

საქართველოს  
საინჟინრო  
სიახლენი

სსს

2'17

GEORGIAN  
ENGINEERING  
NEWS

GEN

---

ISSN 1512-0287

საქართველოს  
საინჟინრო  
სიახლენი

GEORGIAN  
ENGINEERING  
NEWS

**No.2 (vol. 82), 2017**

*ექვნება*  
*აკადემიკოს ილია ვეკუასა და*  
*პროფესორ ალექსი გორგოძის*  
*დაბადებიდან 110-ე წლისთავს*

# საქართველოს საინჟინრო სიახლენი GEORGIAN ENGINEERING NEWS, No. 2, 2017

საერთაშორისო საინჟინრო აკადემია  
საქართველოს საინჟინრო აკადემია

მთავარი რედაქტორი: მინდია სალუკვაძე  
მთავარი რედაქტორი მოადგილე: ზურაბ ველიჯანაშვილი

## სარედაქციო კოლეგია

პ. ბიელიკი (სლოვაკეთი), ი. გორგიძე (საქართველო), ბ. გუსევი (რუსეთი), ნ. ედილბერტო (პერუ), ი. ემრი (სლოვაკეთი), ა. ვასილევი (უკრაინა), ლ. ივანოვი (რუსეთი), ა. კაბულოვი (უზბეკეთი), ბ. კატალინიჩი (ავსტრია), ვ. კეკელიძე (რუსეთი), პ. კერვალიშვილი (საქართველო), კ. კოჟოგოლოვი (ყირგიზეთი), ს. მინასიანი (სომხეთი), ო. ნამიჩეიშვილი (საქართველო), პ. ნიკიტენკო (ბელარუსია), დ. ნოვიკოვი (რუსეთი), ა. პაშაევი (აზერბაიჯანი), რ. ჯინევიჩიუსი (ლიტვა), ი. ჟორდანიანი (საქართველო), ბ. ჟუმაგოლოვი (ყაზახეთი), ლ. საიდმუროდოვი (ბელარუსია), ა. ფრანგიშვილი (საქართველო), რ. შრაფტი (გერმანია), დ. ზომახიძე (საქართველო), გ. ჯავახაძე (საქართველო), ა. ჯანაშვილი (აზერბაიჯანი)

## სარედაქციო საბჭო

დ. გორგიძე, ა. დოლიძე, ქ. მახაშვილი, ლ. ქობულაშვილი

## International Engineering Academy Georgian Engineering Academy

Editor-in-Chief: Mindia Salukvadze

Deputy Editor-in-Chief: Zurab Velijanashvili

### EDITORIAL BOARD

N. Edilberto (Peru), D. Chomakhidze (Georgia), G. Javakhadze (Georgia), A. Janahmadov (Azerbaijan), P. Bielik (Slovakia), I. Gorgidze (Georgia), B. Gusev (Russia), I. Emri (Slovenia), L. Ivanov (Russia), A. Kabulov (Uzbekistan), K. Kozhogulov (Kyrgyz Republic), B. Katalinich (Austria), P. Kervalishvili (Georgia), V. Kekelidze (Russia), S. Minasyan (Armenia), R. Ginevičius (Lithuania), O. Namicheishvili (Georgia), P. Nikitenko (Belarus), D. Novikov (Russia), A. Prangishvili (Georgia), A. Pashayev (Azerbaijan), L. Saidmurodov (Tajikistan), R. Shraft (Germany), A. Vasiliev (Ukraine), I. Zhordania (Georgia), B. Zhumagulov (Kazakhstan).

### EDITORIAL STAFF:

David Gorgidze, Alexander Dolidze, Leila Kobelashvili and Ketevan Makhashvili

### Georgian Engineering News (GEN) LTD

Address: TECHINFORMI Tbilisi 0179, Kostava 47

Tel.: 995 (32) 2335315, 2335122

Fax: 995 (32) 2335122

[e-mail:nellym@caucasus.net](mailto:nellym@caucasus.net)

Internet: [www.tech.caucasus.net](http://www.tech.caucasus.net)

Copyright © by GEN LTD

შინაარსი – СОДЕРЖАНИЕ

<i>შეკვამ - 110</i>	7
<i>ბორბიძე - 110</i>	9
ანტიკური ბრინჯაოს ქანდაკება და მემანის კანონები <i>გორგიძე დ.ა., კოკოშაშვილი გ.რ., დავითაშვილი გ.რ., ჩაჩანიძე ზ.ზ.</i>	13
რემონტული სტატისტიკური ანალიზის გამოყენებითი ასპექტები <i>ბუაძე ტ.გ.</i>	19
ელექტრული ველის კვლევა მათემატიკური მოდელით <i>კაკაურიძე ა.კ., მარდალაშვილი ნ.დ., ზივზივადე ლ.ბ., შალამბერიძე მ.შ.</i>	25
დაშვების კონტროლის სისტემებში ბიომეტრიული იდენტიფიკატორის გამოყენება <i>იაშვილი გ.ნ.</i>	30
შეცდომათა ალბათობის კოეფიციენტის (BER) ოპტიმალური მნიშვნელობის დადგენა გადაცემის ციფრული ბოჭკოვან-ოპტიკური სისტემის (ბტოს) მიმღების გადაწყვეტ მოწყობილობაში <i>სვანიძე რ.გ., ჩხაიძე მ.თ., კოდალაშვილი ა.დ.</i>	34
ჰიტარის შეფასების საკითხები გადაცემის ციფრულ ბოჭკოვან-ოპტიკურ სისტემებში <i>სვანიძე რ.გ., ჩხაიძე მ.თ.</i>	38
ბიტურ შეცდომათა ალბათობის კოეფიციენტის (BER) შეფასება გადაცემის ციფრულ ბოჭკოვან-ოპტიკურ სისტემებში დროითი ჰიტარის გათვალისწინებით <i>სვანიძე რ.გ., ჩხაიძე მ.თ.</i>	42
შეცდომების პირდაპირი ბასწორება ინფორმაციულ ტექნოლოგიებში <i>ლომინაძე ნ.ნ.</i>	47
ინფორმაციული ტექნოლოგიების გავლენა ქსელური აპლიკაციების მარშენებლებზე <i>ლომინაძე ნ.ნ., ხართიშვილი მ.პ.</i>	52
ინფორმაციულ-საკომუნიკაციო ტექნოლოგიების განვითარების ტენდენციები მსოფლიოსა და საქართველოში <i>ციხისთავი თ.თ., სვანიძე რ.გ.</i>	57
ინფორმაციულ-საკომუნიკაციო ტექნოლოგიების (ისტ) როლი ნაციონალურ ეკონომიკაში და მათი განვითარების კანონზომიერებები <i>ციხისთავი თ.თ., სვანიძე რ.გ.</i>	60
ვირტუალიზაცია ოპერაციულ სისტემა WINDOWS SERVER 2016 -ში <i>გაბაშვილი თ.გ., გაბაშვილი ნ.გ., ხართიშვილი მ.პ.</i>	65
WINDOWS SERVER 2016-ის შესაძლებლობანი <i>გაბაშვილი ნ.გ., აბულაძე ი.ბ., გაბაშვილი თ.გ.</i>	68
სივრცითი მოდულაციის ინფორმაციული ეფექტურობა <i>ულრელიძე ნ.ა., აკობია დ.გ., სორდია მ.დ., ჭოხონელიძე მ.თ., ქურხულიშვილი გ.დ.</i>	72
ნეირონული ქსელის ფორმირება სწავლების პროცესში <i>ვერულაგა ო.გ., ჩხაიძე მ.ნ., თავდიშვილი ო.ს.</i>	75
ერთობლივი ბაზოგების შედგენის აპროსიმაცია MATLAB-ის გამოყენებით <i>დარასელია ნ.მ., ჭოხონელიძე მ.თ.</i>	82

აირადი ნაკადის სიჩქარის გამზომი სითბური მიკროელემენტრულში სენსორი იმპულსური კვებით <i>ხაჩიძე თ.ო.</i>	86
СТАТИКА АБСОЛЮТНО ГИБКИХ СТЕРЖНЕЙ, НАГРУЖЕННЫХ СОСРЕДОТОЧЕННЫМИ СИЛАМИ В ПОТОКЕ ВОЗДУХА ИЛИ ЖИДКОСТИ <i>Арkania З. М.</i>	88
რადიოფარვის ზონაში შემწვლი ელემენტრომაგნიტური სიტუაციის შეფასების ზომიერტი საპითსი <i>ზურაბიშვილი ვ.ი., სვანიძე თ.ს., ლაფერაშვილი დ.ლ., ბერიაშვილი დ.ბ., ფერაძე ლ.ვ.</i>	94
CONCEPTUALITY OF THE FIELDS EXISTING IN NATURE <i>Kadagishvili L.G.</i>	97
ბათუმის საზღვარ კორტის ეკონომიური ანალიზი და მისი ბანვითარების პერსპექტივები <i>ჯოჯაგაძე ნ.ო.</i>	99
თანამედროვე ბეტონის ნარების დაპროექტების ძირითადი მოთხოვნები <i>ბალიაშვილი ვ.ი., სარჯველაძე ნ.ვ., გოგოლაური ი.ვ., ქათამაძე ი.ი.</i>	102
მსუბუში ბეტონის ტექნოლოგიის გაუმჯობესება <i>ბალიაშვილი ვ.ი., სარჯველაძე ნ.ვ., ქათამაძე ი.ი., ჯღამაია ვ.თ.</i>	107
О ФИЗИЧЕСКОЙ ПРИРОДЕ ЭФФЕКТА ДАЛЬНОДЕЙСТВИЯ ПРИ ПРОЦЕССАХ ЗАРОЖДЕНИЯ И РОСТА КРИСТАЛЛОВ <i>Герасимов А.В., Венхვაძე М.Т., Горგაძე К.М., Шенгелия М.А., Хизанишвили Ш.М., Чираძე Г.Д.</i>	111
რადიოაქტიურ ნარჩენებთან მოპყრობა მათი კლასიფიკაციის ბათვალისწინებით (საქართველოს შემთხვევა) <i>ნაბახტიანი ვ.ნ., გორგაძე კ.მ., თვალისაშვილი ვ.ზ., გიორგაძე ი.ს., ხიზანიშვილი შ.მ.</i>	116
О ФИЗИЧЕСКОМ МЕХАНИЗМЕ НАГРЕВА ВОДЫ В ВИХРЕВЫХ И ЭЛЕКТРОГИДРОУДАРНЫХ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРАХ <i>Герасимов А.В., Прангишвили А.И., Венхვაძე М.Т., Горგაძე К.М.</i>	124
ნავთობის საბალოების პერსპექტივები საქართველოში <i>ბერძე ნ.ვ., მაჭარაძე მ.ვ.</i>	129
ONE- STAGE PRODUCTION OF SUPERCONDUCTING MgB <sub>2</sub> AND HYBRID POWER TRANSMISSION LINES BY THE HOT SHOCK WAVE CONSOLIDATION TECHNOLOGY <i>Gegechkori T.O., Godibadze B.A., Peikrishvili V.A., Mamniashvili G.I. and Peikrishvili A.V.</i>	134
О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В БИОТЕХНОЛОГИЯХ ПАРОВ ПЕРЕКИСИ ВОДОРОДА, ВОДЯНОГО РАСТВОРА МОРСКОЙ СОЛИ И ВОДЯНОГО РАСТВОРА ГИДРОКАРБОНАТА НАТРИЯ (NAHCO <sub>3</sub> ) ПЛАЗМООБРАЗУЮЩЕЙ СРЕДОЙ ПРИ ГЕНЕРИРОВАНИИ НЕРАВНОВЕСНОЙ ПЛАЗМЫ <i>Сабашвили З. В.</i>	140
ბრუნვითი→ალმასი კატალიტური ბარდაქმნის კინეტიკის კვლევა <i>ლოლაძე ნ.თ., წეროძე მ.პ., ფხალაძე თ.ბ.</i>	144
ჰეტიროგენული სისტემების თერმოდინამიკური შეფასების ალგორითმის მათემატიკური მოდელი <i>ერისთავი დ.ვ., გოგიშვილი ა.რ., სარუნანიშვილი ა.ვ., გუგეშიძე მ.კ., ქერქაძე ჯ.ვ., მაცაბერძე ე.ლ.</i>	147

<b>ON ONE PROBABILISTIC MODEL OF CHEMICAL REACTION WITH FINITE LIFETIME</b> <i>Dochviri B.M., Tkemaladze G.Sh. and Makhashvili K.A.</i>	156
ჰალოგენფთხალებების მათემატიკურ-ქიმიური ბამოკვლევა <i>ბრეგაძე მ.ა., ლობჯანიძე ლ.გ., გვერდწითელი მ.ი.</i>	158
IVჯგუფის B ქვეჯგუფის ელემენტების დიოქსიდების მათემატიკურ-ქიმიური შესწავლა <i>სიღამონიძე ნ.ნ., ქოიავა ნ.ა., გვერდწითელი მ.ი.</i>	160
ერთფაზიანი, ნაჰერი, განუშტოებელი კარბონმჟავების მათემატიკურ-ქიმიური ბამოკვლევა <i>ქარჩხაძე მ.გ., გვერდწითელი მ.ი.</i>	162
ბიომრავალფეროვნების დაცვა და მისი ეკონომიკური ასპექტები <i>გიგინეიშვილი ლ.გ., ყარალაშვილი ნ.გ.</i>	164
მთრიმლავი და მღებავი ნივთიერებების კვლევა დასავლეთ საქართველოში ველურად მზარდ კენკროვნებში <i>ყოფიანი ა.გ., გამყრელიძე ე.ა.</i>	169
მაყვლის ( <i>Rubus fruticosus</i> ) ბიოლოგიური თავისებურებანი <i>კაჭარავა თ.ო., დევაძე დ.ე.</i>	171
ჯანსაღი კვების მიცნებურული და პრაქტიკული ასპექტები <i>თავლიდიშვილი დ.რ., ლეჟავა ქ.ს., მამრიკიშვილი ლ.გ., კვირიკაშვილი ლ.დ.</i>	175
<i>Lepideumsativum</i> - ნელეუმი ანტიკანცერობენული აქტივობის საკვები დანამატებისა და პროდუქტების შესაქმენლად <i>ქარჩხაძე მ.ს., არნანია თ.გ., ბერულავა ი.ო., ჯინჯოლია შ.რ., ქაჯაია ნ.შ.</i>	177
ფიჭვის მტვერის ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებები <i>ქარჩხაძე მ.ს., არნანია თ.გ., ჯინჯოლია შ.რ., ბერულავა ი.ო., ხეცურიანი გ.ს., ქაჯაია ნ.შ.</i>	179
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРА РАЗРУШЕНИЯ СИСТЕМЫ «ВОЛОКНО-СВЯЗУЮЩЕЕ» В ТЕКСТИЛЬНЫХ КОМПОЗИТАХ</b> <i>Мосешвили Т.В.</i>	182
ახალი სახის ბოჭბო „ლონა“-ს თვისებები <i>ბაკურაძე ე.ი., ზივზივაძე ბ.ლ., ვადაჭკორია ზ.ა., ბაკურაძე კ.ე., აბესაძე ნ.მ.</i>	187
ჰპვიანი ინტერაქტიული მრავალფუნქციური ტექსტილი <i>ფაილოძე ნ.ო., ბუაძე ე.პ., ბოჭორიშვილი რ.ი., ფესტვენძე თ.კ., კიკვიძე ი.ო.</i>	190
<b>ПОИСК НОВЫХ ПУТЕЙ УСВОЕНИЯ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ПРЕПАРАТОВ</b> <i>Паилაძე Н.О., Буაძე Е.П., Бочоришвили Р.И., Фествениძე Т. К., Кикვიძე И.О.</i>	193
<i>მახვილაძე – 85</i>	195
<i>შარიქაძე – 85</i>	196



ქართველი მათემატიკოსი და მექანიკოსი, სსრ კავშირის მეცნიერებათა აკადემიის და საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის აკადემიკოსი, სოციალისტური შრომის გმირი, საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის პრეზიდენტი, ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი ილია ვეკუა დაიბადა 1907 წლის 23 აპრილს, გალის რაიონის სოფელ შეშელეთში. საშუალო სკოლის დამთავრების შემდეგ, 1925 წელს, სწავლა განაგრძო თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ფიზიკა-მათემატიკის ფაკულტეტზე.

1930 წელს წარმატებით დაამთავრა ფიზიკა-მათემატიკის ფაკულტეტი და რეკომენდაცია მიეცა ლენინგრადის უნივერსიტეტის ასპირანტურაში ჩარიცხვისათვის. ასპირანტურის დამთავრების შემდეგ, 1933 წელს, ილია ვეკუა თბილისში დაბრუნდა და მუშაობა დაიწყო უნივერსიტეტში ფიზიკა-მათემატიკის ფაკულტეტზე. იგი კითხულობდა ლექციებს თანამედროვე მათემატიკის მრავალ დარგში.

1937 წელს ილია ვეკუამ თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტში დაიცვა საკანდიდატო დისერტაცია. იმავე წელს აირჩიეს დოცენტად. 1939 წელს წარმატებით დაიცვა სადოქტორო დისერტაცია.

1944 წელს ი. ვეკუა აირჩიეს საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის წევრ-კორესპონდენტად, ხოლო 1946 წელს ნამდვილ წევრად. იმავე წელს აირჩიეს სსრ კავშირის მეცნიერებათა აკადემიის წევრ-კორესპონდენტად, ხოლო 1958 წელს – ნამდვილ წევრად. 1940-1944 წლებში ილია ვეკუა უნივერსიტეტის ფიზიკა-მათემატიკის ფაკულტეტის დეკანი იყო.

1944-1947 წლებში ილია ვეკუა იყო თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის პრორექტორი სამეცნიერო ნაწილში, 1947-1951 წლებში – თსუ-ის უმაღლესი მათემატიკის კათედრის გამგე. 1948 წელს მან გამოაქვეყნა ფუნდამენტური მონოგრაფია „ელიფსურ განტოლებათა ამოხსნის ახალი მეთოდები“, რისთვისაც მას 1950 წელს სსრ კავშირის სახელმწიფო, ხოლო 1963 წელს მონოგრაფიისთვის „განზოგადებულ ფუნქციათა თეორია“ ლენინური პრემია მიენიჭა.

1951 წელს ვეკუა მოსკოვში გადავიდა და იქ განაგრძო მეცნიერული მოღვაწეობა. 1952 წელს იგი ლომონოსოვის სახელობის მოსკოვის უნივერსიტეტის დიფერენციალური განტოლებების კათედრის პროფესორად აირჩიეს, სადაც 1959 წლამდე იმუშავა.

1959 წელს ახალ დაარსებული ნოვოსიბირსკის უნივერსიტეტის პირველ რექტორად დაინიშნა. იყო ჟურნალ „Сибирский математический журнал“-ის და „Вестник Академии наук СССР“-ის რედკოლეგიის წევრი, სსრკ-ის მეცნიერებათა აკადემიის ციმბირის განყოფილების პიდროლინამიკის ინსტიტუტის თეორიული განყოფილების გამგე და სხვ.

1964 წელს ილია ვეკუა თბილისში დაბრუნდა. 1966 - 1972 წლებში იყო უნივერსიტეტის რექტორი. 1966 წელს უნივერსიტეტთან შეიქმნა გამოყენებითი მათემატიკის პრობლემური ლაბორატორია, რომლის ბაზაზე მოგვიანებით ჩამოყალიბდა გამოყენებითი მათემატიკის ინსტიტუტი, რომლის დირექტორი ი. ვეკუა იყო. მისი გარდაცვალების შემდეგ ინსტიტუტს ილია ვეკუას სახელი მიენიჭა.

1972 წლის მაისში ვეკუა საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის პრეზიდენტად აირჩიეს. ამ პოსტზე მან თავისი მასწავლებელი ნიკო მუსხელიშვილი შეცვალა.

ილია ვეკუა გარდაიცვალა 1977 წლის 2 დეკემბერს. დაკრძალულია მთაწმინდის მწვერალთა და საზოგადო მოღვაწეთა პანთეონში.

## ИЛЬЕ ВЕКУА – 110 ЛЕТ

Выдающийся грузинский математик-механик, член Академии наук СССР, Герой социалистического труда, Президент Академии наук Грузии, доктор физико-математических наук, профессор, Илья Векуа, родился 23 апреля 1907 г. в с. Шешелети Гальского р-на.

В 1925 г., окончив среднюю школу, И. Векуа поступил на физико-математический факультет Тбилисского государственного университета.

В 1930 г. И. Векуа поступил в аспирантуру Ленинградского университета. Окончив аспирантуру, в 1933 г. И. Векуа возвращается в Тбилиси и начинает работать на физико-математическом факультете Тбилисского государственного университета. Он читает лекции по многим отраслям современной математики.

В 1937 г. И. Векуа защитил кандидатскую диссертацию и был избран доцентом Тбилисского государственного университета. В 1939 г. он с успехом защитил докторскую диссертацию.

В 1944 г. И. Векуа избирается членом-корреспондентом, а в 1946 г. действительным членом Академии наук Грузии. В том же 1946 г. его избирают членом-корреспондентом, а в 1958 г. действительным членом Академии наук СССР. В 1940-1944 гг. И. Векуа был деканом физико-математического факультета ТГУ.

В 1944-1947 гг. он был проректором университета по научной части, а в 1947-1951 гг. – зав. кафедрой высшей математики.

В 1948 г. И. Векуа опубликовал фундаментальный труд «Новые методы решения эллиптических уравнений», за который в 1950 г. ему была присуждена Государственная премия СССР. В 1960 г. он получил Ленинскую премию за монографию «Теория обобщенных функций».

В 1951 г. И. Векуа уехал в Москву и там продолжил свою научную деятельность. В 1952 г. он стал профессором кафедры дифференциальных уравнений МГУ им. Ломоносова и проработал там до 1958 г.

В 1959 г. И. Векуа стал первым ректором новооснованного Новосибирского университета. Он был членом редколлегии Сибирского математического журнала и Вестника Академии наук СССР, зав. теоретическим отделением Института гидродинамики Сибирского отделения Академии наук СССР и т.д.

И. Векуа вернулся в Тбилиси в 1964 г. В 1966-1972 гг. он был ректором Тбилисского государственного университета. В 1966 г. при университете была создана лаборатория проблем прикладной математики, на базе которой позже сформировался Институт прикладной математики, который возглавил И. Векуа. После смерти И. Векуа его имя было присвоено институту.

В 1972 г. И. Векуа избрали Президентом Академии наук Грузии. Он сменил на этом посту своего учителя Н. Мусхелишвили.

Илья Векуа скончался 2 декабря 1977 г. Он похоронен на территории Мтацминдского Пантеона писателей и общественных деятелей.

#### ILIA VEKUA - 110

Ilia Vekua, a prominent Georgian mathematician and specialist in mechanics, a member of the Academy of Sciences of the USSR, Hero of Socialist Labor, President of the Georgian Academy of Sciences, Professor, was born in the village of Shesheleti, Gali Region, on 23 April 1907.

In 1925 I. Vekua entered the Department of Physics and Mathematics at Tbilisi State University.

In 1930 he began postgraduate studies at Leningrad State University. Having finished his postgraduate studies, I. Vekua returned to Tbilisi in 1933 and began working at the Department of Physics and Mathematics at Tbilisi State University. He rendered lectures in many branches of mathematics.

In 1937 I. Vekua defended his candidate's thesis and was elected an assistant professor at Tbilisi State University. In 1939 he defended the doctor's thesis.

In 1944 I. Vekua was elected a corresponding member, and in 1946 – a member of the Georgian Academy of Sciences. In the same 1946 he was elected a corresponding member, and in 1958 – a member of the Academy of Sciences of the USSR.

In 1940-1944 I. Vekua was a dean of at the Department of Physics and Mathematics at Tbilisi State University. In 1944-1947 he was a vice-rector of the university. In 1947-1951 he was the head of the Department of Higher Mathematics.

In 1948 I. Vekua published a fundamental work *New Methods of Solving Elliptic Equations*, for which he was awarded the State Prize of the USSR in 1950. In 1960 he was awarded Lenin Prize for the monograph *The Theory of Generalized Functions*.

In 1951 I. Vekua left for Moscow, where his scientific activity continued. In 1952 he became a professor of the Department of Differential Equations of Lomonosv Moscow State University and worked there till 1958.

In 1959, I. Vekua was appointed the first rector of newly founded Novosibirsk State University. He was a member of the editorial board of Siberian Mathematical Journal and the Bulletin of the Academy of Sciences of the USSR, the head of the theoretical department of the Institute of Hydrodynamics of the Siberian Branch of the Academy of Sciences, etc.

In 1964 I. Vekua returned to Tbilisi. In 1966-1972 he was the rector of Tbilisi State University. In 1966 a laboratory of applied mathematics was established. Later, on its base, the Institute of Applied Mathematics was formed. The Institute was headed by I. Vekua. After I. Vekua's death, the Institute of Mathematics was given his name.

In 1972 Ilia Vekua was elected the President of the Georgian Academy of Sciences. On this post, he replaced his teacher N. Muskhelishvili.

Ilia Vekua died on 2 December 1977. He was buried on the territory of the Mtatsminda Pantheon of Writers and Public Figures.



გამოჩენილი ქართველი მეცნიერი და პედაგოგი, მეცნიერების დამსახურებული მოღვაწე, საქართველოს სახელმწიფო პრემიის ლაურეატი პროფესორი ალექსი იასონის ძე გორგიძე დაიბადა ქუთაისში 1907 წლის 17 მაისს.

საშუალო განათლება ქუთაისის პირველ სოციალურ-ჰუმანიტარულ ტექნიკუმში მიიღო, რომელიც 1924 წელს დაამთავრა და იმავე წელს შევიდა თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის პედაგოგიური ფაკულტეტის ფიზიკა-მათემატიკის განყოფილებაზე.

1929 წელს სახელმწიფო უნივერსიტეტის დამთავრების შემდეგ, ა. გორგიძე ნ. მუსხელიშვილის მიწვევით საქართველოს პოლიტექ-

ნიკური ინსტიტუტის თეორიული მექანიკის კათედრაზე იწვევს მუშაობას.

1933 წელს სანკტ-პეტერბურგის (ლენინგრადის) უნივერსიტეტში მოღვაწე ცნობილ ქართველ მათემატიკოსთა ძალისხმევით თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტთან დაფუძნდა მათემატიკის ინსტიტუტი. ამ მამულიშვილურ წამოწყებას თაობდა დიდი ქართველი მეცნიერი ნ. მუსხელიშვილი. ახალგაზრდა მეცნიერებთან: კ. მარჯანიშვილთან, ვ. კუპრაძესთან, ი. ვეკუასთან, შ. მიქელაძესთან, დ. დოლიძესთან, ი. მეცხვარიშვილთან და ა. რუხაძესთან ერთად მათემატიკის ინსტიტუტის დაარსებაში დიდი წვლილი მიუძღვის ა. გორგიძეს, რომელიც მრავალი წლის განმავლობაში აღნიშნული ინსტიტუტის დირექტორის მოადგილის თანამდებობაზე მუშაობდა.

1935 წელს ალექსი გორგიძე დაბრუნდა თბილისში და მუშაობა განაგრძო მათემატიკის ინსტიტუტში, სახელმწიფო უნივერსიტეტსა და პოლიტექნიკურ ინსტიტუტში.

1938 წელს ნიკო მუსხელიშვილის რეკომენდაციით ალექსი გორგიძე არჩეულ იქნა საქართველოს პოლიტექნიკური ინსტიტუტის თეორიული მექანიკის კათედრის გამგის თანამდებობაზე, სადაც იგი ნახევარ საუკუნეზე მეტი ხნის (52 წლის) განმავლობაში მოღვაწეობდა და ეწეოდა დაუღალავ და ნაყოფიერ სამეცნიერო, სამეცნიერო-მეთოდურ, პედაგოგიურ, საზოგადოებრივ და აღმზრდელობით მუშაობას.

1941 წლის თებერვალში ჩამოყალიბდა საქართველოს მეცნიერებათა აკადემია, რომლის პირველ პრეზიდენტად არჩეულ იქნა აკადემიკოსი ნიკო მუსხელიშვილი, ხოლო პრეზიდენტის თანაშემწის მოვალეობას მრავალი წლის განმავლობაში (1941-1954 წლებში) ჩვეული ენერგიითა და მიზანდასახული მოღვაწეობით ასრულებდა ალექსი გორგიძე, რომელიც ეწეოდა დიდსა და ნაყოფიერ საორგანიზაციო მუშაობას.

ალექსი გორგიძის სამეცნიერო მოღვაწეობის მთავარ თემატიკას წარმოადგენდა დრეკადობის მათემატიკური თეორიის საკითხები.

1960 წელს ა. გორგიძე მიწვეული იყო ინგლისის სამეფო საზოგადოების მექანიკის ინსტიტუტში.

1970 წლიდან ბატონი ალექსი იყო საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიასთან არსებული მათემატიკისა და მექანიკის პრობლემების შემსწავლელი სამეცნიერო-მეთოდური საკოორდინაციო საბჭოს წევრი, ამიერკავკასიის ზონის სამეცნიერო მეთოდური საბჭოს ხელმძღვანელი; საქართველოს მათემატიკოსთა კავშირის გამგეობის წევრი და სხვ.

ბატონ ალექსის 1967 წელს მიენიჭა საქართველოს მეცნიერებისა და ტექნიკის დამსახურებული მოღვაწის საპატიო წოდება. 1998 წელს მიენიჭა საქართველოს სახელმწიფო პრემია.

ბატონი ალექსი გარდაიცვალა 1992 წლის 17 დეკემბერს თბილისში.

1993 წელს დაწესდა საქართველოს საინჟინრო აკადემიის ალექსი გორგიძის სახელობის პრემია, ხოლო საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში კი ალექსი გორგიძის სახელობის სტიპენდია. ა. გორგიძის სახელი მიენიჭა ქუთაისის ერთ-ერთ ქუჩას, საქართველოს მექანიკოსთა კავშირის სამეცნიერო-მეთოდურ სემინარს, 2013 წელს საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის საინჟინრო მექანიკის სამეცნიერო-სასწავლო ლაბორატორიას.

Выдающийся грузинский ученый и педагог, математик-механик, лауреат Государственной премии, Заслуженный деятель науки, профессор, Алексей Ясонович Горгидзе родился 17 мая 1907 года в г. Кутаиси.

В 1924 году окончил Социально-гуманитарный техникум. По окончании учебы в техникуме поступает в Тбилисский государственный университет на физико-математическое отделение.

С 1929 года А.Я. Горгидзе начал работать в Политехническом институте на кафедре теоретической механики. В 1932 году А.Я. Горгидзе направляется в аспирантуру Ленинградского государственного университета.

В 1933 г., усилиями известных грузинских математиков, работавших в Ленинградском (Санкт-Петербургском) университете, при Тбилисском государственном университете был основан Институт математики. Во главе этого важного для страны начинания стоял великий грузинский ученый Н. Мухелишвили. Наряду с молодыми учеными К. Марджанишвили, В. Купрадзе, И. Векуа, Ш. Микеладзе, Д. Долидзе, И. Мецхваришвили и А. Рухадзе большой вклад в основание Института математики внес А. Горгидзе, который в течение многих лет занимал пост заместителя директора института.

В 1935 году А.Я. Горгидзе оканчивает аспирантуру и возвращается в Тбилиси, где одновременно начинает работать в Грузинском политехническом институте, Тбилисском государственном университете и в Институте математики АН Грузии.

В 1938 году, по рекомендации Н. Мухелишвили, А.Я. Горгидзе избирается на должность заведующего кафедрой теоретической механики ГПИ, где в течение 52 лет вел плодотворную и неустанную научную, научно-методическую, педагогическую, общественную и воспитательную деятельность.

В феврале 1941 г. была образована Академия наук Грузии, президентом которой был избран академик Н. Мухелишвили, а А.Я. Горгидзе работал его помощником в течение ряда лет (1940-1954).

Главной темой научной деятельности А. Горгидзе были вопросы математической теории упругости.

В 1960 г. А. Горгидзе был приглашен в Институт механики Британского Королевского Общества.

С 1970 г. А.Я. Горгидзе был членом Научно-методического координационного совета президиума Научно-методического совета по изучению проблем математики и механики Академии наук Грузии, возглавлял Научно-методический совет по теоретической механике Закавказья и Грузии; был членом правления Математического общества Грузии и т.д.

В 1967 году А.Я. Горгидзе было присвоено звание «Заслуженный деятель науки Грузии».

А.Я. Горгидзе был удостоен Государственной премии Грузии в 1998 году.

А.Я. Горгидзе скончался 17 декабря 1992 году в Тбилиси.

В 1993 году Инженерной Академией Грузии учреждена премия им. А.Я. Горгидзе, а в Грузинском техническом университете – стипендия им. А.Я. Горгидзе. Именем А.Я. Горгидзе назван Научно-методический семинар по механике Союза механиков Грузии. В 2001 году одна из улиц г. Кутаиси названа именем А.Я. Горгидзе. В 2013 г. в Грузинском техническом университете имя А.Я. Горгидзе было присвоено Научно-учебной лаборатории по инженерной механике.



მარჯვნიდან: ნ. მუსხელიშვილი, ი. ვეკუა, დ. დოლიძე, ა. რუხაძე, ა. გორგიძე სპეტერბურგი, 1932 წ.

Alexi Gorgidze was a prominent Georgian scientist - mathematician and specialist in mechanics, Honored Scientist (1962), State Prize Laureate (1997), Professor.

Alexi Gorgidze was born in Kutaisi on May 17, 1907.

In 1924 A. Gorgidze entered the Department of Physics and Mathematics of Tbilisi State University.

In 1929 A. Gorgidze began working at the Department of Theoretical Mechanics of the Georgian Polytechnic Institute by Niko Muskhelishvili's invitation.

In 1933, by the efforts of Georgian mathematicians working at Leningrad (St. Petersburg) University, the Institute of Mathematics was founded at Tbilisi State University. At the head of this significant undertaking was a great Georgian scientist N. Muskhelishvili. Along with young scientists K. Marjanishvili, V. Kupradze, I. Vekua, Sh. Mikeladze, D. Dolidze, I. Metskhvarishvili and A. Rukhadze, A. Gorgidze made a great contribution to the establishment of the Institute of Mathematic, where he was Deputy Director for many years..

In 1935 A. Gorgidze finished his post-graduate studies and returned to Tbilisi. He began working at Tbilisi State University, the Georgian Polytechnic Institute and Tbilisi Institute of Mathematics.

In 1938, by N. Muskhelishvili's recommendation, A. Gorgidze was appointed the Head of the Department of Theoretical Mechanics of the Georgian Polytechnic Institute, where he conducted tireless and fruitful scientific, scientific methodological, pedagogical, educational and social activities for 52 years.

In February 1941, the Georgian Academy of Sciences was established, and Academician N. Muskhelishvili was elected its president. A. Gorgidze worked as an assistant president of the Academy over a period of years (1940-1954).

The main sphere of A. Gorgidze's scientific interests was the issues of the mathematical theory of elasticity.

In 1960 A. Gorgidze was invited to the Institute of Mechanics of the Royal Society in England.

Prof. A. Gorgidze was a member of the Scientific-Methodological Coordination Council on studying the problems of mathematics and mechanics at the Georgian Academy of Sciences, a member of the Board of the Georgian Mathematical Society and the Chairman of Transcaucasia Scientific-Methodological Council of Theoretical Mechanics, etc.

In 1967 Prof. A. Gorgidze was awarded the title of Honored Scientist, and in 1998- the State Prize of Georgia.

