნებით და, რიგ შემთხვევებში, მათი გაუმჯობესება მცირე მატერიალური და ენერგეტიკული დანახარჯებით, ტრადიციულ მეთოდებთან ერთად შესაძლებელია თანამედროვე მემბრანული ტექნოლოგიების გამოყენებით. მემბრანული ტექნოლოგიები გამოირიცხავს სურსათის თბური დამუშავების აუცილებლობას და მისგან გამოწვეულ ხარისხის გაუარესებას. მემბრანულ დანადგარებს ახასიათებთ კონსტრუქციის და ექსპლუატაციის სიმარტივე, მცირე გაბარიტები და ავტომატიზაციის მაღალი დონე.

შესწავლილ იქნა იმ მიკროორგანიზმების ძირითადი თავისებურებანი, რომელთა მოცილება საჭიროა კვების თხევადი პროდუქტების გაუმწებლობის რეალიზაციისათვის. ლიტერატურული მონაცემების ანალიზის საფუძველზე კვების პროდუქტების შედგენილობაში შეშავალი ძირითადი მიკროორგანიზმების ნუსხა შეიძლება წარმოვადგინოთ ცხრილის სახით.

## კვების თხევადი პროდუქტების შედგენილობაში შემავალი მიკროორგანიზმების ზომები

ორგანიზმი	მიკრობული ჯგუფი	Rod Length µm	Rod ან Coc- cus დიამეტრი µm	წყარო	მნიშვნელობა
Absidia corymbifera	სოკოები		3.8	გარემოს	Zygomycosis
Acetobacter Melanogenus		1.0-2.0	0.4-0.8		ძლიერი ლუდის/ ძმარი ბაქტერიების
Acinetobacter			1.3	გარემოს	ოპორტუნისტული ინ- ფექციები
Acremonium spp.	სოკოები		2.5	გარემოს	Extrinsic ალერგიული Aveons
Actinomyces israelii			1.0		Antinomycosis
ადენოვირუსული	ვირუსი		0.08		Colds
Alcaligenes Viscolactis		0.8-2.6	0.6-1.0		მიზეზების ropiness in რძე.
Alkaligenes			0.75		ოპორტუნისტული ინ- ფექციები
Alternaria alternata	სოკოები		14.4	გარემოს	Mycotoxicosis
Arenavirus	ვირუსი		0.18	მდრღნელების	ჰემორაგიული ცხელება
Aspergillis spp.	სოკოები		3.5	გარემოს	Aspergillosis, აქრო- ლადი ორგანული შე- მადგენელი
Aureobasidium pullulans	სოკოები		5	გარემოს	Chromomycosis
Bacillus anthracis		3.0- 10.0	1.0-1.3  (1.1 საშუალოდ)	გარემოს	მიზეზების ჯილეხი in ძუძუძველები
Bacillus Stearothermophilus		2.0-5.0	0.6-1.0		ბიოლოგიური მაჩვენე- ბელი ორთქლით სტე- რილიზაციის
Bacillus subtilis		2.0-3.0	0.7-0.8		ბიოლოგიური მაჩვენე- ბელი ethylene ოქსიდის სტერილიზაციის
Blastomyces dermatitidis	სოკოები		14	გარემოს	Blastomycosis
Bordetella ვივანახვე- ლას			0.25		Whooping ხველა
Botrytis cinera	სოკოები		7	გარემოს	Extrinsic ალერგიული Aveons
Cardiobacterium			0.63		ოპორტუნისტული ინ- ფექციები
Chaetomium globosum	სოკოები		5.5	გარემოს	Chromomycosis, აქრო- ლადი ორგანული შე- მადგენელი
Chiamydia psittaci			0.3	ჩიტები	Psittacosis
Chlamydia pneumoiae	ვირუსი		0.3		პნევმონია
Cladosporium spp.	სოკოები		9	გარემოს	Chromblastomycosis
Clostridium botulinum (B)		3.0-8.0	0.5-0.8		აწარმოებს exotoxins იწვევს botulism

Clostridium Perinngens		4.0-8.0	1.0-1.5		აწარმოებს საკვებით ტოქსიკურ მოწამვლას
Clostridium tetani		4.0-8.0	0.4-0.6		აწარმოებს exotoxin იწვევს ტეტანუსს
Coccidioides immitis	სოკოები		4	გარემოს	Coccidioidomycosis
Coronavirus	ვირუსი		0.11		Colds
Corynebacteria			1.0		დიფტერიის
Coxiella burnetii			0.5		Q ცხელება
Coxsackievirus	ვირუსი		0,027		Colds
Cryptococcus neoformans	სოკოები		5.5	გარემოს	Cryptococcosis
neumoniae			0.5-1.25		მიზეზი lobar პნევმონიის
Echovirus	ვირუსი		0,028		Colds
Emericella nidulans	სოკოები		3.3	გარემოს	Mycotoxicosis, აქროლადი ორგანული შემადგენელი
Epicoccum nigrum	სოკოები		20	გარემოს	Extrinsic ალერგიული Aveons
Erwina aroideae		2.0-3.0	0.5		მიზეზები რბილი rot in ბოსტნეული
Escherichia coll		1.0-3.0	0.5		ინდიკატორი fecal დაბინძურებაზე წყალში
Eurotium spp.	სოკოები		5.8	გარემოს	Extrinsic ალერგიული Aveons
Exophiala jeanselmei	სოკოები		2	გარემოს	Chromomycosis
Francisella tularensis			0.2		Tularemia
Geomyces pannorum	სოკოები		3	გარემოს	Extrinsic ალერგიული Aveons
Haemophilus influenzae		0.5-2.0	0.2-0.3		მიზეზები გრიპის და მწვავე რესპირატორული ინფექციები
Haemophilus influenzae			0,43		მენინგიტი, პნევმონია
Haemophilus parainfluenzae			1		ოპორტუნისტული ინფექციები
Hantavirus	ვირუსი		0.07	მდრღნელების	Hantavirus
Helminthosporium	სოკოები		12.5	გარემოს	Extrinsic ალერგიული Aveons
Histoplasma capsulatum	სოკოები		3	გარემოს	Histoplasmosis
გრიპის	ვირუსი		0.1	ადამიანები, ფრინველები	გრიპი
Klebsiella pneumoniae		5	0.4-0.5	გარემოს	ოპორტუნისტული ინფექციები, იწვევს ფილტვების ანთებით და სხვა რესპირატორულ ანთებას
Lactobacillus Delbrueckil		2.0-9.0	0.5-0.8		მიზეზების souring of მარცვლეულის-mashes

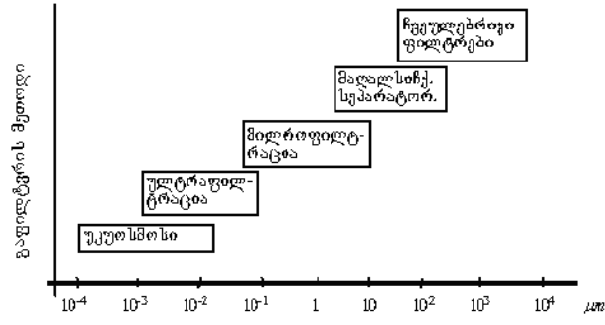
Legionella pneumophila			0.6	გარემოს	Pontiac ცხელება
Micromonospora faeni	Actinomycetes		1		ფერმენტა, ფილტვის, პიპერმგრძნობელობა Pneumonitis
Micropolyspora faeni	Actinomycetes		0,69		ფერმენტა, ფილტვის, პიპერმგრძნობელობა Pneumonitis
Moraxella catarrhalis			1.3		ოპორტუნისტული ინფექციები
Moraxella lacunata			1		ოპორტუნისტული ინფექციები
Morbillivirus	ვირუსი		<>		

როგორც ვხედავთ, წარმოდგენილი ბაქტერიებიდან მაქსიმალური სიგრძით (3–10  $\mu\text{m}$ ) ხასიათდება Bacillus anthracis, ხოლო მინიმალური დიამეტრი გააჩნიათ ვირუსებს: Echovirus – 0,028  $\mu\text{m}$  და Coxsackievirus – 0,027  $\mu\text{m}$ . აღნიშნული ზომების გათვალისწინებით უნდა განხორციელდეს მემბრანული გაყოფის მეთოდის შერჩევა.

მემბრანული გაყოფის პროცესის მეთოდის შერჩევასათვის უნდა გავითვალისწინოთ ამა თუ იმ მეთოდის გაყოფის შესაძლებლობები და იმ ნაწილაკების ზომები, რომელთა გამოყოფაც გვინტერესებს. ცნობილია, რომ მემბრანული გაყოფის ძირითადი მეთოდებია მიკროფილტრაცია, ულტრაფილტრაცია, უკუოსმოსი, აორთქლება მემბრანის გავლით, დიალიზი, ელექტროდიალიზი და აირების დიფუზური გაყოფა. გამოყოფილი ნაწილაკების ზომების მიხედვით აღნიშნული პროცესები შემდეგნაირად არის განაწილებული (იხ. ნახ. 1).

შესაბამისად შეიძლება ითქვას, რომ თუ წინასწარ ცნობილია გასაფილტრი სითხიდან მოსაცილებელი მიკროორგანიზმების სახეობა და ზომები, მაშინ შეგვიძლია 1-ელ ნახ-ზე წარმოდგენილი მონაცემების დახმარებით შევირჩიოთ ამ მიკროორგანიზმების მოცილების ყველაზე ოპტიმალური მეთოდი. ხოლო თუ კვების თხევადი პროდუქტის დამაბინძურებელი მიკროორგანიზმების სახეობა წინასწარ ცნობილი არაა, მაშინ ყველაზე მისაღები იქნება ამ პროდუქტის მემბრანული დამუშავება უკუოსმოსის მეთოდით.

კვების თხევადი პროდუქტების ცივად გაუზნებლობის მიზნით შექმნილია მემბრანული აპარატის ახალი კონსტრუქცია, რომელიც ცნობილი მემბრანული აპარატებისაგან განსხვავებით ხასიათდება მუშაობის მაღალი ეფექტურობითა და დაყოფის მაღალი ხარისხით.

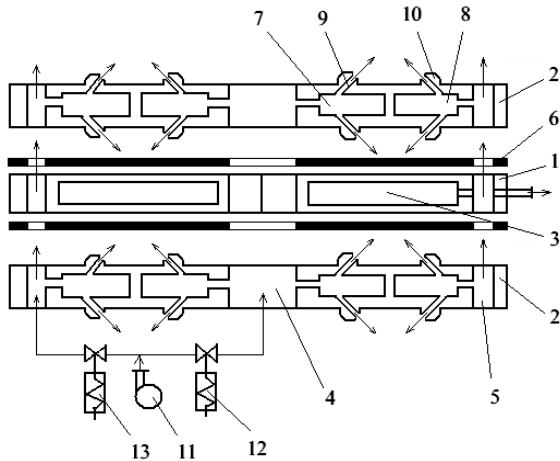


ნახ. 1. სხვადასხვა მემბრანული მეთოდების გამოყენებით მიღწეული ნარეუთა გაყოფის განმსაზღვრელი ზომები

მემბრანული აპარატი (ნახ. 2) შეიცავს წრიული ფორმის დრენაჟის ფუძეებს 1 და დისკოს 2 სახით შესრულებულ შუალედურ ელემენტებს, რომლებიც ერთმანეთის მონაცვლეობით არის განლაგებული ზედა და ქვედა მილტუნებს შორის. მილტუნები ერთმანეთთან მიმართველი ღეროთი არის დაკავშირებული. დრენაჟის ფუძეს 1 გააჩნია რადიალური არხები 3 და ცენტრალური გადადინების არხი 4, აგრეთვე პერიფერიულ ნაწილში განლაგებული ნახვრეტები 5. დრენაჟის ფუძის 1 ორივე ტორსულ ზედაპირზე განლაგებულია მემბრანებისაგან 6 შემდგარი მფილტრავი მოდულები.

შუალედური ელემენტების დისკოებს 2 გააჩნია ცენტრალური გადადინების არხი და პერიფერიული ნახვრეტები, რომლებიც თანმხვედრია დრენაჟის ფუძის შესაბამისი ნახვრეტებისა. დისკოების 2 ორივე მხარეს განლაგებულია წრიული სატურბულიზაციო რიფები, რომლებიც დადარულ ზედაპირებს ქმნის. აღნიშნული დადარული ზედაპირები მემბრანებთან 6 ქმნის მუშა კამერებს. დისკოების 2 შიგა არეში შესრულებულია ორი სიღრმე 7 და 8, რომელთაგან ერთი დაკავშირებულია ცენტრალური გადადინების არხთან 4, ხოლო მეორე – პერიფერიულ

ნახვრეტებთან 5. დისკოების 2 გარე ზედაპირებზე ჭადრაკულად განლაგებულია შვერილები 9 და 10, რომლებიც ვერტიკალური არხებით დაკავშირებულია შესაბამის სიღრუეებთან 7, 8. შვერილების 9, 10 გამოსასვლელი ნახვრეტები ურთიერთმართობულადაა განლაგებული.



ნახ. 2. მემბრანული აპარატის პრინციპული სქემა

ქვედა მილტუნის გავლით ცენტრალური გადადინების არხსა 4 და პერიფერიულ ნახვრეტებში 5 მიეწოდება დასაყოფი სითხის ძირითადი და დამატებითი ნაკადები, ხოლო ზედა მილტუნის გავლით აპარატიდან ხდება კონცენტრატის გამოყოფა.

გასაფილტრი სითხის აპარატში მისაწოდებლად გამოყენებულია ტუმბო 11, რომელიც სითხის აპარატში შემყვან შტუცვრებთან დაკავშირებულია სითხის წნევის მარეგულირებელი დროსელების 12 და 13 დახმარებით.

მემბრანული აპარატი შემდგენიარად მუშაობს.

აპარატს მიეწოდება დასაყოფი სითხის ძირითადი და დამატებითი ნაკადები, რომლებიც მოხვედება დრენაჟის ფუძეების 1 და დისკოების 2 ცენტრალური გადადინების არხსა 4 და პერიფერიულ ნახვრეტებში 5 და მთლიანად შეავსებს აღნიშნულ არეებს. რადგან ამ ნაკადებს სხვა გამოსავალი არ აქვთ, ამიტომ წნევის ზემოქმედებით სითხე აღნიშნული არეებიდან შედის დისკოების 2 შიგნით შესრულებულ სიღრუეებში 7, 8 რადიალური ხვრელების გავლით. აღნიშნული სიღრუეებიდან სითხის ნაკადები შვერილების 9, 10 გავლით გამოიწნეხება დრენაჟის ფუძეებსა 1 და დისკოებს 2 შორის არსებულ მუშა არეებში. ამგვარად, დრენაჟის ფუძეებსა 1 და დისკოებს 2 შორის არსებულ მუშა არეებში ხდება დასაყოფი სითხის ორი ნაკადის ერთდროული გამოწნეხა შვერილების გავლით, რომელთა ღერძები ურ-

თიერთმართობულია და რომლებიც დისკოების 2 ზედაპირებზე განლაგებულია ჭადრაკულად. ეს განაპირობებს დასაყოფი სითხის ნაკადების მნიშვნელოვან ტურბულიზაციას უშუალოდ გამოყოფი მემბრანების 6 ზედაპირზე. ამასთან, აპარატში სითხის შემომყვანი არხების შტუცვრები მკვებავ ტუმბოსთან 11 დაკავშირებულია სითხის წნევის მარეგულირებელი დროსელების 14 და 15 გავლით. აღნიშნული დროსელები მათში გავალი სითხის წნევის განუწყვეტელ ცვლილებას ისე აწარმოებს, რომ პერიოდულად ხან სითხის ძირითადი ნაკადის წნევა სჭარბობს დამატებითი ნაკადის წნევას, ხან პირიქით და ზოგჯერ ეს წნევები ერთმანეთის ტოლია. ამის გამო, სითხის გამოყოფი მემბრანების 6 ზედაპირზე გამოიცილებულია დასაყოფი სითხის ნაკადის სტაბილური, დამყარებული, ლამინარული რეჟიმის არსებობა. აქ ადგილი აქვს ტურბულენტური რეჟიმის მუდმივ შენარჩუნებას, რაც ამადლებს მემბრანული აპარატის მუშაობის ეფექტურობას და სითხის დაყოფის ხარისხს. დასაყოფი სითხე მოძრაობს მემბრანების 6 გასწვრივ, სადაც ხდება აღნიშნული სითხიდან ფილტრატის გამოყოფა. ფილტრატი გაივლის მემბრანას 6, დრენაჟის ფუძის 1 პერფორაციას და მოხვედება დრენაჟის ფუძის 1 შიგა მოცულობაში 3, საიდანაც გამოიტანება რადიალური არხების საშუალებით. მემბრანაში 6 გაუსვლელი სითხის ნაწილი – კონცენტრატი – კი გადაადგილებისას განიცდის დამატებით ტურბულიზაციას დისკოების 2 წრიულ სატურბულიზაციო რიფებზე, რითაც იქმნება მისი გაფილტვრის პროცესის გაუმჯობესების საშუალება. საბოლოოდ დარჩენილი კონცენტრატი მიაღწევს ზედა მილტუნში არსებულ სითხის გამომყვან არხამდე და აქ არსებული შტუცვრის გავლით გამოიყვანება აპარატიდან.

### 3. დასკვნა

წარმოდგენილ კონსტრუქციაში შენარჩუნებულია არსებულ მემბრანულ აპარატებში გამოყენებული სატურბულიზაციო რიფებისათვის დამახასიათებელი დასაყოფი სითხის ტურბულიზაციის ეფექტი. მაგრამ, მათგან განსხვავებით, წარმოდგენილ მემბრანულ აპარატში ხორციელდება დასაყოფი სითხის დამატებითი ტურბულიზაცია დისკოების შვერილების გავლით მუშა არეში დასაყოფი სითხის ორი სხვადასხვა ნაკადის გამოწნეხის ხარჯზე, რომლებიც ურთიერთმართობულად არის მიმართული. ამასთან, ტურბულიზაციის ეფექტის გაძლიერებას ხელს უწყობს აღნიშნული ორი ნაკადის წნევათა განუწყვეტელი ცვლილება. ინტენსიური ტურბულიზაცია კი ხელს უწყობს აპარატის მუშაობის



ეფექტურობისა და სითხის დაყოფის ხარისხის ამაღლებას.

წარმოდგენილი ახალი მემბრანული აპარატი შესაძლებლობას იძლევა განხორციელებულ იქნეს მემბრანული გაყოფის ნებისმიერი მეთოდი.

### ლიტერატურა

1. თ. კორძაია, თ. მეგრელიძე, ვ. ღვაწლიანი, ლ. გუგულაშვილი, გ. მეგრელიძე, თ. ღვაწლიანი, გ. გუგულაშვილი. კვების პროდუქტების შენახვის ხერხი. საპატენტო სიგელი № GE P 5065 B. 10.08.2010 წ. კლასი A 01 F 25/00.
2. ვ. ღვაწლიანი, გ. გუგულაშვილი, თ. ღვაწლიანი. ფილტრების მუშაობის ეფექტურობის ამაღლების საშუალებათა კვლევა // საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის “სურსათის უვნებლობის პრობლემები“ შრომათა კრებული. თბილისი, 2009 წ. 273-277 გვ.
3. Бибилейшвили В.И., Чиабришвили В.И., Пачулия М.Ш., Гвачлиანი В.В., Гугулашвили Г.Л. Фильтр для очистки жидкостей. А.с.СССР № 1667896, БИ, № 29, 1991 г. МКИ В 01 Д 29/66.
4. Бибилейшвили В.И., Гвачлиანი В.В., Пачулия М.Ш., Зугакишвили Р.И., Монаселидзе З.Ш., Гугулашвили Г.Л. Мембранный аппарат. А.с.СССР № 1400637, БИ, № 21, 1988 г. МКИ В 01 Д 13/00.
5. Бибилейшвили В.И., Пачулия М.Ш., Гвачлиანი В.В., Гугулашвили Г.Л. Обратносмотический аппарат для концентрирования экстракта чая // Чай. Реф. сб. ГрузНИИНТИ. Тбилиси, 1986 г., № 3 (73).
6. ი. გუგულაშვილი, კ. კორძაია, ლ. გუგულაშვილი, გ. გუგულაშვილი. მემბრანული აპარატი. საქართველოს პატენტი № GE 1521 B, კლ. В 01 D 61/00, 1997.11.03. ბიულ. № 13.

UDC 351.773

## NEW MEMBRANE APPARATUS FOR THE NEUTRALIZATION OF LIQUID FOOD PRODUCTS

T. Megrelidze, Z. Japaridze, E. Sadagashvili, G. Gugulashvili

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

**Resume:** There is questioned the need for decontamination of food products. There is considered the problems of decontamination of liquid food products, and indicates the types and sizes of harmful microorganisms, which removal is necessary for safe products. The design of the new membrane system, in which the additional turbulence of fluid shared by the formation of two directed perpendicular to each other flows of the original liquid. Intense turbulence promotes more efficient operation of the device and increase the degree of fluid.

**Key words:** liquide; food; micro-organisms; membrane; turbulence.

УДК 351.773

## НОВЫЙ МЕМБРАННЫЙ АППАРАТ ДЛЯ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ЖИДКИХ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

Мегрелидзе Т.И., Джапаридзе З.Ш., Садагашвили Э.З., Гугулашвили Г.Л.

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

**Резюме:** Поставлен вопрос о необходимости обезвреживания пищевых продуктов. Рассмотрены проблемы обезвреживания жидких пищевых продуктов и указаны виды и размеры вредных микроорганизмов, удаление которых необходимо для получения безопасных продуктов. Представлена конструкция нового мембранного аппарата, в котором осуществляется дополнительная турбулизация разделяемой жидкости за счет образования двух, направленных перпендикулярно друг к другу, потоков исходной жидкости. Интенсивная турбулизация способствует повышению эффективности работы аппарата и увеличению степени разделения жидкости.

**Ключевые слова:** жидкость; продукты; микроорганизмы; мембрана; турбулизация.

მიღებულია დასაბუქდად 15.02.2013

**შპს 621.935**

**ლენტური ხერხების რხევების ბანსაზღვრა**

**ხ. ჩიტიძე, ი. გელაშვილი\*, ვ. კანდელაკი, მ. ჩიტიძე**

სატყეო-ტექნიკური დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, კოსტავას 77

E-mail: igor.gelashvili@yahoo.com

**რეზიუმე:** განსაზღვრულია ლენტური ხერხის რტყელას რხევის დამოკიდებულება ჭრის სიჩქარეზე აბსოლუტურ განზომილებაში, განსაზღვრულია ლენტური ხერხის რხევის სიდიდის დამოკიდებულება ჭრის სიჩქარეზე ფარდობით განზომილებაში. მიღებულია „2 – V“ დამოკიდებულებების გრაფიკები სხვადასხვა ჭრის სიმაღლეზე მერქანბურბუშელოვანი ფილების ხერხვისას ლენტური ხერხებით, რომლის კბილები აღჭურვილია სწრაფმჭრელ ფოლადის ფირფიტებით.

**საკვანძო სიტყვები:** ლენტური ხერხების რხევა; ჭრის სიჩქარე; ჭრის სიმაღლე; დამოკიდებულებების გრაფიკები.

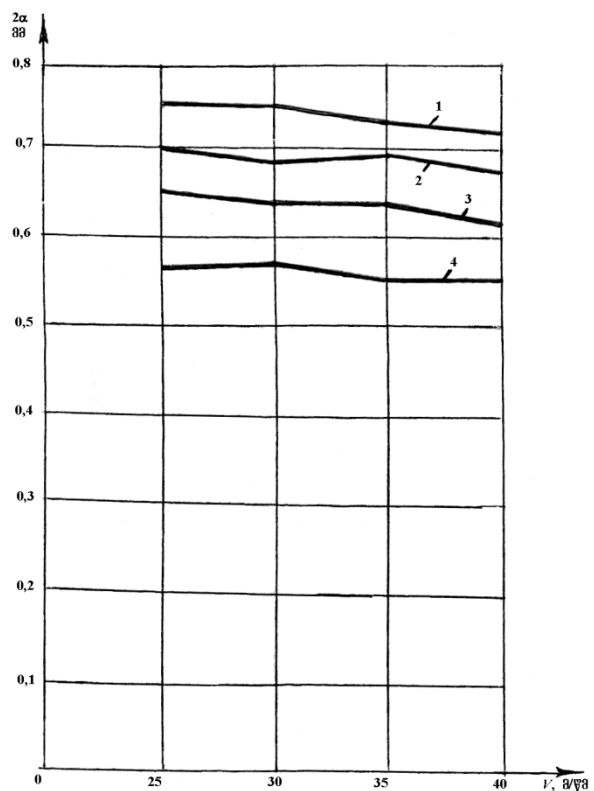
**1. შესავალი**

მერქნის და მერქნული კომპოზიციური მასალების ხერხვის დროს ლენტური ხერხის რტყელა გადაიხრება თავისი გეომეტრიული ტრაექტორიიდან და ახორციელებს რხევით მოძრაობას, რომელიც გამოწვეულია სხვადასხვა მიზეზით და განსხვავდება როგორც თავისი ფიზიკური ბუნებით, ასევე მათემატიკური მოდელებით, რაც აუცილებელს ხდის რხევის პროცესების მართვის და კვლევის სხვადასხვა მეთოდის გამოყენებას. საერთო ჯამში ლენტური ხერხის რხევითი მოძრაობის ბუნება შეიძლება დავეთვათ ორ მდგენელად, პირველ შემთხვევაში ლენტური ხერხის რხევითი პროცესი დამოკიდებულია მერქნული მასალების ხერხვის პროცესზე, მეორე შემთხვევაში დამოკიდებულია ჩარხის და მისი აგრეგატების დინამიკაზე. მაშასადამე, ლენტური ხერხის რხევითი მოძრაობის წყარო პირველ შემთხვევაში არის ჭრის ძალები ანუ რეჟიმული პარამეტრები, ხოლო მეორე შემთხვევაში ჩარხის ამძრავი და ყველა მოძრავი ელემენტები.

**2. ძირითადი ნაწილი**

მჭრელი ინსტრუმენტის ვიბრაციის კვლევის მიზანია შევისწავლოთ თუ რა გავლენას ახდენს

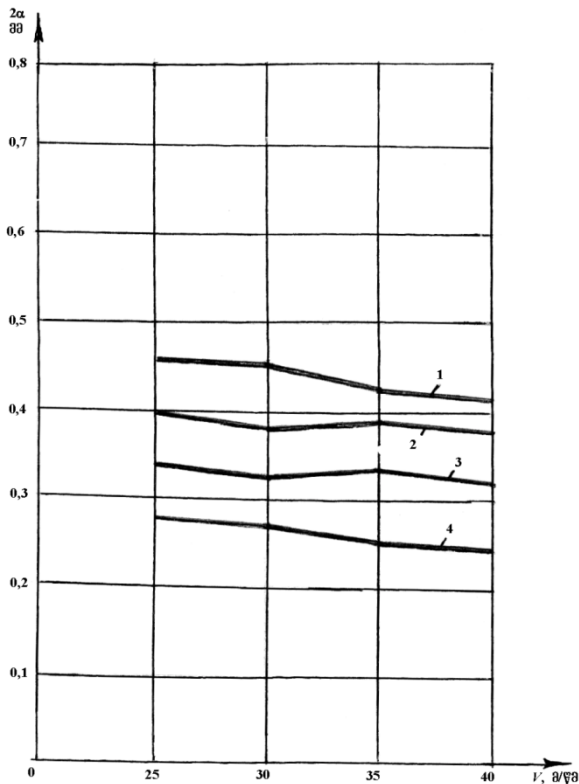
მასზე სხვადასხვა ჭრის რეჟიმები, რომელიც მჭიდრო კორელაციაშია ხერხის რტყელას რხევასთან და დამუშავებული ზედაპირის სისუფთავესთან.



**ნახ. 1.** ხერხის რტყელას რხევის  $2\alpha$  დამოკიდებულება ჭრის სიჩქარეზე  $V$  მ/წმ აბსოლუტურ გაზომვაში (კრონშტეინი გადამწოდებით ბაზირდება მასიური ბეტონის კედელზე); ლენტური ხერხის კბილები არმირებულია P6M5 სწრაფმჭრელი ფოლადის, ფირფიტებით, დასამუშავებელი მასალა – მერქანბურბუშელოვანი ფილა, მიწოდების სიჩქარე  $U = 16$  მ/წთ; ჭრის სიმაღლე: 1 –  $h = 16$  მმ; 2 –  $h = 32$  მმ; 3 –  $h = 48$  მმ;  $h = 64$  მმ

ზემოაღნიშნული მიზნის მისაღწევად იყო დაპროექტებული და დამზადებული ლენტური ხერხების ვიბრაციის გასაზომი ხელსაწყო, დიფერენციალური ტევადობითი გადამწოდების გამოყენებით. აღრინდელი ვიბრაციის გამზომი მოწყობილობები, რომლებიც იყო აღჭურვილი მაგნიტური

გადამწოდებით არის ინერციული და არ ასახავს რხევის პროცესის რეალურ სურათს.