A. Gorgidze died in Tbilisi on 17 December, 1992.

In 1993 Alexi Gorgidze Prize was established by the Georgian Engineering Academy, and, at the Georgian Technical University, A. Gorgidze grant was founded. A. Gorgidze's name was assigned to the Scientific-Educational Laboratory of Engineering Mechanics at the Georgian Technical University. A. Gorgidze's name was given to Tbilisi Workshop on Theoretical and Applied Mechanics. One of the streets in the city of Kutaisi was called after A.Gorgidze.



ანტიკური ბრინჯაოს ძანდაკება და მექანიკის კანონები

გორგიძე დ.ა., კოკოშაშვილი გ.რ., დავითაშვილი გ.რ., ჩაჩანიძე ზ.ზ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

1877 წელს დაბა ყაზბეგში წარმოებული არქეოლოგიური გათხრების დროს გ. ფილიმონოვის მიერ აღმოჩენილ იქნა ბრინჯაოს, ვერცხლისა და რკინის ნაკეთობებისგან შემდგარი უმდიდრესი განძი, რომელიც სპეციალისტთა წრეში „ყაზბეგის განძის“ სახელითაა ცნობილი.

სარიტუალო ფერხულის პერსონაჟებს შორის აღმოჩნდა ერთი ქანდაკება, რომელმაც მეცნიერების ყურადღება მიიქცია. იგი წარმოადგენს ორი, ერთმანეთისთვის მარცხენა ხელჩაკიდებული, კაცის ფიგურას. ფიგურები წელში წინ არიან გადახრილი და ისე დგანან ერთმანეთის პირისპირ დინამიურ პოზაში. სწორედ ამიტომ ეს ქანდაკებაც წლების განმავლობაში რელიგიურ-საკულტო ქმედების, ე. წ. „საქმისას“ ერთი შემადგენელი ნაწილის, კერძოდ კი რიტუალური ცეკვის – „ფერხისას“ გამოსახულებად მიიჩნეოდა სამეცნიერო წრეებში.

ალტერნატიული აზრი გამოითქვა ქართული საბრძოლო ხელოვნების მკვლევრის – კახა ზარნაძის მიერ, რომელმაც აღნიშნული ქანდაკება რიტუალური ორთაბრძოლის გამოსახულებად მიიჩნია. მისი აზრით ფიგურების პოზიცია ერთმანეთის მიმართ და გამოსახულების დინამიკა ერთმნიშვნელოვნად მიუთითებდა, რომ ქანდაკება ასახავდა ჭიდაობის სცენას. თუმცა ამ თეორიის დამამტკიცებელი რაიმე სერიოზული არგუმენტი ბოლო დრომდე არ იყო ცნობილი. პრობლემას ნათელი მოეფინა 2015 წელს, როდესაც სტუ-ს მკვლევართა ჯგუფმა გადაწყვიტა ქართული საბრძოლო ხელოვნების ცალკეულ დისციპლინათა მექანიკის შესწავლა. რატქმაუნდა, დღის წესრიგში დადგა ჩვენთვის საინტერესო ქანდაკების აღნიშნული კუთხით შესწავლის საკითხიც.

უნდა ითქვას, რომ საბრძოლო ხელოვნების და, კერძოდ ჭიდაობის ერთ-ერთი მთავარი ამოცანაა მოწინააღმდეგის წონასწორობიდან გამოყვანა, რაც სხვადასხვა მანიპულაციით მიიღწევა.

ქართული ჭიდაობის ტექნიკური არსენალი დაყოფილია საერთო ნიშნით გაერთიანებული ილეთების რამდენიმე ჯგუფად, ყოველი ილეთის მიზანია მოწინააღმდეგის წაქცევა ანუ გდების შესრულება. ქართული ჭიდაობის ყოველი ილეთი ისეა გათვლილი, რომ გდების განხორციელება ხდება (ილეთის სრულყოფილად შესრულების შემთხვევაში) ძალების მინიმალური დახარჯვითა და მოწინააღმდეგის ძალის გამოყენებით. თავისთავად ნებისმიერი გდება არის მოძრაობა, რომელიც ემორჩილება მექანიკის კანონებს. სწორედ ამ კანონების გათვალისწინებით ჩვენ შეგვიძლია ყოველი ცალკეული ილეთი განვიხილოთ მოძრაობის ცალკეულ მოცემულ ფაზაში.

ვიდრე საქმის არსებით განხილვაზე გადავიდოდეთ გვინდა შევჩერდეთ ქართულ ენაზე გაუდერებული რამდენიმე სპეციფიკური ტერმინის განმარტებაზე, რომელთა გამოყენება პირველად ამ ნაშრომში მოხდა.

როგორც ითქვა, ყოველი საჭიდაო ილეთის მიზანია მოწინააღმდეგის წონასწორობიდან გამოყვანა, ანუ სხეულის მდგრადობის დაძლევა, რც მიიღწევა ადამიანის სიმძიმის ცენტრზე ზემოქმედებით.

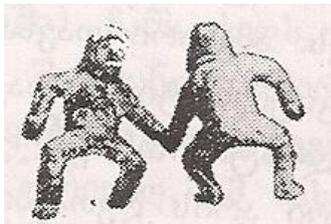
განასხვავებენ სტატიკურ და დინამიკურ მდგრადობას.

თუ სხეულზე არ მოქმედებენ დინამიკური ძალები (ცენტრიდანული და ინერციის ძალები) მისი მდგრადობა სტატიკურია. შესაბამისად დინამიკური მდგრადობის დროს სხეულზე მოქმედებენ ცენტრიდანული და ინერციის ძალები და ასევე მათი გამაწონასწორებელი ძალები. სხეულის მდგომარეობა სტატიკურად მდგრადია თუ ის გრავიტაციული ძალის ზემოქმედების მიუხედავად ინარჩუნებს წონასწორობას.

გარე ძალების არ არსებობის შემთხვევაში მდგრადობა განისაზღვრება სხეულის ზღვრული დახრის კუთხით, რომელსაც უწოდებენ სტატიკური მდგრადობის კუთხეს. ეს არის კუთხე სიმძიმის ძალის ვექტორსა და სხეულის მასის ცენტრიდან

გადაყირაგების ხაზამდე გავლებულ ხაზს შორის. ადამიანის სხეულის როგორც მასის, ასევე სიმძიმის ცენტრი მდებარეობს ადამიანის ჭიპის ქვემოთ ოთხი თითის დადებაზე არსებული წერტილის გასწვრივ სხეულის სირმეში. ქართულად მას „ღვინჭიპა“ ეწოდება. სიმძიმის ძალის ფუძე ეწოდება წრფეს, რომელზედაც მდებარეობს სიმძიმის ძალა. სხეულის მდგრადობას ასევე განსაზღვრავს ე.წ. ბაზური საყრდენი ფართი, რომელიც შემოსაზღვრულია, ერთი მხრივ, ადამიანის ტერფების გარეთა კონტურზე – ე. წ. „ხომზე“ – გამავალი წრფით, ხოლო მეორე მხრივ ქუსლებისა და ფეხის ცხვირების, ანუ ჭვინტების შემაერთებელი ხაზით. ბაზური საყრდენი ფართი შემოსაზღვრულ წრფეებს ეწოდებათ გადაყირაგების ხაზი. თუ სიმძიმის ძალის ფუძის პროექცია ბაზური საყრდენი ფართის პერიმეტრზე ან მის შიგნითაა, მაშინ სხეული წონასწორობაშია. სხეულის წონასწორობიდან გამოსაყვანად საჭიროა სიმძიმის ძალის ფუძის პროექცია გავიდეს ბაზური საყრდენი ფართის პერიმეტრის გარეთ, ანუ გადასცდეს გადაყირაგების ხაზს. ამ შემთხვევაში სტატიკური მდგრადობის კუთხე გადააჭარბებს თავის ზღვრულ ნიშნულს. მყარი სხეულის სტატიკური (ნელი) დახრის დროს ვარდნა ხდება აღნიშნული გადაყირაგების ხაზის მიმართ.

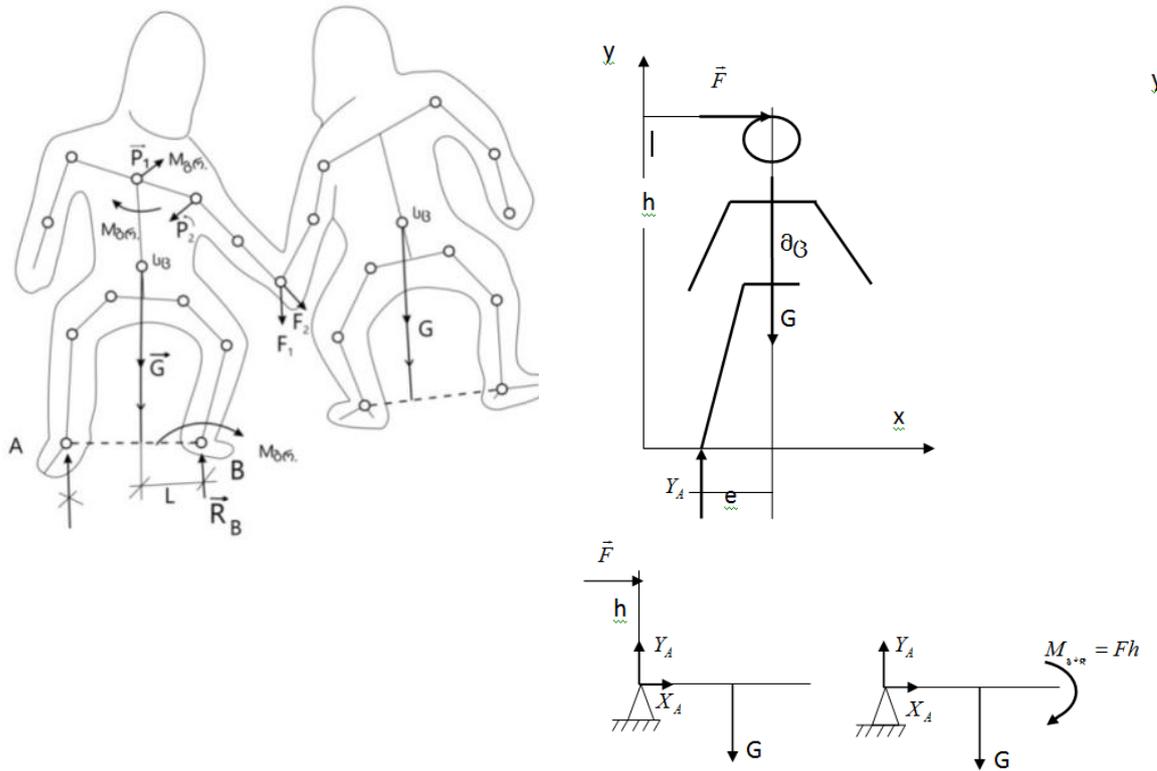
საჭიდაო ილეეთის შესრულება ბერკეტის პრინციპის გამოყენებაზეა აგებული. ბერკეტი კი, როგორც ცნობილია, არის მყარი სხეული რომელსაც შეუძლია ბრუნვა უძრავი საყრდენი წერტილის ირგვლივ ბრუნვის ღერძის მართობ სიბრტყეში მდებარე ძალების მოქმედებით.



სურ. 1. ბრინჯაოს ქანდაკება, ძვ. წ.ა. VI ს

ჩვენთვის საინტერესო ბრინჯაოს ქანდაკების (სურ. 1) ფიგურები წელში წინ არიან გადახრილი, და ისე დგანან ერთმანეთის პირისპირ დინამიურ პოზაში, თითქოს საჭიდაო ილეეთის შესრულებას აპირებენო. თუ დავაკვირდებით ფოტოზე გამოსახულ მარჯვენა ფიგურას, შევნიშნავთ, რომ მას მარცხენა ხელი ბოლომდე აქვს გაშლილი და პრაქტიკულად საკუთარი სხეულის წინ, ე. წ. „ღვინჭიპას“ გასწვრივ უჭირავს. წონასწორობა მარცხენა ფეხზე გადაუტანია და სხეულის მთელი სიმძიმით აწევა მოწინააღმდეგის ხელის მტევანს. ამ უკანასკნელის მკლავი გაშლილი და დაჭიმულია, რაც მხოლოდ ხელის მტევანზე მაჯის სახსრის ბუნებრივი ღუნვის საწინააღმდეგო მიმართულებით განხორციელებული დატვირთვის შედეგადაა შესაძლებელი. ამაზე მიუთითებს დაბლა დაწეული მარცხენა და აწეული მარჯვენა მხარი. მასაც (მარცხენა ფიგურას) სიმძიმე მუხლში მოხრილ მარცხენა ფეხზე გადაუტანია, თუმცა, პირველი ფიგურისგან განსხვავებით მარცხენა მკლავი გვერდზე აქვს გაწეული, რის გამოც წელში მარცხნივ გადახრილა და ჩანს, რომ წონასწორობიდანაა გამოსული. სურათზე მარცხნივ გამოსახული ფიგურის სიმძიმის ცენტრის პროექცია გასულია მისივე ფეხის ქუსლებზე გამავალი წარმოსახვითი ხაზის გარეთ, რაც უცილობლად მიუთითებს, რომ აღნიშნულ სხეულს დაკარგული აქვს მდგრადობა და იმყოფება ვარდნის მდგომარეობაში.

ბრინჯაოს ქანდაკების სქემატურ გამოსახულებაზე (სურ. 2) ვხედავთ, რომ ზურგით მდგარ ფიგურას მარცხენა ხელი იდაყვში აქვს მოხრილი, სიმძიმის ძალის ვექტორი გადახრილია მარცხენა ფეხისკენ და პროეცირდება ბაზური საყრდენი ფართის შიგნით, მარცხენა ტერფთან ახლოს. მდგრადობის კუთხის სიდიდე ნულზე მეტია, თუმცა არ სცდება ზღვრულ ნიშნულს. ეს უცილობლად მიუთითებს იმაზე, რომ სხეულს დაწეებული აქვს მოძრაობა, მაგრამ ამავე დროს წონასწორობის მდგომარეობაშია. შეიძლება ითქვას, რომ ფიგურა ასახავს გარკვეული მოძრაობის ერთ კონკრეტულ ეპიზოდს, რომლის მიზანი პარტნიორის მარცხენა ხელზე ზემოქმედებაა.



სურ. 2

$$\sum_k X_k = X_A + F = 0;$$

$$\sum_k Y_k = Y_A - G - P = 0;$$

$$\sum_k L_{Ak} = Ge_1 + Fh_1 + Pe_1 = M_{პაღ} \neq 0;$$

იდაყვის სახსრით დაკავშირებული მხრისა და წინამხრის ერთობლიობა წარმოადგენს კინემატიკურ წყვილს, რომელიც სხეულთან დაკავშირებულია მხრის სახსრით. კინემატიკური წყვილი წარმოადგენს ერთმანეთის მიმართ მოძრა, ორ შეერთებულ სხეულს. რამდენიმე კინემატიკური წყვილის ერთობლიობა კი ქმნის ე. წ. კინემატიკურ ჯაჭვს. ხელის მტევნის, წინამხრის, მხრის და ბეჭის ერთმანეთთან სახსრებით დაკავშირებული ერთობლიობა და შემდეგ მათთან ხერხემლის მეცხებითა და კუნთებით შეერთება შეგვიძლია განვიხილოთ როგორც კინემატიკური ჯაჭვი [1,2].

სახსარზე ბუნებრივი ღუნვის საწინააღმდეგო მიმართულებით ზემოქმედების შედეგად სახსარი ანატომიურად იკეტება. მაჯის სახსრის ჩაკეტვას მოჰყვება ხელის მტევნისა და წინამხრის თავისუფლების ხარისხის შემცირება და მათი ერთმანეთის მიმართ უძრავად დაფიქსირება. მსგავსი მანიპულაციების გაგრძელებით, იკეტება იდაყვის სახსარიც, რასაც მოჰყვება პარტნიორის მკლავის სრული გაშლა. მაჯისა და იდაყვის სახსრის ჩაკეტვის შედეგად, კინემატიკური ჯაჭვის ნაცვლად, ხელის მტევნის, წინამხრისა და მხრის ერთობლიობა წარმოქმნისმყარ სხეულს, რომლის მეშვეობითაც შეგვიძლია მსგავსი ზემოქმედება განვახორციელოთ მხრის სახსარზეც. აღნიშნული ქმედების ტექნიკის აღწერა ამჟამად არ წარმოადგენს ჩვენი კვლევის

მიზანს. აღნიშნავთ მხოლოდ, რომ დასახელებული ტექნიკის მეშვეობით სახსრების თანმიმდევრული ჩაკეტვის შედეგად, ხელის მტევნის, წინამხრის, მხრის, ბეჭის და ხერხემლის თავისუფლების ხარისხის შეზღუდვით მივიღებთ ერთიან მყარ სხეულს, ბერკეტს, რომელიც წარმოადგენს შესატევ ობიექტზე მოქმედი ძალის მხარს. ასეთი სურათი კარგად ფიქსირდება მოცემულ გამოსახულებაზე.

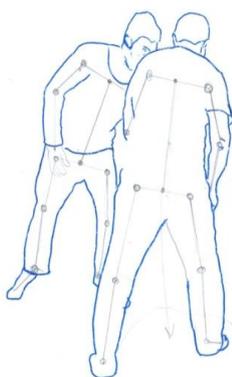
ცნობილია, რომ რაც მეტია მხარის სიგრძე, მით ნაკლები სიდიდის ძალის მოდებია საჭირო სხეულზე აუცილებელი ზემოქმედების განსახორციელებლად. შესაბამისად ხელის მტევანზე ძალის მოდების შემთხვევაში მოწინააღმდეგის წონასწორობიდან გამოსაყვანად დაგვჭირდება მინიმალური ძალისხმევა. ამ დროს კინემატიკური ჯაჭვის მაგივრად მიღებული მყარი სხეულის, ანუ გაშლილი და გაჭიმული მკლავის მეშვეობით, რომლის მოდების წერტილია მხრის სახსარი, შემტევი აგრძელებს ზემოქმედებას პარტნიორზე – აწევს ქვემოთ და წრიულად, რის შედეგადაც მხრის სახსარზე მოდებული ძალა მოქმედებს ხერხემალზე – გრიხავს რა მას საკუთარი ღერძის გასწვრივ. ამ დროს მაბრუნებელი მომენტი გადაეცემა სხეულს, რომელიც თავის მხრივ იწყებს ტრიალს უძრავ საყრდენ წერტილზე (ქუსლზე) გამავალი ღერძის ირგვლივ. აღნიშნული მოქმედებების შემდეგ შესატევი ობიექტის სიმძიმის ცენტრის ვერტიკალური პროექციის წერტილი ფიქსირდება გადაყირავების ხაზს მიღმა, ე.ი. სხეული იმყოფება წონასწორობის ზღურბლზე. ასეთ მდგომარეობაში მყოფი ადამიანი წონასწორობის დასაბალანსებლად იძულებულია კუნთის დაძაბვის ხარჯზე სცადოს სიმძიმის ცენტრის დაბრუნება წონასწორობის წრის შიგნით, რისთვისაც ხრის ფეხებს მუხლის სახსარში, ხოლო დაბლა დაწეულ მარცხენა მხარს აკომპენსირებს მეორე მხრის ნაწილობრივი გაშლითა და მაღლა აწევით. ასეთ მდგომარეობას ზუსტად შეესაბამება ჩვენთვის საინტერესო გამოსახულებაზე მარცხნივ მდგომი ფიგურის პოზა.

მსგავსი ბრუნვითი მოძრაობები, ზედა კიდურების სახსრების ჩაკეტვით, დამახასიათებელია ცალხელა ჭიდაობის ზოგიერთი ილეთისათვის.

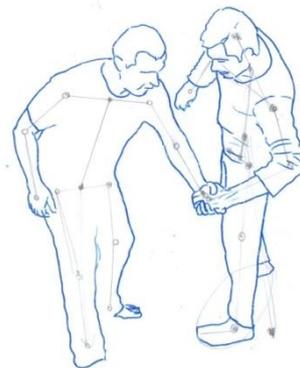
ამ პრინციპის ილუსტრაცია ქვემოთაა მოყვანილი. შემდგომ კადრირებული სურათები დაგვეხმარება ორთაბრძოლის მექანიკაში გასარკვევად.

**ფაზა 1.** სისტემა წონასწორობაშია. მოწინააღმდეგის მდგომარეობა სტატიკური და მდგრადია. ის დგომში ორივე ფეხს ეყრდნობა. ბაზური საყრდენი ფართი ოპტიმალურია. სიმძიმის G ძალის ფუძე გაივლის საყრდენი ფართის ცენტრში. დასკვნა; სისტემა სტატიკური და მდგრადია.

**ფაზა 2. წონასწორობიდან გამოყვანა**



ნახ. 2,ა



ნახ. 2,ბ

მოწინააღმდეგის წონასწორობიდან გამოსაყვანად სახსრების თანმიმდევრობითი ჩაკეტვით ვქმნით ბერკეტს. ამასთან ვდგამთ ნაბიჯს, სხეულის სიმძიმე გადაგვაქვს გაშლილ ხელზე და ვაწევით პარტნიორის მაჯას ქვემოთ და განზე. ბერკეტის

მეშვეობით, რომლის მხარის სიგრძე არის მთლიანად მკლავი, ხოლო ძალის მოდების წერტილები ხელის მტევანი და ბეჭი, ვმოქმედებთ სხეულზე ისე, რომ მოწინააღმდეგეს სიმძიმე გადააქვს მთლიანად მარცხენა ფეხზე. ამ დროს მარჯვენა ფეხი ოდნავ ეხება საყრდენ ზედაპირს და აღარ მოქმედებს რეაქციის ძალა. ბაზური საყრდენი ფართო მცირდება ტერფის ზომამდე, სადაც გაივლის სიმძიმის G ძალის ფუძე.

### ფაზა 3. წონასწორობიდან გამოყვანა

გრძელდება წონასწორობის დარღვევა. ამისათვის მოწინააღმდეგეზე მოქმედებას იწყებს გადამყრავებელი და მაბრუნებელი მომენტი. წინააღმდეგობის გაწევის მიზნით, მოწინააღმდეგე კეტავს სხეულს და ამცირებს მოძრაობის თავისუფლების ხარისხს. მოწინააღმდეგეს აქვს ერთი საყრდენი წერტილი. მას შეუძლია შეასრულოს ბრუნვითი მოძრაობა ამ წერტილის გარშემო.

დასკვნა: სისტემა არამდგრადია. მოწინააღმდეგის მდგომარეობა არამდგრადია.



ნახ. 3,ა



ნახ. 3,ბ

### ფაზა 4. წონასწორობიდან გამოყვანა

მოწინააღმდეგეზე მოქმედებს როგორც გადამყრავებელი მომენტი, ასევე მაბრუნებელი მომენტი. ჯამური მომენტის ზემოქმედებით მოწინააღმდეგე ეცემა.



ნახ. 4

ამ გარემოებათა გათვალისწინებით შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ საკვლევი ბრინჯაოს ქანდაკება წარმოადგენს კომპოზიციას, რომელიც ასახავს ჩვენს მიერ შესწავლილი მოძრაობის ერთ-ერთ ფაზას და წარმოადგენს რიტუალური ორთაბრძოლის პლასტიკურ გამოსახულებას.

ასეთი ილეთი გვხვდება ქართული ჭიდაობის ერთ-ერთი სახეობის – „მაჯურას“ არსენალში. ამ ილეთში, რომელიც ცალი ხელით სრულდება, კარგად ჩანს გდების შესრულების დროს ბერკეტის გამოყენების პრინციპი. მყარი სხეულის შესაქმნელად მებრძოლები მიმართავენ შემდეგ ხერხს: ჯერ კეტავენ მაჯის სახსარს, რისთვისაც ძალას მოსდებენ სახსრის ბუნებრივი ღუნვის საწინააღმდეგო მიმართულებით. მიიღება მყარი სხეული, ანუ ბერკეტი, რომლისთვისაც ძალის მოდების წერტილი არის მაჯის სახსარი, ხოლო მხარი მთლიანად წინამხარი და ხელის მტევანი. ხელის მტევანზე დაწოლის შედეგად იკეტება იდაყვის სახსარიც და ახლა უკვე მთელი მკლავი აღმოჩნდება ხისტ მდგომარეობაში, რის გამოც ის შეასრულებს ბერკეტის ფუნქციას საყრდენი წერტილით მხრის სახსარში. ამ ბერკეტის გამოყენებით სრულდება წრიული მოძრაობა, რომლის ამოცანაა უკვე მხრიდან ფეხის ტერფამდე სხეულის გადაყვანა ხისტ მდგომარეობაში და ქუსლის გამოყენება საყრდენ წერტილად. ამ დროს მთლიანდ მკლავი და სხეული მხრიდან ფეხის ტერფამდე წარმოადგენს ბერკეტს (რადგან სახსრების თანმიმდევრული ჩაკეტვის გამო იმყოფება ხისტ მდგომარეობაში), რომლის მოდების წერტილი არის ხელის მტევანი, ხოლო საყრდენი უძრავი წერტილი კი ფეხის ქუსლი. ხელის მტევანზე განხორციელებული შემდგომი დატვირთვის შედეგად შესატყვის ობიექტი, შემტევის მხრიდან მცირე ძალების დახარჯვის შემდეგ, გამოდის წონასწორობის მდგომარეობიდან.

როგორც ვხედავთ ბრინჯაოს ქანდაკების მექანიკის შესწავლამ ცხადყო, რომ „მაჯურა“ ჭიდაობის ერთ-ერთი ილეთისა და აღნიშნული ქანდაკების ფიგურათა დინამიკა პრაქტიკულად იდენტურია. ამასთან არ არსებობს ცეკვის არც ერთი სახეობა, თუნდაც რიტუალურისა, რომელიც გულისხმობდეს პარტნიორის წონასწორობიდან გამოყვანას ძალისა და ტექნიკური მანიპულაციის მეშვეობით. ამიტომ შეგვიძლია დაბეჯითებით განვაცხადოთ, რომ სტეფანწმინდის განძის კოლექციაში დაცული ბრინჯაოს ანთროპომორფული ქანდაკება, ორი ხელჩაკიდებული კაცის გამოსახულებით, წარმოადგენს რიტუალური ჭიდაობის სცენას და შეადგენს რელიგიურ-საწესო ქმედების „საქმისას“ ნაწილს.

ამასთან ჩანს, რომ ბრინჯაოს ქანდაკების შემქმნელი კარგად ერკვევა კონტაქტური ბრძოლის საკითხებში. მან იცის სქემატური მოცულობითი გამოსახულების შექმნისას როგორ გაამახვილოს ყურადღება ზუსტად იმ დინამიურ პროცესზე, რომელიც მიზნად ისახავს მოწინააღმდეგის თუ პარტნიორის წონასწორობიდან გამოყვანას. გავიხსენოთ, რომ აღნიშნული ბრინჯაოს ნაკეთობის ანთროპომორფული ფიგურები არ წარმოადგენენ ანატომიის ზედმიწევნითი სიზუსტით შესრულებულ ადამიანთა ქანდაკებებს. აქ ძირითადი ყურადღება, როგორც უკვე აღვნიშნეთ, გადატანილია თვითონ ჭიდაობის დინამიკაზე. ეს კი, როგორც ჩანს, მოქანდაკის მთავარ მიზანს წარმოადგენს.

#### ლიტერატურა

1. Лойцянский Л.Г., Лурье А.И. Курс теоретической механики. –М., Дрофа, 2006, 719 с.
2. გ. კოკოშავილი. ქართული საბრძოლო ხელოვნება, სტუ, 2013.

#### SUMMARY

#### ANTIQUÉ BRONZE SCULPTURE AND THE LAWS OF MECHANICS

Gorgidze D.A., Kokoshashvili G.R., Davitashvili G.R. and Chachanidze Z.Z.

Georgian Technical University

In 1877, during archeological excavations in Kazbegi borough, treasure consisting of bronze, silver and iron items was found. For specialists, this treasure is known as the Kazbegi treasure. One sculpture attracted special attention of specialists. It depicted two men holding left hands. It was thought to depict a cultic action for a long time. There was an alternative idea that the sculpture depicted ritual wrestling. This was indicated by positions of the figures and the image dynamics. By studying the mechanics of Georgian martial arts, it was revealed that one of wrestling techniques and the dynamics of the figures were practically identical.

**Keywords:** laws of mechanics, sculpture, wrestling.

## რეგრესული სტატისტიკური ანალიზის გამოყენებითი ასპექტები

გუბლენი დიდი მათემატიკოსისა და მეგობრის  
გრიგოლ სოხაძის ნათელ ხსოვნას

ბუაძე ტ.გ.

## საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

## 1. შესავალი

ალბათურ-სტატისტიკურ კვლევებს მრავალსაუკუნოვანი ისტორია გააჩნია და წარმატებით მიმდინარეობს დღესაც მთელ მსოფლიოში, რასაც ხელი შეუწყო იმ წარმატებებმა, რომელიც მიღწეულ იქნა საინჟინრო-ტექნიკური და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებების სხვადასხვა დარგში, განსაკუთრებით, ეკონომიკასა (ძირითადად კეინსის თეორია) და მათემატიკურ სტატისტიკაში (ფიშერი, ეიტკინი, ფონ ნეიმანი). ეკონომიკაში შემთხვევით მოვლენებთან და პროცესებთან დაკავშირებული ამოცანების გადაწყვეტის რეგრესიულ-კორელაციური ანალიზის ზოგად სტატისტიკურ მეთოდებსა და მოდელებს უდიდესი სამეცნიერო პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს ოპტიმალური პროგნოზირების შემუშავებასა და სტრატეგიების შერჩევის საქმეში.

ამ ამოცანებს ხშირად ეკონომეტრიკულ ამოცანებს უწოდებენ. გამოყოფენ მის შემსწავლელ მეცნიერებას, რომელსაც ეკონომეტრიკას უწოდებენ.

ამავე დროს რეგრესიის ფუნქციის შეფასების აგების ამოცანა თანამედროვე მათემატიკური სტატისტიკის ერთ-ერთი უმთავრესი პრობლემაა. ვთქვათ, შემთხვევითი სიდიდე წარმოადგენს  $X$  შემთხვევითი სიდიდის ჩვენთვის უცნობ დეტერმინისტულ ფუნქციას. ამ სიდიდეთა  $(X, Y)$  წყვილზე  $(X_1, Y_1, \dots, X_n, Y_n)$  დამოუკიდებელ დაკვირვებათა საფუძველზე, საჭიროა აგებულ იქნეს რეგრესიის უცნობი  $a(x)$  ფუნქციის ძალღებული შეფასება -  $\hat{a}_n(x)$ . რეგრესიის განტოლებას აქვს სახე:

$$Y = a(X) + \varepsilon,$$

სადაც  $\varepsilon$  შემთხვევითი ცდომილებაა. მას ხშირად შეშფოთებასაც უწოდებენ. რეგრესიის ფუნქციის ინტერპრეტაცია შეგვიძლია პირობითი მათემატიკური ლოდინის ტერმინების პირობებშიც:

$$a(x) = E(Y|X = x)$$

დასმული ამოცანის ფარგლებში მრავალი პრაქტიკულად საინტერესო ამოცანა შეიძლება აღიწეროს მეცნიერების სხვადასხვა დარგში.

ყველაზე გაგრძელებულია და მნიშვნელოვანია პრაქტიკულად ნადარაიავატსონის რეგრესიის ფუნქციის აგების მეთოდი, რომელიც შემოთავაზებული იქნა 1964 წელს ქართველი მათემატიკოსის, ელიზბარ ნადარაიასა და ავსტრალიელი მათემატიკოსის ჟოფრე ვატსონის მიერ, ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად.

შეფასებას აქვს სახე:

$$\hat{a}_n(x) = \frac{\sum_{i=1}^n K\left(\frac{x-x_i}{b_n}\right) Y_i}{\sum_{i=1}^n K\left(\frac{x-x_i}{b_n}\right)}$$

სადაც  $K(x)$  ალბათური განაწილების სიმკვრივის თვისებების მქონე ნებისმიერი ფუნქციაა, ხოლო  $b_n$  წარმოადგენს უსასრულოდ მცირე დადებით მიმდევრობას.

შესაბამის პირობებში შესწავლილ იქნა ამ შეფასების ძალდებულობის, ასიმპტოტური ნორმალურობისა და სხვა თვისებები.

## 2. ტიპური ეკონომეტრიკული მაგალითები, რომლებსაც მიყვავართ რეგრესიულ ანალიზამდე

მოვიყვანოთ რამოდენიმე სქემატური მაგალითი, რომლებიც შეიძლება აღწერილ იქნას ეკონომეტრიკული ანალიზის საშუალებით.

- ვთქვათ დროით  $t$  პერიოდში რაღაც კონკრეტული საქონლის ფასის სიდიდე დამოკიდებულია ამ საქონლის მოწოდების მოცულობაზე (რაოდენობაზე). ამ პერიოდში და კონკურენტული საქონლის ფასებზე. საჭიროა რაოდენობრივი კავშირის აღმოჩენა და მისი საშუალებით პასუხის გაცემა კითხვაზე: რამდენად შეიცვლება ამ საქონლის ფასი თუკი შეიცვლება მოწოდების მოცულობა და კონკურენტული საქონლის ფასი (ე. წ. ფასის ფუნქცია)?

- გარკვეული საქონლისათვის მოთხოვნა დამოკიდებულია ამ საქონლის ფასზე. კონკურენტული საქონლის ფასები, თავის მხრივ, დამოკიდებულია მომხმარებელთა რეალურ შემოსავლებზე მოცემული დროის პერიოდში. საჭიროა ამ ფუნქციონალური კავშირის დადგენა და მისი საშუალებით მოთხოვნის განსაზღვრა დასახელებული სიდიდეებისაგან დამოკიდებულებით (ე. წ. მოთხოვნის ფუნქცია).

- საწარმოში საშუალო საწარმოო დანახარჯები  $t$  პერიოდის განმავლობაში დამოკიდებული არიან ძირითადად გამოყენებული ნედლეულის ფასებზე და საწარმოო რესურსების დანახარჯებზე. უნდა დადგინდეს ფუნქციონალური დამოკიდებულება დასახელებულ ფაქტორებს შორის (ე.წ. დანახარჯების ფუნქცია).

- რაღაც საწარმო ასრულებს „ეკოლოგიურ პროგრამას“. ამისათვის აწარმოებს სარეკლამო კომპანიას. უნდა დადგინდეს ფუნქციონალური დამოკიდებულება შემდეგ სიდიდეებს შორის  $Y$  – რეალიზაციის მოცულობა,  $X$  – სარეკლამო დანახარჯები,  $Z$  – წარმოებული პროდუქციის „ეკოლოგიური სისუფთავის“ ინდექსი (ე.წ. ბაზრის გრძნობადობის ფუნქცია).

- სხვადასხვა საწარმო, რომლებიც ერთსა და იმავე დარგში მოღვაწეობენ, აღწევს სხვადასხვა დონის წარმატებას. უნდა დადგინდეს საწარმოს რენტაბელობა რამდენადაა დამოკიდებული შემდეგ ფაქტორებზე: საქონლის ხარისხი, მარკეტინგული დანახარჯები საინვესტიციო დანახარჯები, სამეცნიერო კვლევები (ე.წ. საწარმო სტრატეგიის განტოლება).

- პომიდორის მოსავლის რაოდენობა მოცემულ კლიმატურ პირობებში დამოკიდებულია აზოტის, ფოსფორისა და კალიუმის სწორი პროპორციებით გამოყენებაზე. უნდა დადგინდეს ფუნქციონალური დამოკიდებულება აღნიშნულ ფაქტორებს შორის (ე.წ. საწარმოო ფუნქცია).