ნახ. 2. ხერხის რტყელას რხევის  $2\alpha$  დამოკიდებულება ჭრის სიჩქარეზე ფარდობითი განზომილებაში (კრონშტეინი გადამწოდებით ბაზირდება ჩარხის მაგიდაზე); ლენტური ხერხის კბილები არმირებულია P6M5 სწრაფმჭრელი ფოლადის, ფირფიტებით, დასამუშავებელი მასალა – მერქანბურბუშელოვანი ფილა, მიწოდების სიჩქარე  $U = 16$  მ/წმ; ჭრის სიმაღლე: 1 –  $h = 16$  მმ; 2 –  $h = 32$  მმ; 3 –  $h = 48$  მმ; 4 –  $h = 64$  მმ

ექსპერიმენტები იყო ჩატარებული LC-80 ტიპის ლენტსახერხ ჩარხზე. ჭრის სიჩქარის და მიწოდების სიჩქარის უსაფეხურო რეგულირების მიზნით ზემოაღნიშნული ჩარხი იყო მოდერნიზირებული და მას გააჩნია ტერისტორული მართვა.

ჩარხის წამყვანი ღვედის ბრუნთა სიხშირის ვარირება შესაძლებელია შემდეგ ფარგლებში:  $n = 100 \div 1000$  ბრ/წმ; მაგიდის მიწოდების სიჩქარე:  $U = 5 \div 35$  მ/წმ.

P6M5 სწრაფმჭრელი ფოლადის ფირფიტებით აღჭურვილი ლენტური ხერხის მჭრელი პირის გეომეტრიული პარამეტრები შემდეგია: 1) წინა კუთხე  $\gamma = 25^\circ \pm 2^\circ$ ; 2) უკანა კუთხე  $\alpha = 20^\circ$ ; 3) ალესვის კუთხე  $\beta = 45^\circ \pm 2^\circ$ ; 4) კბილის სიმაღლე  $h = 5$  მმ. 5) კბილთა შორის ბიჯი  $t = 7$

მმ; 6) ხერხის სიგანე  $B = 40$  მმ; 7) ხერხის სისქე  $S = 0,8$  მმ. ჩატარებული ექსპერიმენტების შედეგების საფუძველზე აგებულია გრაფიკული დამოკიდებულება ლენტური ხერხის რხევისა  $2\alpha$  ჭრის სიჩქარისაგან მ/წმ დამოკიდებულებით.

ექსპერიმენტების ჩატარებისას პირველ შემთხვევაში ვიწერდით ლენტური ხერხის აბსოლუტურ ვიბრაციას უძრავი საყრდენის მიმართ. ამ შემთხვევაში კრონშტეინი გადამწოდებით იყო დამაგრებული ბეტონის მასიურ კედელზე.

მეორე შემთხვევაში ვიწერდით ლენტური ხერხის ფარდობით ვიბრაციას ჩარხის მაგიდის მიმართ. 1-ელ ნახ-ზე მოცემულია ლენტური ხერხის რხევის დამოკიდებულება ჭრის სიჩქარეზე აბსოლუტურ განზომილებაში; მე-2 ნახ-ზე მოცემულია ლენტური ხერხის რტყელას რხევის დამოკიდებულება ჭრის სიჩქარეზე ფარდობით განზომილებაში.

### 3. დასკვნა

უამრავ ფაქტორებს შორის, რომლებიც გავლენას ახდენს დამუშავებული ზედაპირის ხარისხზე და სისუფთავეზე ერთ-ერთი ყველაზე გავლენიანი ფაქტორია მჭრელი ინსტრუმენტის რხევები. ჩატარებული კვლევის შედეგები გვიჩვენებს, რომ ჭრის სიჩქარის ზრდასთან ერთად მჭრელი ინსტრუმენტის რხევები მცირდება, ამასთანავე ჭრის სიმაღლის ზრდასთან ერთად ხერხის რხევა მცირდება. რადგანაც იზრდება ინსტრუმენტის რხევების განივი შეზღუდვა. მაშასადამე ჭრის სიჩქარის ამაღლებით და სპეციალური სამარჯვების გამოყენებით შესაძლებელია ლენტური ხერხის რხევა დაყვანილი იყოს მინიმუმამდე და ამასთანავე გაზრდილი დამუშავებული ზედაპირის სიზუსტე და ხარისხი.

### ლიტერატურა

1. Читидзе З.Д. Эффективные методы обработки древесных материалов. Тбилиси: Технический университет, 2006.
2. თ. მჭელიშვილი, ზ. ბალამწარაშვილი, ზ. ჩიტიდე. ჩარხების დინამიკა. თბილისი: საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 2008.
3. ზ. ჩიტიდე, ი. გელაშვილი, თ. მჭელიშვილი. დისკური და ლენტური ხერხის განივი გადახრის გამზომი მოწყობილობა. საქართველოს პატენტი № 1165 20.02.2004.

---

**UDC 621.935****DEFINITION OF BAND-SAW OSCILLATIONS****Z. Chitidze, I. Gelashvili, V. Kandelaki, M. Chitidze**

Forest-technical department, Georgian Technical University, 77, Kostava str, Tbilisi, 0175, Georgia

**Resume:** There is defined the dependency of band - saw blade from sawing rate in absolute measurement, there is defined the dependency of band-saw oscillations value from sawing rate in relative measurement. There is obtained the dependency diagrams of “ $2\alpha-V$ ” on the various cutting depth, at the sawing of wood chipboard by band- saws with tooth equipped by plates from high-speed steel.

**Key words:** band -saw oscillations; cutting rate; cutting height; dependency diagrams.

---

**УДК 621.935****ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛЕБАНИЙ ЛЕНТОЧНЫХ ПИЛ****Читидзе З.Д., Гелашвили И.Н., Канделаки В.Э., Читидзе М.З.**

Лесотехнический департамент, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. Костава, 77

**Резюме:** Определены зависимость колебания полотна ленточной пилы от скорости резания в абсолютном измерении и зависимость величины колебания ленточной пилы от скорости резания в относительном измерении.

Получены графики зависимостей “ $2\alpha-V$ ” на разных высотах пропила, при пилении древесно-стружечных плит ленточными пилами с зубьями, оснащенными пластинками из быстрорежущей стали.

**Ключевые слова:** колебания ленточной пилы; скорость резания; высота пропила; графики зависимостей.

---

*მიღებულია დასაბუჯდად 25.03.2013*

**УДК 621.93****ЧИСТОТА ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ РАСПИЛОВКЕ ДРЕВЕСНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ****З.Д. Читидзе, И.Н. Гелашвили\*, В.Э. Канделаки, М.З. Читидзе, В.В. Абаишвили**

Лесотехнический департамент, Грузинский технический университет, Грузия, 0175, Тбилиси, ул. Костава 77

E-mail: igor.gelashvili@yahoo.com

---

**Резюме:** В статье дана методика определения чистоты обработанной поверхности, проведены исследования, определяющие зависимость чистоты об-

работанной поверхности от режимов обработки; построены графики зависимости толщины стружки от режимов обработки, определена допустимая чистота обработанной поверхности.

**Ключевые слова:** чистота обработанной поверхности; режимы резания; толщина стружки; графики зависимости; ленточное пиление; композиционные материалы.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Качество механической обработки определяется точностью размеров и форм детали, а также чистотой обработанной поверхности. В результате распиловки древесных композиционных материалов поверхность обработки должна удовлетворять определенным требованиям точности и чистоты, что является определяющим в технологии обработки материалов.

Точность и чистота распиловки на ленточнопильных станках зависит от многих факторов: изношенности станка и его агрегатов; правильности подготовки полотна пильной ленты, ширины плющения или развода зубьев; угловых параметров; скорости подачи; скорости резания, типа регулирования направляющих полотен пил и т.д.

### 2. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Целью настоящей работы является изучение влияния режимных факторов на величину толщины стружки и в конечном счете на чистоту обработанной поверхности при распиловке композиционных материалов ленточными пилами с зубьями, армированными пластинами быстрорежущей стали марки Р6М5.

Эксперименты проводились на ленточнопильном станке марки ЛС80 с автоматической подачей заготовки, при промышленных скоростях подачи 5 м/мин; 10 м/мин; 16 м/мин и 32 м/мин. Скорость резания также регулировалась автоматически интервалом 5 м/сек, а именно на скоростях 25 м/сек; 30 м/сек; 35 м/с и 40 м/с. В качестве обрабатываемого материала были выбраны образцы композиционных древесных материалов толщиной 16 мм и удельной плотностью 0,7-0,8 г/см<sup>3</sup>.

Технологический процесс производства ДСП (древесно-стружечные плиты), MDF (древесно-волоконистая мелкодисперсная фракция) и других композиционных материалов включает операции раскроя плит по формату и ламинирования обрезанной боковой поверхности ленточным кантом. Поэтому поверхность обработки обязательно должна удовлетворять определенным требованиям как точности обработки, так и чистоты, к которой относится мелкая волнистость, шероховатость, риски и вырывы.

Для определения чистоты поверхности использовались микроскопы ТСП-4 и МИС 11.

Пределы измерения прибора ТСП-4 в микронах 60-1600. Увеличение окулярного винтового микрометра 1-15<sup>x</sup>. Данный прибор основан на принципе получения профиля поверхности методом теневого сечения неровности (тень от ножа) и измерения длины тени. На рис. 1 показана схема прибора ТСП-4.

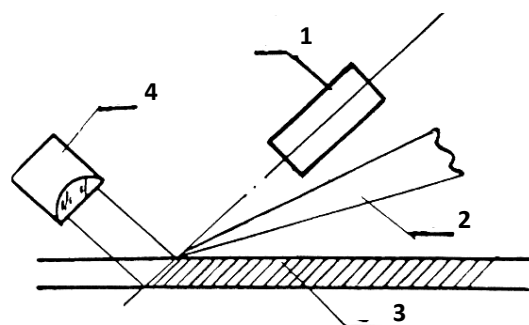


Рис. 1. Схема прибора:

1 – осветитель; 2 – нож; 3 – поверхность; 4 – микроскоп

На пути параллельного пучка света, выходящего из ответителя 1, помещается нож 2 с острым прямолинейным лезвием на наибольшую неровность поверхности 3. Профиль неровности (тень) рассматривается через микроскоп наблюдения 4.

Чистота поверхности при ленточном пиении должна укладываться в микронах в пределах 100-200  $R_{m\max}$  (см. таблицу).

**Таблица определения класса чистоты обработанной поверхности по средней толщине стружки**

$R_{m\max}$ мкм (не более)	Толщина стружки	
	$e_{\Delta}$ мм	$e_{\lambda}$ мм
1250-1600	до 2-2,5	1,4-1,8
800-1250	до 2-2,5	1,4-1,8
500-800	до 1,5-2,0	1,0-1,2
315-500	до 1,0-1,2	0,65-0,8
200-315	до 0,6-0,8	0,4-0,55
100-200	до 0,3-0,4	0,2-0,25
60-100	до 0,15	0,15-0,2

Примечание:  $e_{\Delta}$  мм – толщина стружки, полученная при распиловке ленточными пилами с плющенными зубьями  $e_{\Delta} = U_{z_{\Delta}} \sin \theta$ ;  $e_{\lambda}$  – толщина стружки, полученная при распиловке ленточными пилами с разведенными зубьями  $e_{\lambda} = \frac{b}{S} U_{z_{\Delta}} \sin \theta$ .

По данной таблице и рис. 2 можно определить чистоту обработанной поверхности по средней толщине стружки.

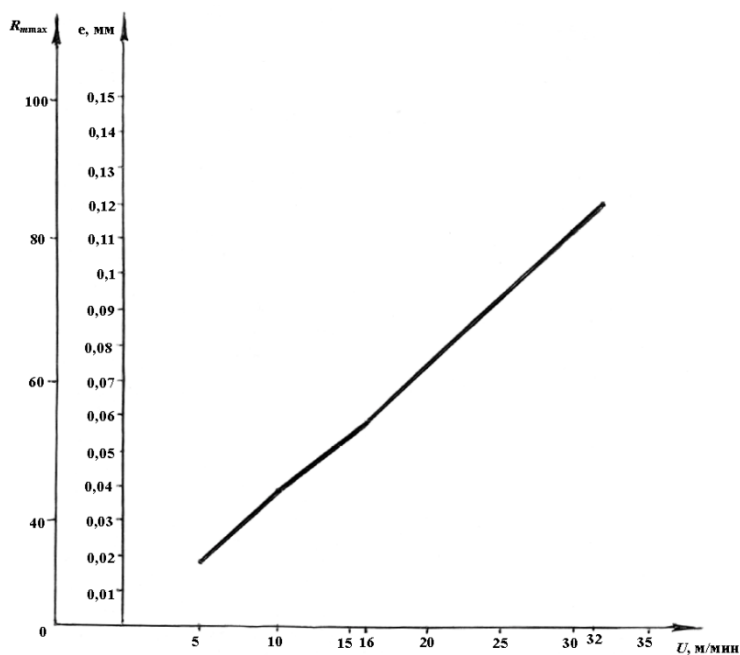


Рис. 2. Графики зависимости  $R_{m\max}$  толщины стружки  $e$  мм от скорости подачи  $U$  м/мин (обрабатываемый материал ДСП; инструмент – ленточная пила с зубьями из быстрорежущей стали Р6М5)

$$R_{m\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n H_{\max}$$

$$U = \frac{U_z \cdot z \cdot n}{1000} \text{ м/мин}$$

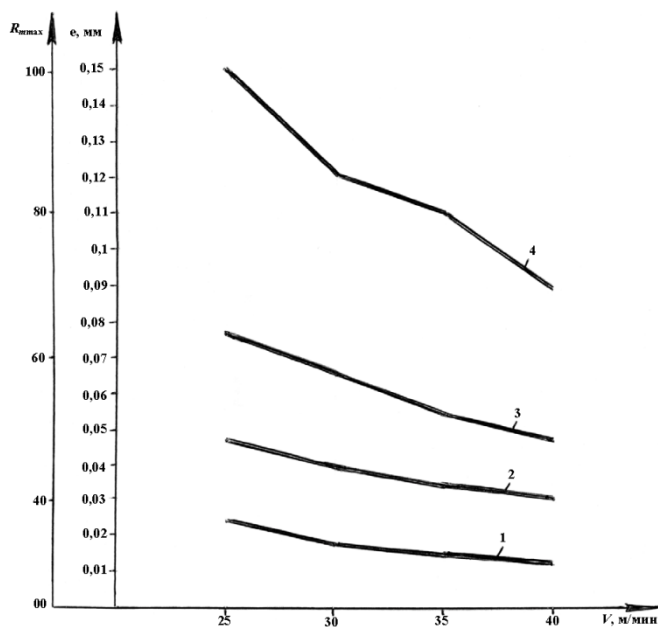


Рис. 3. Графики зависимости  $R_{m\max}$  толщины стружки  $e$  мм от скорости подачи  $U$  м/с при 1 – м/мин; 2 –  $U = 10$  м/мин; 3 –  $U = 16$  м/мин; 4 –  $U = 32$  м/мин (обрабатываемый материал ДСП; инструмент – ленточная пила с зубьями из быстрорежущей стали Р6М5)

$$U = \frac{U_z z n}{1000} \text{ м/мин}$$

Ниже приведены графики зависимости чистоты поверхности  $R_{m\max}$  и толщины стружки от скорости подачи и от скорости резания.

рости резания стабилизирует процесс распиловки, что в конечном счете также повышает точность и чистоту обработки.

### 3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Точность и чистота ленточного пиления композиционных материалов зависят от множества факторов. Наиболее существенными являются скорость резания и скорость подачи. Следует иметь в виду, что небольшое уменьшение скорости подачи резко увеличивает устойчивость пилы и, следовательно, чистоту и точность распиловки. С другой стороны, увеличение ско-

### ЛИТЕРАТУРА

1. Читидзе З.Д. Эффективные методы обработки древесных материалов. Тбилиси: Технический университет, 2006.
2. თ. მჭედლიშვილი, ზ. ბალამწარაშვილი, ზ. ჩიტიდე. ჩარხების დინამიკა. თბილისი: საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 2008.

### შპს 621.93

## დამუშავებული ზედაპირის სისუფთავე მერქნული კომპოზიციური მასალების დახერხვისას

ზ. ჩიტიდე, ი. გელაშვილი, ვ. კანდელაკი, მ. ჩიტიდე, ვ. აბაიშვილი

სატყეო-ტექნიკური დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, კოსტავას 77

**რეზიუმე:** სტატიაში მოცემულია დამუშავებული ზედაპირის სისუფთავის განსაზღვრის მეთოდოლოგია, ჩატარებულია კვლევები, რომლებიც განსაზღვრავს დამუშავებული ზედაპირის სისუფთავის დამოკიდებულებას ჭრის რეჟიმებზე, აგებულია დამოკიდებულების გრაფიკები ბურბუშელას სისქისა და ჭრის რეჟიმებისა, განსაზღვრულია დამუშავებული ზედაპირის დასაშვები სისუფთავე.

**საკვანძო სიტყვები:** დამუშავებულია ზედაპირის სისუფთავე, ჭრის რეჟიმები, ბურბუშელას სისქე, დამოკიდებულების გრაფიკები, ლენტური ხეხვა, კომპოზიციური მასალები.

### UDC 621.93

## PROCESSED SURFACE CONDITION AT SAWING OF TIMBER COMPOSITE MATERIALS

Z. Chitidze, I. Gelashvili, V. Kandelaki, M. Chitidze, V. Abaishvili

Forest-technical department, Georgian Technical University, 77, Kostava str, Tbilisi, 0175, Georgia

**Resume:** There is stated the method of definition processed surface condition, there are carried out the investigations defining the dependence of processed surface condition from production mode. There are constructed cuttings thickness-production mode diagrams. There are defined the allowable processed surface conditions.

**Key words:** processed surface cleanliness; production mode; cuttings thickness; dependency diagram; band-sawing; composite materials.

მიღებულია დასაბეჭდად 25.03.2013

# ԱՐԺՈՒՊԻՏՄԱՆ, ՄՐՅԱՆՈՆԻՏՈՒՄ ԵՎ ԶՈՅԱՅՈՒՆՆԵՐ ՆՍՏՐՈՒՄ

УДК 72

## ГРАЖДАНСКАЯ АРХИТЕКТУРА ГОСУДАРСТВЕННОГО ИСТОРИКО-КУЛЬТУРНОГО ЗАПОВЕДНИКА НАРДАРАН (ДВОРЦЫ И ЖИЛИЩНО-ХОЗЯЙСТВЕННЫЕ СТРОЕНИЯ)

**Р. Ш. Алиева**

Институт Архитектуры и Искусства Национальной Академии Наук Азербайджана

E-mail: rahibe\_eliyeva @ mail.ru

**Резюме:** Среди ценных средневековых гражданских сооружений Нардаранского заповедника особое внимание привлекает летняя резиденция Ширваншахов. Строительство этого сооружения относится к XIV-XV векам. В письменных источниках сообщается, что в Шахском саду имеется комплексное строение. Шахский дворец привлекает внимание лаконичным, геометрически правильным объемом, строгой архитектурной формой и четким размещением внутреннего пространства. Вблизи Шахского дворца также имеется Шахская баня, обслуживающая шаха.

В Нардаранском заповеднике широко распространены дома с дублой. Дома с дублой развились от простой плановой структуры до сложной, от 1-2 до 5-6 комнат. Важным элементом плановой композиции домов с дублой является помещение кухни. Площадь кухни была большая для сооружения тендира для печки хлеба, очага для подогревания еды и воды. Дома с дублой в Нардаране в зависимости от природных факторов были построены двухэтажными.

**Ключевые слова:** гражданские сооружения; дворец; дома с дублой; заповедник; Нардаран; жилые дома.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Жилые строения являются одним из первичных и важнейших потребностей человека. Жилые здания, входя в число основных объектов народной архитектуры, стали массовыми строениями городов и сел, воплотившими в себе вкусы и потребности народа. Эти архитектурные элементы, занявшие особое место в панораме заселения, служа фоном для общественных зданий, стали главным фактором в подчеркивании их масштаба. Они, как необходимые элементы жизни человека, отражают в себе образ жизни, традиции,

религиозное происхождение каждого народа. На основании всего этого можно говорить о целостной системе социально-философской мысли, переданной из поколения в поколение. Народные жилые здания, созданные единством материально-духовной и эстетической среды, как живой и изменчивый организм, постоянно расширялись строительством новых поселений в зависимости жизнедеятельности семьи, старые сносились и делались попытки приводить их в соответствие с темпом развития эпохи. Среди ценных исторических жилых строений Азербайджана особое внимание привлекает летняя резиденция Ширванских шахов.

### 2. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Летняя резиденция Ширванских шахов в Нардаране (селение на Абшероне) - ценный памятник средних веков, дошедший до нашего времени (см. рис.). Это летнее строение, расположенное примерно в 2-х километрах от побережья, на северо-восточном краю села, на высоком песчаном берегу, по своей объемно-пространственной структуре занимает главенствующую позицию среди окружающих его строений.



Летняя резиденция Ширваншахов (Ханская дача)  
в селе Нардаран



Благодаря побережному благоприятному климату Нардарана, стратегически значимому географическому пространству, близости оборонительной крепости XIII-XIV веков Ширванские шахи сочли именно данную местность годной для зоны отдыха. Думаю, данное строение, известное в народе как «Ханский сад» или «Ханская дача», правильнее было бы называть «Шахским садом». Отсутствие на летней резиденции, построенной в стиле Ширванско-Абшеронской архитектурной школы эпиграфической письменности, ее близость с дворцовым комплексом Ширванских шахов в «Ичери Шехер» по своему архитектурно-плановому решению, строительной технике и архитектонике, позволяет отнести данное строение к XIII-XIV векам. Если учитывать, что образование ханств на территории Северного Азербайджана приходится на XVII-XVIII века, тогда явление данного сада «Шахским садом» неопровержимо. В письменных источниках сообщается, что в «Шахском саде» имеются комплексные строения: несколько подсобных служебных комнат среди охватывающих их виноградников, бассейн и два водяных колодца. Наверное территория сада когда-то была охвачена оградой, обладая главным арочным входом. Вход фасада со стороны моря начинается стрельчатой главной аркой с глубокой нишей. Рама арки, выступая вперед по отношению к поверхности стены, заканчивается карнизом, окружающим здание. «Шахский дворец» освещен тремя четырехугольными оконными отверстиями на простых фасадах с ровной поверхностью с боков. Окна, расположенные перпендикулярно дверям, отличаются от других относительно большей площадью. Садовая постройка, в настоящее время лишенная дверей и окон, по сведениям, полученным от населения, в свое время была неотъемлемой частью окрестного ландшафта своими дверями и окнами, являвшимися прекрасным продуктом искусства декоративной резьбы, изготовленными из ореховой древесины.

Центр жилого помещения «Шахского дворца» завершается стрельчатым куполом. Такая кровельная система, свойственная религиозным строениям Абшеронского полуострова, с первого взгляда, как-бы делает резиденцию похожей на мечеть. Все фасады здания запоминаются простым решением без декора. Каменные желоба, регулируя поток осадков, придают фасаду относительную насыщенность. Архитектурно-плановая структура монументальной постройки имеет квадратную основу, каждая из сторон которой равна 14 м. Здание привлекает внимание лаконичным, геометрически правильным объемом, строгой архитектурной формой и четким разрешением внутреннего пространства. Плановое решение начинается с прохода через главную входную арку в зал квадратной основы. Четыре

камеры на углах зала придают ему крестообразную структуру. Такая плановая структура нашла свое решение в ряде мечетей Абшерона (мечеть Туба-Шахи в селении Мардакан – XIV век, мечеть Гаджи Рамазана в селении Гала - XVIII век, мечеть XVII века в селении Кешля, дворцовая мечеть Ширваншахов в Баку), перенявших многое от древних памятников Кавказской Албании. Такие мечети также характерны и широко распространены в северных регионах Азербайджана.

Двухэтажные камеры на углах «Шахского дворца», примыкая к одноэтажному залу, завершают его. Стрельчатые арочные входы в комнаты нашли решение на симметрических стрелах в интерьерной композиции здания. Угловые ниши покрыты небольшими куполами, опирающимися на тромпы. Купола над южными нишами устроены в восьмиугольной, а в северном направлении в круглой, ровной форме.

Зал привлекает внимание простым решением. Центральная кровельная система купольной конструкции держится благодаря усилиям простых сталактитов и четырех конструктивных несущих стрельчатых арок. Центральный круглый бассейн, создавая в интерьере умеренный оазис, по словам местного населения, играл роль входа в подземные тоннели, идущие в 3-х направлениях (к морю, к оборонительной крепости и к святылице).

По сообщениям таких путешественников, как Абд-ар Рашид Бакуви, Березина и т.д., дачные строения характерны для Абшеронского полуострова. Еще одно строение, именуемое «Ханский сад», зафиксировано в селении Бузовна. Когда путешественник И.Н.Березин побывал в Баку в 1842 году, то сообщил о наличии в Бузовне вместе с дворцом ханского сад, и назвал данный квартал «Ханским кварталом». Но, по исследованиям доктора архитектуры, профессора Ш.С. Фатуллаева, данная дача принадлежала не Ширванским шахам, а именно прадеду выдающегося деятеля Азербайджана Аббас-Гулу ага Бакиханова - Мирзе Магомед хану, являвшемуся одним из бакинских ханов XVIII века.

Летние резиденции, построенные состоятельными людьми в Абшеронском полуострове, получили более широкое распространение в конце XIX – начале XX веков за счет нефтемиллионеров. Несмотря на то, что данные виллы, возникшие на основе синтеза европейской и восточной архитектуры и обладающие интерьерами с богатым декором прошли большой путь развития по своей архитектурно-плановой структуре, конструкции и технике строительства, летнее строение Ширванских шахов в Нардаране своей простотой и величием выделяется среди дачных резиденций Абшерона.

Вблизи «Шахского дворца» также размещается «Шахская баня», обслуживающая шаха. Баня, принадле-

жавшая к типу гражданских строений средних веков, построена ниже поверхности земли и обладает большим объемно-пространственным решением. При исследовании строения, внутренность и поверхность которого в настоящее время покрыта песком, обнаружено несколько куполов и вход в баню. Несмотря на то, что данная баня указана в монографии «История азербайджанской архитектуры», изданной под редакцией М.Гусейнова, Л.Бретаницкого, А.В. Саламзаде, как строение однокамерной структуры с прорезом, соглашаться с однокамерным решением данной бани невозможно.

Некоторые строения летней резиденции Ширваншахов в селении Нардаран, не дошедших до наших времен, построены в комплексной форме. Эта дача является одним из образцом воплощения могущества и мощи правящих кругов своей эпохи.

Первичные народные бытовые и хозяйственные строения села Нардаран построены в северо-восточной части современного села, в древнем квартале «Пачан», где расположена летняя резиденция Ширваншахов. В книге ученого-исследователя И.Азимбекова «Нардаран и его древняя история» отмечено, что данная географическая местность поселения более древняя. Сильный ветер Хазри, перемещая слои песка в том или ином направлении, покрыл строения песчаниками, ветер открывал и покрывал те или иные строения время от времени песком. Население, поняв, что местность неблагоприятна для жизни, поселилось в современной северо-западной части селения.

В настоящее время территория древнего селения сильно нуждается в археологических раскопках. История местности «Галагах» («Скала надежды») в восточной части селения уходит к периоду первых поселений Гобустана на Абшероне. Ученый-историк С. Ашурбейли назвал данную местность самой древней территорией Абшерона. Строительные работы здесь проводились нетесаным известняком и глиняной штукатуркой. Именно поэтому устойчивость строений к внешним воздействиям была слабая, что приводило к их разрушению.

Если посмотреть с высокой скалистой местности в сторону запада, можно увидеть рассеянные жилые и бытовые строения, часть которых осталась под землей. Ветер, хоть и почистил ряд строений от слоев песка, еще больше строений ждут своего исследователя под землей.

Проведенными автором исследованиями установлено, что жилые строения в местности возведены из нетесаного известняка, являются одноэтажными по отношению к уровню земли, имеют однорядную и Г-образную плановую структуру, прямую кровлю и арочно-потолочную конструкцию. На местности даже

встречаются купольные строения с более древней историей. Хозяйственные строения построены на определенном расстоянии от жилых домов, на приусадебном участке. Жилые строения привлекают внимание своим маленьким объемно-пространственным решением. А это связано с проблемами отопления домов зимой и решения кровельных конструкций. Интерьер бытовых строений нашел свое решение нишами и полками различного размера и небольшими оконными отверстиями. К сожалению, полное исследование строений оказалось невозможным ввиду того, что они разрушены или набиты песком.

Строения средних веков квартала «Пачан» отразили в своей плановой структуре расслоение. По сравнению с простыми, 1-2-комнатными домами, жилые дома состоятельных людей привлекают внимание своим объемно-пространственным решением. Среди старых строений можно встретить дом отца Гаджи Бахшали, инвестора мечети Гаджи Бахши, относящейся к средним векам, которая была одним из главных факторов формирования современного общественного центра Нардарана. Строение возведено на относительно высоком рельефе и отличается многокомнатной архитектурно-плановой композицией.