- სხვადასხვა საარჩევნო უბანში მოცემული პარტიის მიერ მიღებული ხმების წილი დამოკიდებულია მოსახლეობის განაწილების დონეზე: მოცემული პარტიისათვის თითოეულ უბანში და კონკურენტული პარტიების მიერ წარმოდგენილი პროგრამების მიმსადაგებლობაზე, ამომრჩეველთა საშუალო ასაკზე და ამომრჩეველთა აქტიულობაზე. უნდა დადგინდეს ფუნქციონალური დამოკიდებულება (ე. წ. არჩევნების შედეგების პროგნოზის ფუნქცია).

ჩამოთვლილი მაგალითები შესაძლებელია შესწავლილ იქნას რეგრესიული სტატისტიკური ანალიზის მეთოდებით. თუკი საკვლევ სიდიდეს  $Y$ -ით აღვნიშნავთ, ხოლო სხვადასხვა ფაქტორებს  $X_1, X_2, \dots, X_n$  -ით, მაშინ საძიებელი ფუნქციონალური დამოკიდებულება, ზოგადად, შეიძლება ჩავწეროთ შემდეგი სახით:

$$Y = F(X_1, X_2, \dots, X_n) .$$

უცნობი არის თვით ფუნქციონალური დამოკიდებულების სახე:  $F(\cdot, \dots, \cdot)$  .

### 3. რეგრესიული ანალიზის პრობლემის მარტივი დასმა

ვთქვათ რაღაც დაკვირვებადი სიდიდე  $Y$  დამოკიდებულია აგრეთვე დაკვირვებადი  $X_1, X_2, \dots, X_k$  სიდიდეებისაგან. ამასთან დაკვირვების შედეგები მოცემულია ცხრილის საშუალებით:

დაკვირვების №	Y	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	...	X <sub>k</sub>
1	y <sub>1</sub>	x <sub>11</sub>	x <sub>21</sub>	...	x <sub>k1</sub>
2	y <sub>2</sub>	x <sub>12</sub>	x <sub>22</sub>	...	x <sub>k2</sub>
...	...	...	...	...	...
N	y <sub>N</sub>	x <sub>1N</sub>	x <sub>2N</sub>	...	x <sub>kN</sub>

გვსურს დადგინდეს ფუნქციონალური დამოკიდებულება  $Y$ -სა და  $\{X_i\}_i^k$  სიდიდეებს შორის. ამასთან, რადგანაც ეს დამოკიდებულება არ შეიძლება აბსოლუტურად ზუსტი იყოს (გარკვეული გამონაკლისის გარდა), საჭიროა განისაზღვროს სიზუსტის ოპტიმალური კრიტერიუმი და აიგოს ფუნქციონალური დამოკიდებულება ამ კრიტერიუმის შესაბამისად.

უნდა ვეცადოთ შეირჩეს ის ფუნქციონალური დამოკიდებულება, რომელიც ყველაზე მარტივი იქნება და ოპტიმალური კრიტერიუმიც ყველაზე ადვილად შესაძლებელი აღმოჩნდება. უფრო ხშირად გამოიყენება წრფივი მოდელები:

$$Y = a_0 + a_1 X_1 + \dots + a_k X_k \tag{1}$$

საიდანაც (1) როგორც ვთქვით აბსოლუტურად ზუსტი არ შეიძლება იყოს, ამიტომ მის მნიშვნელობებს ექნება გადახრები ნამდვილი მნიშვნელობებისგან. თუ ამ გადახრებს აღვნიშნავთ  $U$  სიდიდით, მაშინ მივიღებთ ე.წ. წრფივი რეგრესიის განტოლებას:

$$Y = a_0 + a_1 X_1 + \dots + a_k X_k + U \tag{2}$$

ამ ტოლობაში  $U$  შემთხვევით სიდიდეს წარმოადგენს. ოპტიმალურობის კრიტერიუმად, როგორც წესი, ვიღებთ დისპერსიის მინიმალურობის პრინციპს და შესაბამისად ვიპოვით უცნობ  $a_0, a_1, \dots, a_k$  კოეფიციენტებს.

დასმული ამოცანის საილუსტრაციოდ განვიხილოთ კონკრეტული რიცხვითი მაგალითი. ფირმას სახელად „ტესტი“ გააჩნია სხვადასხვა დასახლებულ პუნქტებში 12 სუპერმარკეტი. აღვნიშნოთ  $Y$ -ით თითოეული სუპერმარკეტის (მაღაზიის) საქონელბრუნვა წლის განმავლობაში (რომელიც, ვთქვათ განისაზღვრება მილიონი ლარით).  $X_1$ -ით აღვნიშნოთ ამ მაღაზიის საერთო სავაჭრო ფართი მ<sup>2</sup>,  $X_2$ -ით კი მომხმარებელთა საშუალო დღიური ნაკადი (გაიზომება ათასი ადამიანი/დღ). უნდა დადგინდეს ფუნქციონალური დამოკიდებულება  $Y$ -სა და  $X_i, i=1,2$ -ს შორის. ამასთან, სტატისტიკური მონაცემები  $N=12$  და მოცემულია შემდეგი ცხრილის სახით:

მაღაზიის №	Y (y <sub>i</sub> )	X <sub>1</sub> (x <sub>i1</sub> )	X <sub>2</sub> (x <sub>i2</sub> )
1	2,93	0,31	10,23
2	5,27	0,98	7,51
3	6,85	1,21	10,81
4	7,01	1,29	9,89
5	7,02	1,12	13,72
6	8,35	1,49	13,92
7	4,33	0,78	8,54
8	5,77	0,94	12,36
9	7,68	1,29	12,27
10	3,16	0,48	11,01
11	1,52	0,24	8,25
12	3,15	0,55	9,31

ჩავთვალოთ, რომ რეგრესიის განტოლებას აქვს (2) სახე, და ვიპოვოთ  $a_0, a_1$ , და  $a_2$ -ის შეფასებები, ისე რომ ოპტიმურობა გაიგება როგორც დისპერსიის მინიმუმი. საძებნი შეფასებები აღენიშნოთ შესაბამისად  $\check{\alpha}_0, \check{\alpha}_1$  და  $\check{\alpha}_2$ , მაშინ რეგრესიის განტოლებას ექნება სახე:

$$\check{Y} = \check{\alpha}_0 + \check{\alpha}_1 X_1 + \check{\alpha}_2 X_2$$

შერჩეული კრიტერიუმის შესაბამისად ვიყენებთ ე.წ. უმცირეს კვადრატთა მეთოდს. ცდომილების ფუნქცია, როგორც ცდომილებების კვადრატების ჯამი ჩაიწერება შემდეგი სახით:

$$\begin{aligned} \varphi = (\check{\alpha}_0, \check{\alpha}_1, \check{\alpha}_2) = \sum_{i=1}^{12} (y_i - \check{y}_i)^2 = & (2,93 - \check{\alpha}_0 - 0,31\check{\alpha}_1 - 10,24\check{\alpha}_2)^2 + \\ & + (5,27 - \check{\alpha}_0 - 0,98\check{\alpha}_1 - 7,51\check{\alpha}_2)^2 + (6,85 - \check{\alpha}_0 - 1,21\check{\alpha}_1 - 10,81\check{\alpha}_2)^2 + \\ & + (7,01 - \check{\alpha}_0 - 1,29\check{\alpha}_1 - 9,89\check{\alpha}_2)^2 + (7,02 - \check{\alpha}_0 - 1,12\check{\alpha}_1 - 13,72\check{\alpha}_2)^2 + \\ & + (8,35 - \check{\alpha}_0 - 1,49\check{\alpha}_1 - 13,92\check{\alpha}_2)^2 + (4,33 - \check{\alpha}_0 - 0,78\check{\alpha}_1 - 8,54\check{\alpha}_2)^2 + \\ & + (5,77 - \check{\alpha}_0 - 0,94\check{\alpha}_1 - 12,36\check{\alpha}_2)^2 + (7,68 - \check{\alpha}_0 - 1,29\check{\alpha}_1 - 12,27\check{\alpha}_2)^2 + \\ & + (3,16 - \check{\alpha}_0 - 0,48\check{\alpha}_1 - 11,01\check{\alpha}_2)^2 + (1,52 - \check{\alpha}_0 - 0,24\check{\alpha}_1 - 8,25\check{\alpha}_2)^2 + \\ & + (3,15 - \check{\alpha}_0 - 0,55\check{\alpha}_1 - 9,31\check{\alpha}_2)^2. \end{aligned}$$

აქ სწორად  $\check{\alpha}_0, \check{\alpha}_1$  და  $\check{\alpha}_2$  ისე უნდა შევარჩიოთ, რომ  $\varphi(\check{\alpha}_0, \check{\alpha}_1, \check{\alpha}_2)$  ფუნქციამ მინიმალური მნიშვნელობა მიიღოს. ამისათვის საჭიროა (აუცილებელია და ჩვენს შემთხვევაში საკმარისიც), რომ ამოგვსნათ სისტემა:

$$\begin{cases} \frac{\partial \varphi}{\partial \check{\alpha}_0} = 0, \\ \frac{\partial \varphi}{\partial \check{\alpha}_1} = 0, \\ \frac{\partial \varphi}{\partial \check{\alpha}_2} = 0. \end{cases} \quad (3)$$

ჩვენს შემთხვევაში  $\varphi(\check{\alpha}_0, \check{\alpha}_1, \check{\alpha}_2)$  ფუნქციის  $\check{\alpha}_0, \check{\alpha}_1$  და  $\check{\alpha}_2$  არგუმენტების მიხედვით შესაბამისი კერძო წარმოებულების გამოთვლის შემდეგ მივიღებთ სისტემას:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \varphi}{\partial \check{\alpha}_0} = & -2(2,93 - \check{\alpha}_0 - 0,31\check{\alpha}_1 - 10,24\check{\alpha}_2) - 2(5,27 - \check{\alpha}_0 - 0,98\check{\alpha}_1 - 7,51\check{\alpha}_2) - \\ & - 2(6,85 - \check{\alpha}_0 - 1,21\check{\alpha}_1 - 10,81\check{\alpha}_2) - 2(7,01 - \check{\alpha}_0 - 1,29\check{\alpha}_1 - 9,89\check{\alpha}_2) - \\ & - 2(7,02 - \check{\alpha}_0 - 1,12\check{\alpha}_1 - 13,72\check{\alpha}_2) - 2(8,35 - \check{\alpha}_0 - 1,49\check{\alpha}_1 - 13,92\check{\alpha}_2) - \\ & - 2(4,33 - \check{\alpha}_0 - 0,78\check{\alpha}_1 - 8,54\check{\alpha}_2) - 2(5,77 - \check{\alpha}_0 - 0,94\check{\alpha}_1 - 12,36\check{\alpha}_2) - \\ & - 2(7,68 - \check{\alpha}_0 - 1,29\check{\alpha}_1 - 12,27\check{\alpha}_2) - 2(3,16 - \check{\alpha}_0 - 0,48\check{\alpha}_1 - 11,01\check{\alpha}_2) - \\ & - 2(1,52 - \check{\alpha}_0 - 0,24\check{\alpha}_1 - 8,25\check{\alpha}_2) - 2(3,15 - \check{\alpha}_0 - 0,55\check{\alpha}_1 - 9,32\check{\alpha}_2) = 0. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \varphi}{\partial \check{\alpha}_1} = & -2 \cdot 0,31(2,93 - \check{\alpha}_0 - 0,31\check{\alpha}_1 - 10,24\check{\alpha}_2) - 2 \cdot 0,98(5,27 - \check{\alpha}_0 - 0,98\check{\alpha}_1 - 7,51\check{\alpha}_2) - \\ & - 2 \cdot 1,21(6,85 - \check{\alpha}_0 - 1,21\check{\alpha}_1 - 10,81\check{\alpha}_2) - 2 \cdot 1,29(7,01 - \check{\alpha}_0 - 1,29\check{\alpha}_1 - 9,89\check{\alpha}_2) - \\ & - 2 \cdot 1,12(7,02 - \check{\alpha}_0 - 1,12\check{\alpha}_1 - 13,72\check{\alpha}_2) - 2 \cdot 1,49(8,35 - \check{\alpha}_0 - 1,49\check{\alpha}_1 - 13,92\check{\alpha}_2) - \\ & - 2 \cdot 0,78(4,33 - \check{\alpha}_0 - 0,78\check{\alpha}_1 - 8,54\check{\alpha}_2) - 2 \cdot 0,94(5,77 - \check{\alpha}_0 - 0,94\check{\alpha}_1 - 12,36\check{\alpha}_2) - \\ & - 2 \cdot 1,29(7,68 - \check{\alpha}_0 - 1,29\check{\alpha}_1 - 12,27\check{\alpha}_2) - 2 \cdot 0,48(3,16 - \check{\alpha}_0 - 0,48\check{\alpha}_1 - 11,01\check{\alpha}_2) - \\ & - 2 \cdot 0,24(1,52 - \check{\alpha}_0 - 0,24\check{\alpha}_1 - 8,25\check{\alpha}_2) - \\ & - 2 \cdot 0,55(3,15 - \check{\alpha}_0 - 0,55\check{\alpha}_1 - 9,32\check{\alpha}_2) = 0. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \varphi}{\partial \check{\alpha}_2} = & 2 \cdot 10,24(2,93 - \check{\alpha}_0 - 0,31\check{\alpha}_1 - 10,24\check{\alpha}_2) - 2 \cdot 7,51(5,27 - \check{\alpha}_0 - 0,98\check{\alpha}_1 - 7,51\check{\alpha}_2) - \\ & - 2 \cdot 10,81(6,85 - \check{\alpha}_0 - 1,21\check{\alpha}_1 - 10,81\check{\alpha}_2) - 2 \cdot 9,89(7,01 - \check{\alpha}_0 - 1,29\check{\alpha}_1 - 9,89\check{\alpha}_2) - \\ & - 2 \cdot 13,72(7,02 - \check{\alpha}_0 - 1,12\check{\alpha}_1 - 13,72\check{\alpha}_2) - 2 \cdot 14,92(8,35 - \check{\alpha}_0 - 1,49\check{\alpha}_1 - 13,92\check{\alpha}_2) - \\ & - 2 \cdot 8,54(4,33 - \check{\alpha}_0 - 0,78\check{\alpha}_1 - 8,54\check{\alpha}_2) - 2 \cdot 12,36(5,77 - \check{\alpha}_0 - 0,94\check{\alpha}_1 - 12,36\check{\alpha}_2) - \\ & - 2 \cdot 12,27(7,68 - \check{\alpha}_0 - 1,29\check{\alpha}_1 - 12,27\check{\alpha}_2) - 2 \cdot 11,01(3,16 - \check{\alpha}_0 - 0,48\check{\alpha}_1 - 11,01\check{\alpha}_2) - \\ & - 2 \cdot 8,25(1,52 - \check{\alpha}_0 - 0,24\check{\alpha}_1 - 8,25\check{\alpha}_2) - 2 \cdot 9,32(3,15 - \check{\alpha}_0 - 0,55\check{\alpha}_1 - 9,32\check{\alpha}_2) = 0. \end{aligned}$$

მიღებული განტოლებების გამეორებით მივიღებთ სამ უცნობიან წრფივ განტოლებათა სისტემას, რომლის ამონახსნსაც წარმოადგენს

$$\check{\alpha}_0 = -0,832, \quad \check{\alpha}_1 = 4,743, \quad \check{\alpha}_2 = 0,175.$$

მივიღებთ რეგრესიის განტოლებას:

$$\hat{Y} = -0,832 + 4,743X_1 + 0,175X_2$$

მიღებული განტოლება შეიძლება გამოყენებულ იქნას სხვადასხვა კითხვაზე პასუხის გასაცემად. მაგალითად, თუ ფირმის ხელმძღვანელობას სურვილი აქვს ახალ რაიონში გახსნას სუპერმარკეტი და ცნობილია, რომ საშუალო ნაკადი შეადგენს 15000 ადამიანს დღეში, ხოლო სავაჭრო ფართი 1200 მ<sup>2</sup> იქნება, მაშინ ასეთი სუპერმარკეტის საქონელბრუნვა წელიწადში შეფასდება შემდეგი გამოსახულებით:

$$\hat{Y} = -0,832 + 4,743X_1 + 0,175X_2 \text{ მლნ. ლარი}$$

სადაც,  $X_1=1200$  მ<sup>2</sup> და  $X_2=15000$  ადამიანი დღეში. გამოთვლების შედეგად მივიღებთ:

$$\hat{y} = -0,832 + 0,743 \cdot 1,2 + 0,175 \cdot 15 = 7,485 \text{ მლნ.ლარი.}$$

ამრიგად, წრფივი რეგრესიის მოდელის შემთხვევაში, დისპრესიის მინიმალურობის პრინციპის მიხედვით, რეგრესიის განტოლების კოეფიციენტებისათვის სტატისტიკურ მონაცემებზე დაყრდნობით, ნაშრომში გადმოცემული მეთოდით აგებული შეფასებები ეკონომიკური სხვადასხვა ამოცანის გადაჭრისა და პროგნოზირების შესაძლებლობას იძლევა.

#### ლიტერატურა

1. გვანჯი მანია. მათემატიკური სტატისტიკის ზოგიერთი მეთოდი. -თბილისი, საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის გამომცემლობა, 1963, 351 გვ.
2. Надарая Э.А. Непараметрическое оценивание плотности вероятности и кривой регрессии. –Тбилиси, Изд-во Тбилисского университета, 1983, 194 с.
3. ტრისტან ბუაძე, გრიგოლ სოხაძე. ეკონომეტრიკის საწყისები. -თბილისი, 2016, 89გვ.
4. ანანიაშვილი ი. ეკონომეტრიკა. -თბილისი, მერიდიანი, 2012, 411 გვ.

#### SUMMARY

#### APPLIED ASPECTS OF STATISTICAL REGRESSION ANALYSIS

**Buadze T.G.**

**Georgian Technical University**

The article discusses some methods of correlation analysis of statistical data, and construction and application of the regression function for solution of practical and economic problems.

**Keywords:** statistical data, arithmetic mean standard deviation, correlation analysis, regression function.

## ელექტრული ველის კვლევა მათემატიკური მოდელით

კაკაურიძე ა.კ., მარდაღიშვილი ნ.დ., ზივზივაძე ლ.ბ., შალამბერიძე მ.შ.

აკ. წერეთლის სახ. სახელმწიფო უნივერსიტეტი, ქუთაისი

ფიზიკური მოდელით ექსპერიმენტალურად ჩვენ მიერ გამოკვლეული იქნა არადნობადელექტროდებიანი კრისტალიზატორის წილის აბაზანის, როგორც აქტიური წინააღობის მქონე ელექტროტექნოლოგიური პროცესისათვის დამახასიათებელი ელექტრული ველი. როგორც ავტორები მიუთითებენ [1] მათემატიკური მოდელით აქტიური წინააღობის მქონე პროცესების ელექტრული ველის კვლევისას შესაძლებელია მიღებული იქნას უფრო მაღალი სიზუსტის შედეგი. იგულისხმება, მათემატიკური მოდელით ელექტრული ველის კვლევისას, გამორიცხულია ფიზიკური მოდელით კვლევისათვის დამახასიათებელი პოტენციალის გაზომვის ცდომილება, როგორც ობიექტური ასევე სუბიექტური ხასიათის. ამის საილუსტრაციოდ სტატიაში განხილულია ელექტროკონტაქტური შედუღების ზონაში ელექტრული ველის კვლევა მათემატიკური მოდელის გამოყენებით.

ქვემოთ განხილულია ელექტრო კონტაქტური შედუღებისას ელექტრული ველის კვლევა ელექტროგამომთვლელი ტექნიკის გამოყენებით.

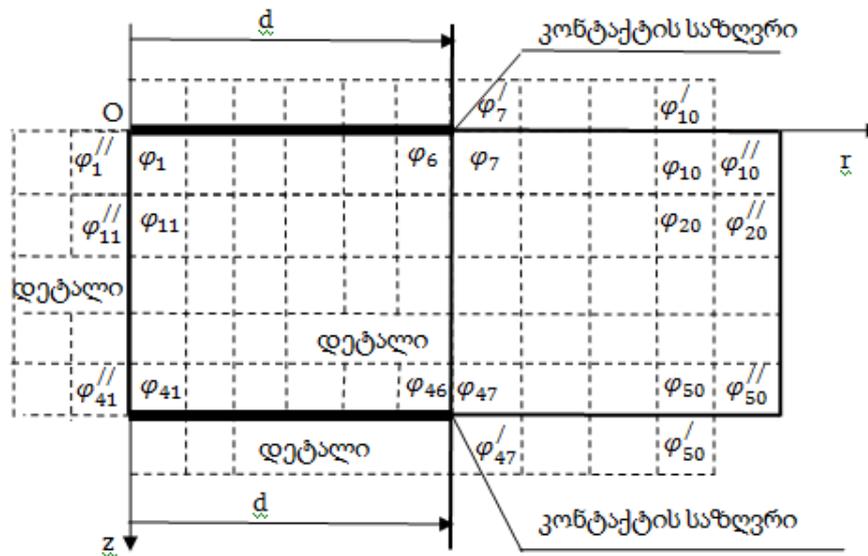
ელექტრული ველი შესადუღებელ დეტალში და აგრეთვე მოსალოდნელია წილის აბაზანაში ელექტროწიდური გადადნობისას აღიწერება შემდეგი დიფერენციალური განტოლებით.

$$\frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{1}{\rho} \frac{\partial \varphi}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{1}{\rho} \frac{\partial \varphi}{\partial r} \right) + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \varphi}{\partial r} = 0 \quad (1)$$

ელექტრული ველი არის პოტენციალის  $\varphi$ -ს ერთობლიობა შესადუღების სხვადასხვა წერტილში და დროის სხვადასხვა მომენტში. აქედან გამომდინარე მისი მათემატიკური აღწერილობა გაცილებით რთული იქნება ვიდრე (1) წარმოდგენილი გამოსახულებაა. ამ შემთხვევაში წარმოდგენილია ელექტრული პოტენციალის ცვლილება  $r, z$  ღერძების გასწვრივ, დროის მოცემულ კონკრეტულ მომენტში. დროის აღნიშნული მომენტი შეიძლება შეესაბამებოდეს ელექტროკონტაქტურის, შედუღების დასაწყისს, დასასრულს, ბირთვში ლითონის სრული გადადნობის მომენტს, შესაბამისად შესაძლებელი ხდება ამ ეტაპზე მიმდინარე პროცესების ანალიზი. განტოლებაში (1) გათვალისწინებულია ხვედრით წინააღობა ( $\rho$ ) შესადუღებელი დეტალის ცალკეულ წერტილებში. თუმცა ამის გათვალისწინება მნიშვნელოვნად ართულებს (1) ამოხსნას, ამიტომ დაშვებულია, რომ შესადუღებელი დეტალის ცალკეულ წერტილებში წინააღობა უცვლელია  $\rho = \text{const}$

$$\left( \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} \right) + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial r^2} + \frac{\partial \varphi}{\partial r} = 0 \quad (2)$$

განტოლება (2) ამოხსნას ართულებს იმის გათვალისწინება, რომ განუწყვეტლივ იცვლება შედუღების რეჟიმის პარამეტრები, შესადუღებელი მასალიუს თვისებები და შედუღების პროცესის სასაზღვრო პირობები. გაანგარიშებები შედარებით მარტივდება თუ ვისარგებლებთ (2) განტოლების ამოხსნის მიახლოებით რიცხვით მეთოდს ე.წ. სასრული სხვაობების მეთოდს [2]. მიღებული კერძო წარმოებულებანი დიფერენციალური განტოლების  $\varphi(r, z)$  საძიებელი ფუნქციის პოტენციალის მიმართ, რიცხვითი ამოხსნისათვის ვისარგებლოთ სასრულ-სხვაობიანი მეთოდით (ნახ.1).



ნახ.1. სასრული ელემენტებში განაგარიშების სქემა (d- ელემენტის დიამეტრი)

სიმეტრიის გამო ამოცანა შეგვიძლია ამოვხსნათ ფირფიტის მეოთხედი ნაწილისათვის. დავწეროთ სხვაობიანი სქემა, რომელიც მიახლოებით აღწერს (2) კერძო წარმოებულებიან დიფერენციალურ განტოლებას. ამისათვის აუცილებელია არგუმენტების უწყვეტი ცვლილების არე შევცვალოთ მისი დისკრეტული ცვლილების არედ. მოცემულ შემთხვევაში ეს განვახორციელოთ შემდეგნაირად. საანგარიშო არე დავეთ კვადრატებად:  $r$  კოორდინატით  $h = 0,1$  სიგრძის ტოლი ინტერვალებით და  $z$  კოორდინატით, ასევე,  $h = 0,1$  სიგრძის ტოლი ინტერვალებით (ნახ.1)  $r_i = ih, (i=0,1,2, \dots, m), z_j = jh (j=0,1,2, \dots, n)$ .

$\varphi(z,r)$  საძიებელი ფუნქციის რიცხვითი მნიშვნელობები  $(i,j)$  კვანძში აღინიშნება  $\varphi_{i,j}$ -ით. (1) განტოლებაში შემავალი საძიებელი ფუნქციის კერძო წარმოებულები წარმოვადგინოთ სასრულ-სხვაობიანი სახით:

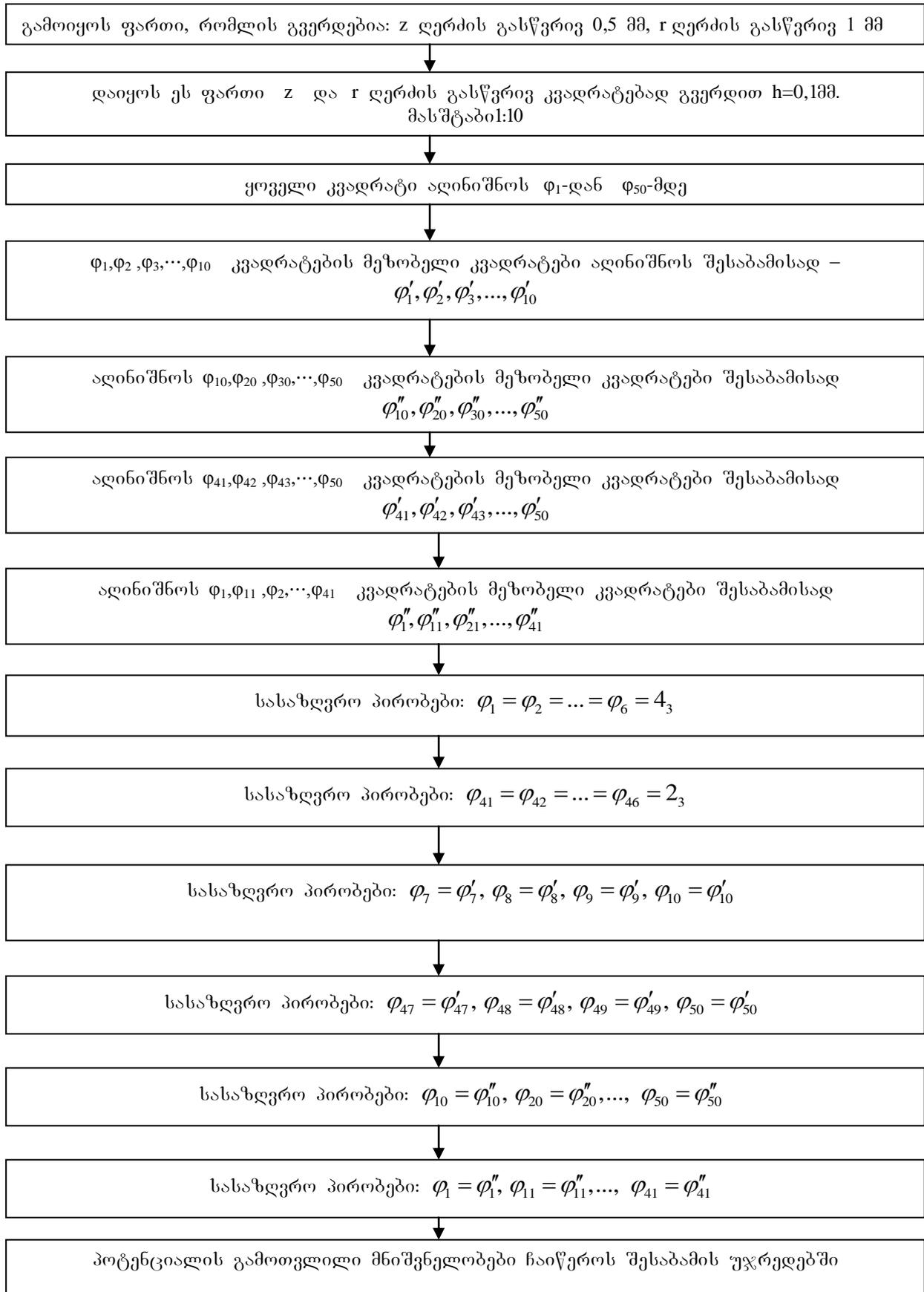
$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = \frac{\varphi_{i,j} - 2\varphi_{i,j} + \varphi_{i,j-1}}{h^2}, \quad \frac{\partial^2 \varphi}{\partial r^2} = \frac{\varphi_{i+1,j} - 2\varphi_{i,j} + \varphi_{i-1,j}}{h^2}, \quad \frac{\partial \varphi}{\partial r} = \frac{\varphi_{i+1,j} - \varphi_{i-1,j}}{2h}$$

ამ აღნიშვნებში (1) კერძო წარმოებულებიანი დიფერენციალური განტოლება ასეთ სახეს ღებულობს:

$$4\varphi_{i,j} = \varphi_{i,j+1} + \varphi_{i,j-1} + \left(1 + \frac{h}{2}\right)\varphi_{i+1,j} + \left(1 - \frac{h}{2}\right)\varphi_{i-1,j} \quad (3)$$

გაშლილი სახით:

$$\begin{cases} 4\varphi_{1,1} = \varphi_{1,2} + \varphi_{1,0} + \left(1 + \frac{h}{2}\right)\varphi_{2,1} + \left(1 - \frac{h}{2}\right)\varphi_{0,1} \\ 4\varphi_{1,2} = \varphi_{1,3} + \varphi_{1,1} + \left(1 + \frac{h}{2}\right)\varphi_{2,2} + \left(1 - \frac{h}{2}\right)\varphi_{0,2} \\ 4\varphi_{1,3} = \varphi_{1,3} + \varphi_{1,2} + \left(1 + \frac{h}{2}\right)\varphi_{2,3} + \left(1 - \frac{h}{2}\right)\varphi_{0,3} \\ \vdots \\ 4\varphi_{m,n} = \varphi_{m,n+1} + \varphi_{m,n-1} + \left(1 + \frac{h}{2}\right)\varphi_{m+1,n} + \left(1 - \frac{h}{2}\right)\varphi_{m-1,n} \end{cases} \quad (4)$$



ნახ. 2. სასრული ელემენტებში გაანგარიშების ბლოკ-სქემა

დასმული ამოცანისათვის ჩაეწეროს სასაზღვრო პირობები:

$$i = 0 \dots 6, \varphi_{i,0} = 4\varphi, \quad j = 0 \dots 6, \varphi_{4,j} = 2\varphi.$$

საზღვრის დანარჩენ ნაწილზე გვაქვს:

$$i = 7 \dots 10, \varphi_{i,0} = \varphi'_{i,0}, \quad j = 7 \dots 10, \varphi_{4,j} = \varphi'_{4,j}.$$

z ღერძის მიმართ სიმეტრიის გამო, გვაქვს:

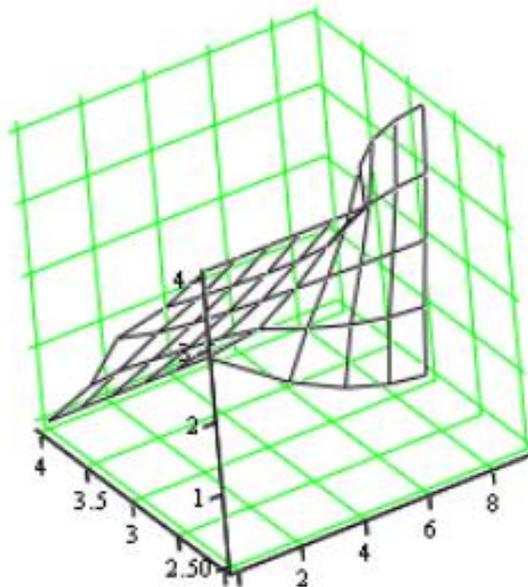
$$\varphi_{i,0} = \varphi'_{i,0}, \quad \varphi_{i,10} = \varphi''_{i,10}, \quad i = 1 \dots 4.$$

შევადგინოთ ბლოკ-სქემა (ნახ.2):

მოცემული სასაზღვრო პირობების გათვალისწინებით წრფივ ალგებრულ განტოლებათა სისტემის რიცხვითი ამოხსნა მოვახდინოთ MathCAD მათემატიკურ სისტემაში (ცხრილი, ნახ.3-4).

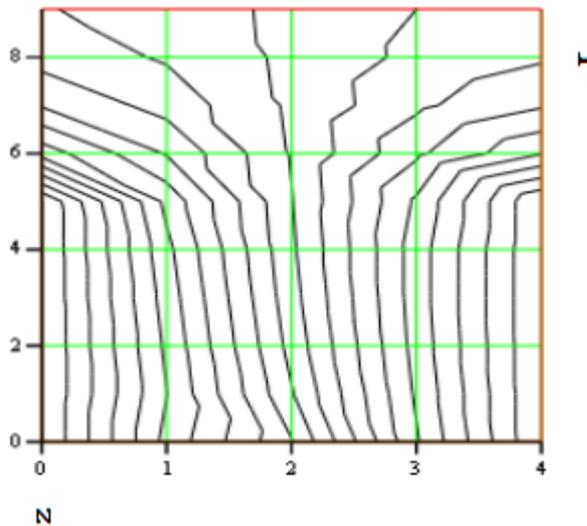
მოდელით გაანგარიშების შედეგები

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	4	4	4	4	4	4	3,457	3,191	3,061	3,007
1	3,469	3,503	3,48	3,455	3,428	3,371	3,192	3,062	2,989	2,956
2	3,108	3,01	2,965	2,938	2,918	2,905	2,893	2,884	2,878	2,875
3	2,512	2,484	2,463	2,451	2,452	2,483	2,619	2,719	2,775	2,8
4	2	2	2	2	2	2	2,406	2,611	2,713	2,755



ნახ. 3. პოტენციალის განაწილების გრაფიკს (ზედაპირს) აქვს სახე:

(2) დიფერენციალური განტოლების ამოხსნის შედეგები (ცხრილი, ნახ.3 და 4) გვიჩვენებს:



ნახ. 4. პოტენციალის კონტურული გრაფიკი

1. ექვიპოტენციალური ხაზების ზიგზაგისებური ფორმა გაწრფივდება და შესაბამისად ამონახსნის სიზუსტე გაიზრდება თუ საანგარიშო არეში დაყოფის კვადრატების გვერდებს  $z$  და  $r$  ღერძის გასწვრივ უფრო შევამცირებთ.

2. ელექტროდების დიამეტრის შიგ მოქცეულ ფართში პოტენციალის განაწილება თანაბარია და აქ ხდება სითბოს ძირითადი ნაწილის გამოყოფა.

3. დიამეტრის გარე სივრცეში პოტენციალის მნიშვნელობები  $r$ -ს ზრდასთან ერთად მცირდება, შემდეგ კი ნულს უახლოვდება.

პოტენციალის განაწილების ექვიპოტენციალური ხაზების მიხედვით შედეგების არეში დენის გავლის შესაძლო სქემა ემთხვევა კვლევიტ მიღებულ შედეგებს. დენის მაქსიმალური სიმკვრივე შეინიშნება ელექტროდსა და დეტალის კონტაქტის პერიფერიულ ნაწილში [3].