В настоящее время часть населения снова начала заселяться в данной местности и во время строительных работ в раскопках обнаружены различные хозяйственно-бытовые строения, ограды (изгороди). Но объявление квартала «Пачан», являющегося ценной древней жилой местностью селения Нардаран, заповедником, с прекращением строительных работ, и проведением на территории археологических раскопок и работ по «консервации» позволит «восстановить» средневековый образ Нардарана, а также развивать здесь туризм. Наверняка на нижних слоях данных строений, относящихся к зрелому средневековью, имеется более древний пласт, который нуждается в исследовании. Возведение на данных местностях летней резиденции Ширваншахов позволяет предположить, что дворцовое строение состоит из комплекса построек. Также велика вероятность наличия в квартале «Пачан», на территории, где сложилась жизнь, общественных строений и площадей. Многовековые фиговые, тутовые деревья и виноградники среди развалин средневековой сельской территории Нардарана придают голому песчаному ландшафту местности своеобразную пестроту. Из луговых трав тростник, боярышник составляют травяное покрытие местности. Панорама Каспия, овраги мелкого песка, единично растущие деревья и развалины окружающих строений как бы углубились в тишину средних веков.

Колонизация населения на западе села Нардаран, по фактическим архитектурным материалам, охватывает период после XIV-XVII веков. Жилищный фонд с прохождением процесса эволюции можно отнести к эпохе позднего феодализма (XVII-XVIII) и капитализма (начало XIX-XX веков). Но надо учитывать, что очень небольшое число жилых строений, относящихся к эпохе позднего средневековья, дошли до наших дней и неоднократно подвергались изменениям и перестройкам. Древние строения селения сформировались вокруг оборонительной крепости и святилища. И. Азимбеков в своих заметках пишет: «Крепость окружают с севера дача Мешеди Нагмата Абдулла оглы, с юга Агададаша Фарах-Мирза оглы, с востока дача и дороги Мешеди-Зеки Нурмамед оглы, а с запада Агамирзы Сейран оглы». Последующая дифференциация жилых строений была связана с нефтяным бумом XIX века. Если до этого периода хозяйственные помещения сооружались вблизи или смежно с жилым домом, то строения эпохи капитализма отличались своей объемно-пространственной структурой. Так, хозяйственные строения уже сооружались на первом, а жилая часть на втором этаже дома. Важное помещение многокомнатных домов – кухня размещалась на втором, а сарай, склад и др. подсобные на первом этаже.

В начале XIX-XX веков в жилых строениях Нардарана также широко распространились застекленные галереи или открытые балконы, свойственные Абшеронской архитектуре.

**Дом с дублой (дымоходом)** – тип жилья, широко распространившийся в исторических селах Абшерона. Жилые строения, широко распространившиеся на территории заповедника, создают условия для их всестороннего исследования. Естественные факторы – теплый климат, нехватка воды, сильные северные ветра Хазри, нехватка древесных строительных материалов, а с другой стороны изобилие местного белого камня-известняка стали причиной возникновения домов с дублой и с их конструктивно-планировочной структурой и художественно-декоративными особенностями.

Дома с дублой развились от простой плановой структуры до сложной, от 1-2 до 5-6 комнат. Стены строений полностью сооружались из камня с глиняной штукатурной толщиной 40-100 см. Плоская кровля покрыта глиной и киром с определенным наклоном. Сточная вода сливалась посредством желобов, придающих фасаду домов своеобразное декоративное оформление. В каждом доме сооружалось по 3-4 желоба.

Важный элемент плановой композиции домов с дублой состоит из сооружения кухни, где проходила обыденная жизнь семьи. Дома с дублой Нардарана так

же, как и в других селениях Абшерона имели идентичную функцию. Так, площадь кухни была большая для сооружения тендира для печки хлеба, очага для подогревания еды и воды, а парные дымоходы-дублы на фасаде с конусообразными купольными конструкциями приводили к обогащению силуэта строения. Сооружение в домах с дублой, построенных на территории селения Нардаран, в любом углу кухни водостока, характерное для Абшеронского полуострова, является специфической особенностью, можно сказать, не встречающейся на территории Северного Азербайджана. «Дома с дублой», обладающие характерными особенностями, встречаются и на территории Южного Азербайджана (Ирана). В ряде провинций Южного Азербайджана кухня подобного типа домов называется комнатой тендира. Площадь данной комнаты должна быть достаточной для того, чтобы в ней помещались как минимум два тендира. Большой тендир использовался для печки лаваша, а маленький тендир для печки лепешек. Место для комнаты тендира должно было выбираться таким образом, чтобы дым не распространялся в другие комнаты. В одном углу кухни сооружались ямы, покрытые прозрачным камнем, для использования в качестве бани, известные как чаласер. В городе Зунуз строения с такой плановой структурой встречаются часто.

Водосток домов с дублой Нардарана сооружался без дверцы, открыто, в форме глубокого отверстия на уровне пола. Толщина стен (80-100 см) позволяла открывать такое углубление на пересечении двух стен. Водосток вместо дверцы закрывался занавеской, служил для ежедневного омовения. Непосредственно слитно со строением на стене открывалось отверстие для стока воды, что обеспечивало слив воды. В двухэтажных жилых домах канализационная система воды иногда сооружалась в виде смежного с домом куполообразного конусовидного сооружения, а в некоторых случаях посредством каменных желобов. В домах, построенных до XIX-XX веков, водостоки разравнивались с использованием плиточного камня, а впоследствии цемента. Практически во всех домах с дублой Нардарана были сооружены водостоки, даже в бытовых строениях некоторых встречаются два водостока (дом Гаджи Адалаята Искендер оглы). Часть кухни, где размещаются очаг и водосток, отделяется от другой части вогнутой аркой или аркой в форме полумесяца. Арка, начиная от уровня пола или же относительно выше, также имеет конструктивный характер. В некоторых жилищах сооружены парные арки (на территории заповедника Нардаран можно встретить двойные кухни, встречающиеся на Абшероне в редких случаях (дом Сакины ханум на ул. Ш.Түти).

Сооружение таких кухонь обычно встречаются в регионах Азербайджана, в народных жилых строениях в качестве летней и зимней кухонь. Так, зимние кухни, обладая большей площадью, служили сосредоточиванию обыденной жизни семьи именно в этом помещении. Жилые дома с дублой Нардарана по объемно-пространственной структуре хронологически можно разделить на два следующих периода: а) средние века; б) XIX – начало XX вв.

Средневековые строения простые, одноэтажные, а строения XIX-XX вв. более широкие, отличаются двухэтажным пространственным решением. Строительные конструкции домов с дублой (несущие стены, перегородки, покрытия), согласно имеющимся материалам, привлекают внимание полным сочетанием и единством географических и климатических особенностей. Конструкции покрытий в интерьере нашли свое решение в виде сводчатой и плоской кровли (балочно-опорная система).

Конструкция сводчатых покрытий использована в сооружении кухни. Конструкции покрытий можно сказать, всех кухонных помещений в Нардаране – сводчатые. Своды начинаются от пола несущих стен или же полук, ставших украшениями кухни. Сводчатые конструкции, сохраняя свою технику строительства и формы, также особенности тысячелетних традиций сооружены путем клинообразной расстановки камней.

Свод, своей нагрузкой влияя на опоры как в вертикальном, так и горизонтальном направлении, передает тяжесть груза опорам. Конструкция плоскостроительного покрытия использована в покрытии других комнат. В реализации опорно-балочной системы использованы как древесины-балки, так и саманно-глиняные материалы. Ровная кровля кроме кухни, использована в покрытии и других комнат.

### 3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование историко-культурного заповедника Нардаран показало, что гражданские жилые строения селения отличаются своеобразными особенностями. Географическое положение и климатические особенности привели к формированию иной объемно-пространственной композиции исторического жилищного фонда в отличие от других селений Абшерона, что внесло в архитектурный облик селения определенное новшество.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Азимбеков И. Нардаран и его древняя история // ААКХ, вып.1, 1925 г.
2. Мехтиев А. Народное жилище Азербайджана. Тебриз, 2001.

## შპკ 72

### ნარდარანის ისტორიულ-კულტურული ნაკრძალის სამოქალაქო არქიტექტურა (სასახლეები და საყოფაცხოვრებო-სამეურნეო ნაგებობები)

#### რ. ალიევა

აზერბაიჯანის ნაციონალურ მეცნიერებათა აკადემიის ხელოვნებისა და არქიტექტურის ინსტიტუტი

**რეზიუმე:** განსაკუთრებულ ყურადღებას იმსახურებს შირვანშახების საზაფხულო რეზიდენცია, რომელიც გამორჩეულია ნარდარანის ნაკრძალის მნიშვნელოვან შუა საუკუნებრივი სამოქალაქო ნაგებობებს შორის. ნაგებობა ეკუთვნის XIV-XV საუკუნეებს. წერილობითი წყაროები გვამცნობენ, რომ შაჰის ბაღში არსებობდა კომპლექსური ნაგებობა. შაჰის სასახლე ყურადღებას იპყრობს ლაკონიურობით, სწორი გეომეტრიული მოცულობით, მკაცრი არქიტექტურული ფორმით, შინაგანი სივრცის მკაფიო განთავსებით. შაჰის სასახლის გვერდით არსებობდა შაჰის აბანო, რომელიც ემსახურებოდა მას. ნარდარანის ნაკრძალის სახლებში ბუნებრივი ფაქტორების მიუხედავად გავრცელებული იყო ორსართულიანი სახლები დუბელებით (კვამლსადენებით). სახლები კვამლსადენებით განვითარდნენ გეგმური სტრუქტურით მარტივიდან რთულ სტრუქტურამდე. გეგმური კომპოზიციის მნიშვნელოვან ელემენტად ასეთ სახლებში წარმოდგენილია სამზარეულოს ფართობი. სამზარეულოს ფართობი დიდი იყო იმისთვის, რომ გამოეცხოთ პური და კერა, სადაც ამზადებდნენ საჭმელს. ნარდარანის სახლები კვამლსადენებით ბუნებრივი ფაქტორების გათვალისწინებით აშენებული იყო ორსართულიანი.

**საკვანძო სიტყვები:** სამოქალაქო ნაგებობები; სასახლე; სახლი კვამლსადენით; ნარდარანის ნაკრძალი; საცხოვრებელი სახლები.

UDC 72

**CIVIL ARCHITECTURE OF THE STATE HISTORICO-CULTURAL PRESERVE OF NARDARAN  
(PALACE, HOUSING-ECONOMIC BUILDINGS)****R. Aliyeva**

Institute of Architecture and Art of Azerbaijan National Academy of sciences

**Resume:** Summer residence of Shirvanshahs draws a special attention among medieval civil structures of Nardaran preserve. The construction of buildings dates from the XIV-XV centuries. Written sources inform, that there are complex edifices in "Shah's garden". "Shah's palace" draws attention with laconic, geometrically regular volume, strict architectural form and clear placing of the inner space. There is also "Shah's bath-house" near the "Shah's palace" which served the Shah.

The houses with hollows are widespread in Nardaran preserve. Houses with hollows developed from simple up to complicated planning structure, from 1-2 up to 5-6 rooms. The important element of planning composition of houses with hollows is the erection of the kitchen. The area of the kitchen was large for building of tendir there for baking bread, the hearth for warming up the food and water. Depending on socio-economic factors houses with hollows were two-storeyed in Nardaran.

**Key words:** civil buildings; palace; houses with hollows; preserve; Nardaran; dwelling houses.

*მიღებულია დასაბუჯდად 03.04.2013*

УДК 72.03

**СТИЛЕВОЙ ХАРАКТЕР АРХИТЕКТУРЫ БАКУ В XIX – НАЧАЛЕ XX ВЕКА****М.Н. Микаилова**

Азербайджанский Архитектурно - Строительный Университет

E-mail: mehriban\_m@list.ru

**Резюме:** Освещается стилевой характер архитектуры Баку в XIX – начале XX века в двух направлениях - в местном национально-романтическом и европейском («классицизм», «ренессанс», «готика», "модерн" и др.). Анализ показал, что стилевой характер города этого периода, своеобразно преломляясь в региональном зодчестве, отличался самобытным путем развития.

**Ключевые слова:** планировочные приемы; архитектура Баку; эклектика; стиль; национально-романтическое направление.

**1. ВВЕДЕНИЕ**

Присоединение северных областей Азербайджана к России в начале XIX века способствовало развитию здесь капиталистических отношений и оказало значительное влияние на последующее развитие азербайджанской архитектуры под влиянием русского зодчества.

Это особенно наглядно выразилось в застройке столичного города Баку, где в этот период сооружались такие новые для города типы зданий, как театры, школы и больницы, доходные дома и др. В соответствии с этим процессом в город стали проникать и традиции европейской архитектуры.

Взаимопроникновение различных стилей европейской архитектуры, их взаимовлияние с местной архитектурной традицией — характерная черта архитектуры Баку XIX – начала XX века. Архитектурные стили были самыми разнообразными и зависели от вкуса заказчика и профессионализма зодчих рассматриваемого периода. Наряду с местными архитекторами, также работами выпускников русской архитектурной школы (И. Гославского, И. Плошко, Е. Скибинского, З. Ахмедбекова, и др.) определился стилевой характер архитектуры города.

## 2. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Архитектура Баку в XIX – начале XX века развивалась в двух направлениях - в местном национально-романтическом и европейском. Основу архитектурных стилей зданий, сооружаемых местными и народными архитекторами в Баку, составляли традиционные архитектурные корни, которые опирались на достижения ширвано-абшеронской средневековой архитектурной школы. Бакинская национальная архитектура была представлена в основном культовыми зданиями (мечетями и зданиями бань и овданов).

Во второй половине XIX века в архитектуре Баку, как и в столичных городах России и Европы, наблюдается многообразие различных стилей. В капиталистическом городе применяются такие архитектурные стили, как «неоклассицизм», «ренессанс», «готика», «модерн» и др., строятся здания в "восточном" (мавританском) стиле, делаются попытки использования элементов национального зодчества. Черты «восточного стиля» проявились в стрельчатых и подковообразных арочных проёмах и нишах, рустовке стен, пилястр и др.

Характерным примером здания рассматриваемого периода, выполненного в «восточном стиле», является здание железнодорожного вокзала (арх. Х.К.Васильев, 1882).

Развитие архитектуры Баку на рубеже XIX - XX веков сопровождается эклектикой, которая допускала творческую свободу и индивидуализм. Заимствованные формы эклектики, опираясь на исторический опыт, были необходимы для зарождения национально-романтического стиля.

Особое внимание в этот период уделяется архитектурным деталям: принцип декоративности является носителем стиля, старые строительные и конструктивные приемы вносят изменения путем использования таких новых материалов как сталь, стекло, бетон и железобетон.

К концу XIX — началу XX века стремление к рационализму явилось предпосылкой для появления нового стиля в архитектуре Баку, известного как модерн. Рационализм в бакинском модерне соседствовал с декоративизмом. Творчество архитекторов, работающих в стиле модерн в Баку сводилось в основном к декоративной обработке фасадов. В бакинской практике модерн был более сдержан в применении декора, чем другие стили того времени, и не покрывал всю поверхность фасада. Вместе с тем, во время модерна впервые начались поиски новых форм, свойственных современным материалам и конструкциям и это оказало большое воздействие на последующее развитие архитектуры города. Решения планов зданий получили четкость, отмечаются тенденции к сближению художественных и утилитарных аспектов архитектуры. Рацио-

нальное размещение застройки, четкая планировочная организация - черты, характеризующие архитектуру модерна Баку начала XX века.

Модерн положил начало новой эпохе в развитии архитектуры Баку. Однако, несмотря на рациональные особенности этого стиля, как отмечает профессор Ш.С. Фатуллаев, «бакинский модерн не отличается особой динамикой архитектурных объемов, композиционных и конструктивных приемов» [б. С. 385].

Новый стиль модерн проявился, прежде всего, в архитектурном оформлении зданий банков и других общественных зданий, которые являлись новыми типами сооружений и проектировались в европейских стилях. Особенности бакинского модерна получили преломление в зданиях театра братьев Маиловых (1910—1911), Тифлисского банка (1901), Северного банка (1903—1905), гостиницы «Европа», трех жилых домов Ага Мусы Нагиева на улице «28 Мая» и др.

Наиболее выразительным сооружением в стиле «бакинского модерна» является здание Тифлисского банка. Его композиция построена на динамических началах архитектурных масс угловой части постройки. Здесь в пластике фасада, в резко изгибающихся линиях, в линиях арочных фронтонов, в тяжести самой массы чувствуются особенности модерна.

Своеобразным явлением в архитектурной жизни города эпохи модерна можно считать жилой дом К. И. Гаджиева (И. Плошко, 1912). Схема композиции фасада достаточно динамична, в рисунке линий чувствуются черты, присущие модерну (рис. 1). Композиция фасада с двумя башнеобразными завершениями, тимпаны арок с орнаментальными мотивами, линии карниза придают пластике фасада модернистский дух. Архитектурные детали выполнены глубоким рельефом резьбы по местному камню.



Рис. 1. Здание жилого дома К. И. Гаджиева в Баку

Здания Баку в стиле модерн, наряду с другими постройками, выполненными в разных стилях, входят в архитектуру города своей новой трактовкой архитектурных масс, яркими декоративными формами и

принципиальными особенностями внешнего оформления и продолжают традиционную схему решения, унаследованную от архитектуры XIX века.

В начале XX века большую роль в архитектуре Баку начинают играть художественные достижения русского классицизма. Архитектура Баку испытывала влияние Москвы и Санкт-Петербурга - городов, подверженных западноевропейским стилистическим влияниям - через творчество бакинских зодчих, получивших образование в России. Так, например, фасады ряда жилых и доходных домов на Николаевской улице отражают композиционные принципы русского классицизма. При этом фасады зданий, их детали и декор выполнялись из местного камня-известняка, что придавало их архитектуре местную самобытность.

В архитектуре Баку рассматриваемого периода также получили распространение палладианские и классические канонические ордерные формы, в зданиях рядовой застройки используются интерпретированные элементы ордерной и безордерной системы. В большинстве случаев прослеживается общая тенденция обработки фасадов, выразившаяся в применении колонн или пилястров в качестве пластического средства обогащения композиции. Архитектура городских построек решалась в классической системе с различными стиливыми вариациями. В Баку имеется ряд построек, выполненных в стиле ренессанс, где характерны согласованность горизонтальных и вертикальных членений фасада зданий, пропорциональность в соотношении отдельных частей и к зданию в целом.

Фасады Общественного собрания (1912) выполнены в духе эпохи ренессанса и напоминают виллы А. Палладио. Здание построено на террасах, обращенных к морю, что было продиктовано рельефом местности, который позволил удачно использовать его возможности для объемно-пространственного решения здания в свободной комбинации.

Наряду с различными стилистическими направлениями в XIX - начале XX века бакинские архитекторы также создавали разнообразные постройки, воплощая в них черты готического (псевдоготического) стиля средневековой Европы. В архитектуре культовых и жилых зданий в Баку рассматриваемого периода использовались различные национальные варианты готики.

Здание Лютеранской кирхи (арх. А. В. Эйхлер, 1895—1897 гг.) в Баку было построено после переселения и образования немецких колоний в Азербайджане, когда лютеранство на Кавказе получило широкое распространение. Это здание, построенное в стиле немецкой готики, располагает одной башней, вытянутой по вертикали (рис. 2). Увенчанное высоким шпилем здание выполнено без декоративных излишеств готических элементов.



Рис. 2. Здание Лютеранской кирхи в Баку

Здание дворца «Исмаилия» (арх. И. Плошко, 1908—1913 гг.) построено в духе венецианской готики (рис. 3). В этом здании дворца «венецианская готика с мусульманскими формами стрельчатых арок легко вписалась в бакинский пейзаж, ибо в какой-то степени приблизилась к традициям местного зодчества, хотя и сохранила свою итальянскую основу» [6. С. 408].



Рис. 3. Здание дворца «Исмаилия» в Баку

Здание дворца Мухтарова (арх. И. Плошко, 1911—1912 гг.) – яркий образец готической скульптуры (рис. 4). Фасады здания выполнены в духе французской готики. Интересны центральная угловая башенная часть его с главным порталом, украшенным декоративными элементами готики.



Рис. 4. Здание дворца Мухтарова в Баку

**3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Анализ стиливого характера архитектуры Баку XIX - начала XX века показал, что он развивался в русле российского зодчества, и в тоже время отличался самобытным путем развития: нес в себе черты местной национальной архитектуры. Самобытные черты бакинской архитектуры рассматриваемого периода - это общность архитектурных приемов и форм, единство облицовочного материала - белого камня-известняка, использование орнаментальных мотивов средневекового зодчества Баку-Абшерона, декоративизм фасадов, созданный применением глубокой рельефной резьбы по местному камню, широкое использование балконов и эркеров на фасаде. Общеевропейские черты заключаются в широком применении ордерных и др. классических элементов и деталей различных европейских стилей, которые своеобразно преломляясь, в региональном зодчестве города создавали его индивидуальный архитектурный облик.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Бартенев И. А. Батажкова В.Н. Очерки истории архитектурных стилей. М., 1983.
2. Борисова Е.А. Русская архитектура конца XIX-начала XX века. М., 1971.
3. Власов В.Г. Стили в искусстве. Т.1. СПб.: Кольна: 1995.
4. Кириллов В.В. Архитектура русского модерна. М., 1979.
5. Кириченко Е.И. Русская архитектура 1830-1910-х годов. М., 1982.
6. Фатуллаев Ш.С. Градостроительство и архитектура Азербайджана XIX – начала XX века. Ленинград, 1986.
7. Фатуллаев – Фигаров Ш.С. Архитектурная энциклопедия Баку. Баку-Анкара, 1998.
8. <http://sherqmirvarisi.com/>

**შპს 72.03****XIX და XX საუკუნის დასაწყისის ბაქოს არქიტექტურის სტილის ხასიათი**

მიკაილოვა მ.

აზერბაიჯანის სამშენებლო-არქიტექტურული უნივერსიტეტი

**რეზიუმე:** განხილულია XIX და XX საუკუნის დასაწყისში ქ. ბაქოს არქიტექტურის სტილის ხასიათის ორი მიმართულება: ადგილობრივ-რომანტიკული და ევროპული („კლასიციზმი“, „რენესანსი“ „გოტიკა“, „მოდერნი“ და სხვა). ანალიზმა გვიჩვენა, რომ ამ პერიოდის ქალაქის სტილის ხასიათი სუროთმოდვრებაში თავისებურად განსხვავდებოდა თვითმყოფადი განვითარების გზით.

**საკვანძო სიტყვები:** დაგეგმარებითი ხერხები; ბაქოს არქიტექტურა; ეკლექტიკა; სტილი; ნაციონალურ-რომანტიკული მიმართულება.

**UDC 72.03****THE STYLE CHARACTER OF ARCHITECTURE IN BAKU IN THE XIX - EARLY XX CENTURY**

M. Mikayilova

Azerbaijan University of Architecture and Construction

**Resume:** There is highlighted the development of architecture in Baku in the XIX - early XX century, in two directions - in the local national and European romantic ("Classicism," "Renaissance," "Gothic," "Modern" and others). The proposed analysis shows, that the the style characteristic of this period peculiarly refracted in the regional architecture was, distinguished by a distinctive development.

**Key words:** planning techniques; architecture of Baku; eclecticism; style; national-romantic trend.

მიღებულია დასაბეჭდად 03.04.2013



# ბიზნესინჟინერინგის სექცია

შპს 80

ფრაზეო-სემანტიკური კლასი “სუბიექტის პიროვნული თვისებები”  
ინტერსუბიექტურ ჭრილში

## ნ. გამყრელიძე

ლიბერალურ მეცნიერებათა დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო,  
0175, თბილისი, კოსტავას 77

E-mail: n.gamkrelidze@mail.ru

**რეზიუმე:** ნაშრომში განხილულია გერმანული, ქართული და რუსული ფრაზეოლოგიური ერთეულები სემანტიკური კომპონენტით „ინტერსუბიექტური მიმართებები სუბიექტის პიროვნული თვისებების ფონზე“.

**საკვანძო სიტყვები:** ვერბალური კომუნიკაცია; ინტერსუბიექტური მიმართებები; სოციალური გარემო სუბიექტის პიროვნული თვისებები; სემანტიკური კომპონენტი; ეკვივალენტურობა; კულტუროლოგია; ენობრივი დონე.

სებების დადებითი და წარმატებული რაკურსით რეალობებს, ასევე ახდენს მისი უარყოფითი თვისობრივი მახასიათებლების მოტივაცია-დემონსტრირებას. შეიძლება ითქვას, რომ სუბიექტის პიროვნული თვისებები ერთ-ერთი მთავარი განმპირობებელი ფაქტორია მისი პირადი ინტერსუბიექტური კონტაქტების დამყარების პროცესში. ნაშრომის კვლევის მიზანია წარმოაჩინოს ფრაზეო-სემანტიკური კლასი “სუბიექტის პიროვნული თვისებები” ინტერსუბიექტურ ჭრილში სემანტიკური ადეკვატურობისა და კულტუროლოგიური თავისებურებების გათვალისწინებით გერმანული, ქართული და რუსული ენის მაგალითზე.

## 1. შესავალი

ადამიანი, როგორც სოციალური ფენომენი, ოდითგანვე ნებისმიერი სოციალური ფორმაციის პერიოდში მიიღებდა ინტერსუბიექტური კონტაქტების დამყარებისაკენ, რომელიც სუბიექტთა ერთობლივი ფიზიკურ-შემოქმედებითი, მორალურ-სულიერი, პრაქტიკული და სოციალური ურთიერთობების პროცესში ფორმირდება.

ინტერსუბიექტური კონტაქტების დამყარებას სუბიექტი პრაქტიკულად დაბადებისთანავე იწყებს. მისი სოციალური ფორმირების პროცესი დამოკიდებულია როგორც იმ სოციალურ გარემოზე, რომელშიც იგი ყალიბდება, ასევე მის ინდივიდუალურ თანდაყოლილ და შექმნილ პიროვნულ თვისებებზე. სწორედ, სუბიექტის პიროვნული თვისებები განაპირობებს მისი თვითრეალიზაციის პროცესს სოციუმში, აძლევს მას საშუალებას შეიცნოს მის გარშემო მყოფი ადამიანები და ჩამოუყალიბდეს ინდივიდუალური მსოფლხედვითი ორიენტირები.

ცხადია, სუბიექტის პიროვნული თვისებები განაპირობებს მისი როგორც ინდივიდუალური თვისებების

## 2. ძირითადი ნაწილი

ფრაზეოლოგიური ერთეულები სემანტიკური კომპონენტით „ინტერსუბიექტურობა და სუბიექტის პიროვნული თვისებები“ საინტერესოდ წარმოჩინდა როგორც გერმანულ, ასევე ქართულ და რუსულ ენებში. მიუხედავად მრავალწახნაგოვანი ურთიერთობებისა მოცემული ფრაზეო-სემანტიკური კლასისათვის სამივე ენაში თვისობრივია ინტერსუბიექტურ მიმართებათა დადებითი და უარყოფითი სემანტიკური დატვირთვა. საკვლევი ფრაზეოლოგიური ერთეულების შერჩევისას ვსარგებლობთ „სამყაროს ენობრივი ხატის პრინციპით“, რომლის თანახმადაც ზემოხსენებულ ფრაზეო-სემანტიკურ კლასში ვაერთიანებთ სემანტიკურად ერთი იდეისა და კონცეპტის გამომხატველი ფრაზეოლოგიზმებს. ვცდილობთ დავადგინოთ მათი ენობრივი ხატების მსგავსება-განსხვავებები და გამოვავლინო ფრაზეოლოგიურ ერთეულთა სრული, ნაწილობრივი ან ნულლოვანი ეკვივალენტურობა, როგორც კულტურულ-მსოფლხედვით, ასევე ენობრივ დონეზე.

## 1. ინტერსუბიექტურობა და სუბიექტის პიროვნული თვისებები

### 1.1. აგრესიული, ცუდი, უსამართლო დამოკიდებულება

1.j-n (etw.) auf den Hund bringen- посадить кого-либо на мель- გააკოტრო, ნულზე დასვა ვინმე

2.bekannt sein wie ein bunter Hund - известный как пятнистый пес - ჭრელი ძაღლივით მთელი სოფელი იცნობს

3.boese Hunde haben zerzauste Ohren- уши рваные как у злой собаки- ყურები ავი ძაღლივით აქვს დაგლეჯილი

4.bei diesem Wetter jagt man keinen Hund vor die Tuer- в такую погоду собаку на двор не выгонишь - ამ ამინდში ძაღლს არ გააგდებენ გარეთ

5. jetzt geht's rund, erst die Oma, dann den Hund- ану-ка, вон отсюда! спасайся, кто может!- აბა ახლა აქედან მოუსვით! გაასწართ დიღმა და პატარამ!