ამრიგად, სასრული სხვაობის მეთოდით ელექტრული ველის გაანგარიშება ელექტროკონტაქტური შედეგებისას იძლევა საკმარის სიზუსტეს ამ დროს მიმდინარე პროცესების სწორი ანალიზისათვის, რაც მიუთითებს იმაზე, რომ ეს მეთოდი შეიძლება გამოყენებული იქნას აქტიური წინააღმდეგობის მქონე სხვა ელექტროტექნოლოგიების დამუშავებისას, მაგ. ლითონების ელექტროწიდური გადადნობისას დამუშავებისათვის.

#### ლიტერატურა

1. РоусонДж.Д., Доусон Д.И., Кирхем Н. Движение шлака и металла в процессе ЭШП. В кн.: Электрошлаковый переплав. – Киев, Наукова Думка, 1975, вып. 3, сс. 70-89.
2. С. Фарлоу. Уравнения с частными производными для научных работников и инженеров. - М.: Мир, 1985, 384 с.
3. Орлов Б.Д., Чакалев А.А., Дмитриев Ю.В. и др. Технология и оборудование контактов сварки. - М.: Машиностроение, 1986, 352 с.

#### SUMMARY

#### INVESTIGATION OF THE ELECTRIC FIELD BY A MATHEMATICAL METHOD

Kakauridze A.K., Mardaleishvili N.D., Zivzivadze L.B. and Shalamberidze M.Sh.

Akaki Tsereteli State University, Kutaisi

The paper deals with the investigation of the electric field by a finite difference method. The obtained results are similar to those obtained by the studies of the physical model of the electric field. In addition, for studying the electric field of a slag bath, it is possible to use a mathematical modeling technique.

**Keywords:** electric field, finite difference method.

დაშვების კონტროლის სისტემებში ბიომეტრიული იდენტიფიკატორის  
გამოყენება

იაშვილი გ.ნ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

**შესავალი**

დაშვების სისტემების დანიშნულებაა შენობაში (ტერიტორიაზე) ან შენობის (ტერიტორიის) სხვადასხვა ნაწილებში პიროვნებების შესვლის, გადაადგილების და გამოსვლის შეზღუდვა, კონტროლი და რეგულირება. ასეთი სისტემების გამოყენებით ხორციელდება კონკრეტულ ობიექტზე ან მის რომელიმე ნაწილზე (თანამშრომელთა და არათანამშრომელთა) საერთო რაოდენობის აღრიცხვა და ასევე თითოეული მათგანის მდებარეობის კონტროლი რეალურ დროში.

ზოგადად დაშვების კონტროლის სისტემა წარმოადგენს აპარატურულ-პროგრამულ კომპლექსს, რომელიც უზრუნველყოფს როგორც დაშვების კონტროლის ავტომატიზაციას, ასევე თანამშრომელთა სამუშაო დროის აღრიცხვას. მსგავსი სისტემების გამოყენება შესაძლებელია ობიექტების ფართო სპექტრზე, მცირე და საშუალო ზომის ოფისიდან დაწყებული, მსხვილი კომპანიითა და საწარმოთი დასრულებული. დაშვების კონტროლისათვის შესაძლებელია გამოყენებული იქნას სხვადასხვა ტიპის შემსრულებელი მოწყობილობები: ტურნიკეტები (შესასვლელი-სათვის), ელექტრომაგნიტური საკეტები შენობის შიგნით კარებებისათვის, შლაგბაუმები და სხვა. დღეისათვის უმრავლეს შემთხვევაში გასაღების ფუნქციას ასრულებს უკონტაქტო ე. წ. „ჭკვიანი“ ბარათები, ასევე ბარათები მაგნიტური ზოლით ან შტრის კოდით, აგრეთვე პაროლები [1-3].

**ძირითადი ნაწილი**

ზოგადად დაშვების კონტროლის სისტემები საშუალებას იძლევა გაკონტროლდეს:

- სისტემის მუშაობაში დარეგისტრირებული საშვების მეშვეობით შემსრულებელი მოწყობილობის გახსნა/ჩაკეტვა;
- სისტემის მუშაობაში დაურეგისტრირებელი ან შეზღუდული დაშვების მქონე პიროვნებების დაცულ ობიექტზე შეღწევის მცდელობისას შემსრულებელი აპარატურის ჩაკეტვა;
- დაშვების წერტილებში შემსრულებელი მექანიზმების (აპარატურის) მართვის შესაძლებლობა ოპერატორების მიერ.
- საგანგებო სიტუაციის და ავარიის შემთხვევაში თავისუფალი დაშვების რეჟიმის გაშვების შესაძლებლობა ოპერატორის მიერ.
- არასანქცირებული შეღწევის მიზნით ავარიული გაღების გამოყენების შემთხვევაში განგაშის სიგნალის გამომუშავება.
- სისტემაში სხვადასხვა ტიპის საშვების გამოყენება (მუდმივი საში თანამშრომლებისათვის, დროებითი ან ერთჯერადი საში სტუმრებისთვის და სხვ.).
- დაშვების უფლებების ცვლილების შესაძლებლობა როგორც ცალკეული პიროვნებებისათვის, ასევე ჯგუფებისათვის.
- კონტროლერების ფუნქციონირება იმ შემთხვევაშიც კი, როდესაც დაკარგულია კავშირი სერვერთან.

პიროვნების დაშვების კონტროლის ერთ-ერთ პერსპექტიულ სახეს წარმოადგენს დაშვების სისტემებში ბიომეტრიული მეთოდების გამოყენება, რომელიც ფართოდ გავრცელდა ბოლო წლებში განსაკუთრებული და სპეციალური მნიშვნელობის მქონე დაწესებულებებისათვის [3].

ბიომეტრია იძლევა გარანტიას, რომ დაცულ ტერიტორიაზე, შენობაში ან მის ნაწილში დაშვების საშუალება მხოლოდ კონკრეტულ პიროვნებას გააჩნია და არა ბარათის ან უკონტროლო მფლობელს. აქ გასათვალისწინებელია ის, რომ თანამშრომელი

ვერ დაკარგავს და ვერავის ათხოვებს საკუთარ ბიომეტრიულ იდენტიფიკატორს. მაგალითად, თითის ანაბეჭდი თითქმის არ იცვითება და მისი გამოყენება პრაქტიკულად არ არის შეზღუდული. თითის ანაბეჭდის წამკითხველი სკანერი თავსებადია კონტროლის მექანიზმებთან: ელექტრომექანიკურ და ელექტრომაგნიტურ საკეტებთან, ტურნიკეტებთან, შლაგბაუმებთან და ა. შ.

ბიომეტრიული სისტემებისათვის დამახასიათებელია ის, რომ რჩება შესაძლებლობა დაშვების სისტემებში ბიომეტრიასთან ერთად გამოყენებული იქნას ძველი „ტრადიციული“ საშუალებები: ბარათები შტრიხ-კოდებითა და მაგნიტური ზოლებით, ასევე უკონტაქტო პლასტიკური ბარათები და პაროლები. ეს საშუალებას იძლევა მოხდეს ბიომეტრიული წამკითხველების ინტეგრაცია დაშვების უკვე არსებულ სისტემებში, ე. ი. მოხდება დაშვების არსებული სისტემების განვითარება და შენარჩუნებული იქნება მონაცემთა უკვე შექმნილი ბაზა, ინფორმაციის დამუშავების პროცედურები და შემცირდება სისტემის ექსპლუატაციაზე გაწეული ხარჯები, რაც დაკავშირებულია გასაღებებისა და ბარათების შესაძლო დაზიანებებთან და დაკარგვასთან.

ბიომეტრიული მრავალი მახასიათებლებიდან ერთის ან რამდენიმის არჩევა კონკრეტული ბიომეტრიული სისტემისათვის მეტად მნიშვნელოვანი საკითხია. ადამიანის ბიომეტრიული მახასიათებლები უნდა აკმაყოფილებდნენ შემდეგ ოთხ პირობას: ისინი უნდა იყვნენ უნივერსალურები, უნიკალურები, სტაბილურები და ადვილად მისაღები (მოსაპოვებელი). დღეისათვის მსოფლიოს რამდენიმე ქვეყნებში აწარმოებენ სხვადასხვა დანიშნულების ბიომეტრიულ მოწყობილობებს. ისინი ერთმანეთისაგან განსხვავდებიან მოქმედების პრინციპით, იდენტიფიცირებისათვის საჭირო დროით, ცრუ დაყოვნებისა და ცრუ დაშვების ალბათობის მნიშვნელობებით და სხვა ნიშნებით. რეალურად ეს მოთხოვნები ერთად ძნელად თავსდება და ამიტომ მიმართავენ ადამიანის ბიომეტრიული მახასიათებლების ექსპერტულ შეფასებებს [1,3].

ჩვენის აზრით უფრო მოსახერხებელია რამდენიმე ბიომეტრიული მახასიათებლის ერთდროულად გამოყენება. რა თქმა უნდა, ამ დროს გარკვეულად იზრდება აპარატურული და პროგრამული დანახარჯები, მაგრამ რამდენჯერმე (მინიმუმ ორჯერ მაინც) იზრდება დაშვების სისტემის იმედიანობა.

განსაკუთრებული და სპეციალური დანიშნულების მქონე დაწესებულებებისათვის ჩვენს მიერ შემოთავაზებულია დაშვების ბიომეტრიული სისტემაში რამდენიმე მახასიათებლისა და ტექნიკური საშუალებების ინტეგრაცია (ე. წ. „მულტი ბიომეტრიული“ სისტემა), რომელიც მაღალი ეფექტურობით და საიმედოობით იძლევა პიროვნების იდენტიფიცირების საშუალებას, ანუ მისი ამოცნობის საშუალებას რამდენიმე სხვადასხვა ბიომეტრიული პარამეტრით [3,4].

თანამშრომელთა სამსახურში მოსვლისა და წასვლის კონტროლის ერთ-ერთი პირველი ბიომეტრიული სისტემის მაგალითია BIOTIME, სადაც დაშვების კონტროლის ძირითად იდენტიფიკატორად გამოიყენება მხოლოდ ერთი, მაგრამ უნიკალური ბიომეტრიული პარამეტრი – თითის ანაბეჭდი.

განასხვავებენ ბიომეტრიული იდენტიფიკატორების ორ ჯგუფს:

1. სტატიკური ბიომეტრიული იდენტიფიკატორების მეთოდები ემყარება პიროვნების უცვლელ ფიზიოლოგიურ მახასიათებლების, რომლებსაც განეკუთვნებიან თითის ანაბეჭდი, სახის ფორმა და გეომეტრია, თვალის ბადურა, ხელისგულის გეომეტრია, ვენების ნახატი თითებზე ან ხელისგულზე, ყურის ფორმა, დნმ და სხვა.

2. დინამიური მეთოდები მნიშვნელოვნად ჩამორჩებიან სტატიკურ მეთოდებს სიზუსტისა და ეფექტურობით და ამიტომ ისინი გამოიყენებიან როგორც დამატებითი და დამხმარე იდენტიფიკატორები. დინამიურ მახასიათებლებს (იდენტიფიკატორებს) მიეკუთვნებიან ხელმოწერა, კლავიატურის აკრეფის დინამიკა, ხმა, ტუჩების მოძრაობა, სიარულის მანერა და ხელნაწერი ტექსტის მოხაზულობა.

ბიომეტრიული ტექნოლოგიებამდე დაშვების არსებული, ძველი სისტემის შედარება ახალი, ბიომეტრიული მახასიათებლების გამოყენებით აგებულ სისტემასთან ნაჩვენებია ცხრილში 1.

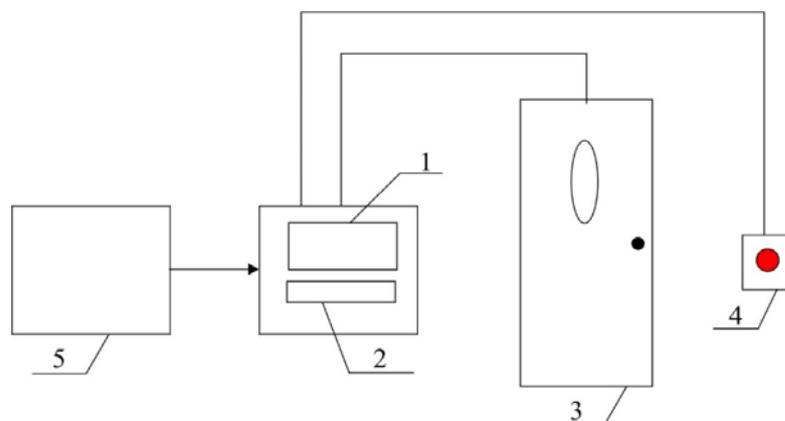
ცხრილი 1. „ტრადიციული“ და „ბიომეტრიული“ სისტემების შედარება

სისტემის ტიპი	ტრადიციული (ძველი)	ბიომეტრიული (ახალი)
საფრთხეები	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ბარათი შეიძლება დაიკარგოს;</li> <li>• პაროლი შეიძლება დაგვიწყდეს;</li> <li>• შესაძლებელია ბარათის სხვაზე გადაცემა;</li> <li>• მოპარულ იქნას.</li> </ul>	ბიომეტრიული მახასიათებელი პიროვნებას სულ თან აქვს. მისი დაკარგვა, გადაცემა და დავიწყება შეუძლებელია
ღირებულება	მუდმივი დანახარჯები ახალი ან დაკარგული ბარათის დამზადებაზე	ბიომეტრიულ მახასიათებლებს არ სჭირდებათ დამზადება
ინოვაციურობა	-	ყველაზე თანამედროვე ტექნოლოგია
ინტეგრაცია	-	შეიძლება გამოყენებული იქნეს ძველ, ტრადიციულ სისტემასთან ერთად

ობიექტზე დაშვების კონტროლის სისტემის ჩვენ მიერ შემოთავაზებული ვარიანტი ორი ბიომეტრიული იდენტიფიკატორით ნაჩვენებია ნახ. 2. სისტემაში გამოყენებულია პიროვნების ორი მახასიათებელი: თითის ანაბეჭდი და სახის გეომეტრია. პრინციპში შესაძლებელია სხვა ნებისმიერი ორი მახასიათებლის გამოყენება.

ჩვენს მიერ შემოთავაზებული დაშვების კონტროლის ავტომატური სისტემა შეიცავს ბიომეტრიულ კარებს ელექტრომაგნიტური საკეტი. სისტემის მუშა მდგომარეობას უზრუნველყოფს კვების წყარო. ცხადია, რომ კონკრეტული სისტემის სტრუქტურა განისაზღვრება დაშვების სისტემისადმი წაყენებული ტექნიკური მოთხოვნებით.

აღნიშნული სისტემა გამოირჩევა არსებული სისტემებიდან, იმით რომ პიროვნების შენობაში (ან ტერიტორიაზე) დაშვებისათვის აუცილებელია მინიმუმ ორი ბიომეტრიული ინდიკატორის გამოყენება. მაგალითად, ეს შეიძლება ერთ შემთხვევაში იყოს თითის ანაბეჭდი და სახის გეომეტრია, მეორე შემთხვევაში კი თითის ანაბეჭდი და თვალის გარსის სურათი. თითის ანაბეჭდის გამოყენება განპირობებულია მისი გამოყენების სიმარტივით. განსაკუთრებული დანიშნულების და მნიშვნელობის ობიექტებისათვის შესაძლებელია გამოვიყენოთ სხვა უფრო რთული, მაგრამ იმედიაანობის კუთხით უფრო მისაღები იდენტიფიკატორები.



ნახ.2. შენობაში პიროვნების დაშვების სისტემის ერთ-ერთი ვარიანტის სტრუქტურა

1. თვალის ტერმინალი; 2. თითის ტერმინალი; 3. კარები; 4. დილაკი; 5. კვების ბლოკი.

დღეისათვის ათვისებულია სხვადასხვა ბიომეტრიული მოწყობილობების წარმოება. ისინი განიხილვიან ერთმანეთისაგან მოქმედების პრინციპით და აქედან

გამომდინარე დანიშნულების მიხედვით: რომელ ბიომეტრიულ მახასიათებლის იდენტიფიკაციისათვის არიან ისინი განკუთვნილი (ცხრ.2).

ცხრილი 2. ბიომეტრიული მოწყობილობების მახასიათებლები

მოდელი	მახასიათებელი	იდენტიფიკაციის დრო (წმ)
Eye Denticationsistem	თვალის გარსის პარამეტრი	1,5 - 4,0
Iriscan	თვალის გარსის პარამეტრი	2,0
Identix	თითის ანაბეჭდი	0,5
Partners Recognition Systems	ხელის გეომეტრია	1,0
Kopgon	თითის ანაბეჭდი	1,0
DS-100	თითის ანაბეჭდი	1,0 - 3,0
Touchsafe	თითის ანაბეჭდი	1,0
FingerScan	თითის ანაბეჭდი	0,5
ID3D-R Handkey	ხელის გეომეტრია	1,0
BioMause (ABC)	თითის ანაბეჭდი	1,0
Digital Personal	თითის ანაბეჭდი	1,0
BioMet	ხელის გეომეტრია	1,0

ბიომეტრიული ტექნოლოგიების სპექტრი, რომელთა გამოყენება შესაძლებელია დაშვების სისტემებში სულ უფრო და უფრო იზრდება ამ კუთხით პერსპექტიულ ბიომეტრიულ ტექნოლოგიებს შეიძლება მივაკუთვნოთ შემდეგი მახასიათებლები: სახის თერმოგრამა გამოსხივების ინფრაწითელ დიაპაზონში; დნმ-ის მახასიათებლები; კომპიუტერის კლავიატურაზე მუშაობის ხელწერა (მანერა); ადამიანის თითებზე კანის სტრუქტურა ციფრული ულტრაბგერითი ინფორმაციის საფუძველზე (ე. წ. კანის სპექტროსკოპია); ხელისგულის ანაბეჭდი; ყურის ფორმა; ადამიანის სიარულის მანერა; პიროვნების ინდივიდუალური სუნი; კანის მარილიანობის დონის განსაზღვრა და სხვა [4,5].

**ლიტერატურა**

1. [1] [2] [3] [4] [5] [6] [7] [8] [9] [10] [11] [12] [13] [14] [15] [16] [17] [18] [19] [20] [21] [22] [23] [24] [25] [26] [27] [28] [29] [30] [31] [32] [33] [34] [35] [36] [37] [38] [39] [40] [41] [42] [43] [44] [45] [46] [47] [48] [49] [50] [51] [52] [53] [54] [55] [56] [57] [58] [59] [60] [61] [62] [63] [64] [65] [66] [67] [68] [69] [70] [71] [72] [73] [74] [75] [76] [77] [78] [79] [80] [81] [82] [83] [84] [85] [86] [87] [88] [89] [90] [91] [92] [93] [94] [95] [96] [97] [98] [99] [100] [101] [102] [103] [104] [105] [106] [107] [108] [109] [110] [111] [112] [113] [114] [115] [116] [117] [118] [119] [120] [121] [122] [123] [124] [125] [126] [127] [128] [129] [130] [131] [132] [133] [134] [135] [136] [137] [138] [139] [140] [141] [142] [143] [144] [145] [146] [147] [148] [149] [150] [151] [152] [153] [154] [155] [156] [157] [158] [159] [160] [161] [162] [163] [164] [165] [166] [167] [168] [169] [170] [171] [172] [173] [174] [175] [176] [177] [178] [179] [180] [181] [182] [183] [184] [185] [186] [187] [188] [189] [190] [191] [192] [193] [194] [195] [196] [197] [198] [199] [200] [201] [202] [203] [204] [205] [206] [207] [208] [209] [210] [211] [212] [213] [214] [215] [216] [217] [218] [219] [220] [221] [222] [223] [224] [225] [226] [227] [228] [229] [230] [231] [232] [233] [234] [235] [236] [237] [238] [239] [240] [241] [242] [243] [244] [245] [246] [247] [248] [249] [250] [251] [252] [253] [254] [255] [256] [257] [258] [259] [260] [261] [262] [263] [264] [265] [266] [267] [268] [269] [270] [271] [272] [273] [274] [275] [276] [277] [278] [279] [280] [281] [282] [283] [284] [285] [286] [287] [288] [289] [290] [291] [292] [293] [294] [295] [296] [297] [298] [299] [300] [301] [302] [303] [304] [305] [306] [307] [308] [309] [310] [311] [312] [313] [314] [315] [316] [317] [318] [319] [320] [321] [322] [323] [324] [325] [326] [327] [328] [329] [330] [331] [332] [333] [334] [335] [336] [337] [338] [339] [340] [341] [342] [343] [344] [345] [346] [347] [348] [349] [350] [351] [352] [353] [354] [355] [356] [357] [358] [359] [360] [361] [362] [363] [364] [365] [366] [367] [368] [369] [370] [371] [372] [373] [374] [375] [376] [377] [378] [379] [380] [381] [382] [383] [384] [385] [386] [387] [388] [389] [390] [391] [392] [393] [394] [395] [396] [397] [398] [399] [400] [401] [402] [403] [404] [405] [406] [407] [408] [409] [410] [411] [412] [413] [414] [415] [416] [417] [418] [419] [420] [421] [422] [423] [424] [425] [426] [427] [428] [429] [430] [431] [432] [433] [434] [435] [436] [437] [438] [439] [440] [441] [442] [443] [444] [445] [446] [447] [448] [449] [450] [451] [452] [453] [454] [455] [456] [457] [458] [459] [460] [461] [462] [463] [464] [465] [466] [467] [468] [469] [470] [471] [472] [473] [474] [475] [476] [477] [478] [479] [480] [481] [482] [483] [484] [485] [486] [487] [488] [489] [490] [491] [492] [493] [494] [495] [496] [497] [498] [499] [500] [501] [502] [503] [504] [505] [506] [507] [508] [509] [510] [511] [512] [513] [514] [515] [516] [517] [518] [519] [520] [521] [522] [523] [524] [525] [526] [527] [528] [529] [530] [531] [532] [533] [534] [535] [536] [537] [538] [539] [540] [541] [542] [543] [544] [545] [546] [547] [548] [549] [550] [551] [552] [553] [554] [555] [556] [557] [558] [559] [560] [561] [562] [563] [564] [565] [566] [567] [568] [569] [570] [571] [572] [573] [574] [575] [576] [577] [578] [579] [580] [581] [582] [583] [584] [585] [586] [587] [588] [589] [590] [591] [592] [593] [594] [595] [596] [597] [598] [599] [600] [601] [602] [603] [604] [605] [606] [607] [608] [609] [610] [611] [612] [613] [614] [615] [616] [617] [618] [619] [620] [621] [622] [623] [624] [625] [626] [627] [628] [629] [630] [631] [632] [633] [634] [635] [636] [637] [638] [639] [640] [641] [642] [643] [644] [645] [646] [647] [648] [649] [650] [651] [652] [653] [654] [655] [656] [657] [658] [659] [660] [661] [662] [663] [664] [665] [666] [667] [668] [669] [670] [671] [672] [673] [674] [675] [676] [677] [678] [679] [680] [681] [682] [683] [684] [685] [686] [687] [688] [689] [690] [691] [692] [693] [694] [695] [696] [697] [698] [699] [700] [701] [702] [703] [704] [705] [706] [707] [708] [709] [710] [711] [712] [713] [714] [715] [716] [717] [718] [719] [720] [721] [722] [723] [724] [725] [726] [727] [728] [729] [730] [731] [732] [733] [734] [735] [736] [737] [738] [739] [740] [741] [742] [743] [744] [745] [746] [747] [748] [749] [750] [751] [752] [753] [754] [755] [756] [757] [758] [759] [760] [761] [762] [763] [764] [765] [766] [767] [768] [769] [770] [771] [772] [773] [774] [775] [776] [777] [778] [779] [780] [781] [782] [783] [784] [785] [786] [787] [788] [789] [790] [791] [792] [793] [794] [795] [796] [797] [798] [799] [800] [801] [802] [803] [804] [805] [806] [807] [808] [809] [810] [811] [812] [813] [814] [815] [816] [817] [818] [819] [820] [821] [822] [823] [824] [825] [826] [827] [828] [829] [830] [831] [832] [833] [834] [835] [836] [837] [838] [839] [840] [841] [842] [843] [844] [845] [846] [847] [848] [849] [850] [851] [852] [853] [854] [855] [856] [857] [858] [859] [860] [861] [862] [863] [864] [865] [866] [867] [868] [869] [870] [871] [872] [873] [874] [875] [876] [877] [878] [879] [880] [881] [882] [883] [884] [885] [886] [887] [888] [889] [890] [891] [892] [893] [894] [895] [896] [897] [898] [899] [900] [901] [902] [903] [904] [905] [906] [907] [908] [909] [910] [911] [912] [913] [914] [915] [916] [917] [918] [919] [920] [921] [922] [923] [924] [925] [926] [927] [928] [929] [930] [931] [932] [933] [934] [935] [936] [937] [938] [939] [940] [941] [942] [943] [944] [945] [946] [947] [948] [949] [950] [951] [952] [953] [954] [955] [956] [957] [958] [959] [960] [961] [962] [963] [964] [965] [966] [967] [968] [969] [970] [971] [972] [973] [974] [975] [976] [977] [978] [979] [980] [981] [982] [983] [984] [985] [986] [987] [988] [989] [990] [991] [992] [993] [994] [995] [996] [997] [998] [999] [1000] [1001] [1002] [1003] [1004] [1005] [1006] [1007] [1008] [1009] [1010] [1011] [1012] [1013] [1014] [1015] [1016] [1017] [1018] [1019] [1020] [1021] [1022] [1023] [1024] [1025] [1026] [1027] [1028] [1029] [1030] [1031] [1032] [1033] [1034] [1035] [1036] [1037] [1038] [1039] [1040] [1041] [1042] [1043] [1044] [1045] [1046] [1047] [1048] [1049] [1050] [1051] [1052] [1053] [1054] [1055] [1056] [1057] [1058] [1059] [1060] [1061] [1062] [1063] [1064] [1065] [1066] [1067] [1068] [1069] [1070] [1071] [1072] [1073] [1074] [1075] [1076] [1077] [1078] [1079] [1080] [1081] [1082] [1083] [1084] [1085] [1086] [1087] [1088] [1089] [1090] [1091] [1092] [1093] [1094] [1095] [1096] [1097] [1098] [1099] [1100] [1101] [1102] [1103] [1104] [1105] [1106] [1107] [1108] [1109] [1110] [1111] [1112] [1113] [1114] [1115] [1116] [1117] [1118] [1119] [1120] [1121] [1122] [1123] [1124] [1125] [1126] [1127] [1128] [1129] [1130] [1131] [1132] [1133] [1134] [1135] [1136] [1137] [1138] [1139] [1140] [1141] [1142] [1143] [1144] [1145] [1146] [1147] [1148] [1149] [1150] [1151] [1152] [1153] [1154] [1155] [1156] [1157] [1158] [1159] [1160] [1161] [1162] [1163] [1164] [1165] [1166] [1167] [1168] [1169] [1170] [1171] [1172] [1173] [1174] [1175] [1176] [1177] [1178] [1179] [1180] [1181] [1182] [1183] [1184] [1185] [1186] [1187] [1188] [1189] [1190] [1191] [1192] [1193] [1194] [1195] [1196] [1197] [1198] [1199] [1200] [1201] [1202] [1203] [1204] [1205] [1206] [1207] [1208] [1209] [1210] [1211] [1212] [1213] [1214] [1215] [1216] [1217] [1218] [1219] [1220] [1221] [1222] [1223] [1224] [1225] [1226] [1227] [1228] [1229] [1230] [1231] [1232] [1233] [1234] [1235] [1236] [1237] [1238] [1239] [1240] [1241] [1242] [1243] [1244] [1245] [1246] [1247] [1248] [1249] [1250] [1251] [1252] [1253] [1254] [1255] [1256] [1257] [1258] [1259] [1260] [1261] [1262] [1263] [1264] [1265] [1266] [1267] [1268] [1269] [1270] [1271] [1272] [1273] [1274] [1275] [1276] [1277] [1278] [1279] [1280] [1281] [1282] [1283] [1284] [1285] [1286] [1287] [1288] [1289] [1290] [1291] [1292] [1293] [1294] [1295] [1296] [1297] [1298] [1299] [1300] [1301] [1302] [1303] [1304] [1305] [1306] [1307] [1308] [1309] [1310] [1311] [1312] [1313] [1314] [1315] [1316] [1317] [1318] [1319] [1320] [1321] [1322] [1323] [1324] [1325] [1326] [1327] [1328] [1329] [1330] [1331] [1332] [1333] [1334] [1335] [1336] [1337] [1338] [1339] [1340] [1341] [1342] [1343] [1344] [1345] [1346] [1347] [1348] [1349] [1350] [1351] [1352] [1353] [1354] [1355] [1356] [1357] [1358] [1359] [1360] [1361] [1362] [1363] [1364] [1365] [1366] [1367] [1368] [1369] [1370] [1371] [1372] [1373] [1374] [1375] [1376] [1377] [1378] [1379] [1380] [1381] [1382] [1383] [1384] [1385] [1386] [1387] [1388] [1389] [1390] [1391] [1392] [1393] [1394] [1395] [1396] [1397] [1398] [1399] [1400] [1401] [1402] [1403] [1404] [1405] [1406] [1407] [1408] [1409] [1410] [1411] [1412] [1413] [1414] [1415] [1416] [1417] [1418] [1419] [1420] [1421] [1422] [1423] [1424] [1425] [1426] [1427] [1428] [1429] [1430] [1431] [1432] [1433] [1434] [1435] [1436] [1437] [1438] [1439] [1440] [1441] [1442] [1443] [1444] [1445] [1446] [1447] [1448] [1449] [1450] [1451] [1452] [1453] [1454] [1455] [1456] [1457] [1458] [1459] [1460] [1461] [1462] [1463] [1464] [1465] [1466] [1467] [1468] [1469] [1470] [1471] [1472] [1473] [1474] [1475] [1476] [1477] [1478] [1479] [1480] [1481] [1482] [1483] [1484] [1485] [1486] [1487] [1488] [1489] [1490] [1491] [1492] [1493] [1494] [1495] [1496] [1497] [1498] [1499] [1500] [1501] [1502] [1503] [1504] [1505] [1506] [1507] [1508] [1509] [1510] [1511] [1512] [1513] [1514] [1515] [1516] [1517] [1518] [1519] [1520] [1521] [1522] [1523] [1524] [1525] [1526] [1527] [1528] [1529] [1530] [1531] [1532] [1533] [1534] [1535] [1536] [1537] [1538] [1539] [1540] [1541] [1542] [1543] [1544] [1545] [1546] [1547] [1548] [1549] [1550] [1551] [1552] [1553] [1554] [1555] [1556] [1557] [1558] [1559] [1560] [1561] [1562] [1563] [1564] [1565] [1566] [1567] [1568] [1569] [1570] [1571] [1572] [1573] [1574] [1575] [1576] [1577] [1578] [1579] [1580] [1581] [1582] [1583] [1584] [1585] [1586] [1587] [1588] [1589] [1590] [1591] [1592] [1593] [1594] [1595] [1596] [1597] [1598] [1599] [1600] [1601] [1602] [1603] [1604] [1605] [1606] [1607] [1608] [1609] [1610] [1611] [1612] [1613] [1614] [1615] [1616] [1617] [1618] [1619] [1620] [1621] [1622] [1623] [1624] [1625] [1626] [1627] [1628] [1629] [1630] [1631] [1632] [1633] [1634] [1635] [1636] [1637] [1638] [1639] [1640] [1641] [1642] [1643] [1644] [1645] [1646] [1647] [1648] [1649] [1650] [1651] [1652] [1653] [1654] [1655] [1656] [1657] [1658] [1659] [1660] [1661] [1662] [1663] [1664] [1665] [1666] [1667] [1668] [1669] [1670] [1671] [1672] [1673] [1674] [1675] [1676] [1677] [1678] [1679] [1680] [1681] [1682] [1683] [1684] [1685] [1686] [1687] [1688] [1689] [1690] [1691] [1692] [1693] [1694] [1695] [1696] [1697] [1698] [1699] [1700] [1701] [1702] [1703] [1704] [1705] [1706] [1707] [1708] [1709] [1710] [1711] [1712] [1713] [1714] [1715] [1716] [1717] [1718] [1719] [1720] [1721] [1722] [1723] [1724] [1725] [1726] [1727] [1728] [1729] [1730] [1731] [1732] [1733] [1734] [1735] [1736] [1737] [1738] [1739] [1740] [1741] [1742] [1743] [1744] [1745] [1746] [1747] [1748] [1749] [1750] [1751] [1752] [1753] [1754] [1755] [1756] [1757] [1758] [1759] [1760] [1761] [1762] [1763] [1764] [1765] [1766] [1767] [1768] [1769] [1770] [1771] [1772] [1773] [1774] [1775] [1776] [1777] [1778] [1779] [1780] [1781] [1782] [1783] [1784] [1785] [1786] [1787] [1788] [1789] [1790] [1791] [1792] [1793] [1794] [1795] [1796] [1797] [1798] [1799] [1800] [1801] [1802] [1803] [1804] [1805] [1806] [1807] [1808] [1809] [1810] [1811] [1812] [1813] [1814] [1815] [1816] [1817] [1818] [1819] [1820] [1821] [1822] [1823] [1824] [1825] [1826] [1827] [1828] [1829] [1830] [1831] [1832] [1833] [1834] [1835] [1836] [1837] [1838] [1839] [1840] [1841] [1842] [1843] [1844] [1845] [1846] [1847] [1848] [1849] [1850] [1851] [1852] [1853] [1854] [1855] [1856] [1857] [1858] [1859] [1860] [1861] [1862] [1863] [1864] [1865] [1866] [1867] [1868] [1869] [1870] [1871] [1872] [1873] [1874] [1875] [1876] [1877] [1878] [1879] [1880] [1881] [1882] [1883] [1884] [1885] [1886] [1887] [1888] [1889] [1890] [1891] [1892] [1893] [1894] [1895] [1896] [1897] [1898] [1899] [1900] [1901] [1902] [1903] [1904] [1905] [1906] [1907] [1908] [1909] [1910] [1911] [1912] [1913] [1914] [1915] [1916] [1917] [1918] [1919] [1920] [1921] [1922] [1923] [1924] [1925] [1926] [1927] [1928] [1929] [1930] [1931] [1932] [1933] [1934] [1935] [1936] [1937] [1938] [1939] [1940] [1941] [1942] [1943] [1944] [1945] [1946] [1947] [1948] [1949] [1950] [1951] [1952] [1953] [1954] [1955] [1956] [1957] [1958] [1959] [1960] [1961] [1962] [1963] [1964] [1965] [1966] [1967] [1968] [1969] [1970] [1971] [1972] [1973] [1974] [1975] [1976] [1977] [1978] [1979] [1980] [1981] [1982] [1983] [1984] [1985] [1986] [1987] [1988] [1989] [1990] [1991] [1992] [1993] [1994] [1995] [1996] [1997] [1998] [1999] [2000] [2001] [2002] [2003] [2004] [2005] [2006] [2007] [2008] [2009] [2010] [2011] [2012] [2013] [2014] [2015] [2016] [2017] [2018] [2019] [2020] [2021] [2022] [2023] [2024] [2025] [2026] [2027] [2028] [2029] [2030] [2031] [20

შეცდომათა ალბათობის კოეფიციენტის (BER) ოპტიმალური მნიშვნელობის დადგენა გადაცემის ციფრული ბოჭკოვან-ოპტიკური სისტემის (ბცკოს) მიმღების გადაწყვეტ მოწყობილობაში

სვანიძე რ.გ., ჩხაიძე მ.თ., კოდალაშვილი ა.დ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ნაშრომში [1] დადგენილი იყო დამოკიდებულებები ციფრული სისტემის ხარისხის მაჩვენებელს Q-ფაქტორს (ბიტურ შეცდომათა კოეფიციენტს - BER) და გცბოს-ის მიმღების გადამწყვეტ მოწყობილობაში ორობითი სიმბოლოების დონეების და შესაბამისი დისპერსიების სხვადასხვა მნიშვნელობებს შორის, რომლის მიხედვითაც შესაძლებელია შეფასდეს ციფრული სისტემის კავშირის ხარისხი.

ინტერესს წარმოადგენს შეფასებულ იქნას ბიტურ შეცდომათა ალბათობის ოპტიმალური კოეფიციენტი  $BER_{opt}$  გცბოს-ის მიმღების გადამწყვეტი მოწყობილობის ზღურბლის  $I_{opt}$  მნიშვნელობის დროს.

ზოგადად, გადამწყვეტი მოწყობილობის ზღურბლის ოპტიმალური მნიშვნელობა მდებარეობს ორობითი სიგნალის სიმბოლოების „1“ და „0“ დონეების მნიშვნელობებს შორის. ეს დაკავშირებულია იმასთან, რომ ხმაურის ძირითად წყაროს ფოტოდეტექტორის მიერ სიგნალის დექტექტირებისას წარმოადგენს ცემინება მიღებული სიგნალის ხმაურის და ოპტიკური გამაძლიერებლების სპონტანური გამოსხივების ზედღებათა გამო. აღნიშნულის შედეგად, დენის დისპერსია „1“ ბიტის გადაცემისას ( $\sigma_1$ ) მეტია, ვიდრე ნულოვანი ბიტის „0“ გადაცემისას ( $\sigma_0$ ). ამასთან ერთად, სიმარტივისათვის მიჩნეულია, რომ ორივე დისპერსიის ალბათობის განაწილების სიმკვრივე ექვემდებარება გაუსის (ნორმალური) განაწილების კანონს.

თეორიულად BER-ის დამოკიდებულებას ზღურბლის მნიშვნელობაზე აქვს შემდეგი სახე:

$$BER = \frac{1}{4} \operatorname{erfc} \left( \frac{I_D - I_0}{\sigma_0 \sqrt{2}} \right) + \frac{1}{4} \operatorname{erfc} \left( \frac{I_1 - I_D}{\sigma_1 \sqrt{2}} \right), \quad (1)$$

სადაც,  $I_0$  და  $I_1$  დენის (ძაბვის, სიმძლავრის) საშუალო მნიშვნელობებია ციფრული ორობითი სიგნალის „0“ და „1“ დონეებისათვის,  $\sigma_0$  და  $\sigma_1$  „0“ და „1“ ხმაურის განაწილების საშუალო სტანდარტული დევიაციაა (საშუალო კვადრტული გადახრა, დისპერსია).  $I_D$  - გცბოს მიმღების გადამწყვეტი მოწყობილობის ზღურბლის დონის პოზიციაა,  $\operatorname{erfc}$  -შეცდომათა ფუნქციაა.

გცბოს გადამწყვეტი მოწყობილობის ზღურბლის მნიშვნელობის დადგენისათვის საჭიროა BER-ის ოპტიმიზაცია შემდეგი განტოლებით  $d(BER)/dI_D = 0$ .  $I_{Dopt}$ -ის განსაზღვრა შესაძლებელია შემდეგი მიახლოებით [2]:

$$\frac{I_D - I_0}{\sigma_0} = \frac{I_1 - I_D}{\sigma_1} \equiv Q; \quad I_{Dopt} = \frac{\sigma_0 I_1 + \sigma_1 I_0}{\sigma_0 + \sigma_1}, \quad (2)$$

ამრიგად, ამოცანა მდგომარეობს  $I_0$ ,  $I_1$ ,  $\sigma_0$  და  $\sigma_1$  სიდიდეების შერჩევაში გაზომილი მნიშვნელობების ფარგლებში და ამ მნიშვნელობებიდან Q-ფაქტორის,  $BER_{opt}$  მნიშვნელობის განსაზღვრა.

ასევე, ტელეკომუნიკაციის საერთაშორისო გაერთიანების ITU-ს მეთოდოლოგიის [3] საფუძველზე შესაძლებელია დავადგინოთ გცბოს შეცდომათა ალბათობის კოეფიციენტის (BER) ოპტიმალური მნიშვნელობა მიმღების გადამწყვეტ მოწყობილობაში ზღურბლის ოპტიმალური დონის შერჩევით „1“-ის და „0“-ის დონეების და დისპერსიების სხვადასხვა მნიშვნელობებისათვის (ნახ. 1).

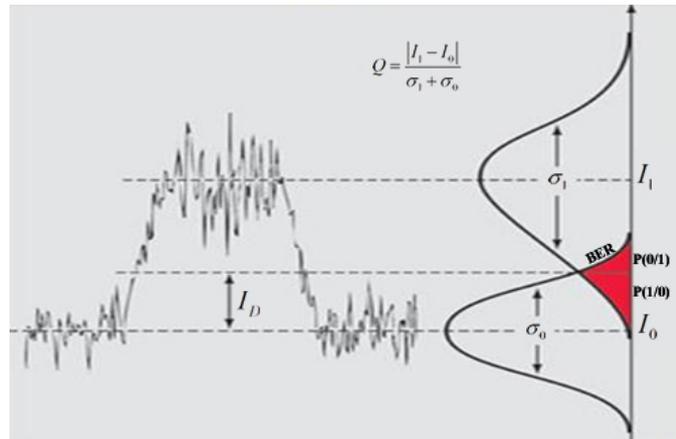
ვისარგებლოთ აღნიშნული მეთოდით. ვინაიდან შეცდომათა კოეფიციენტი (1) შედგება განტოლების ორი წევრის ჯამისაგან, რომლებიც შეესაბამება ბიტურ შეცდომათა პირობით ალბათობას. თავდაპირველად ორივე განაწილება დამუშავდება ცალ-ცალკე:

$$BER = \frac{1}{4} \operatorname{erfc} \left( \frac{V_1}{\sqrt{2}} \right) - \text{თვალის დიაგრამის ზედა ნაწილისათვის}, \quad (3)$$

$$BER = \frac{1}{4} \operatorname{erfc} \left( \frac{V_0}{\sqrt{2}} \right) - \text{თვალის დიაგრამის ქვედა ნაწილისათვის}, \quad (4)$$

სადაც,  $V_0(I_D) = \frac{(I_D - I_0)}{\sigma_0}$  და  $V_1(I_D) = \frac{(I_D - I_1)}{\sigma_1}$ .

თუ ამოვსხნით (3) და (4) განტოლებებს  $V_0$  და  $V_1$ -სათვის და გამოვიყენებთ შეცდომათა  $\operatorname{erf}$  ფუნქციას, BER-ის გაზომილი მნიშვნელობებიდან რეგრესის ფუნქციის საშუალებით შეიძლება გამოვთვალოთ დამოკიდებულებები  $V_1 = \psi(I_D)$  და  $I_D = \psi(V_1)$ . ეს გვაძლევს მონაცემების საანგარიშო მნიშვნელობების პირველ ნაკრებს  $I_0, I_1, \sigma_0$  და  $\sigma_1$  მნიშვნელობებისათვის.



ნახ. 1. თანაფარდობა “0” და “1” დონეების დისპერსიების მნიშვნელობებსა და BER-ს შორის

შემდგომ ეტაპზე გამოიყენება სრული განტოლება (1).  $I_1$  და  $\sigma_1$  მნიშვნელობების დაზუსტებისათვის (1) განტოლებაში უნდა ჩავსვათ  $I_0$  და  $\sigma_0$  მნიშვნელობები და კვლავ განისაზღვრება დამოკიდებულება  $V_1 = \psi(I_D)$ , რაც მიგვიყვანს  $I_{D\text{თავ}}$  და  $\sigma_1$ -ის მონაცემების უფრო ზუსტ ერთობლიობამდე. მონაცემების ამ ახალი ერთობლიობიდან ანალოგიურად განისაზღვრება  $I_0$  და  $\sigma_0$  -ის დაზუსტებული ერთობლიობა.

მეორე ეტაპი მეორდება რამდენმეჯერ. თუ  $V_{\text{თავ}}$  მნიშვნელობა იცვლება  $10^{-3}$  ნაკლებ ფარგლებში, იტერაცია წყდება.

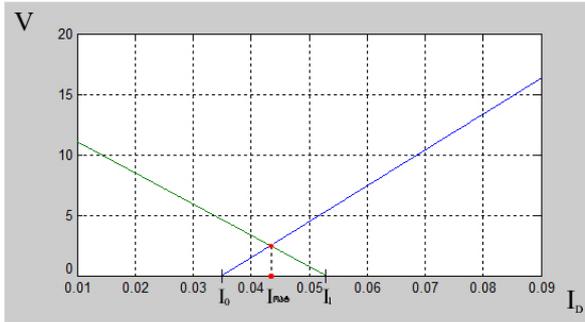
შემდგომ ეტაპზე ხორციელდება  $BER_{\text{თავ}}$  და Q-ფაქტორის გამოთვლა. აიღება  $I_0, I_1, \sigma_0$  და  $\sigma_1$ -ის მონაცემების საბოლოო ერთობლიობა.

$$Q = \frac{|I_1 - I_0|}{\sigma_1 + \sigma_0}. \quad (5)$$

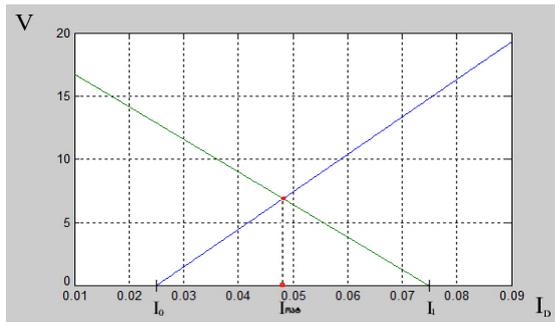
$BER_{\text{თავ}}$  მიიღება (1) განტოლებაში  $I_D = I_{\text{თავ}}$  მნიშვნელობის ჩასმით ნახ.1-ის მიხედვით, რასაც მივყავართ

$$BER_{\text{ობგ}} = \frac{1}{2} \cdot \operatorname{erfc} \left( \frac{Q}{\sqrt{2}} \right). \quad (6)$$

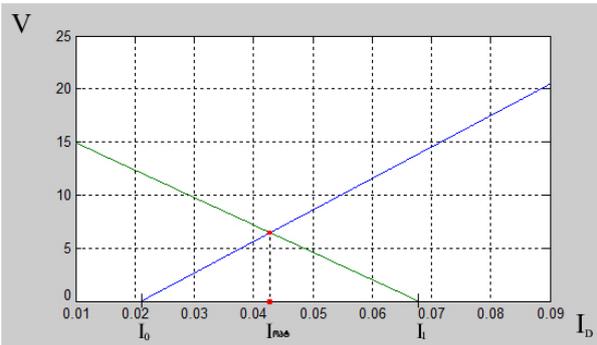
პროგრამა „მატლაბის“ საშუალებით გაანგარიშებულია და ქვემოთ მოყვანილია მაგალითები, სადაც „1“-ის და „0“-ის დისპერსიები შესაბამისად  $\sigma_1 = 3,378 \cdot 10^{-3}$ , ხოლო  $\sigma_0 = 3,373 \cdot 10^{-3}$ , ვცვლით „1“-ის და „0“-ის დონეების  $I_1$ -ის და  $I_0$ -ის მონაცემებს და ვღებულობთ (ნახ.2-5).



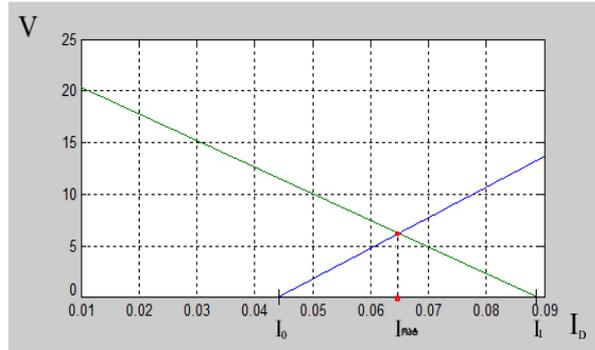
ნახ.2.  $I_1 = 0,053$ ,  $I_0 = 0,035$ ,  $I_{D\text{ობგ}} = 0,0434$ ,  
 $Q_{\text{ობგ}} = 2,4821$ ,  $BER_{\text{ობგ}} = 6,5 \cdot 10^{-3}$



ნახ.3.  $I_1 = 0,075$ ,  $I_0 = 0,025$ ,  $I_{D\text{ობგ}} = 0,0483$ ,  
 $Q_{\text{ობგ}} = 6,8946$ ,  $BER_{\text{ობგ}} = 2,69 \cdot 10^{-12}$ .



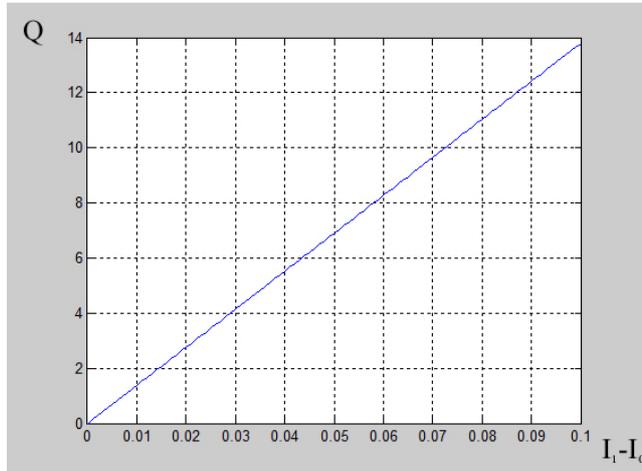
ნახ.4.  $I_1 = 0,068$ ,  $I_0 = 0,021$ ,  $I_{D\text{ობგ}} = 0,0429$ ,  
 $Q_{\text{ობგ}} = 6,481$ ,  $BER_{\text{ობგ}} = 4,55 \cdot 10^{-11}$ .



ნახ.5.  $I_1 = 0,089$ ,  $I_0 = 0,044$ ,  $I_{D\text{ობგ}} = 0,0649$ ,  
 $Q_{\text{ობგ}} = 6,2$ ,  $BER_{\text{ობგ}} = 2,73 \cdot 10^{-10}$ .

ნახაზებიდან ჩანს, რომ რაც უფრო მეტია სხვაობა „1“-ის ( $I_1$ ) და „0“-ის ( $I_0$ ) დონეებს შორის, მით უფრო მაღალია Q-ს მნიშვნელობა და შესაბამისად დაბალია (უკეთესია) შეცდომათა ალბათობის მიღებული მნიშვნელობა. „1“-ის და „0“-ის დისპერსიების მნიშვნელობის ( $\sigma_1, \sigma_0$ ) შემცირება კი გამოიწვევს დონეებს შორის სხვაობის გაზრდას და შესაბამისად Q-ს (5) და BER-ის (5) კავშირის ხარისხის მაღალი მნიშვნელობების მიღებას. აგრეთვე უნდა აღინიშნოს, რომ ჩვენს მიერ მიღებული  $I_{D\text{ობგ}}$ -ის მნიშვნელობები აბსოლუტურად ემთხვევა (2) ფორმულით გამოთვლილ  $I_{D\text{ობგ}}$ -ის მნიშვნელობებს. მეტი თვალსაჩინოებისათვის ავაგოთ „1“-ის და „0“-ის დონეების სხვაობის  $I_1 - I_0$ -ის Q-ზე დამოკიდებულების გრაფიკი (ნახ.6).

ცხრილში რაოდენობრივად წარმოდგენილია  $Q_{\text{ობტ}}$  და  $BER_{\text{ობტ}}$  მიღებული შედეგები  $I_1$ ,  $I_0$ ,  $\sigma_1$ ,  $\sigma_0$  შესაბამისი მნიშვნელობებისათვის.



ნახ.6 „1“-ის და „0“-ს დონეების სხვაობის  $I_1 - I_0$  -ის დამოკიდებულება Q ფაქტორზე

$Q_{\text{ობტ}}$  და  $BER_{\text{ობტ}}$  მიღებული შედეგები  $I_1$ ,  $I_0$ ,  $\sigma_1$ ,  $\sigma_0$  შესაბამისი მნიშვნელობებისათვის

N <sup>o</sup>	$I_1$	$I_0$	$I_1 - I_0$	$I_{\text{ობტ}}$	$Q_{\text{ობტ}}$	$BER_{\text{ობტ}}$	$\sigma_1$	$\sigma_0$
1	0,053	0,035	0,018	0,0434	2,4821	$6,5 \cdot 10^{-3}$	$3,378 \cdot 10^{-3}$	$3,373 \cdot 10^{-3}$
2	0,075	0,025	0,05	0,0483	6,8946	$2,69 \cdot 10^{-12}$	$3,378 \cdot 10^{-3}$	$3,373 \cdot 10^{-3}$
3	0,068	0,021	0,047	0,0429	6,481	$4,55 \cdot 10^{-11}$	$3,378 \cdot 10^{-3}$	$3,373 \cdot 10^{-3}$
4	0,089	0,044	0,045	0,0649	6,2	$2,73 \cdot 10^{-10}$	$3,378 \cdot 10^{-3}$	$3,373 \cdot 10^{-3}$

ამრიგად, ტელეკომუნიკაციის საერთაშორისო გაერთიანების ITU-ს მეთოდოლოგიის საფუძველზე დადგინდა გადაცემის ციფრული ბოჭკოვან-ოპტიკური სისტემის (გცბოს) შეცდომათა ალბათობის კოეფიციენტის (BER) ოპტიმალური მნიშვნელობა მიმღების გადამწყვეტ მოწყობილობაში ზღურბლის ოპტიმალური დონის შერჩევით „1“-ის და „0“-ის დონეების სხვადასხვა მნიშვნელობებისათვის.

#### ლიტერატურა

1. როსტიაშვილი ნ., ჩხაიძე მ., სვანიძე რ. ბიტურ შეცდომათა ალბათობის (BER) შეფასება გადაცემის ციფრულ ბოჭკოვან-ოპტიკურ სისტემებში (გცბოს). //Georgian Engineering News, 2016, №4 (80), გვ. 37-44.
2. <https://ir.ttu.ee/irm0120/Loengud/lecture%208.pdf>
3. ITU-TO.201 TELECOMMUNICATION STANDARDIZATION SECTOR, OF ITU, (07/2003). Q-factor test equipment to estimate the transmission performance of optical channels. ITU-T Recommendation O.201.

#### SUMMARY

#### DETERMINATION OF OPTIMAL VALUES OF THE BIT ERROR RATE (BER) IN THE KEY DEVICE OF A RECEIVER OF THE DIGITAL FIBER OPTIC TRANSMISSION SYSTEM

Svanidze R.G., Chkhaidze M.T. and Kodalashvili A.D.

Georgian Technical University

The article deals with the determination of optimal values of the bit error rate (BER) in the key device of a receiver of the digital fiber optic transmission system (DFOTS). The optimal values of BER are determined by selecting the threshold level based on the methodology of the International Telecommunication Union (ITU).

**Keywords:** digital fiber optic transmission system, bit error rate, optimal values, threshold level.

**ჯიტიერის შიფრის საპრობლემატიკური ბადაცემის ციფრულ  
ბოჭკოვან-ოპტიკურ სისტემაში**

სვანიძე რ.გ., ჩხაიძე მ.თ.

**საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი**

გადაცემის ციფრულ ბოჭკოვან-ოპტიკურ სისტემაში (გცბოს) ციფრული ორობითი ინფორმაციის ნაკადის გავლისას სიგნალზე მრავალი ფაქტორი ახდენს უარყოფით გავლენას. ესენია: მიღევა, დისპერსია, არაწრფივი მოვლენები ოპტიკურ ბოჭკოში, გაძლიერება (იგულისხმება ოპტიკური გამაძლიერებელი) და ხმაური. გარდა ამისა, გასათვალისწინებელია გცბოს ოპტიკური მიმდების ფოტოდეტექტორის გატარების ზოლის სასრული სიგანე, ჯიტიერი, სიმბოლოთშორისი ინტერფერენცია (ISI) და სხვა. ყოველივე აისახება კავშირის ხარისხის ისეთ კომპლექსურ პარამეტრში, როგორცაა Q-ფაქტორი (ბიტურ შეცდომათა ალბათობის კოეფიციენტი - BER). ინტერესს წარმოადგენს შევისწავლოთ ჯიტიერის გავლენის პირობები კავშირის ხარისხზე.

ჯიტიერი, ანუ ფაზის ციმციმი, შეიძლება განვსაზღვროთ, როგორც „სიგნალის დასაფიქსირებელი (საჩვენებელი) უბნების გადახრა დროში მათ მიმართ მოთხოვნილი მდებარეობიდან“. ეს ნიშნავს, რომ სიგნალი სხვადასხვა მიზეზით ადრე თუ გვიან იცვლის მდგომარეობას მისი თავდაპირველად დაფიქსირებული მდებარეობის მიმართ. აქ იგულისხმება ციფრული სიგნალის მიმდევრობის იდეალურიდან გადახრა დროში და ამპლიტუდაში, ანუ, ციფრული სიგნალისათვის „საჩვენებელ უბნებად“ ითვლება მისი დაფიქსირებული მომენტიდან დროში და ამპლიტუდაში გადახრა. ჯიტიერი გამოწვეულია გარე და შიდა წარმოშობის ამპლიტუდური და ფაზური ხმაურით. სიგნალის ჯიტიერს გააჩნია სხვადასხვა მახასიათებლები მათი მიზეზებისა და წყაროებისაგან დამოკიდებულების თვალსაზრისით ITU-T-ს G.810 რეკომენდაციის თანახმად [1-3].

ბოლო პერიოდში ჯიტიერის მიმართულებით ჩატარებულმა თეორიულმა, ექსპერიმენტალურმა და აპარატურულმა კვლევებმა განაპირობეს ჯიტიერის ზუსტი განსაზღვრის და წინასწარმეტყველების შესაძლებლობა, რაც საშუალებას იძლევა გცბოს დაპროექტებისა და ესპლუატაციის პირობებში ავამაღლოთ და გავაუმჯობესოთ გცბოს ხარისხობრივი მაჩვენებლები.

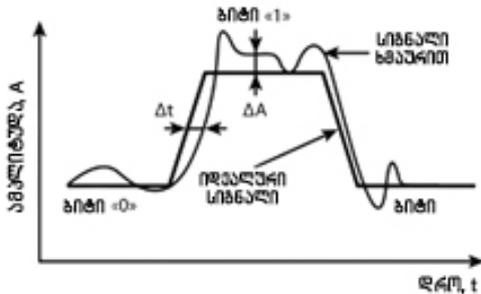
გცბოს მიმდების გადამწვევტი მოწყობილობის შედარების ბლოკში მიწოდებული ხმაურით ზედდებული იმპულსების და ამავე გადამწვევტი მოწყობილობის სინქრონიზაციის ბლოკში გამომწვევებული მოკლე ხანგრძლიობის სტრობიმპულსების შედარებისას (ზღურბლის დონის გათვალისწინებით) მნიშვნელოვანია თავად გადაწვევტის მიღების დრო და სტრობირების (შედარების) ადგილზე მოსული სიმბოლოს ფორმა. ჯიტიერის ეფექტის გამო ადგილი აქვს გადაწვევტილების მიღების დროის ფლუქტუაციას.

ჯიტიერის დეტალური კლასიფიკაციით [4] გვაქვს: დეტერმინირებული ჯიტიერი (DJ - Deterministic Jitter); ა) კორელირებული ჯიტიერი: – მონაცემებზე დამოკიდებული ჯიტიერი (DDJ - Data-Dependent Jitter); – სიმბოლოთშორისი დამახინჯება (ISI - Inter-Symbol Interference); – გადაცემის (მუშა ციკლის) დამახინჯება (DCD - Duty-Cycle Distortion). ბ) არაკორელირებული ჯიტიერი: – პერიოდული ჯიტიერი (PJ - Periodic Jitter), (მისი კერძო შემთხვევაა – სინუსოიდალური ჯიტიერი (SJ - Sinusoidal Jitter)); – შეზღუდული არაკორელირებული ჯიტიერი- (BUJ - Bounded Uncorrelated Jitter). გ) შემთხვევითი ჯიტიერი (RJ - Random Jitter).

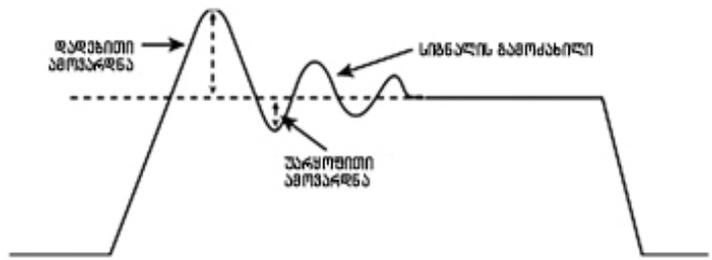
სიგნალის მთლიანობის დარღვევის ცნებიდან გამომდინარე, თუ სიგნალი იდეალურია, მაშინ მისი მთლიანობა დარღვეული არ არის. რეალურ პირობებში სიგნალის ცვლილება იდეალური ფორმისაგან ხდება ორი ძირითადი მაჩვენებლით: ამპლიტუდაში ცვლილებისას და დროში ცვლილებისას. ტრადიციულ მიმართველ

სისტემებში (სპილენძის სიმეტრიული, კოაქსიალური კაბელები და სხვა) ამპლიტუდის ცვლილებაში იგულისხმება ძაბვის ცვლილება, ხოლო ოპტიკურ და უსადენო ხაზებში – სიმძლავრის ცვლილება.

სიგნალის ამპლიტუდის გადახრას  $\Delta A$  – ეწოდება ხმაურის ამპლიტუდა, ხოლო სიგნალის დროში გადახრას  $\Delta t$  – დროითი ჯიტერი. ამპლიტუდური ხმაურის და დროითი ჯიტერის ზემოქმედება სისტემაზე არათანაბარი და არასიმეტრიულია. ნახ.1-ზე წარმოდგენილია იდეალური და რეალური ციფრული სიგნალები. როგორც აღინიშნა, სიგნალის მთლიანობა დაკავშირებულია როგორც ხმაურის ამპლიტუდასთან, ისე დროით ჯიტერთან; თუმცა სიგნალის მთლიანობის ზოგიერთი მახასიათებლები, მაგალითად, დადებითი და უარყოფითი ამოვარდნები, ე.წ. სიგნალის „გამოძახილი“ – არ შეიძლება მთლიანად განსაზღვრულ იქნას ხმაურისა და ჯიტერის მეშვეობით (ნახ.1). ნახ.2-ზე მოყვანილია სიგნალის მთლიანობის მნიშვნელოვანი მახასიათებლები: დადებითი ამოვარდნა, უარყოფითი ამოვარდნა, სიგნალის გამოძახილი.



ნახ.1. იდეალური და რეალური ციფრული სიგნალი



ნახ.2. სიგნალის მთლიანობის მნიშვნელოვანი მახასიათებლები: დადებითი ამოვარდნა, უარყოფითი ამოვარდნა, სიგნალის გამოძახილი

ნახ.3-ზე წარმოდგენილია გცბოს გადამწვევებ მოწყობილობაში, კერძოდ, შემადარებელ ბლოკში შემავალი მონაცემების სიმბოლოების დისკრეტიზაცია (სტრობირება) მიმდების მიერ: ა) სიგნალი ლოგიკური „1“, ბ) სიგნალი ლოგიკური „0“. როგორც ვხედავთ ციფრული სიგნალების გადაცემისას მთავარი მნიშვნელობა ენიჭება შესასვლელი სიგნალის არჩევის (სტრობირების)  $t_s$  მომენტს  $V_s$  ზღურბლოვანი ძაბვის დროს. იდეალურ შემთხვევაში მიმდების გადამწვევებ მოწყობილობაში ხდება მოსული ციფრული მონაცემების სტრობირება (დისკრეტიზაცია) მოსული თითოეული სიმბოლოს (ბიტის) ცენტრში. იმ შემთხვევაში, როცა დროში იმპულსის აღმავალი და დაღმავალი ფრონტებისათვის კმაყოფილდება პირობები  $t_f < t_s < t_r$  და  $V_1 > V_s$ , სადაც  $V_1$  „1“ დონის იმპულსის დონეა,  $V_s$  – ზღურბლის დონე,  $t_s$  – დრო, რომლის დროსაც ხდება მოცემული „1“ იმპულსის სტრობირება (დისკრეტიზაცია). ამ პირობების დაცვის შემთხვევაში ლოგიკური „1“ მიიღება კორექტულად, შეცდომის გარეშე (ნახ.3 ა). დისკრეტიზაციის ამ პირობების დარღვევამ შესაძლებელია მიგვიყვანოს „1“-ის გამოცნობის სამ ვარიანტამდე:

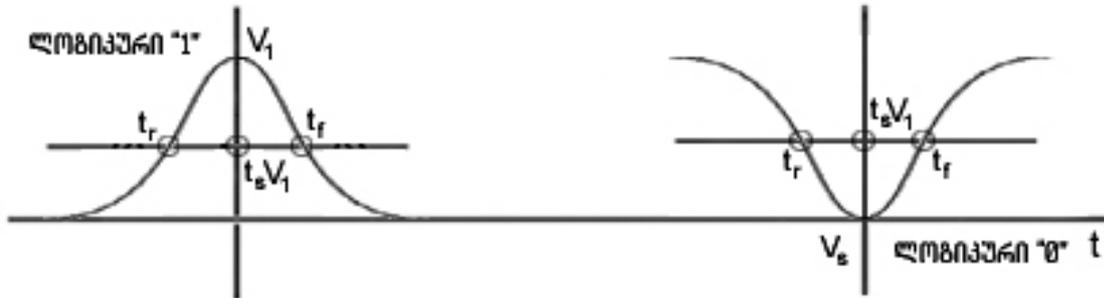
– იმპულსის აღმავალი ფრონტის გადაკვეთის დრო ჩამორჩება სტრობირების იდეალურ არჩევის დროს, ანუ  $t_f > t_s$ ;

– დაღმავალი ფრონტის გადაკვეთის დრო წინ უსწრებს სტრობირების იდეალური წერტილის არჩევას, ანუ  $t_r < t_s$ ;

– ლოგიკური „1“-ის ძაბვა ნაკლებია არჩევის (სტრობირების)  $V_s$  ძაბვაზე, ანუ  $V_1 < V_s$ .

ლოგიკური „0“-ის სტრობირებისას (ნახ.3 ბ) კორექტული ათვლის (სტრობირების) პირობა გამოიყურება შემდეგნაირად:  $t_r < t_s < t_f$  და  $V_0 < V_s$ . ლოგიკური „0“-ის

სწორი ათვლის (სტრობირების) დარღვევა ლოგიკური „1“-ის სტრობირების ანალოგურია, მხოლოდ ლოგიკური „0“-ის ძაბვისათვის ათვლის (სტრობირების) პირობაა  $V_0 > V_s$ .



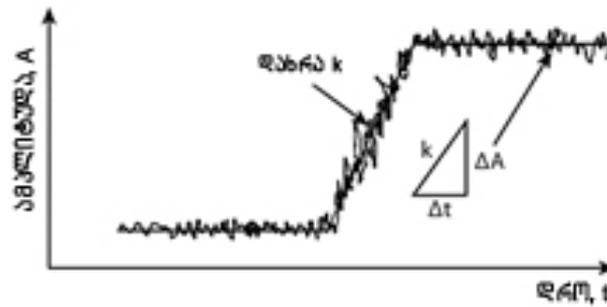
ნახ.3. შემაჯავლი მონაცემების დისკრეტიზაცია მიმღების მიერ

ა) სიგნალი ლოგიკური „1“, ბ) სიგნალი ლოგიკური „0“

ამრიგად, სიგნალის მთლიანობის დარღვევა განპირობებულია ხმაურის ამპლიტუდით და სიგნალის დროში გადახრით (ჯიტერი), ისეთი მახასიათებლებით, როგორცაა დადებითი ამოვარდნა, უარყოფითი ამოვარდნა, სიგნალის გამოძახილი. სიგნალის მთლიანობის დარღვევა, ანუ ბიტური შეცდომების (BER) წარმოქმნის მექანიზმი დაკავშირებულია მრავალ მიზეზთან, რომლებიც შესაძლებელია დავეოთ ორ დიდ კლასად: საკუთარი და არასაკუთარი. საკუთარი წყაროები დაკავშირებულია ნახევარგამტარების ელექტრონებისა და ხვრელების ფიზიკურ თვისებებთან, ამიტომ, მათი აღმოფხვრა მოცემული ნახევარგამტარის გამოყენებისას პრაქტიკულად შეუძლებელია; არასაკუთარი – სისტემის კონფიგურაციასთან, არაიდეალურ სინქრონიზაციასთან და სხვა, რომელთა აღმოფხვრა შესაძლებელია. ხმაურის და ჯიტერის წარმოშობის საკუთარ მექანიზმს განეკუთვნება: სითბური ხმაური, საფანტისებური ხმაური, ფლიკკერ ხმაური (ნახ.4) [5]. აქედან გამომდინარე, ხმაური, რომელიც აღიწერება ფიზიკური სიდიდეებითა და პარამეტრებით, ანუ სატელეკომუნიკაციო სისტემებში ძაბვითა და სიმძლავრით. შესაბამისად ზემოთ წარმოდგენილი საკუთარი ხმაურები შესაძლებელია გარდაისახოს ჯიტერში, როგორც ეს წარმოდგენილია ნახ.4-ზე, სადაც ნაჩვენებია ხმაურის გარდაქმნა დროით ჯიტერში. როგორც ზემოთ აღინიშნა, ხმაური შესაძლებელია აღიწეროს ფიზიკური სიდიდეებით ან პარამეტრებით. სატელეკომუნიკაციო, კომპიუტერულ და ელექტრონულ სისტემებში ასეთ სიდიდეებს წარმოადგენენ ძაბვა ან სიმძლავრე. გამოვიყენოთ საერთო ტერმინი „ამპლიტუდა“. ამპლიტუდური ხმაური  $\square A(t)$  ზედ ედება ამპლიტუდურ სიგნალს  $A_0(t)$ , ისე რომ, ჯამური სიგნალი  $(t)=A_0(t)+\square A(t)$ , რომელიც შეესაბამება დროით ჯიტერს, შესაძლებელია შეფასებულ იქნას მცირე სიგნალის დამახინჯების წრფივი თეორიით შემდეგი განტოლების შესაბამისად:

$$\Delta t(t) = \frac{\Delta v}{(dA_0(t)/dt)} = \frac{\Delta t}{k} \tag{1}$$

სადაც,  $k = (dA_0(t)/dt)$  – სიგნალის დახრა ან სიგნალის აღმასვლაა. ამპლიტუდური ხმაურის დროით ჯიტერში წრფივი გადასვლა ნაჩვენებია ნახ.4.ზე.



ნახ.4. ამპლიტუდური ხმაურის დროით ჯიტერში გარდაქმნა დამახინჯების წრფივი მოდელის თანახმად

საკუთარი ხმაური და ჯიტერი დაკავშირებულია თავად სატელეკომუნიკაციო სისტემის კონფიგურაციასთან და აპარატურულ მოწყობასთან (პარამეტრებთან), მის ხარისხობრივ მაჩვენებლებთან; ამდენად ხმაურისა და ჯიტერის ეს სახეები შესაძლებელია გაკონტროლდეს და აღმოფხვრას სისტემის პარამეტრების გაუმჯობესებით.