6. j-n wie einen Hund behandeln - обходиться с кем-либо как с бесхозной собакой - მოექცე ვინმეს როგორც უპატრონო ძაღლს

7. mit allen Hunden gehetzt sein- знает каждую собаку- ყველა ძაღლსა და ღორს იცნობს

8. der Hund, der sich in der Schwanz beisst- злая собака себя загрызла - ავმა ძაღლმა სხვაც შეჭამა და თავიც დაიგლიჯაო

9. wer mit den Hunden schlaeft, steht mit Floehen auf- с собакой заснешь - клещей наберешь- ძაღლთან თუ გძინავს ტკიპები არ ავცდებო/ხარი ხართან დააბი, ან ზნეს იცვლის ან ფერსაო

10.wie Hund und Katze leben - жить как кот с собакой - ძაღლი და კატასავით ცხოვრება

11.zwei Hunde kommen nicht an einem Knochen nagen - две собаки одну кость не поделят- ორი ძაღლი ერთ ძეგლს ვერ გაიყოფსო.

### 1.2. სიყვარულის, ერთგულების, თავდადების მორჩილების გამოვლენა

1.treu wie ein Hund sein - преданный как собака - ძაღლივით ერთგული

2. aufpassen wie ein Schiesshund- зоркий как охотничий пес - მეკებარი ძაღლივით ფრთხილი.

### 1.3. მედიდურობა, ვინმეს შეწუხება

1.alles auf einen Pferd setzen -вся ноша на одного осла-ტვირთი აკიდა, როგორც საპალნე ვირს

2 j-n auf das falsche Pferd setzen - сбить с толку - გზაკვალის არევა/თავგზა აურიო

3. auf dem hohen Pferd sitzen - смотреть свысока, смотреть надменно - მედიდურად, ზემოდან ყურება

4. j-n um zwei Pferdelaenge schlagen - надубасить да так, что длина то ширина- ისე ცემა სიგრძე სიგანედ უქციაო.

### 1.4. ეშმაკური, თავნება, მლიქვნელი, ბოროტი დამოკიდებულება

1.wie Hund und Katze leben/ sich wie Hund und Katze stehen (sich vertragen)- жить как кот с собакой- ისე ცხოვრობენ, როგორც ძაღლი და კატაო

2.wenn die Katze fort ist tanzen die Maeuse- хозяин ушел, место - უპატრონო ეკლესიას ეშმაკები დაეპატრონება

3. es ist keinen schlechteren Taub, als jener, der nicht hoeren will- нет хуже глухого, чем тот, кто не хочет слышать - არც არაფრის ნახვა მინდა, არც არაფრის მოსმენაო/დაიბრმავა თვალი, დაიფრუვა ყური

4. sieht doch dien Katz' den Keiser an!- наглый фраер хуже танка- ღორის ტილი ფეხზე დაისვი თავზე ავაცოცდებო

5. Katze und Maus mit j-n spielen- играть в кошки-мышки- კატა-თავგობანას ეთამაშება

6. Katz- und Mausspiel/Katzenmusik machen - играть в кошки- мышки - კატა-თავგობანას ეთამაშება

7. Katze laesst das Maesen nicht- как только волка не корми, а он все в лес смотрит- ჩვევა რჯულზე უმტკიცესია

8. der Katze scherz, der Maeuse Tod- крокодиловые слезы - ნიანგის ცრემლები

9. da ist die schwarze Katze zwischen gekommen- между нами черная кошка пробежала- დღეიდან ჩვენ ორს შორის შავმა კატამ გაიბრინა.

### 1.5. შეყვარება, აღერსი, წინდახედულება, სიფრთხილე

1. wie die Katze um den heissen Brei herumgehen/herumschleichen- ходить вокруг да около- ისეთი ფრთხილია, როგორც კატა/გარს ისე უვლის, როგორც კატა ცხელ ფაფასო

2. die Katz nicht im Sack kaufen wollen- сто раз отмерь, один раз отрежь- ასჯერ გაზომე და ერთხელ გაჭერი

3. gebruehlte Katze scheut den kochenden Kessel- береженного бог бережет - ვისაც პირი ერთხელ მაინც დაუწავს, ცივ ფაფასაც სულს უბერავსო/სიფრთხილეს თავი არ სტკივა

4. die Katze ueber den Kaese kommen lassen- бережного бог бережет- სიფრთხილეს თავი არ სტკივა

5.die Katze faellt immer auf die Pfoten/Fuesse- падает как кошка на четыре лапки- ძაღლის ბედი აქვს/ბეჭებზე არასოდეს წევბა

6. faellt wie die Katze auf die Beine - падает как кошка на четыре лапки- ძაღლის ბედი აქვს/ბეჭვებზე არასოდეს წეება.

**1.6. ამორალურობის, სიუხეშის გამოვლენა**

1. j-n zur Sau machen- обойтись с кем-либо как со свиньей- მოექცე ვინმეს როგორც ღორს
2. j-n anfahren wie die Sau den Bettelsack/mit j-m umgehen wie die Sau mit dem Bettelsack- вести себя как свинья- მოექცე ვინმეს ღორულად
3. Perlen von der Saeure werfen- не сыпь жемчуг (биссер) перед свиньей- ღორის წინ მარგალიტებს ნუ დაერი
4. bei j-m die innere Schweinehund zeigen- проявить свою свинскую натуру- გამოამჟღავნო ღორული ბუნება-
5. j-n auf den Esel setzen- обойтись с кем - либо как с ослом - მოექცე ვინმეს, როგორც ვირს
6. den Schwein wird alles Schwein- свинье все по свински - ღორს სხვაც ღორი ეგონაო
7. ein raediges Schaf steckt die ganze Herde an - одна грязная овца всю отару замарала - ერთმა ჭუჭყიანმა ცხვარმა მთელი ფარა დასვარაო
8. ein Wolf im Schafspelz - волк в овечьей шкуре - მგელი ცხვრის ქურქში
9. j-n als melkende Kuh betrachten - обойтись с кем - либо как с дойной коровой- მოექცე ვინმეს, როგორც მეწველ ძროხას
10. Ochsen muss man schon aus dem Wege gehen- с дороги прочь! - საცა არა სჯობს გაცლა სჯობს

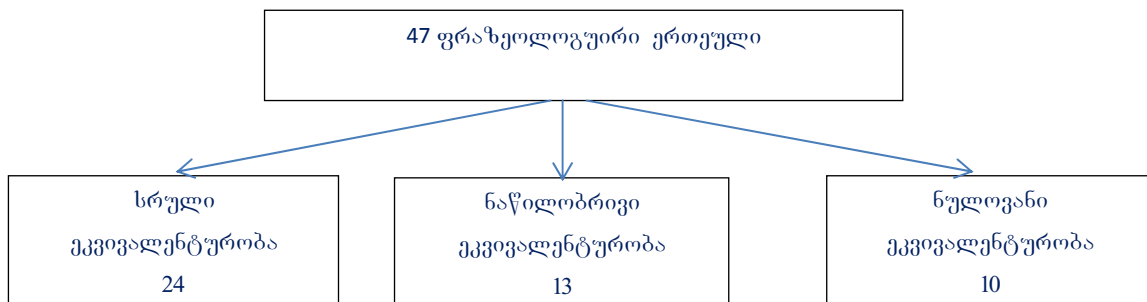
11. einem Esel muss man schon aus dem Wege gehen - ослом родился, ослом помрешь- ვირის წიხლი არ უნდა გეწეინოს/ვირმა რა იცის ხურმა რა ხილია

**1.7. სიფრთხილე, მორჩილება, მსხვერპლის როლში ყოფნა**

1. geduld wie ein Schaf/ wie ein Lamm - покорный как овца/ягненок - ცხვარივით, ბატკანივით მორჩილი
2. das schwarze Schaf der Familie - козел отпущения - განტევების ვაცი
3. unschuldig wie ein neugeborenes Lamm/Kind - невинный, как ягненок - უცოდველი, როგორც კრავი
4. wer sich zum Lamm macht, dem fressen die Woelfe - назвался бараном - готовься к встрече с волком - უტვინო ცხვარი მგლის კერძიაო.

**3. დასკვნა**

მოცემულ ფრაზო-სემანტიკურ კლასში სულ გაანალიზებულია 47 ფრაზოლოგიური ერთეული. სამივე შესაპირისპირებელი ენის ფარგლებში 24 შემთხვევაში გამოვლინდა სრული ეკვივალენტურობა, როგორც კულტუროლოგიურ-მსოფლხედვით, ასევე ენობრივ დონეზე. 13 შემთხვევაში სახეზეა ნაწილობრივი ეკვივალენტურობა შესაპირისპირებელ ენათაგან მხოლოდ ორში, ხოლო 10 შემთხვევაში გამოვლინდა ნულოვანი ეკვივალენტურობა შესაპირისპირებელ ენათაგან ერთ-ერთში. ნულოვანი ეკვივალენტურობის შემთხვევებში თარგმანისას ვიხელმძღვანელებ სემანტიკური ადეკვატურობის პრინციპით.



მიღებული შედეგი პროცენტულად ასე გამოიყურება:

1. სრული ეკვივალენტურობა – 51%;
2. ნაწილობრივი ეკვივალენტურობა – 27%;
3. ნულოვანი ეკვივალენტურობა – 21,2%.

მოცემული ემპირიული მასალის ანალიზმა ცხადყო, რომ „ინტერსუბიექტური მიმართებები სუბიექტთა პიროვნული თვისებების ფონზე“ წარმოადგენს სამყაროს ენობრივი ხატის ერთ კონკრეტულ ფრაგმენტს. მისი სემანტიკური სტრუქტურა სუბიექტის ცნობიერებაში არსებულ

ასოციაციურ წარმოდგენათა სტერეოტიპების კომპლექსია. იგი აერთიანებს ზოგადადამიანური აზროვნების ასოციაციურ-სიტუაციურ მოდელებს და ვრცელდება სუბიექტთა სოციალური ურთიერთმიმართების ყველა სფეროზე.

ნაშრომში განხილულ ენობრივ მასალაში ძირითადად გამოიკვეთა კულტუროლოგიური და სემანტიკური ადეკვატურობა სამივე შესაპირისპირებელი ენის ფარგლებში. აღნიშნულში იგულისხმება შინაარსობრივად ერთი იდეისა და კონცეპტის გამომხატველი ფრაზოლოგიური ერთეუ-

ღების ენობრივი ხატების მსგავსება – განსხვავებები გერმანული, ქართული და რუსული ენის მაგალითზე.

მოცემულ ფრაზო-სემანტიკურ კლასში გაანალიზებულმა ენობრივმა მასალამ თვალნათლივ წარმოაჩინა, როგორც სრული და ნაწილობრივი, ასევე ნულოვანი ეკვივალენტურობის შემთხვევები სამივე ენის ფარგლებში. აღნიშნულში იგულისხმება, როგორც კულტუროლოგიურ-მსოფლხედვით, ასევე ენობრივი დონე. ნულოვანი ეკვივალენტურობის შემთხვევებში თარგმანისას ვისარგებლე სემანტიკური ადეკვატურობის პრინციპით.

ცხადია სრული ეკვივალენტურობა, სემანტიკური ადეკვატურობა და ანალოგიური ასოციაციური მიმართებები ვერ იქნება განპირობებული გერმანული ქართული და რუსული ენების საერ-

თო ენობრივი სივრცით, მათი ისტორიულ-კულტურული განვითარების ტენდენციებით. მისი ასევე შესაძლებელია საერთო ინტერკულტუროლოგიური განვითარების ტენდენციებით და ზოგად ადამიანური, ზოგადსაკაცობრიო აზროვნების ფორმით.

#### ლიტერატურა

1. Davidson Donald: Subjektiv, intersubjektiv, objektiv, Frankfurt am Main: Suhrkampf. 2004, ISBN 3-518-583887-5. S. 217-235.
2. Tsvasman, Leon: Intersubjektivitaet, in Tsvasman, L (Hrsg.) Das grosse Lexikon Medien und Kommunikation. Kompendium Interdisziplinärer Konzepte. Wuerzburg. 2006. S. 176 -186.

UDC 80

### PHRASEO - SEMANTIC CLASS "SUBJECT'S PERSONAL CHARACTERISTICS" IN INTERSUBJECTIVE DESIGN

**N. Gamkrelidze**

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

**Resume:** This study represents phraseo - semantic class "Subject's personal characteristics" in intersubjective design, intersubjective relationships and social environment in German, Georgian and Russian Phraseology.

**Key words:** verbal communication, intersubjective relationships; social environment; subject's personal characteristics; intersubjective design; semantic component equivalence; culturology; linguistic level.

УДК 80

### ФРАЗЕО - СЕМАНТИЧЕСКАЯ ГРУППА „ОСОБЕННОСТИ ЛИЧНОСТИ“ В ИНТЕРСУБЪЕКТИВНОМ ПЛАНЕ

**Гамкრелиძე Н.О.**

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

**Резюме:** Рассматриваются фразеологизмы немецкого, грузинского и русского языков с семантическим компонентом „особенности личности“ в интерсубъективном плане и интерсубъективные отношения в социальной среде.

**Ключевые слова:** вербальная коммуникация; интерсубъективные отношения; социальная среда; „особенности личности“; интерсубъективный план; семантический компонент; эквивалентность; культурология; лингвистический уровень.

*მიღებულია დასაბუჯდად 28.03.2013*

**შაკ 80****“ენა – ვარიანტის” ურთიერთმიმართების საკითხი თანამედროვე გერმანულ ენაში****ნ. გამყრელიძე**

ბიზნესინჟინერინგის ფაკულტეტი, ლიბერალურ მეცნიერებათა დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0175, თბილისი, კოსტავას 77

E-mail: n.gamkrelidze@mail.ru

**რეზიუმე:** ნაშრომში განხილულია “ენა – ვარიანტის” ურთიერთმიმართების საკითხი თანამედროვე გერმანულ ენაში. განხილულია ტერიტორიული ვარიანტულობის პრობლემა. წარმოდგენილია სტილისტური სინონიმის და სტილისტური ვარიანტულობის საკითხიც.

**საკვანძო სიტყვები:** ენა-ვარიანტი; ტერიტორიული ვარიანტულობა; ლექსიკური სინონიმია; სინონიმია; ვარიანტულობა; სოციალურ-კულტურული სუბსტანცია; იდენტურობა; სტილისტური სინონიმია; სტილისტური ვარიანტულობა; ლექსიკური ეკვივალენტი.