ჯიტერის ანალოგიურად ასეთივე მსჯელობა შესაძლებელია გამოყენებულ იქნას ხმაურის ამპლიტუდის მიმართ. პერიოდული ჯიტერი შესაძლებელია გამოწვეული იყოს მოდულაციის სხვადასხვა მექანიზმებით (ამპლიტუდური, ფაზური, სიხშირული). ამის გარდა, მოდულაციის ფუნქციას შეიძლება გააჩნდეს სხვადასხვა ფორმა. ტიპურია სინუსოიდალური, სამკუთხა, ხერხისებური. აქედან გამომდინარე, პერიოდულმა ამპლიტუდურმა ხმაურმა შეიძლება გამოიწვიოს პერიოდული (სინუსოიდალური დროითი) ჯიტერი, რომელიც უკუპროპორციულია სიგნალის ფრონტის დახრის, ან აღმასვლის. პერიოდული ჯიტერი შესაძლებელია გამოწვეულ იქნას იმპულსური კვების წყაროთი, ფართოხოლოვანი სატაქტო სიგნალით ან პერიოდული ელექტრომაგნიტური ხმაურით.

წარმოდგენილი ანალიზიდან გამომდინარე, ჯიტერის მთლიანი აღმოფხვრა შეუძლებელია, ვინაიდან ის სისტემური თვისებებიდან გამომდინარეობს. ამის გამო ნებისმიერი ციფრული სისტემის დაპროექტების და ექსპლუატაციის პროცესში აუცილებელია შეფასდეს ჯიტერის და ვანდერის მნიშვნელობები. მათგან გასათვალისწინებელია დროითი ჯიტერის გავლენა ოპტიკური მიმდების გადამწვევებ მოწყობილობაში სიგნალის რეგისტრაციაზე და შეცდომათა ლაბათობის კოეფიციენტის (BER) შეფასება.

**ლიტერატურა**

1. ITU-T Recommendation G.823 (03/2000). The control of jitter and wander within digital networks which are based on the 2048 kbit/shierarchy.
2. ITU-T Recommendation G.825: Digital Networks: The Control of Jitter and Wander Within Digital Networks which are Based on the Synchronous Digital Hierarchy (SDH).
3. ITU-T Recommendation G.783. Characteristics of synchronous digital hierarchy (SDH) equipment functional blocks.
4. მ. ჩხაიძე – გადაცემის ციფრული ბოჭკოვან-ოპტიკური სისტემების (გცბოს) კვლევა, დისერტაცია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად, თბილისი, 2013.
5. [Bibliography symbols] 1992.

**SUMMARY**

**ESTIMATION OF JITTER IN DIGITAL FIBER OPTIC TRANSMISSION SYSTEMS**

**Svanidze R.G. and Chkhaidze M.T.**

**Georgian Technical University**

The article discusses the causes of formation of jitter in digital fiber optic transmission systems, the physical essence of jitter and a possible effect of jitter on the quality of transmission.

**Keywords:** digital fiber optic transmission systems, jitter.

ბიჭურ შვიცლომათა ალგათობის კოეფიციენტის (BER) შეფასება გადაცემის ციფრულ პოპოვან-ოპტიკურ სისტემებში დროითი ჯიტირის გათვალისწინებით

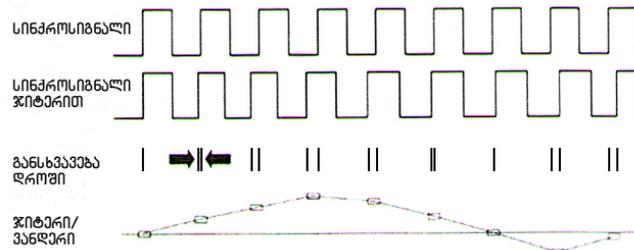
სვანიძე რ.გ., ჩხაიძე მ.თ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ნაშრომში [1] წარმოდგენილი იყო ჯიტერის შეფასების ზოგადი საკითხები გადაცემის ციფრულ ბოჭკოვან-ოპტიკურ სისტემებში (გცბოს). ჩვენ ვიზიარებთ ჯიტერის რაოდენობრივად შეფასების ისეთ მიდგომას, როდესაც ჯიტერი ფასდება მისი სრული გაშლით: ამპლიტუდით (დეტერმინირებული ჯიტერი) და საშუალო კვადრატული გადახრით (შემთხვევითი ჯიტერი). სრული გაშლა არის სასარგებლო შეზღუდული პარამეტრი, მაგრამ ჯიტერისა და ხმაურის არანებისმიერი მნიშვნელობისათვის. აქედან გამომდინარე, სრული გაშლით შესაძლებელია აღიწეროს მხოლოდ დეტერმინირებული ჯიტერი. ამავე დროს, სრული გაშლა წარმოადგენს შეზღუდულ პარამეტრს, აქედან გამომდინარე, ასეთი ტიპის ხმაური და ჯიტერი შეზღუდულია თავიანთი მნიშვნელობებით.

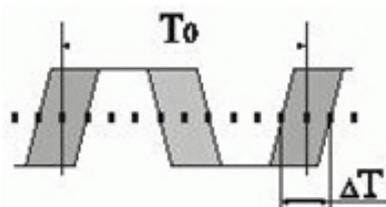
ჯიტერის გაზომვის მეთოდოლოგია და შეფასება თვალის ანიმაციური მოდელით მოყვანილია [2-4].

აქვე აუცილებელია განემარტოთ განსხვავება ჯიტერსა და ვანდერს შორის. ჯიტერი არის მასინქრონიზებული სიგნალების ნიშნული (ფიქსირებული) მომენტების მოკლედროიანი იდეალური მდგომარეობიდან დროში გადახრა, (სადაც „მოკლედროიანი გადახრა“ გულისხმობს, რომ სიხშირის ეს გადახრა ნაკლებია ან ტოლია 10 პც). ამ შემთხვევაში ვანდერი განისაზღვრება, როგორც „ციფრული სიგნალის ნიშნული მომენტების ხანგრძლივი პერიოდის განმავლობაში იდეალური მდგომარეობიდან დროში გადახრა“. „ხანგრძლივი პერიოდის განმავლობაში გადახრა“ გულისხმობს, რომ სიხშირის გადახრა მეტია 10 პც-ზე. ნიშნული ინტერვალის წარმოადგენს ციფრული სიგნალის ინტერვალს. სწორედ ამ ინტერვალის ცვლილება ხდება დროში, ანუ იდეალური მდგომარეობიდან დროში მარცხნივ ან მარჯვნივ, ხოლო სინქრონიზაციის დროში განსხვავების ილუსტრაცია იდეალური სიგნალისაგან, შესაბამისად ჯიტერსა და ვანდერს შორის მოყვანილია ნახ.1- ზე.



ნახ. 1. სინქრონიზაციის დროში გადახრის მაგალითი ორი სიგნალის შედარებისას

ხოლო ნახ.2-ზე მოყვანილია ჯიტერიანი სიგნალის ოსცილოგრამა.



ნახ. 2. ჯიტერიანი სიგნალის ოსცილოგრამა  $T_0$ -პერიოდი,  $\Delta T$ -ჯიტერი

საინტერესოა გაანალიზებულ იქნას როგორც ვანდერის, ისე ჯიტერის გავლენა გცბოს ხარისხზე. შემდგომში ჩვენს მიერ განხილული იქნება მხოლოდ ჯიტერი და მისი გავლენა.

ამასთან:

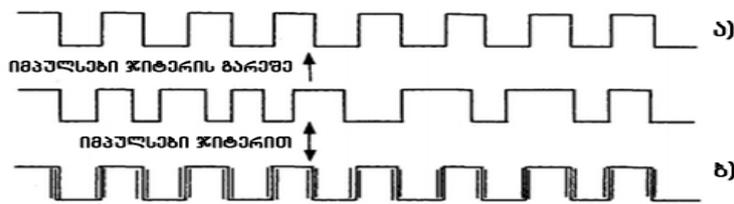
1. ყველა ტიპის დეტერმინირებული ჯიტერი (კორელირებული, არაკორელირებული) თავისი ბუნებით შეზღუდულია;

2. გადაცემის (მუშა ციკლის) დამახინჯება (DCD) ფიზიკური ბუნებით განპირობებულია, როგორც პერიოდული ჯიტერით (PJ), ისე სიმბოლოთშორისი დამახინჯებით (ISI).

3. შემთხვევითი ჯიტერი (RJ) თავისი ბუნებით შეუზღუდავია. იგი წარმოიშვება შემთხვევითად. როგორც წესი, გამოისახება გაუსის (ნორმალური) განაწილების სახით, საშუალო მნიშვნელობით (მათემატიკური მოლოდინი) და საშუალო-კვადრატული გადახრით (დისპერსია, დევიაცია), ჩვენს შემთხვევაში მიღებულია ტერმინი საშუალო – სტანდარტული გადახრა. მის პიკ-პიკ მნიშვნელობას არ გააჩნია ზღვარი. ამიტომ ეწოდება შეუზღუდავი ჯიტერი.

პერიოდული ჯიტერი (PJ) ჯიტერი, რომელიც ხდება მთელ პერიოდში და დამოკიდებულია გადაცემული მონაცემების ტიპზე. მისი პიკ-პიკ მნიშვნელობას გააჩნია ზღვარი. ამიტომ ასეთ ჯიტერს ეწოდება შეზღუდული (შემოსაზღვრული) ჯიტერი. მაშინაც კი, როდესაც გაზომვის დრო დიდია მისი მნიშვნელობა სასრულ მნიშვნელობამდე დადის.

პერიოდული ჯიტერი (PJ) შეიცავს ნებისმიერ ციმციმს ფიქსირებულ სიხშირეზე და დროში. მისი მაგალითია პერიოდული ფაზური მოდულაცია და შეიძლება იყოს ჯიტერის ყველაზე სასარგებლო კატეგორია შეზღუდული არაკორელირებული ჯიტერი (BUJ). ნახ.3-ზე წარმოდგენილია სინქრონიზაციის იმპულსების ჯიტერი.



ნახ. 3. სინქრონიზაციის იმპულსების ჯიტერი. ჯიტერი შედგება შემთხვევითი გადახრებისაგან, ან გადახრებისგან, რომელთაც გააჩნიათ პერიოდული მდგენელი

განვიხილოთ ჯიტერის კავშირის ხარისხზე გავლენის კონკრეტული მაგალითი. როგორც აღინიშნა, ჯიტერის გავლენა გამოიხატება გცბოს გადაწყვეტ მოწყობილობაში ციფრული ხმაურით მასკირებული სიგნალის მიმართ გადაწყვეტილების მიღებაში, ვინაიდან მოცემული სიგნალი განიცდის ფლუქტუაციას (ფიქსირებული მდგომარეობიდან გადახრას), რაც შესაბამისად აისახება გადაწყვეტილების მიღების სიზუსტეზე. შედეგი გამოისახება სიმძლავრის ჯარიმაში, რომელიც დამოკიდებულია იმპულსის ფორმაზე.

Q-ფაქტორი შეიძლება გამოვსახოთ ფორმულით [5].

$$Q = \frac{I_1 - \langle \Delta i_j \rangle}{(\sigma_T^2 + \sigma_j^2)^{1/2} + \sigma_T}, \quad (1)$$

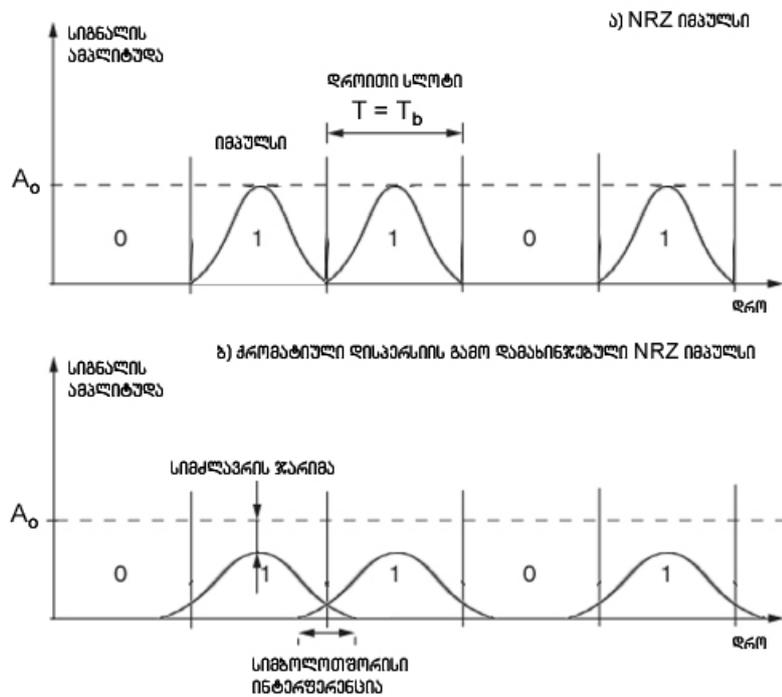
სადაც,  $I_1$  - „1“ დონეა ციფრული ნაკადის მიმდევრობაში;  $\Delta i_j$ -დენის ფლუქტუაციაა;  $\sigma_T$ -სითბური ხმაურის დისპერსიაა;  $\sigma_j - \Delta t$  დროის მიმართ დისპერსია.

კოეფიციენტები  $b$  და  $\delta_j$  გამოისახება შემდეგნაირად [5]:

$$b = \left(4\pi^2 / 3 - 8\right) \left(B\tau_j\right)^2, \quad (2)$$

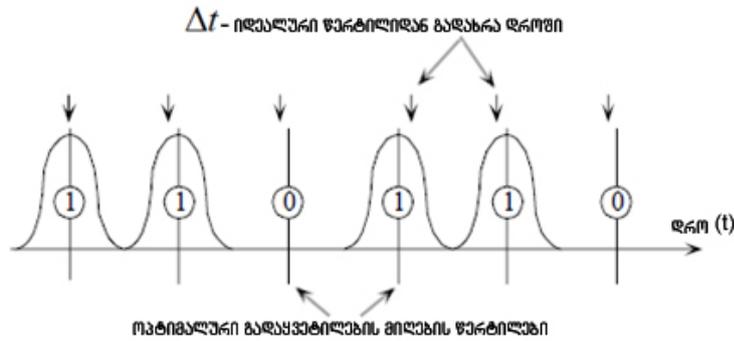
$$\delta_j = 10 \log_{10} \left( \frac{\overline{P(b)}}{P(0)} \right) = 10 \lg_{10} \left( \frac{1 - b/2}{(1 - b/2)^2 - b^2 Q^2 / 2} \right), \quad (3)$$

სადაც,  $P_{\text{მიმღ.}}(b)$  - მიმღების საშუალო ოპტიკური მგრძობიარობაა სიმძლავრის მიხედვით  $P_{\text{მიმღ.}}(0)$  - მიმღების მგრძობიარობაა სიმძლავრის მიხედვით გამორთულ მდგომარეობაში. დავამყაროთ დროითი ჯიტერის ეფექტის გამო წარმოშობილი სიმძლავრის ჯარიმის ( $P_{\text{ჯარ.}}$ ) დამოკიდებულება ჯიტერის პარამეტრთან. ამისათვის მართებულია ავიღოთ დროითი ჯიტერის პარამეტრი -  $B\tau_j$  ნამრავლის სახით. ანუ, ავაგოთ დამოკიდებულება  $P_{\text{ჯარ.}} = \Psi(B\tau_j)$ . აქ  $B$ -ციფრული მიმღევერობის გადაცემის სიჩქარეა  $B=1/T$ ;  $\tau_j$ -საშუალო კვადრატული გადახრაა (დისპერსია), ასეთი გრაფიკი საშუალებას იძლევა განვსაზღვროთ ჯარიმა ნებისმიერი იერარქიის ციფრული სისტემის (STM-1, STM-4, STM-16, STM-64 STM-256.....) შემთხვევაში. ნახ.4-ზე წარმოდგენილია ამ პროცესის ფიზიკური არსი, სადაც, 01101 ციფრული მიმღევერობისათვის ნაჩვენებია გადამწვევტ მოწყობილობაში ოპტიმალური გადაწვევტილების და რეალური (ჯიტერის) შემთხვევა. ციფრული ნაკადის იმპულსებს გააჩნიათ გაუსის ფორმა.



ნახ.4. ქრომატიული დისპერსიის ზეგავლენა იმპულსის ამპლიტუდაზე

ნახ.5-ზე მოცემულია დროითი ჯიტერის გავლენა გადაწვევტილების მიღებაზე გცბოს მიმღების გადამწვევტ მოწყობილობაში.



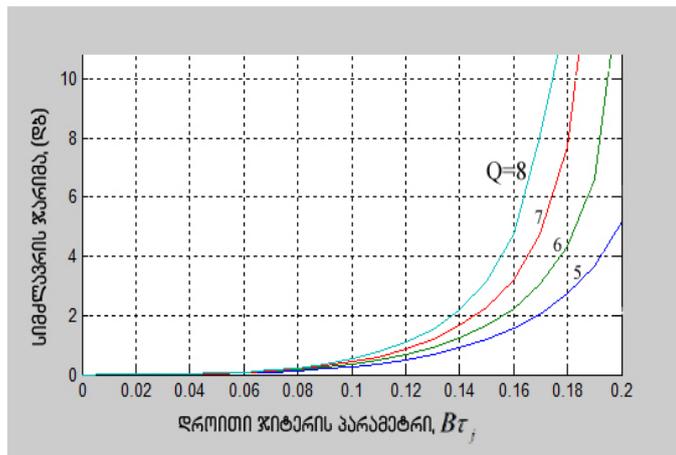
ნახ.5. დროითი ჯიტერის გავლენა გადაწყვეტილების მიღებაზე:

ა) ოპტიმალური იმპულსის ცენტრში, ბ) რეალური იდეალური წერტილიდან დროით გადახრილი

ორობითი იმპულსების მიმდევრობა

1	1	0	1	1	0
1	2	3	4	5	6

ნახ.6-ზე მოყვანილია  $P_{ჯარ} = \Psi(B\tau_j)$ , როდესაც  $Q=5,6,7,8$ .



ნახ.6. დროითი ჯიტერის პარამეტრის  $B\tau_j$  დამოკიდებულება სიმბლავრის ჯარიმაზე Q ფაქტორის სხვადასხვა მნიშვნელობის დროს. Q=5,6,7,8.

პლეზიოქრონული (PDH) და სინქრონული (SDH) ციფრული სისტემების ჯიტერის მნიშვნელობები ნორმირდება ITU-T-ს რეკომენდაციებით G.823, G.825, G.783 [6-8] ჯიტერის ნორმებს განეკუთვნება ციფრული სიგნალის გადაცემის სიხარე, ანუ, იერარქიების სიხარე. ჯიტერის დაგროვებამ გარკვეულ პირობებში შეიძლება გამოიწვიოს შეცდომათა წარმოქმნა სიგნალების რეგენერაციის პროცესში. ვანდერმა შეიძლება გამოიწვიოს სიგნალების მიმდების ბუფერული მოწყობილობების გადავსება, რაც საბოლოოდ ახდენს სიმბლოების ჯგუფის „გაცურებას“, ანუ მათ გამეორებას, ან პირიქით სიმბლოთა ჯგუფის ამოგდებას. თავის მხრივ გაცურება წარმოადგენს ციკლური სინქრონიზაციის მუშაობის დარღვევას.

ITU-TG.823 და G.825 შესაბამისად PDH და SDH სინქრონული სისტემებისათვის. მაგალითად, მოთხოვნა STM-1-ის ინტერფეისის შესასვლელი ჯიტერის პარამეტრების მიმართ  $10 < f \leq 19.3$  კც სისშირის დიაპაზონში შეადგენს  $38.9UI(0.25\text{მკწმ})$ ;  $65 \cdot 10^3 < f \leq 1,3 \cdot 10^6$  კც სისშირის დიაპაზონში  $0.15UI$ , სადაც, ერთეულოვანი ინტერვალი  $UI=6,436\text{წმ}$ ; მოთხოვნა STM-64-ის ინტერფეისის შესასვლელი ჯიტერის პარამეტრების მიმართ  $9.65 < f \leq 100$  კც სისშირის დიაპაზონში შეადგენს  $2490UI(0.25\text{მკწმ})$ ; ხოლო  $250 \cdot 10^3 < f \leq 5 \cdot 10^6$  კც დიაპაზონში  $0,15UI$ , სადაც, ერთეულოვანი ინტერვალი  $UI=0,10$  ნწმ.

ამრიგად:

- დროითი ჯიტერი მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს გცბოს ხარისხობრივ მაჩვენებლებზე;

- სიმძლავრის ჯარიმა დამოკიდებულია  $Q(BER)$  მნიშვნელობაზე. ჯარიმა მით მეტი იქნება, რაც უფრო მაღალია ბიტურ შეცდომათა ალბათობა (BER);

- ჯიტერის მოქმედი მნიშვნელობა უნდა მერყეობდეს ბიტური ინტერვალის ხანგრძლიობის 5-10 %-ის ფარგლებში.

#### ლიტერატურა

1. სვანიძე რ.გ., ჩხაიძე მ.თ. ჯიტერის შეფასების საკითხები გადაცემის ციფრულ-ბოჭკოვან-ოპტიკურ სისტემებში. //Georgian Engineering News, 2017, □2, გვ. 38-41.
2. ჩხაიძე მ.თ., სვანიძე რ.გ. ჯიტერი, მისი გაზომვისა და შეფასების ასპექტები. //Georgian Engineering News, 2012, □2, გვ. 34-39.
3. ჩხაიძე მ.თ., სვანიძე რ.გ. ჯიტერის შეფასების მეთოდოლოგია. //Georgian Engineering News, 2012, □2, გვ. 40-44.
4. ჩხაიძე მ.თ., სვანიძე რ.გ. ჯიტერის შეფასება თვალის დიაგრამის ანიმაციური მოდელით. //Georgian Engineering News, 2012, □3, გვ. 15-21.
5. <https://www.youtube.com/watch?v=YAgdbqlV6VQ>
6. ITU-T Recommendation G.823 (03/2000). The control of jitter and wander within digital networks which are based on the 2048 kbit/shierarchy.
7. ITU-T Recommendation G.825: Digital Networks: The Control of Jitter and Wander Within Digital Networks which are Based on the Synchronous Digital Hierarchy (SDH).
8. ITU-T Recommendation G.783. Characteristics of synchronous digital hierarchy (SDH) equipment functional blocks.

#### SUMMARY

#### ASSESSMENT OF THE BIT ERROR RATE (BER) IN DIGITAL FIBER OPTIC TRANSMISSION SYSTEMS WITH CONSIDERATION OF TIME JITTER

Svanidze R.G. and Chkhaidze M.T.

Georgian Technical University

The article discusses the physical essence of the origin of time jitter and its effect on the probability of bit error rate (BER). Correlation between the power fine ( $P_{\text{fine}}$ ) formed because of a time jitter effect and complex parameters of jitter and transmission rate of the system are assessed.

**Keywords:** digital fiber optic transmission system, bit error rate, time jitter, transmission rate. I.

## შეცდომების პირდაპირი გასწორება ინფორმაციულ ტექნოლოგიებში

ლომინაძე ნ.ნ.

## საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ინფორმაციულ ტექნოლოგიებში ხშირად აუცილებელი ხდება შეცდომის პირდაპირი კორექციის მეთოდების გამოყენება, რაც ტექნიკურ ლიტერატურაში აღინიშნება აბრევიატურით FEC (Forward Error Correction, შეცდომის პირდაპირი შესწორება). ამ კლასის მეთოდებს მიეკუთვნება ჰემინგის კოდი (Hamming Code) და რიდ-სოლომონის კოდი (Reed-Solomon Code). ჰემინგის კოდი გამოიყენება ორობითი მონაცემების კოდირებისას ბაიტების დონეზე, რიდ-სოლომონის კოდი კი ორიენტირებულია მონაცემთა ბლოკურად კოდირებაზე როცა მონაცემის ერთეულს წარმოადგენს რამდენიმე ბიტის სიმბოლო. ამ უკანასკნელის გამოყენება მიზანშეწონილია მონაცემთა მაღალი სიჩქარით გადაცემისას, როცა ხელშეშლის სიგნალის ხანგრძლივობა მნიშვნელოვნად აღემატება ბიტის გადაცემის ხანგრძლივობას და, ამგვარად, ადგილი აქვს პაკეტურ შეცდომებს. რიდ-სოლომონის ალგორითმი ეყრდნობა გალუას ველის არითმეტიკას და ქვემოთ მოცემულია ამ ალგორითმის ძირითადი ელემენტების მაქსიმალურად გამარტივებული ჩამოყალიბება [1,2].

გალუას ველი (Galois Field, GF), სხვანაირად ველი სასრული ელემენტებით, წარმოადგენს ელემენტების სიმრავლეს, რომლისთვისაც:

- განსაზღვრულია შეკრებისა და გამრავლების ოპერაციები (ეს ოპერაციები არ ემთხვევა ჩვეულებრივ არითმეტიკაში განსაზღვრულ ოპერაციებს);
- GF-ში შემავალ ელემენტებზე შესრულებული ოპერაციების შედეგი ეკუთვნის ისევ GF ველს;
- სრულდება კომუტატორობის, დისტრიბუტულობის და ასოციატურობის თვისებები;
- ნებისმიერი  $a$  ელემენტისთვის,  $a \in GF$ , მოიძებნება მოპირდაპირე ელემენტი  $-a \in GF$ , ისეთი, რომ  $a+(-a)=0$ ;
- ნებისმიერი არანულოვანი ელემენტისათვის  $a \in GF$ , მოიძებნება შებრუნებული ელემენტი  $a^{-1} \in GF$ , ისეთი, რომ  $a \cdot a^{-1}=1$ .

ორი უკანასკნელი თვისება მიუთითებს, რომ GF შეიცავს 0 და 1.

**გაფართოებული გალუას ველი  $GF(2^m)$ .** მონაცემთა გადაცემისას წარმოქმნილი შეცდომის ავტომატურად გასწორების ალგორითმებში განიხილება მონაცემები, რომლებიც შედგებიან ერთდროულად რაოდენობის ბიტების მიმდევრობებისაგან, ანუ სიმბოლოებისაგან, რომელთაც შეესაბამება ე.წ. გაფართოებული გალუას ველი  $GF(2^m)$ , სადაც გამოსახულებაში  $2^m$  რიცხვი 2 აღნიშნავს, რომ მიმდევრობა შედგება ბიტებისაგან, ხოლო თითოეული მონაცემი, ანუ სიმბოლო, შეიცავს  $m$  რაოდენობის ბიტს. მაგალითად, თუ  $m=2$ ,  $GF(2^2)$  შეიცავს ორბიტეის მიმდევრობებს და  $GF(2^2)=\{00, 01, 10, 11\}$ .  $m=3$  შემთხვევაში ველი შეიცავს სამბიტეის მონაცემებს (ტრიადებს), ანუ  $GF(2^3)=\{000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111\}$ .  $m=4$  შემთხვევაში ველი შეიცავს ბიტების ოთხეულს (ტეტრადებს), ანუ  $(24)=\{0000, 0001, \dots, 1111\}$ . უფრო ხშირად გვხვდება მონაცემების წარმოდგენა რვაბიტეის ბაიტების (ოქტეტების) სახით და ვლუბობთ ველს  $GF(2^8)=\{00000000, 00000001, \dots, 11111111\}$ . შემდგომში ვნახავთ, რომ ეს სიმრავლეები მართლაც ქმნიან გალუას ველებს და რომ ველის ელემენტებზე არითმეტიკული ოპერაციის შესრულებისას ისევ მიიღება ველის ელემენტი.

**პოლინომური წარმოდგენა.** გაფართოებული გალუას ველის არითმეტიკა ეყრდნობა ბიტური მიმდევრობის პოლინომის სახით წარმოდგენას და ოპერაციებს პოლინომებზე. მაგალითად,  $GF(2^2)$  შემთხვევაში, ელემენტი 10 წარმოდგება როგორც პოლინომი  $1 \cdot x^1 + 0 \cdot x^0 = x$ .

$GF(2^3)$  შემთხვევაში მიმდევრობას 101 შეესაბამება  $1 \cdot x^2 + 0 \cdot x^1 + 1 \cdot x^0 = x^2 + 1$  პოლინომი.

$GF(2^4)$  ველის 1011 ელემენტს შეესაბამება  $1 \cdot x^3 + 0 \cdot x^2 + 1 \cdot x^1 + 1 \cdot x^0 = x^3 + x + 1$  პოლინომი.

ანალოგიურად,  $GF(2^8)$  ველის ელემენტს 10110101 შეესაბამება პოლინომი  $1 \cdot x^7 + 0 \cdot x^6 + 1 \cdot x^5 + 1 \cdot x^4 + 0 \cdot x^3 + 1 \cdot x^2 + 0 \cdot x^1 + 1 \cdot x^0 = x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + 1$ .

**პრიმიტიული (მარტივი) პოლინომი.** გაფართოებულ გალუას ველში ოპერაციები წარმოებს მოდულით  $P(x)$ , სადაც  $P(x)$  მარტივ პოლინომს წარმოადგენს. როგორც ცნობილია, პოლინომი არის მარტივი, თუ იგი არ იშლება მარტივ მამრავლებად. ლიტერატურაში თითოეული  $m$ -თვის რეკომენდებულია მარტივი პოლინომი ველის წარმოქმნისთვის. მაგალითად,  $m=3$ -თვის რეკომენდირებულია პოლინომი  $P(x)=x^3+x+1$ ,  $m=4$ -თვის  $P(x)=x^4+x+1$ , ხოლო  $m=8$ -თვის პოლინომი  $P(x)=x^8+x^4+x^3+x^2+1$ .

შემდგომში, სიმარტივისთვის, გამოთვლები ძირითადად ჩატარებულია  $m=3$  შემთხვევისთვის, პოლინომით  $P(x)=x^3+x+1$ .

**შეკრება.**  $GF(2^3)$  შეიცავს სამბიტან მიმდევრობებს და, ამგვარად, ისინი წარმოდგებიან პოლინომებით, რომელთა ხარისხი ნაკლებია 3-ზე. მაგალითად, ელემენტს 101 შეესაბამება პოლინომი  $1*x^2+0*x^1+1*x^0=x^2+1$ , ხოლო ელემენტს 010 შეესაბამება  $0*x^2+1*x^1+0*x^0=x$ . ამგვარად, გვექნება

$$101+010 \rightarrow x^2+1+x = x^2+x+1 \rightarrow 111$$

ცხადია, პოლინომების შეკრების მაგივრად შეგვეძლო შეგვესრულებინა შეკრების ოპერაცია პირდაპირ ელემენტებზე, რაც იმავე შედეგს მოგვცემდა:

$$\begin{array}{r} 1 \ 0 \ 1 \\ \oplus \\ 0 \ 1 \ 0 \\ \hline 1 \ 1 \ 1 \end{array}$$

(შევნიშნოთ, რომ შეკრება ხდება თანრიგებში დამოუკიდებლად, მოდულით 2, ანუ  $X_{or}$  არითმეტიკის შესაბამისად).

რადგანაც მეორე ხარისხის პოლინომების ჯამი არ შეიძლება აღემატებოდეს 3, ანუ, ველის წარმომქმნელი  $P(x)=x^3+x+1$  პოლინომის ხარისხს, მოდულური გამოთვლა საჭირო აღარაა.

**გამრავლება.** გამრავლების შემთხვევაში ორი მეორე ხარისხის ნამრავლის ხარისხი შეიძლება აღემატებოდეს 3 და საჭირო ხდება ნამრავლის გამოანგარიშება მოდულით  $P(x)$ . განვიხილოთ ნამრავლი 101X110.

პოლინომური წარმოდგენისას გვექნება

$$(1*x^2+0*x+1)*(x^2+x) \rightarrow (x^2+1)*(x^2+x) = x^4+x^3+x^2+x$$

რადგან მიღებული ნამრავლის ხარისხი აღემატება  $P(x)=x^3+x+1$  ხარისხს, საჭიროა გამოვთვალოთ  $(x^4+x^3+x^2+x) \bmod P(x)$ , ანუ ვიპოვოთ ამ პოლინომების გაყოფისას მიღებული ნაშთი:

$$\begin{array}{r|l} x^4 + x^3 + x^2 + x & x^3 + x + 1 \\ \hline x^4 + x^2 + x & x + 1 \\ \hline x^3 & \\ \hline x^3 + x + 1 & \\ \hline x + 1 & \end{array} \rightarrow \text{ნაშთი, } 011.$$

**პრიმიტიული ელემენტი.** გაფართოებული გალუას ველი  $GF(2^3)=\{000,001,010,011, 100, 100, 101, 110, 111\}$  შეიცავს პრიმიტიულ, ანუ მარტივ ელემენტს, ისეთს, რომ მისი მიმდევრობითი ახარისხება გვაძლევს ველის ყველა არანულოვან ელემენტს. პრიმიტიულ ელემენტს ტრადიციულად, აღნიშნავენ სიმბოლოთი  $\alpha$ . ველს შეიძლება ჰქონდეს რამდენიმე პრიმიტიული ელემენტი. ვაჩვენოთ, რომ  $GF(2^3)$  პრიმიტიული ელემენტია  $\alpha=010$ , ანუ მისი მიმდევრობითი 0, 1, 2, ..... ხარისხებში აყვანისას მივიღებთ ველის ყველა არანულოვან ელემენტს.

1.  $\alpha^0 = (010)^0 = 1 = 001$
2.  $\alpha^1 = (010)^1 = 010$
3.  $\alpha^2 = (010)^2 = 010 \cdot 010 = 100$
4.  $\alpha^3 = (010)^3 = \alpha^2 \cdot 010 = 1000$

რადგან მივიღეთ ოთხთანრიგა ნამრავლი, იგი უნდა გავყოთ  $x^3+x+1$  პოლინომის შესაბამის რიცხვზე ან 1011-ზე. გვექნება

1000	1011
1011	1
011	(ნაშთი)

საბოლოოდ,  $\alpha^3 = 011$

5.  $\alpha^4 = \alpha^3 \cdot \alpha = (011 \cdot 010) \bmod 1011$

თუ შევასრულებთ გამოთვლებს  $\alpha^3$  გამოთვლის ანალოგიურად, გვექნება  $\alpha^4=110$

6.  $\alpha^5 = \alpha^4 \cdot \alpha = (110 \cdot 010) \bmod 1011 = 111$

7.  $\alpha^6 = \alpha^5 \cdot \alpha = (111 \cdot 010) \bmod 1011 = 101$

გამოთვლების შედეგები შეიძლება სისტემატიზებულ იქნას ცხრილში 1.

ცხრილი1. GF(2<sup>3</sup>) ელემენტები

	0	0	0	
$\alpha^0$	0	0	1	ველის ელემენტები რიცხობრივი გამოსახულებებით
$\alpha^1$	0	1	0	
$\alpha^2$	1	0	0	
$\alpha^3$	0	1	1	
$\alpha^4$	1	1	0	
$\alpha^5$	1	1	1	
$\alpha^6$	1	0	1	

GF(2<sup>3</sup>) ველის ელემენტების წარმოდგენა ხარისხების სახით საშუალებას იძლევა შევადგინოთ შეკრების და გამრავლების ცხრილები, რაც აადვილებს გამოთვლებს.

შეკრების შემთხვევაში, მაგალითად,  $011 \oplus 111 = 100$ , რასაც შეესაბამება გამოსახულება  $\alpha^3 \oplus \alpha^5 = \alpha^2$ . თუ ამგვარად გამოთვლებს ჩავატარებთ ველის ელემენტების ყველა წყვილისთვის, მივიღებთ შეკრების ცხრილს (ცხრ.2).

ცხრილი 2. შეკრების ტაბულა

	$\alpha^0$	$\alpha^1$	$\alpha^2$	$\alpha^3$	$\alpha^4$	$\alpha^5$	$\alpha^6$
$\alpha^0$	0	$\alpha^3$	$\alpha^6$	$\alpha^1$	$\alpha^5$	$\alpha^4$	$\alpha^2$
$\alpha^1$	$\alpha^3$	0	$\alpha^4$	$\alpha^0$	$\alpha^2$	$\alpha^6$	$\alpha^5$
$\alpha^2$	$\alpha^5$	$\alpha^4$	0	$\alpha^5$	$\alpha^1$	$\alpha^3$	$\alpha^0$
$\alpha^3$	$\alpha^1$	$\alpha^0$	$\alpha^5$	0	$\alpha^6$	$\alpha^2$	$\alpha^4$
$\alpha^4$	$\alpha^5$	$\alpha^2$	$\alpha^1$	$\alpha^6$	0	$\alpha^0$	$\alpha^3$
$\alpha^5$	$\alpha^4$	$\alpha^6$	$\alpha^3$	$\alpha^2$	$\alpha^0$	0	$\alpha^1$
$\alpha^6$	$\alpha^2$	$\alpha^5$	$\alpha^0$	$\alpha^4$	$\alpha^3$	$\alpha^1$	0

რაც შეეხება გამრავლებას, აქაც უნდა შევასრულოთ გამრავლება მოდულით 1011. მაგალითად,  $\alpha^5 \otimes \alpha^3 = (111 \cdot 011) \bmod 1011 = 010 = \alpha^1$ .

თუ ამგვარ გამოთვლებს შევასრულებთ ყველა წყვილისთვის, მივიღებთ გამრავლების ცხრილს (ცხრ.3).

ცხრილი3. გამრავლების ტაბულა

	$\alpha^0$	$\alpha^1$	$\alpha^2$	$\alpha^3$	$\alpha^4$	$\alpha^5$	$\alpha^6$
$\alpha^0$	$\alpha^0$	$\alpha^1$	$\alpha^2$	$\alpha^3$	$\alpha^4$	$\alpha^5$	$\alpha^6$
$\alpha^1$	$\alpha^1$	$\alpha^2$	$\alpha^3$	$\alpha^4$	$\alpha^5$	$\alpha^6$	$\alpha^0$
$\alpha^2$	$\alpha^2$	$\alpha^3$	$\alpha^4$	$\alpha^5$	$\alpha^6$	$\alpha^0$	$\alpha^1$
$\alpha^3$	$\alpha^3$	$\alpha^4$	$\alpha^5$	$\alpha^6$	$\alpha^0$	$\alpha^1$	$\alpha^2$
$\alpha^4$	$\alpha^4$	$\alpha^5$	$\alpha^6$	$\alpha^0$	$\alpha^1$	$\alpha^2$	$\alpha^3$
$\alpha^5$	$\alpha^5$	$\alpha^6$	$\alpha^0$	$\alpha^1$	$\alpha^2$	$\alpha^3$	$\alpha^4$
$\alpha^6$	$\alpha^6$	$\alpha^0$	$\alpha^1$	$\alpha^2$	$\alpha^3$	$\alpha^4$	$\alpha^5$

შეკრებისა და გამრავლების ცხრილების გამოყენება მიზანშეწონილია კონტროლის ალგორითმების აპარატურულად რეალიზაციისთვის. რაც შეეხება ხელით გამოთვლებს, გამრავლების შემთხვევაში შეგვიძლია ვისარგებლოთ შემდეგი მარტივი წესით. რადგან  $GF(2^3)$  შეიცავს 7 არანულოვან ელემენტს, ორი ხარისხოვანი გამოსახულების გამრავლებისას ნამრავლის ხარისხი ტოლია თანამამრავლთა ხარისხის მანკვებლების ჯამის, მოდულით 7. მაგალითად,

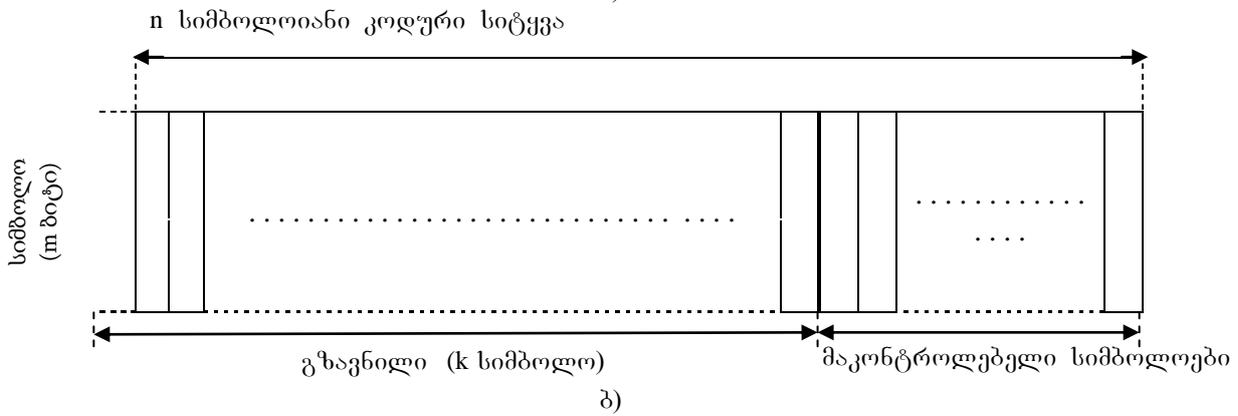
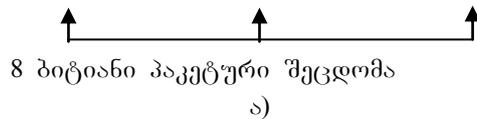
$$\alpha^5 \otimes \alpha^6 = (\alpha^{(5+6) \bmod 7} = \alpha^{11 \bmod 7} = \alpha^4$$

$GF(2^3)$ -ის მსგავსად, ანალოგიური ცხრილები შეიძლება შედგეს  $GF(2^4)$  და  $GF(2^8)$ , თუმცა  $GF(2^8)$  შემთხვევაში ცხრილი შეიცავს  $2^8=256$  სვეტს და სტრიქონს და მაგალითისთვის მოუხერხებელია.

რიდ-სოლომონის კოდის ძირითადი მახასიათებლები ნაჩვენებია ნახაზზე. ნახაზიდან (ა) ჩანს, რომ ადგილი ჰქონდა პაკეტურ შეცდომას, რომელიც მოიცავს ცხრამდე მიმდევრობით ბიტს, და რომელთაც დააზიანეს სამი მიმდევრობითი სამბატონი სიმბოლო. თუ პაკეტური შეცდომა მოიცავდა, ვთქვათ, რვა ბიტს ის ეხება მხოლოდ სამ სიმბოლოს და ამიტომ აღიქმება როგორც სამი შეცდომა. სწორედ აქედან წარმოდგება ამ ალგორითმის ეფექტურობა მრავალბიტანი პაკეტური შეცდომების შემთხვევაში. ნახაზი (ბ) გვიჩვენებს კოდური სიტყვის ზოგად სტრუქტურას. გვაქვს  $m$  ბიტანი სიმბოლოები, კოდური სიტყვის სიგრძეა  $n$ ,  $n=2^m-1$ ,  $k$  გზავნილში მონაცემის სიმბოლოების რაოდენობაა, ხოლო

$n-k$  მაკონტროლებელი სიმბოლოების რაოდენობა.

სიმბოლო 1	სიმბოლო 2	სიმბოლო 3	სიმბოლო 4	სიმბოლო 5	სიმბოლო 6	...
-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----



კოდური სიტყვის სტრუქტურა

რიდ-სოლომონის ალგორითმი თითოეული მცდარი სიმბოლოს გასწორებისათვის მოითხოვს ორ მაკონტროლებელ სიმბოლოს, ხოლო თუ კოდი ორიენტირებულია  $t$  რაოდენობის მცდარი სიმბოლოს შესწორებაზე, საჭიროა  $2.t$  მაკონტროლებელი სიმბოლოს გამოყენება. ამგვარად, აღნიშვნა  $(n,k)$  ნიშნავს, რომ გვაქვს  $n$  სიმბოლოსგან შემდგარი კოდური სიტყვა, რომელიც ორიენტირებულია  $t$  შეცდომის შესწორებაზე, შეიცავს  $k$  გზავნილის სიმბოლოს და  $2.t$  მაკონტროლებელ სიმბოლოს,

მონაცემის კოდირების რიდ-სოლომონის ალგორითმი ეყრდნობა ზოგად არითმეტიკულ კანონზომიერებას: თუ  $A$ -ს  $B$ -ზე გაყოფისას მიიღება განაყოფი  $C$  და ნაშთი  $D$ , მაშინ  $(A-D)$  უნაშთოდ გაიყოფა  $B$ -ზე. ამ შემთხვევაში განაყოფი მიიღება გზავნილ  $M$ -ის პოლინომური  $M(x)$  წარმოდგენით, გამყოფად გამოიყენება გარკვეული თვისებების მქონე კოდის გენერატორი  $g(x)$ , ხოლო გაყოფის ოპერაცია სრულდება გალუას ველის არითმეტიკის წესებით. შემდგომში, გამოთვლების გამარტივების მიზნით, განვიხილავთ ორობითი  $M$  გზავნილის სამბიტანი სიმბოლოებად (ტრიალებად)

დაყოფის შემთხვევას, რომელიც იძლევა გაფართოებულ გალუას ველს  $GF(2^3)$ . ამგვარად, გვაქვს სიმბოლოები (000), (001), (010), (011), (100), (101), (110), (111).

ცხრილი 1-ის მონაცემების თანახმად, ეს ელემენტები წარმოადგება არითმეტიკული ელემენტის  $\alpha=010$  ხარისხებად და, ამგვარად,  $M$  მონაცემიდან ვღებულობთ პოლინომს  $M(x)$  კოეფიციენტებით, რომლებიც  $\alpha$ -ს ხარისხებს წარმოადგენენ. მაგალითად, დაუშვათ, რომ გადასაცემი მონაცემია

$$M(x) = \alpha^5 * x^2 + \alpha^3 * x + \alpha^1.$$

ამგვარად, გზავნილის პოლინომით გამოსახვისას გვექნება:

$$M(x) = \alpha^5 * x^2 + \alpha^3 * x + \alpha^1.$$

თუ ჩვენი მიზანია ორ სიმბოლოში ( $q=2$ ) შეცდომის აღმოჩენის და გასწორების უზრუნველყოფა, საჭიროა გამოვიყენოთ  $2*2=4$  მაკონტროლებელი სიმბოლო, რაც მოითხოვს კოდის გენერატორს:

$$g(x) = (x - \alpha)(x - \alpha^2)(x - \alpha^3)(x - \alpha^4) = x^4 - \alpha^3 x^3 + \alpha^0 x^2 - \alpha^1 x + \alpha^3$$

რადგან  $X_{02}$  არითმეტიკაში „-“ ექვივალენტურია „+“, ამიტომ გვექნება

$$g(x) = x^4 + \alpha^3 x^3 + \alpha^0 x^2 + \alpha^1 x + \alpha^3$$

იმისთვის, რომ კოდს ჰქონდეს სრულყოფილი ფორმა, ანუ მონაცემისა და კონტროლის სიმბოლოების კონკატენაციისას კოდურ სიტყვაში ოთხი მაკონტროლებელი სიმბოლოსთვის ბოლო 4 ადგილი იყოს უზრუნველყოფილი, საჭიროა  $M(x)$  გავამრავლოთ  $x$ -ზე. გვექნება:

$$M'(x) = \alpha^5 x^6 + \alpha^3 x^5 + \alpha^1 x^4.$$

ვიანგარიშით ნაშთი, რომელიც მიიღება  $M'(x)$ -ის  $g(x)$ -ზე გაყოფისას.

$$\begin{array}{r} \alpha^5 x^6 + \alpha^3 x^5 + \alpha^1 x^4 \\ + \\ \alpha^5 x^6 + \alpha^1 x^5 + \alpha^5 x^4 + \alpha^6 x^3 + \alpha^1 x^2 \\ \alpha^0 x^5 + \alpha^6 x^4 + \alpha^6 x^3 + \alpha^1 x^2 \\ + \\ \alpha^0 x^5 + \alpha^3 x^4 + \alpha^0 x^3 + \alpha^1 x^2 + \alpha^3 x \\ \alpha^4 x^4 + \alpha^2 x^3 + \alpha^3 x \\ + \\ \alpha^4 x^4 + \alpha^0 x^3 + \alpha^4 x^2 + \alpha^5 x + \alpha^0 \\ \alpha^6 x^3 + \alpha^4 x^2 + \alpha^2 x + \alpha^0 \leftarrow \text{ნაშთი} \end{array} \quad \left| \begin{array}{l} x^4 + \alpha^3 x^3 + \alpha^0 x^2 + \alpha^1 x + \alpha^3 \\ \hline \alpha^5 x^2 + \alpha^0 x + \alpha^4 \end{array} \right.$$

თუ მიღებულ ნაშთს დავემატებთ  $M'(x)$ , გვექნება კოდური სიტყვა პოლინომის სახით,  $\alpha^5 x^6 + \alpha^3 x^5 + \alpha^1 x^4 + \alpha^6 x^3 + \alpha^4 x^2 + \alpha^2 x + \alpha^0$ , ანუ, კოდირებული გზავნილი  $\alpha^5 \alpha^3 \alpha^1 \alpha^6 \alpha^4 \alpha^2 \alpha^0 = 111011010010101110100001$ .

ზემოთ თქმული ეხება გამოთვლებს, რასაც კოდური აწარმოებს რიდ-სოლომონის ალგორითმის მიხედვით. გამოთვლების მეორე ნაწილი, რომელსაც დეკოდერი აწარმოებს, უფრო რთულია. კერძოდ, პირველ რიგში ხდება სინდრომის გამოთვლა, შემდეგ იმ სიმბოლოების პოზიციების ნომრების დადგენა, რომელშიაც მოხდა შეცდომები, ამის შემდეგ შემასწორებელი სიმბოლოების მნიშვნელობათა დადგენა და, საბოლოოდ, მიღებულ გზავნილში შეცდომის გასწორება.

**ლიტერატურა**

1. B. Sklar. Digital Communications. Upper Saddle River, NJ, Prentice-Hall, 2001, 1079 p.
2. C. Clarke. Reed-Solomon Error Correction. BBC R&D White Paper, 2002, 47 p.

**SUMMARY  
FORWARD ERROR CORRECTION IN INFORMATION TECHNOLOGY  
Lominadze N.N.**

**Georgian Technical University**

The paper discusses use of the forward error correction methods in information technologies. Such an approach is necessary when there is no time for using error correction methods based on the repeated transmission method, or when repeated transmission worsens some characteristics of an application. Reed-Solomon coding is one of the most effective forward error correcting methods, based on the Galois field arithmetic. The paper a possibly simplified expose of underlying theoretical problems and an example of coding is given.

**Keywords:** forward error correction, hamming code, reed-solomon code, galois field.

ინფორმაციული ტექნოლოგიების გავლენა ქსელური  
 აპლიკაციების მარშრუტიზაციაზე

ლომინაძე ნ.ნ., ხართიშვილი მ.პ.

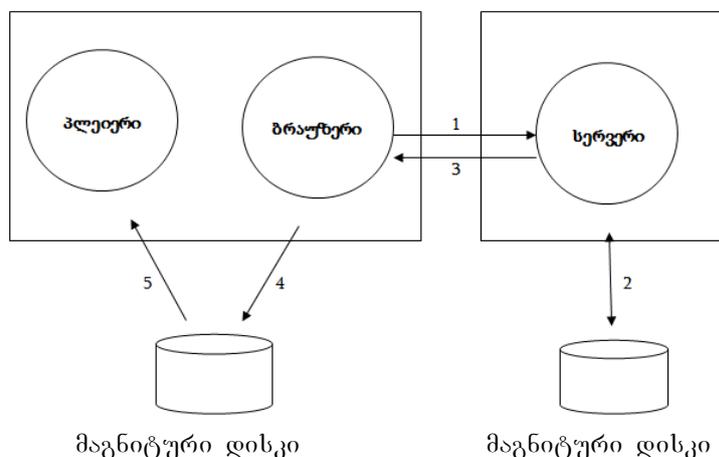
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ქსელური გამოყენებითი სისტემა, როგორც წესი, იქმნება იმ შესაძლებლობის გამოყენებით, რომელსაც ინფორმაციული ტექნოლოგიები ქმნიან პროექტირების პერიოდისთვის. დროში იცვლება როგორც გამოყენებითი სისტემებისადმი წაყენებული მოთხოვნები, ისე ინფორმაციული ტექნოლოგიების შესაძლებლობები, რაც განპირობებულია მიღწევებით კომპიუტინგის სხვა სფეროებში. შედეგად, ხდება არსებული გამოყენებითი სისტემის შესაძლებლობების გაფართოება დამატებითი ფუნქციების შექმნის გზით.

ამ პროცესის უმნიშვნელოვანეს მაგალითებს იძლევა ყველაზე გავრცელებული სისტემები: ელექტრონული ფოსტა (eMail) და სისტემა Web (World Wide Web, მსოფლიო ქსელი).

თავიდან ორივე ეს სისტემა წარმოადგენდა ტექსტურ მონაცემებზე დაფუძნებულ გამოყენებით სისტემებს, რაც იძლეოდა კომპიუტერული ქსელით გამოყენებით ტექსტური მონაცემის გადაცემის საშუალებას. თანდათანობით წარმოიქმნა ამ სისტემების საშუალებით არა მარტო ტექსტური, არამედ გამოსახულებების, აუდიო, ვიდეო და, ზოგადად, რიცხვითი მონაცემების, ანუ, მულტიმედია მონაცემების გადაცემის საჭიროება. ამ მიზნით შეიქმნა ინტერნეტის MIME გაფართოება (Multimedia Internet Mail Extention, ინტერნეტისათვის მრავალმიზნობრივი მულტიმედია გაფართოება), რამაც შექმნა სხვადასხვა სახეობის მონაცემების გადაცემის შესაძლებლობა ბრაუზერისათვის ახალი ტიპის მონაცემების დამმუშავებელი პროგრამული მოდულების მიერთების საფუძველზე (Plug-in მოდულები). ამ გაფართოებამ მნიშვნელოვნად გაზარდა ოდესღაც ტექსტურ მონაცემებზე აგებული სისტემების გამოყენების არეალი და ფაქტობრივად Web სისტემა აქცია გამოყენებითი სისტემების დამმუშავების პლატფორმად [1,2].

განვიხილოთ გამოყენებითი სისტემების მოთხოვნები კლიენტ-სერვერულ მოდელზე აგებული მულტიმედია სისტემის მაგალითზე. აქ უნდა გათვალისწინებულ იქნას შესაძლებლობები, რომლებსაც ინტერნეტი სთავაზობს გამოყენებით სისტემებს. პირველ რიგში, უნდა განისაზღვროს ინტერნეტის რომელი პროტოკოლი იქნება გამოყენებული, TCP თუ UDP. TC პროტოკოლის შემთხვევაში ხდება მონაცემების საიმედოდ გადაცემა, ოღონდ მონაცემის ქსელში მოგზაურობის დრო ცვლადია და დიდ დიაპაზონში შეიძლება იცვლებოდეს. რაც შეეხება UDP, მისი შესაბამისი სეგმენტი ფაქტობრივად არის დეიტაგრამული მონაცემი, შეიძლება გზაში დაიკარგოს (მისი აღდგენა არ მოხდება), თუმცა სეგმენტის ქსელში მოგზაურობის დრო უფრო დეტერმინებული და მოკლეა.



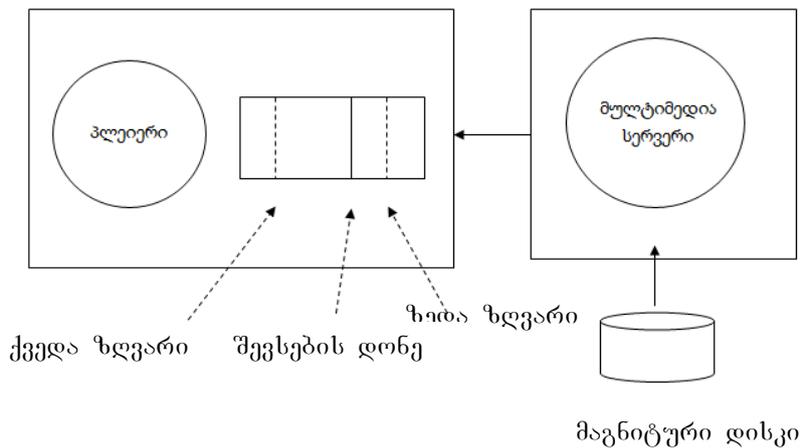
ნახ. 1. კლიენტ-სერვერული ურთიერთქმედება ფაილის წინასწარი გადმოწერით

TCP პროტოკოლის გამოყენების შემთხვევაში, რადგან ინტერნეტში უცდომების აღმოჩენასა და გასწორებას დრო სჭირდება, საჭირო ხდება, მაგალითად, აუდიო-ფაილის სერვერიდან კლიენტის კომპიუტერზე წინასწარ და სრულად გადმოწერა და მხოლოდ ამის შემდეგ შეიძლება მისი მოსმენა როგორც ეს ნახ.1-ზეა ნაჩვენები.

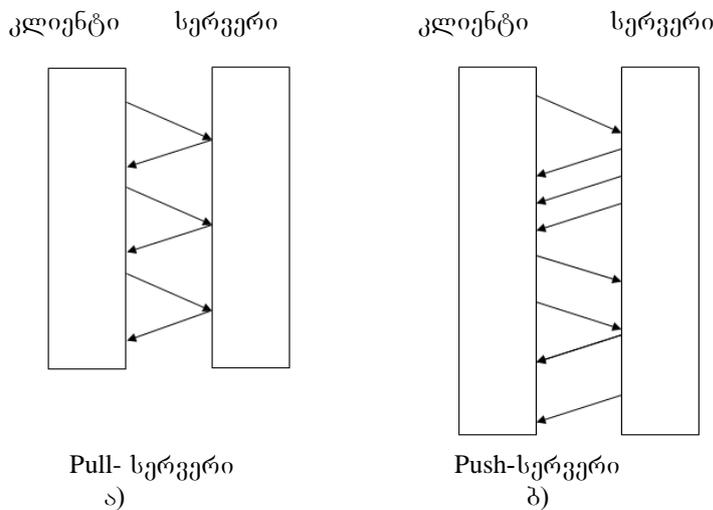
ამ შემთხვევაში პირველ ნაბიჯზე ბრაუზერი ითხოვს აუდიოფაილის გადმოწერას სერვერიდან. სერვერი კითხულობს ფაილს საკუთარი დისკიდან (ნაბიჯი 2) და გადაუგზავნის ბრაუზერს (ნაბიჯი 3). ბრაუზერი ინახავს ფაილს თავის დისკზე (ნაბიჯი 4) და მართვა გადაეცემა პლეიერს (ნაბიჯი 5).

UDP პროტოკოლის გამოყენების შემთხვევაში მონაცემები შეიძლება მოდიოდეს სერვერიდან კლიენტზე პორციებად და აუდიოფაილის მოსმენა შეიძლება დაუყოვნებლივ დაიწყოს (ნახ.2), ოღონდ პაკეტების დაკარგვის შემთხვევაში საჭირო ხდება მათი შენაცვლება ინტერპოლაციურ/ექსტრაპოლაციური მეთოდების გამოყენებით.

აქ კლიენტსა და სერვერს შორის ურთიერთქმედება ხორციელდება ხორციელდება სასრულო ზომის ბუფერის გამოყენებით ანუ პროცესების ურთიერთქმედების მოდელით *roducer-Consumer*. მონაცემების პლეიერისათვის სტაბილურად მიწოდების ხდება ბუფერის გარკვეული დონით შევსების შენარჩუნება. თუ ბუფერის შევსება უახლოვდება ქვედა ზღვარს, ხდება მონაცემების გადმოცემის განახლება. თუ, პირიქით, ბუფერის შევსება უახლოვდება ზედა ზღვარს, ხდება მონაცემთა გადაცემის შეწყვეტა.



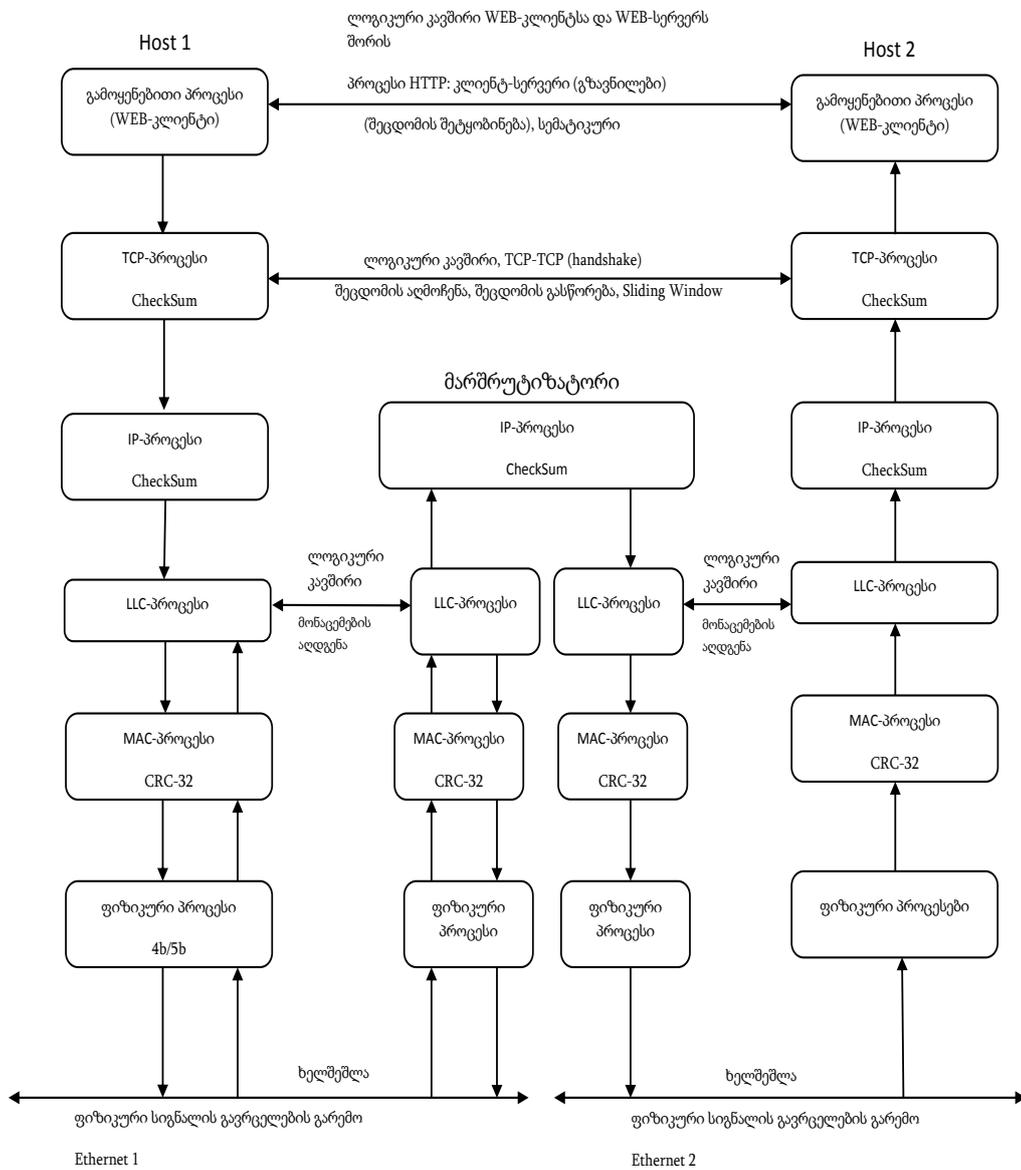
ნახ.2. პლეიერი და მულტიმედია სერვერი ურთიერთქმედებენ მოდელით *roducer-Consumer*



ნახ.3. ქსელში აუდიომონაცემების გადაცემის ორი რეჟიმი

ნახ.3 გვიჩვენებს სერვერის მუშაობის ორ შესაძლო რეჟიმს. Pull-სერვერის შემთხვევაში კლიენტის ყოველ მოთხოვნაზე სერვერი აგზავნის ერთ პაკეტს. Push-სერვერის შემთხვევაში კლიენტის ერთ მოთხოვნაზე სერვერი იწევს პაკეტების სერიის გაგზავნას, სანამ ამას არ შეაწყვეტინებს კლიენტი.

ახლა ვნახოთ, თუ რა საშუალებას იძლევა ინტერნეტი მონაცემთა გადაცემის მართვისათვის ნახ.4-ზე მოცემული სქემის გამოყენებით.



ნახ.4. შეცდომების გასწორება ინტერნეტში

გამოყენებითი პროცესები Web-კლიენტი (ბრაუზერი) და Web-სერვერი ურთიერთქმედებენ გამოყენებითი პროტოკოლის HTTP გამოყენებით, რაც საშუალებას იძლევა ერთმანეთს გაუცვალონ მონაცემები წარმატებული თუ წარუმატებელი სესიების (ნაბიჯები) შესახებ. პოსტებს შორის ურთიერთობა ხორციელდება TCP ან UDP პროტოკოლების გამოყენებით. TCP პროტოკოლის გამოყენება მოითხოვს, რომ შეცდომების აღდგენის პროცედურის ორგანიზების მიზნით მოქმედ TCP პროტოკოლებს შორის დამყარდეს ლოგიკური კავშირი TCP-TCP და მოხდეს აუცილებელი რესურსების (ბუფერის) მობილიზება. UDP-ს შემთხვევაში, რადგან მონაცემების აღდგენა არ ხდება, ლოგიკური კავშირის დამყარება არ ხდება. UDP-სეგმენტი ქსელში გადაადგილდება დეიტაგრამულად, ანუ, ნაკლები შეყოვნებით, თუმცა გზაში შეიძლება დაიკარგოს.

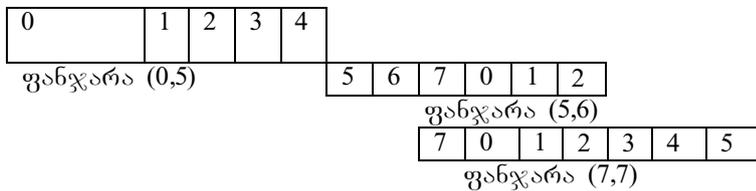
რაც შეეხება მონაცემთა სანდოობას (Data Integrity), მონაცემთა გადაცემის კონტროლი TCP, UDP და IP პროტოკოლებში ხდება საკონტროლო ჯამით (Checksum) რაც პროგრამულად ხორციელდება და გარკვეულ დროს მოითხოვს. კონტროლი ლოკალურ ქსელში ხორციელდება CRC (Cyclical Redundancy Check, ციკლური შემოწმება სიჭარბით) მეთოდით, აპარატურულად და ფრეიმის შეყოვნებას არ იწვევს. კონტროლის ნებისმიერი მეთოდის შემთხვევაში შცდომის აღმოჩენისას ხდება შესაბამისი სემგმენტის, პაკეტის ან ფრეიმის გადაგდება, ანუ, მონაცემის დაკარგვა.

დაკარგული მონაცემის აღდგენისთვის ინტერნეტში გათვალისწინებულია ორი პროცედურა TCP და LLC (Logical Link Control) პროტოკოლებისათვის, რაც ნიშნავს პროტოკოლების სტეკის სათანადო დონეებს შორის ლოგიკური კავშირის დამყარებას. ორივე შემთხვევაში ხდება მონაცემთა გადაცემის პროცესის მართვა მცურავი ფანჯრის (Sliding Window) გამოყენებით.

ლოკალურ ქსელში დაკარგული ფრეიმების აღდგენისათვის გამოიყენება ლოგიკური კავშირი LLC-LLC სათანადო დონის პროტოკოლებს შორის (ნახ.5).

0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	3	4	5	6	7	...
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	-----

ა) გაგზავნილი LLC ფრეიმების მიმდევრობით დანომრვა



**ნახ.5. ფრეიმების გადაგზავნა მცურავი ფანჯრის გამოყენებით**

აქ გამგზავნი პროტოკოლი მიმღებს უგზავნის დანომრილ ფრეიმებს. ნუმერაციისათვის გამოიყენება სამი ბიტი, რაც იძლევა ნომრებს 0,1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 და ხდება მათი ციკლურად გამოყენება როგორც ეს ნახ.5 ა-ზეა ნაჩვენები. ლოგიკური კავშირის დამყარების შემდეგ მიმღები გამგზავნს უგზავნის ფანჯარას რომელშიაც მიუთითებს თუ რომელიდან დაწყებული და რამდენი ფრეიმის მისაღებად არის მზად. მაგალითად, ფანჯარა(2,4) ნიშნავს, რომ უნდა გაგზავნილ იქნას 4 ფრეიმი დაწყებული მეორედან. ნახ.5-ის მიხედვით ფანჯარა (0,5) ნიშნავს, რომ დასაწყისში იგზავნება ფრეიმები ნომრებით 0,1,2,3,4. ამის შემდეგ გამგზავნი ელოდება დადასტურებას მიმღებისგან. დადასტურებას წარმოადგენს ფანჯარა(5,6), რომელიც ითხოვს 6 ფრეიმის გადაცემას დაწყებული მეხუთედან, ანუ გადაიცემა მომდევნო ფრეიმები ნომრებით 5,6,7,1,2,3. შემდგომი ფანჯარა(7,7) მიუთითებს, რომ მას არ მიუღია ფრეიმი ნომერი 7 და საჭიროა მისი თავიდან გადაცემა.ამგვარად, მოხდება დაკარგული ფრეიმის განმეორებითი გადაცემა, ინტერნეტში მონაცემთა გადაცემის საბოლოო კონტროლი დაფუძნებულია TCP-TCP ლოგიკურ კავშირზე (ნახ.6).

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	...				
ბუფერში არსებული ბაიტების ნაკადის ნომრები																			
0	1	2	3	4	5	ნაბიჯი 1													
						6	7	8	9	10	11	ნაბიჯი 2							
						6	7	8	9	ნაბიჯი 3									
										10	11	12	13	14	15	ნაბიჯი 4			

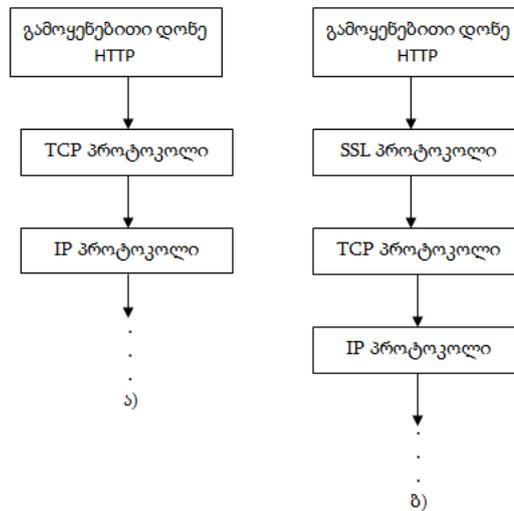
**ნახ.6. ბაიტების გადაცემა მცურავი ფანჯრის გამოყენებით**

აქ ხდება ჰოსტებს შორის ბაიტების გადაცემის სისწორის გამჭოლი კონტროლი მცურავი ფანჯრების გამოყენებით (ნახ.6). გადაცემული მონაცემის ბაიტები ინომრება მიმდევრობით ნომრებით 0,1,2,3,4,5,.....,2<sup>32</sup>-1. გადაცემის დასაწყისში მიმღები გამგზავნს უგზავნის ფანჯარას (0,6), მეორე ნაბიჯზე უგზავნის ფანჯარას (6,6),

ხოლო მესამე ნაბიჯზე ფანჯარას (6,4) რაც ნიშნავს, რომ წინა ნაბიჯზე გაგზავნილი მონაცემი დაიკარგა და ხდება მისი აღდგენა.