**1. შესავალი**

მე-20 საუკუნის 30-იან წლებში პრადის ლინგვისტური სკოლის წარმომადგენლებმა პირველად დააყენეს გერმანული ენისა და მისი “ენა-ვარიანტის” ურთიერთმიმართების საკითხი. მათ ზოგადგერმანულ, ნაციონალურ და სალიტერატურო ენად მიიჩნიეს სარეგიონთაშორისო ენობრივი ნორმა, ხოლო რაც შეეხება „ვარიანტის“ დიფერენციაციას, აქ ყველაზე პრობლემურად აღიარეს საკითხი ენის „ნაციონალური ვარიანტის“ შესახებ. ამ თემაზე მწვავე დისკუსია მიმდინარეობდა ორ გერმანულენოვან სახელმწიფოს შორის, ხოლო დისკუსიის თემა იყო მათ შორის არსებული ენობრივი განსხვავებები. სწორედ ამ პერიოდს უკავშირდება „ავსტრიული გერმანულის“ არსის გარკვევა, რაზეც განსაკუთრებული ზეგავლენა იქონია მ. კლაინის მიერ გერმანული ენის პოლი-და პლურიცენტრისტულ ენად გამოცხადებამ. ამ საკითხის კვლევა აქტუალობას დღესაც არ კარგავს, მით უფრო, რომ გერმანული ენა რამდენიმე სახელმწიფოს ტერიტორიაზე გავრცელებული.

**2. ძირითადი ნაწილი**

სიტყვის ვარიანტულობის, როგორც ლექსიკურ-გრამატიკული ფენომენის განხილვამდე, მა-

რთებულად მიგვაჩნია მოკლედ განვიხილოთ ენა-ვარიანტის ურთიერთმიმართების საკითხი. ვთვლით, რომ აღნიშნული საკითხის განხილვა რელევანტურია იმდენად, რამდენადაც სიტყვის ვარიანტულობა ტერიტორიული ლექსიკური სინონიმების არსებობას განაპირობებს მაგალითად გერმანულ ენაში.

გერმანული ენა ერთგვარი ნიმუშია, თუ როგორ შეიძლება ენაში აისახოს ერის, ენის და სახელმწიფო ტერიტორიის თანაარსებობა [1]. გერმანულენოვანი სახელმწიფოები ერთ ნაციონალურ ცენტრს ქმნიდა, სადაც ენები თანაწორი ვარიანტების დონეზე არსებობდა. იმდენად, რამდენადაც თითოეულმა გერმანულენოვანმა სახელმწიფომ საკუთარი ისტორიული, პოლიტიკური და კულტურული განვითარების ეტაპები განვლო, ბუნებრივია, ეს უნდა ასახულიყო ენობრივი განვითარების სპეციფიკურ ტენდენციებში. ცხადია ის, რაც გერმანულ სალიტერატურო ენაში ნორმად მოიაზრება, არის სიტყვების, შესიტყვებების სინტაქსურად გამართული ინვენტარი. მას გერმანულების უმეტესობა აღიარებს, როგორც საყოველთაოდ მოქმედ გერმანულს, თუმცა იგი არ არის ყველა გერმანელისათვის მდგრად ჩარჩოში მოქცეული ფენომენი.

რეალურად გერმანული ენა ღია, დინამიკური სისტემაა, რომელშიც არ არსებობს მკვეთრი ზღვარი ლიტერატურულ საკომუნიკაციო ენასა და დიალექტს შორის. აღნიშნული ფაქტი განსაკუთრებით თვალსაჩინოა ენის ლექსიკურ დონეზე, რადგან საზოგადოება, ენა და კომუნიკაცია მჭიდროდაა ერთმანეთთან დაკავშირებული. სწორედ ენობრივი კომუნიკაციის პროცესში განსხვავდება საზოგადოების სოციალურ-კულტურული სუბსტანცია, რაც თავის მხრივ განსაზღვრავს ენობრივ ქმედებას. აქედან გამომდინარე, შეიძლება ვთქვათ, რომ ენას საზოგადოების იდენტურობის დაფიქსირებაში საკუთარი წვლილი შეაქვს.

ლექსიკური ერთეულების ვარიანტულობის კვლევისას, მართებულად მიგვაჩნია ეს უკანასკნელი გავმიჯნოთ სინონიმური ლექსიკური ერთეუ-

ლებისაგან. ამასთან დაკავშირებით მოკლედ უნდა შევეხეთ “სინონიმის” საკითხსაც. მიუხედავად იმისა, რომ სინონიმია და ვარიანტულობა არაერთხელ იქნა განხილული სპეციალურ ლიტერატურაში, ეს პრობლემა დღემდე არ კარგავს აქტუალობას, რადგან სინონიმის ყოველი ახალი განმარტება, აშუქებდა რა მის ერთ მხარეს, ყურადღების მიღმა ტოვებდა მეორეს.

დაპრესიანის მოსაზრებით, ლექსიკური სინონიმების თითქმის ყველა განმარტებაში მთავარი დატვირთვა მოდის არა მათ ზოგად სემანტიკურ თვისებაზე, არამედ მათ შორის სხვაობაზე. ავტორი აღნიშნავს, რომ “ერთმნიშვნელოვან წარმონაქმნებში შეიძლება მონაწილეობდეს მხოლოდ ისეთი ლექსიკური სინონიმები, რომელთა მნიშვნელობა ზუსტად ემთხვევა ერთმანეთს” [2].

იჩერნიშოვა კი განმარტავს, რომ “სინონიმისთვის დამახასიათებელია არა მნიშვნელობის იდენტურობა, არამედ მნიშვნელობის მსგავსება. ზუსტად ამ სახის სინონიმია არის ენის ბუნებრივი მოვლენა”. მისი აზრით სინონიმია სრულყოფს ენის ლექსიკურ, სემანტიკურ და პრაგმატულ პოტენციალს [3].

სინონიმის, როგორც ენის თვისების ტრადიციული გაგება, ანუ ენის სემანტიკურ და სტილისტურ პლანში განხილვა, დიდი ხანია იქცა განსჯის საგნად. თანამედროვე ენათმეცნიერთა სულ უფრო დიდი ნაწილი სინონიმებს მიიჩნევს წმინდა სემანტიკურ მოვლენად. თუმცა ისინი გვერდს ვერ უვლიან სინონიმის სტილისტურ დიფერენცირებას. მათი აზრით, სწორედ დიფერენცირების ამ ფორმაში პოულობს გამოხატულებას ლექსიკურ ერთეულთა ექსპრესიული, ემოციური და აზრობრივ-შეფასებითი თავისებურებები [4].

სტილისტურ სინონიმიაზე, როდესაც ვსაუბრობთ პირველ რიგში ვგულისხმობთ ინტერსტილურ სინონიმებს, თუმცა ტვინოკურის აზრით, „არ უნდა დაგვაფიქვდეს ინტრასტილისტური სინონიმების არსებობაც [5]. ინტრასტილისტური სინონიმები ერთგვაროვანია ექსპრესიული და ფუნქციური თვალსაზრისით, თუმცა მათ შორის შეიმჩნევა სტილისტური ვარიანტულობა, რაც გამოიხატება ემოციური შეფერილობის ხარისხში, ელფერსა და მის მეტაფორულ გაფორმებაში. მაგ.: j.m die Zaehne zeigen - j.m Stim bieten - den Reiter abwerfen – კბილები აჩვენო ვინმეს/შუბლი მიუშვირო მტერს/პირისპირ შეერკინო მტერს; j.n an der Leine haben – j.n an den Baendel haben – მარიონეტით

ათამაშო ვინმე ი. ჩერნიშოვას და მ. სტეპანოვას განმარტებით, მაგალითად, ლექსიკურ სინონიმებში იგულისხმება აზრით ერთგვარი ან ნათესაური ლექსიკური ერთეულები, რომლებიც პარადიგმატულ დონეზე საერთო ნიშნებთან ერთად განსხვავებულ ნიშნებსაც წარმოაჩენენ. მათი აზრით, ლექსიკური სინონიმი გერმანული ენის ლექსიკური შემადგენლობის ერთ-ერთი ყველაზე პროდუქტიული და მნიშვნელოვანი კატეგორიაა, „რადგან კონოტატური მნიშვნელობა დროთა განმავლობაში ახალ და ახალ ენობრივ ფორმებს წარმოშობს, რაც თავის მხრივ ენის ლექსიკური მარაგის გამდიდრების ერთ-ერთი ეფექტური საშუალებაა“ [6]. მაგალითად, den Mund halten – den Maul halten – გაჩუმება/ენაზე კბილის დაჭერა.

### 3. დასკვნა

დასკვნის სახით შეიძლება ითქვას: „ენა-ვარიანტის“ ურთიერთმიმართება საერთო ლექსიკური ეკვივალენტით, თუმცა სხვადასხვა სტილისტური შეფერილობითაა მარკირებული. თუ ენის ვარიანტულობას განვიხილავთ, როგორც ლექსიკურ-გრამატიკულ ფენომენს, მაშინ ენის ვარიანტულობით გამოწვეული ფორმები უნდა გავმიჯნოთ ენის ლექსიკური სინონიმებისაგან. ამასთან, ენის ლექსიკური ვარიანტებისათვის დამახასიათებელია საერთო ლექსიკური ეკვივალენტი და ერთმანეთისაგან უმნიშვნელო სემანტიკურ-სტილისტური განსხვავებები.

### ლიტერატურა

1. Clyne M. The German-language in a changing Europe. Cambridge, 1995, p. 36-43.
2. Апресян Ю.Д. Синонимия и синонимы // Вопросы языкознания. М., 1969. #4, стр.79.
3. Stepanova M.D. Cernischova I.I. – Lexikologie der deutschen Gegenwartssprache. Verlag Hochschule. Moskau, 1986. S. 18-25, 212, 23, 198, 200.
4. Евгеньева А.Т. Словарь синонимов русского языка. Ленинград, 1970, стр. 10
5. Винокур Т.Г. Синонимия в функционально-семантическом аспекте. Вопросы языкознания. М., 1975. #5, стр. 54, 59-63, 57.
6. Cernyseva I. Feste Wortkomplexe des deutschen in Sprache und Rede. Moskau: Vyssaya akola, 1980, S. 60, 135-155, 125-130.

UDC 80

**LANGUAGE INTERRELATION AND ITS VARIANT IN THE MODERN GERMAN LANGUAGE****N. Gamkrelidze**

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

**Resume:** There is represented language interrelation and its variant in modern German language. There is considered the problem of territorial variance, lexical synonymy, stylistic synonymy, stylistic variance and lexical equivalent.

**Key words:** language and its variant; territorial variance; lexical synonymy; variance; socio-cultural substance; identity; stylistic synonymy; stylistic variance; lexical equivalent.

---

УДК 80

**ВЗАИМООТНОШЕНИЕ ЯЗЫКА И ЕГО ВАРИАНТА В СОВРЕМЕННОМ НЕМЕЦКОМ ЯЗЫКЕ****Гамкრელიძე Н.О.**

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

**Резюме:** Рассматривается взаимоотношение языка и его варианта в современном немецком языке. Даны рассуждения вопросов территориальной вариантности и лексической синонимии. Рассматривается вопрос стилистической синонимии и стилистической вариантности.

**Ключевые слова:** язык и его варианты; территориальная вариантность; лексическая синонимия; вариантность; социо-культурная субстанция; идентичность; стилистическая синонимия; стилистическая вариантность; лексический эквивалент.

---

*მიღებულია დასაბუჯდად 28.03.2013*

## ავტორთა საძიებელი!

აბრამიშვილი ი. 9	მექვაბიშვილი ნ. 40	Гелашвили И.Н. 84
ბერუაშვილი გ. 71	მოლოდინი ნ. 36	Дзеконская М.Л. 65, 67
ბიბილეიშვილი დ. 52	მოლოდინი რ. 36	Канделаки В.Э. 84
გამყრელიძე ნ. 97, 101	ოქროსაშვილი მ. 60	Кодуа Н.П. 44
გელაშვილი ი. 82	სადალაშვილი ე. 71, 76	Кодуа Н.П. 48
გოდიბაძე ბ. 60	სარუხანიშვილი ა. 52	Копалеишвили С.Г. 65, 67
გორდეზიანი ა. 60	სოსხაძე ა. 9	Меликишвили В.Т. 19
გორდეზიანი გ. 56	ფეიქრიშვილი ა. 60	Меликишвили В.Т. 24
გრიგოლიშვილი ა. 16	ქემოკლიძე ა. 30	Микаилова М.Н. 93
გუგულაშვილი გ. 71, 76	ჩალაძე ლ. 9, 13	Мчедlishვილი З.Т. 44
დგებუაძე ა. 59	ჩიტძე მ. 82	Сабашвили З.В. 44
ზექალაშვილი რ. 56	ჩიტძე ზ. 82	Сабашвили З.В. 48
ზვიადაძე უ. 30	ციხელაშვილი შ. 16	Суламанидзе А.К. 44
კანდელაკი ვ. 82	ციხელაშვილი ზ. 16	Суламанидзе А.К. 48
კიკნაძე ნ. 40	ჯანდიერი გ. 56	Тавхелидзе Д.Д. 44
კობიაშვილი ქ. 52	ჯაფარიძე ზ. 76	Тавхелидзе Д.Д. 48
მაისურაძე გ. 9	ჯერენაშვილი გ. 16	Фухашвили И.В. 48
მარგალიტაძე ი. 16	Абаишвили В.В. 84	Читидзе З.Д. 84
მარდაშოვა მ. 30	Алиева Р.Ш. 88	Читидзе М.З. 84
მეგრელიძე თ. 71, 76	Буачидзе Т.Ш. 65, 67	



## ავტორთა საყურადღებოდ!

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამეცნიერო შრომების კრებული არის რეფერირებული 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 შეიძლება ქართულ, ინგლისურ და რუსულ 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 ახალი მეცნიერული კვლევების შედეგების შესახებ შემდეგი თეორიული და გამოყენებითი დარგების მიხედვით:

- მშენებლობა
- ენერგეტიკა, ტელეკომუნიკაცია
- სამთო-გეოლოგია
- ქიმიური ტექნოლოგია, მეტალურგია
- არქიტექტურა, ურბანისტიკა, დიზაინი
- ინფორმატიკა, მართვის სისტემები
- ტრანსპორტი, მანქანათმშენებლობა
- ბიზნესინჟინერინგი
- 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 შრიფტი – Acadnux, 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
- Business-engineering
- 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, английском и русском 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
- Бизнес-инженеринг
- 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 Acadnux, 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, английском и русском 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 01.04.2013. ხელმოწერილია დასაბეჭდად 30.06.2013. ბეჭდვა  
ოფსეტური. ქალაქის ზომა 60X84 1/8. პირობითი ნაბეჭდი თაბახი 7. ტირაჟი 100 ეგზ.  
შეკვეთა №

საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, თბილისი, კოსტავას 77