ამგვარად, ინტერნეტში მონაცემთა გადაცემის სისწორის კონტროლისთვის გამოიყენება CheckSum და CRC ალგორითმები, რომლებიც მიეკუთვნებიან EDC (Error Detecting Code, შეცდომის აღმოჩენი კოდი) და დაკარგული შეცდომის აღდგენა ხდება განმეორებითი გადაცემის გზით. ინტერნეტში არ გამოიყენება კოდირება FEC (Forward Error Correction, შეცდომის პირდაპირი შესწორება), თუმცა კომპიუტერის ძირითად მესხიერებაში გამოიყენება FEC ჰემინგის კოდით, ხოლო ოპტიკურ დისკში გამოიყენება ორი FEC მეთოდი: ჰემინგის კოდი ბაიტებისთვის და რიდ-სოლომონის კოდი ბაიტების ბლოკებისთვის.

ამგვარად, მულტიმედია გამოყენებითი სისტემების პროექტირებისას უნდა გაკეთდეს რაციონალური არჩევანი გამოყენებითი სისტემის მოთხოვნილი თვისებებისა და ინტერნეტის შესაძლებლობების გათვალისწინებით.



ნახ. 7. ინტერნეტის სტანდარტული ა) და გაფართოებული ბ) პროტოკოლების სტეკები

ზოგიერთმა მოთხოვნილმა თვისებამ შეიძლება გამოიწვიოს ცვლილება როგორც არსებულ გამოყენებით სისტემაში, ისე ინტერნეტთან ურთიერთობის პროტოკოლში. მაგალითად, ინტერნეტში მონაცემის გადაცემისას საიდუმლოების დაცვის მოთხოვნამ წარმოქმნა შუალედური დონე პროტოკოლით SSL (Security Socket Layer, საიმედო სოკეტის დონე), რომელიც გამოიყენებით სისტემაში ხორციელდება პროტოკოლით HTTPS (Secure HTTP, saimedo HTTP), ხოლო პროტოკოლების სტეკში იკავებს შუალედურ დონეს გამოყენებით და ტრანსპორტის პროტოკოლებს შორის (ნახ.7).

**ლიტერატურა**

1. Э Таненбаум. Компьютерные Сети. –СПБ, ПИТЕР, 2003,992 с.
2. W. Stallings Data and Computer Communication. Upper Saddle River, NJ, Prentice –Hall International 2007, 901 p.

**SUMMARY**

**THE IMPACT OF INFORMATION TECHNOLOGIES ON NETWORK APPLICATIONS SPECIFICATIONS**

**Lominadze N.N. and Khartisvili M.P.**  
**Georgian Technical University**

The paper discusses a usage of the possibilities created by Information Technology and Internet in designing of network applications. It is shown that the selection of error detecting and error correcting methods used influence the characteristics of multimedia applications.

In the case of datagram transfer in Internet an audio-file is immediately transmitted and played, but the client process must use methods of interpolation of data lost. As to server, it must implement the mode of Push or Pull server. The use of mode of reliable data transmission the transmission process is tied with significant delay, but audio-file is transmitted without errors and, so, high quality of audio signal is achieved.

**Keywords:** information technology, internet, network applications, client-server interaction, MIME extention, TCP, UDP protocols, error detection and correction.

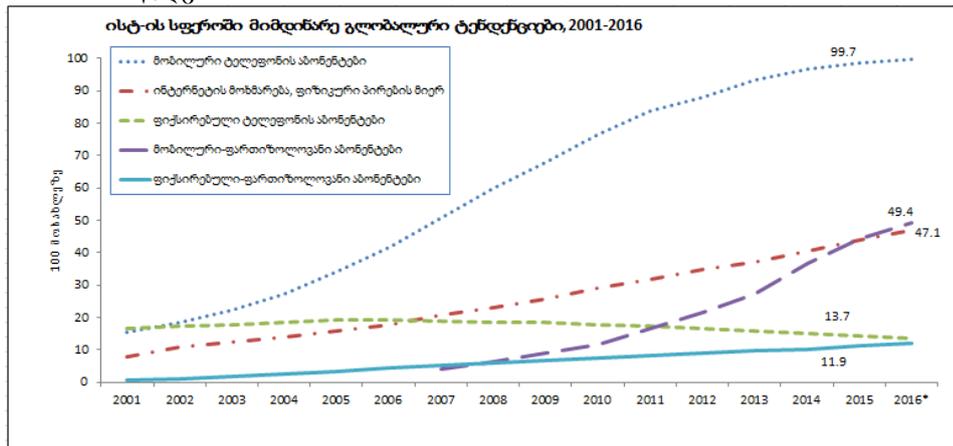
ინფორმაციულ-საკომუნიკაციო ტექნოლოგიების განვითარების ტენდენციები მსოფლიოსა და საქართველოში

ციხისთავი თ.თ., სვანიძე რ.გ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

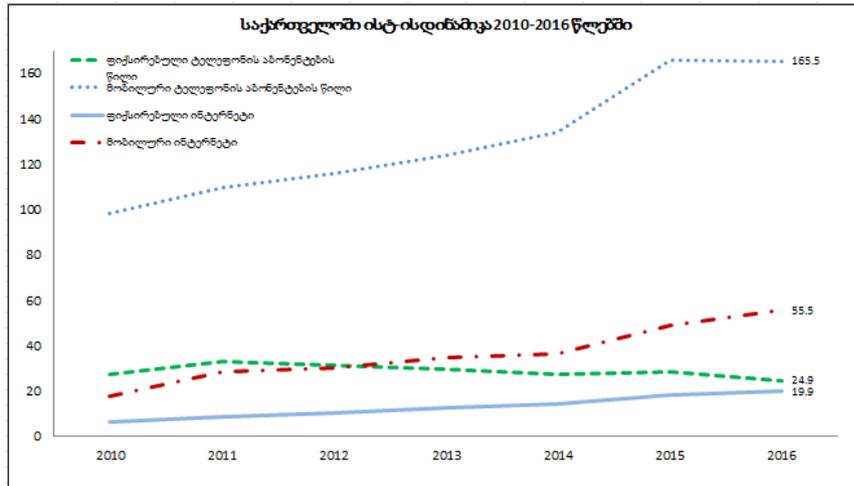
ისტ-ის განვითარების პირობებში მრავალი გლობალური გამოწვევა დგება, რგორც ქვეყნების ეკონომიკური განვითარების ტემპების, ისე, ახალი ტექნოლოგიების დანერგვის მიმართ. თანამედროვე ეტაპზე მსოფლიოში სახეზეა 2 მილიარდზე მეტი ინტერნეტ მომხმარებელი, 6 მილიარდზე მეტი მობილური ტელეფონის მომხმარებელი და ინფოკომუნიკაციის მილიარდობით მოწყობილობა-დანადგარი, აპარატურულ-პროგრამული უზრუველყოფა მრავალფეროვანი მულტი-ქსელები, რაც ხელს უწყობს ადამიანის აქტივობას მისი საქმიანობის ყველა სფეროში. აუცილებელია აღინიშნოს, რომ მსოფლიოს ქვეყნების უმრავლესობა ისტ-ს განვითარების მიმართულებით მნიშვნელოვან პროგრესს განიცდის და საბოლოოდ, მათი უმეტესობისათვის ტექნოლოგიური ზრდა რეალობად იქცევა. მსოფლიოში ინფორმაციული საზოგადოების განვითარების ახალი ფორმები იქმნება ისტ და სხვა ტექნოლოგიური მიღწევების დაახლოების და ინტეგრაციის შედეგად. მობილური ტელეფონი უკვე იქცა მრავლის-მომცველ პერსონალურ ელექტრონურ მოწყობილობად, რომელიც ზარის განხორციელების გარდა, აერთიანებს კომპიუტერის, GPS-ის, ტელეფონის, კამერის, მალვიდარას, კვლევითი დახმარების, პროექტორის, მუსიკალური ფლეიერის, ფანარის, გაზეთის, კინოთეატრის, თარჯიმანის, ტელევიზიის, ვიდეონფორმაციის და სხვა მრავალი მხარდაჭერის ათასობით ფუნქციას, რომელთა გააქტიურება შესაძლებელია აპლიკაციის შესაბამის დილაკზე ერთი შეხებით. კომპანია „ერიქსონის“ პროგნოზის თანახმად, 2017 წელისათვის მსოფლიოს მოსახლეობის 85% მაღალსიჩქარიანი მობილური ინტერნეტით დაიფარება. ამ თვალსაზრისით საინტერესოა როგორია ისტ-ის განვითარების ტენდენციები მსოფლიოსა და საქართველოში.

ITU ყოველწლიურად აქვეყნებს მონაცემებს ისტ-ის სფეროში მიმდინარე გლობალური ტენდენციების შესახებ [1], ნახ.1-ზე ნაჩვენებია ITU-ს მონაცემების დიაგრამა, რომელზეც ასახულია ისტ-ის სხვადასხვა მიმართულებების ტენდენცია დინამიკაში 2001-2016 წლებში.



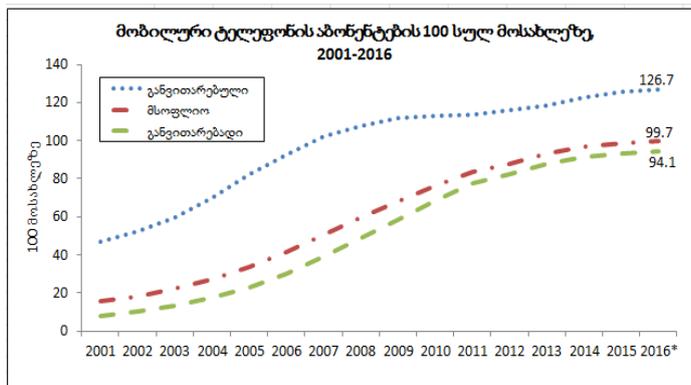
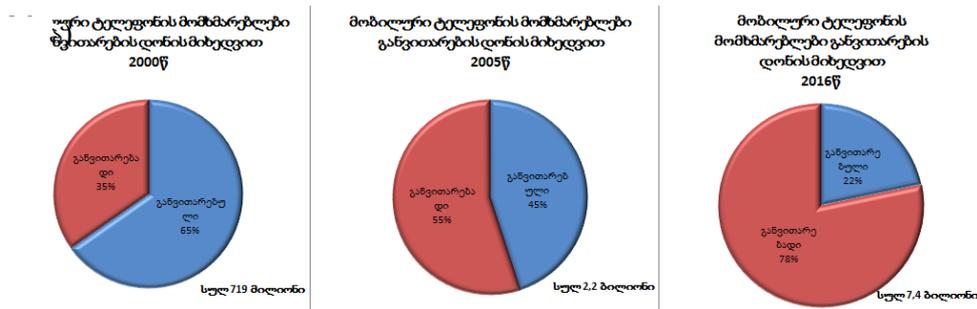
ნახ.1 ისტ-ის გლობალური ტენდენციები, 2001-2016 ITU-ის მიხედვით

ამ ეტაპზე მსოფლიოს მრავალ ქვეყანაში პრაქტიკულად მინიმუმამდეა დაყვანილი ფიქსირებული ტელეფონის მოხმარება, თუმცა მისი ჩანაცვლება მოხდა ჯერ მობილური სატელეფონო სისტემით და ხოლო, ბოლო წლებში ინტერნეტით, Viber-ით, Skype-ით. ნახაზ 2-ზე მოყვანილია აღნიშნული დამოკიდებულება საქართველოსთვის [2,3].



ნახ.2. საქართველოში ისტ-ის დინამიკა 2010-2016 წლებში

თუ შევადარებთ ისტ-ის გლობალურ (ნახ.1) და საქართველოს (ნახ.2) მონაცემების გრაფიკებს, დავინახავთ რომ საქართველოში ისტ-ში მიმდინარე პროცესები მსოფლიოში გლობალური ტენდენციების ანალოგიურია.

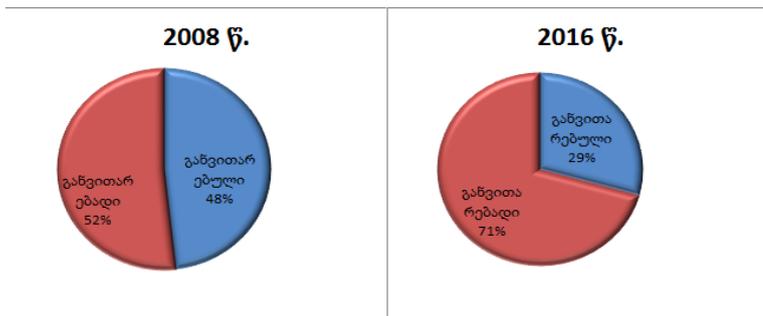


ნახ.3 ფიქსური მობილურის აბონენტები ქვეყნის განვითარების დონის მიხედვით

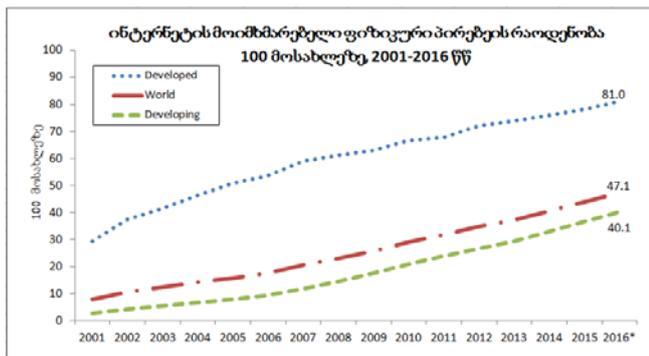
როგორც ნახ.1-ნახ.3-ზე წარმოდგენილი დიაგრამებიდან ჩანს მობილური ტელეფონების მოხმარებამ, მსოფლიოს ჯამური მონაცემებით, ფაქტობრივად მაქსიმუმ ზღვარს მიაღწია და ბაზარი გაჯერებულია. ნახ. (ნახ.4, ა) წარმოდგენილია ITU-ს მონაცემები ფიქსური მობილური კავშირის აბონენტების რაოდენობის შესახებ განვითარებულ და განვითარებად ქვეყნების შორის 2000, 2015, 2016 წწ. განვითარების დინამიკის შედარებითი ანალიზი გვიჩვენებს, რომ 2000 წ. განვითარებულ ქვეყნებზე მოდიოდა აბონენტების 65 %, ხოლო განვითარებადზე - 35 %, 2005 წელს შესაბამისად 45%, 55%, ხოლო 2016 – 22% და 78%. ნახ.4ბ-დან ჩანს, რომ 2016 წლისათვის მსოფლიოს განვითარებად ქვეყნებზე 100 სულ მოსახლეზე მოდიოდა 94,1 აბონენტი, ხოლო განვითარებულ ქვეყნებზე - 126,7. საქართველოში 2016 წლის მონა-

ცემებით მობილური სატელეფონო სიმკვირვე შეადგენდა 165,5, რაც 38,8-ერთეულით აჭარბებს განვითარებული ქვეყნების მაჩვენებელს.

ITU-ის მონაცემები ინტერნეტის ფიზიკური პირი აბონენტებისათვის განვითარებულ და განვითარებად ქვეყნების შორის 2008 და 2016 წწ (ნახ.4, ა) გვიჩვენებს, რომ 2008 წ. განვითარებულ ქვეყნებზე მოდიოდა აბონენტების 48 %, ხოლო განვითარებადზე 52 %, ხოლო, 2016 შესაბამისად – 29% და 71%. ნახ.5ბ-დან ჩანს, რომ 2016 წლისათვის მსოფლიოს განვითარებად ქვეყნებზე 100 სულ მოსახლეზე მოდიოდა 40,1 აბონენტი, ხოლო განვითარებულ ქვეყნებზე - 81. საქართველოში 2016 წლის მონაცემებით ფიქსირებული ინტერნეტის სიმკვირვე შეადგენდა 19,89, ხოლო მობილური ინტერნეტის - 55,52, რაც არც თუ ურიგო მაჩვენებელია ეკონომიკური განვითარების მქონე ჩვენი მდგომარეობის ქვეყნისათვის.



ა)



ბ)

ნახ.4. ინტერნეტის აბონენტი ფიზიკური პირები ქვეყნის განვითარების დონის მიხედვით

ამრიგად, რამდენადაც, ისტ-ის სფეროში მსოფლიოში და საქართველოში მობილური ინტერნეტის მომხმარებლების რაოდენობის ზრდის ერთნაირი ტენდენციები შეინიშნება, მოსალოდნელია, რომ უახლოეს წლებში ჩვენს ქვეყანაში ისტ-ს განვითარების დონე მრავალ მაჩვენებელში გაუთანაბრდება მსოფლიოს წამყვანი ქვეყნებში არსებულ მიღწევებს.

**ლიტერატურა**

1. ტელეკომუნიკაციების საერთაშორისო კავშირის ITU-ის მონაცემთა ბაზები <http://www.itu.int/en/ITU-T/publications/Pages/dbase.aspx>.
2. საქართველოს კომუნიკაციების ეროვნული კომისიის მონაცემთა ბაზები <http://gncc.ge>.
3. საქართველოს სტატისტიკის ეროვნული სამსახურის მონაცემთა ბაზები <http://geostat.ge>.

**SUMMARY**

**TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF INFORMATION AND COMMUNICATIONS TECHNOLOGIES IN GEORGIA AND IN THE WORLD**

Tsikhistavi T.T. and Svanidze R.G.

Georgian Technical University

The article discusses the main trends in the development of information and communications technologies (ICT) in Georgia and in the world. The dynamics of development and the nearest forecast are given.

**Keywords:** information and communications technologies, development, trends, forecast.

ინფორმაციულ-საკომუნიკაციო ტექნოლოგიების (ისტ) როლი ნაციონალურ ეკონომიკაში და მათი განვითარების განხორციელება

ციხისთავი თ.თ., სვანიძე რ.გ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

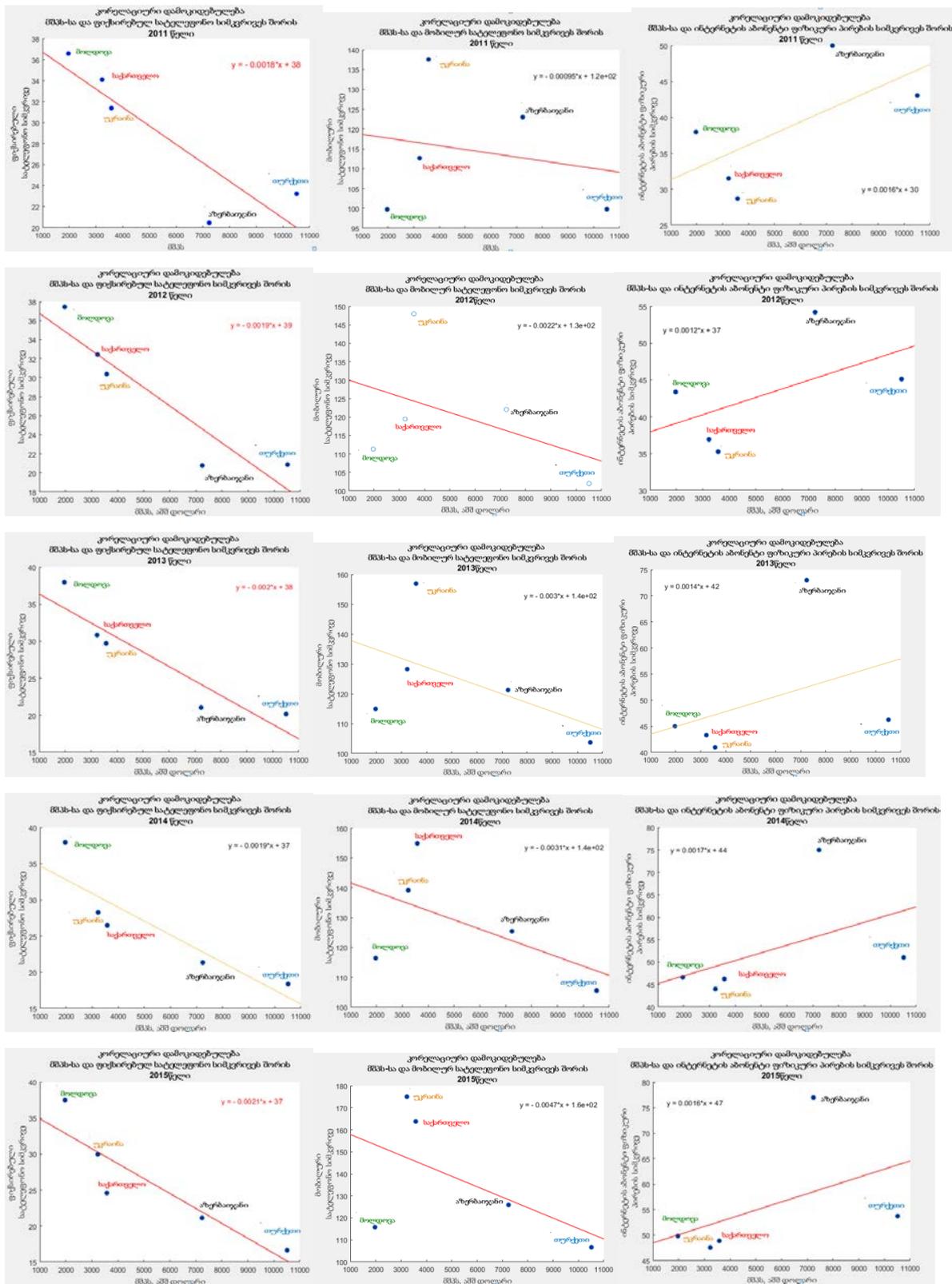
თანამედროვე ეტაპზე ინფორმაციულ-სატელეკომუნიკაციო ტექნოლოგიების (ისტ-ICT) დანიშნულება და როლი ქვეყნისათვის სრულიად ცხადია [1]. ქვეყანასა და რეგიონში სატელეფონო სიმკვრივესა და ერთ სულ მოსახლეზე მოთხოვნი შიდა (ეროვნულ) პროდუქტს (მშპს) შორის დამოკიდებულების პირველი მცდელობა განხორციელებულ იქნა გერმანელი მეცნიერის ალექსანდრე ჯიპის მიერ 1963 წელს. ამის შემდეგ ჯიპის დიაგრამები გახდა საინფორმაციო-ეკონომიკური კანონზომიერებების ანალიზის საყოველთაოდ მიღებული ინსტრუმენტი, მარტივი და ეფექტური აპარატი, ქვეყანაში ინფორმაციული ტექნოლოგიების განვითარების ერთგვარი საზომი ეკონომიკურ მდგომარეობასთან მიმართებით.

ანალიზისათვის ცხრ.1-ში წარმოდგენილია მშპს საქართველოს, აზერბაიჯანის, უკრაინის, მოლდოვისა და თურქეთის მაგალითზე ფიქსირებული, მობილური და ინტერნეტის აბონენტების რაოდენობის მიხედვით. მონაცემები აღებულია, საქართველოს კომუნიკაციების ეროვნული კომისიის [2], საქართველოს სტატისტიკის ეროვნული სამსახურის [3], ევროსტატის [4], მსოფლიო ბანკის [5] და საერთაშორისო სატელეკომუნიკაციო კავშირის [6] საიტებიდან.

ცხრილი 1

წელი	ქვეყანა	მშპ ერთ სულ მოსახლეზე, USD	ფიქსირებული ტელეფონის აბონენტები, %	მობილური ტელეფონის აბონენტები, %	ინტერნეტის ფიზიკური პირი აბონენტები, %
2011	Georgia	3 229.76	34.09	112.66	31.52
	Azerbaijan	7 238.62	20.46	122.99	50.00
	Ukraine	3 578.21	31.38	137.54	28.71
	Moldova	1 970.33	36.58	99.73	38.00
	Turkey	10 509.28	23.23	99.78	43.07
2012	Georgia	3 523.30	32.44	119.45	36.94
	Azerbaijan	7 442.37	20.78	122.06	54.20
	Ukraine	3 867.30	30.38	147.99	35.27
	Moldova	2 046.52	37.44	111.29	43.37
	Turkey	10 556.98	20.88	101.97	45.13
2013	Georgia	3 599.64	30.83	128.25	43.30
	Azerbaijan	7 861.98	21.04	121.28	73.00
	Ukraine	4 040.10	29.72	156.91	40.95
	Moldova	2 243.39	37.97	114.93	45.00
	Turkey	10 885.70	20.17	103.70	46.25
2014	Georgia	3 676.50	28.28	139.19	44.00
	Azerbaijan	7 934.69	21.34	125.45	75.00
	Ukraine	2 950.62	26.49	154.90	46.24
	Moldova	2 243.98	37.94	116.42	46.60
	Turkey	10 418.73	18.39	105.52	51.04
2015	Georgia	3 744.57	29.96	175.02	47.57
	Azerbaijan	5 529.75	21.13	125.87	77.00
	Ukraine	2 119.17	24.58	163.78	48.88
	Moldova	1 847.54	37.48	115.73	49.84
	Turkey	9 239.61	16.64	106.62	53.74

ნახ.1-ზე შედარებისთვის წარმოდგენილია ძირითადი კორელაციური დამოკიდებულებები მშპს და ფიზიკური პირებისათვის ფიქსირებული, მობილური, ინტერნეტის აბონენტთა იმავე ქვეყნების ჯგუფისათვის 2011-2015 წლებში (ITU-ის ანგარიშებშიც მითითებულია ინტერნეტის ფიზიკური პირების აბონენტთა რაოდენობა).



ა) ბ) გ)

ნახ.1 კორელაციური დამოკიდებულებები მშპს და ფიზიკური პირებისათვის ფიქსირებული, მობილური, ინტერნეტის აბონენტთა დამოკიდებულებები ქვეყნების ჯგუფისათვის: საქართველო, აზერბაიჯანი, უკრაინა, მოლდოვა და თურქეთი (2011-2015 წწ. მონაცემები)

ეს დიაგრამები ახასიათებენ ინფოკომუნიკაციის განვითარებას ამ ქვეყნებში. შერჩეული ჯგუფის ქვეყნების ხუთწლიანი მონაცემების ანალიზმა აჩვენა, რომ რაც უფრო მეტია ქვეყნის მშპს, მით მეტი ფიზიკური პირი მოიხმარს ინტერნეტს (აპროქსიმაციის მრუდი -წრფე, ზრდადია), ხოლო ნაკლებია მობილურის აბონენტების რაოდენობა (აპროქსიმაციის მრუდი - წრფე კლებადია) და მკვეთრად მცირდება ფიქსირებული ტელეფონის მომხმარებლების რიცხვი (ამ შემთხვევაში აპროქსიმაციის მრუდი (წრფე) კლებადია).

ნახ. 1 დიაგრამებიდან ჩანს, რომ (ა) ყველა შერჩეულ ქვეყანაში ფიქსირებული ტელეფონის აბონენტების რაოდენობა თითქმის თანაბრად იკლებს, ასევე იკლებს (ბ) მობილური აბონენტების რაოდენობა, რაც განპირობებულია გაჯერებით, რომელიც კანონზომიერია მობილურის განვითარების ამ ეტაპისათვის, ამავდროულად მზარდია ინტერნეტის მომხმარებლების დინამიკა (გ).

ნახ. 1 შერჩეული ქვეყნების ჯგუფში მშპს-ის მიხედვით 5 წლის (2011-2015 წწ) საშუალო მაჩვენებლებით, საქართველო იკავებს მე-3 ადგილს (ცხრილი. 2, ა). ზემოთ განსაზღვრული ზოგადი ტენდენციების მიმართ, ის სამივე განხილული (ფიქსირებული, მობილური და ინტერნეტი) ტექნოლოგიის მიხედვით ხასიითდება მცირე გადახრით და სამივე შემთხვევაში თითო პოზიციით ნაკლებია აპროქსიმაციით პროგნოზირებულ მნიშვნელობასთან შედარებით, ყავს მეტი ფიქსირებული (ცხრილი. 2, ბ) და მობილური (ცხრილი. 2, გ) ტელეფონების, ხოლო ნაკლები ინტერნეტის მომხმარებელი ფიზიკური პირი აბონენტები (ცხრილი. 2, დ).

ცხრილი 2			
ქვეყანა	მშპ ერთ სულ მოსახლეზე, USD	ქვეყანა	ფიქსირებული ტელეფონის აბონენტები, %
თურქეთი	10 322.06	თურქეთი	19.86
აზერბაიჯანი	7 201.48	აზერბაიჯანი	20.95
საქართველო	3 554.75	უკრაინა	28.51
უკრაინა	3 311.08	საქართველო	31.12
მოლდოვა	2 070.35	მოლდოვა	37.48

ქვეყანა	მობილური ტელეფონის აბონენტები, %	ქვეყანა	ინტერნეტის ფიზიკური პირი აბონენტები, %
თურქეთი	103.52	აზერბაიჯანი	65.84
მოლდოვა	111.62	თურქეთი	47.85
აზერბაიჯანი	123.53	მოლდოვა	44.56
საქართველო	134.92	საქართველო	40.67
უკრაინა	152.22	უკრაინა	40.01

ცხრილი 3-ში მოცემულია აღნიშნული ჯგუფის ქვეყნების სამივე კორელაციული დამოკიდებულების წრფივი აპროქსიმაციის ფუნქციები (რომელთა გენერირება-განსაზღვრა ხდება ავტომატურად, პროგრამა MATLAB-ის მიერ) და ის შემდგომში მოხერხებული ანგარიშისა და უფრო ზუსტი პროგნოზირების საშუალებას იძლევა. გრაფიკების წრფივი აპროქსიმაციის არჩევისას, მათი საშუალო მნიშვნელობების გამოთვლის შემთხვევაში უმჯობესია გაკეთდეს გარკვეული პერიოდის (ჩვენს შემთხვევაში 5 წლის) ანალიზი, ანუ აიგოს წრფე, რომლის მიხედვითაც შესაძლებელი იქნება მომავალში ამ მაჩვენებლების მნიშვნელობების მეტი სიზუსტით პროგნოზირება.

ცხრილი 3

წლები	აპროქსიმაციის ფუნქციები		
	მშპს-სა და ფიქსირებულ სატელეფონო სიმკვრივე	მშპს-სა და მობილურ სატელეფონო სიმკვრივე	მშპს-სა და ინტერნეტის აბონენტი ფიზიკური პირების სიმკვრივე
2011	$y = -0.0018 * x + 38$	$y = -0.00095 * x + 1.2e+02$	$y = 0.0016 * x + 30$
2012	$y = -0.0019 * x + 39$	$y = -0.0022 * x + 1.3e+02$	$y = 0.0012 * x + 37$
2013	$y = -0.0020 * x + 38$	$y = -0.0030 * x + 1.4e+02$	$y = 0.0014 * x + 42$
2014	$y = -0.0019 * x + 37$	$y = -0.0031 * x + 1.4e+02$	$y = 0.0017 * x + 44$
2015	$y = -0.0021 * x + 37$	$y = -0.0047 * x + 1.6e+02$	$y = 0.0016 * x + 47$

როგორც ვხედავთ, ჯიპის დიაგრამა ასევე ასახავს ეკონომიკური განვითარების დინამიკის ერთ-ერთ უმნიშვნელოვანეს ფაქტორს, რომ ქვეყანაში საერთო კეთილდღეობის განვითარება განპირობებულია მისი ტერიტორიის საკომუნიკაციო ტექნოლოგიებით გაჯერების ხარისხით; ძირითადად, ინფორმაციის გადაცემისა და დამუშავების საშუალებებით. ამას გარდა, ინფოკომუნიკაციური სიმკვრივის დიაგრამები წარმოადგენენ ეკონომიკური კეთილდღეობის ინფოკომუნიკაციის განვითარების დონეზე დამოკიდებულების ემპირიულ (ცდისეულ) დადასტურებას. ამ თვალსაზრისით, ჯიპის დიაგრამები საინტერესოა, არა მხოლოდ ცალკეული ქვეყნების ჭრილში, არამედ მის რეგიონებში ამ მიმართულებით არსებული სიტუაციის განხილვისათვის. რაც საშუალებას იძლევა დავადგინოთ არსებობს თუ არა დისპროპორცია ისტ-ს განვითარების კუთხით ქვეყნის სხვადასხვა რეგიონებს შორის.

უნდა აღინიშნოს, რომ ჯიპის ინოვაციური ნაშრომის შექმნის შემდეგ, განვლილ პერიოდშიც და განსაკუთრებით ბოლო ოცწლეულში ისტ-ში გლობალური მოვლენები განვითარდა, გამოჩნდა ახალი რეკოლუციური ტექნოლოგიები მობილური, ფიქსირებული ინტერნეტი, Wi-Fi, Wi-Max (Viber, Skype) და სხვა, რომელთა როლი ქვეყნის ეკონომიკაში, განათლებაში, უსფრთხოების სფეროში კიდევ უფრო გამოიკვეთა. ამავ დროს მნიშვნელოვანია ის რეალობა, რომ ჯიპის დიაგრამა არ ითვალისწინებს ისეთ მნიშვნელოვან გარემოებებს როგორცაა ქვეყანაში პოლიტიკური ან/და სოციალური ვითარება (თუმცა ეს უკანასკნელი გარკვეულწილად აისახება კიდევ მშპ-ში).

ამრიგად, ისტ-ის განვითარების დონე და მასთან მშპს-ის დამოკიდებულება, ქვეყანაში არსებული პოლიტიკური და სოციალური გარემოების გათვალისწინებით, უნდა გახდეს ჯიპის კონცეფციისადმი ახალი მიდგომისა და დამოკიდებულებების მნიშვნელოვანი და შეიძლება ითქვას მთავარი ფაქტორი. ისტ-ის განვითარების თვალსაზრისით საინტერესოა როგორია ისტ-ის განვითარების ძირითადი მიმართულებები, მთელს მსოფლიოსა და საქართველოში.

ამრიგად, ჯიპის პიონერულმა გამოკვლევამ საფუძველი დაუდო ფუნდამენტურ კავშირს ქვეყანაში სატელეკომუნიკაციო ტექნოლოგიების პრიორიტეტსა და მშპს-ს შორის.

განვითარების მომდევნო ეტაპზე, განსაკუთრებით ბოლო ოცწლეულში ისტ ჩამოყალიბდა, როგორც ეროვნული პროდუქტი. ამდენად, ჯიპის დიაგრამა მოითხოვს ახლებურ მიდგომებს სადაც წარმოიხინდება ისტ-ის მთელი სპექტრის გავლენა ქვეყნის მშპს-ის მიმართ, რაც ამ ეპოქის მოთხოვნაა.

ჯიპის ახალი (მოდერნიზებული) დიაგრამების აგებისას აუცილებელია გათვალისწინებული იქნას ქვეყნის ეკონომიკური და სოციალური ფონი, რაც ცხადია რთულ პრობლემას წარმოადგენს. გასათვალისწინებელია ქვეყნის მოსახლეობის მენტალობა, მოსახლეობაზე „ახალი ტექნოლოგიების“ გავლენის ფსიქოლოგია და სხვა ფაქტორები.

ჯიპის ახალი (მოდერნიზებული) დიაგრამების აგების და ანალიზისთვის სრულიად აუცილებელი ხდება თანამედროვე და მომავლის ტექნოლოგიების პრიორიტეტებისა და პერსპექტივების გააზრება, ასევე გასათვალისწინებელია, ქვეყნის გეოპოლიტიკური მდგომარეობის, მოსახლეობის მატება/კლების პროგნოზირების, მოსახლეობის მიგრაციისა და სხვა საკითხები.

**ლიტერატურა**

1. [Bibliography entry 1] – [Bibliography entry 1], 2002.
2. საქართველოს კომუნიკაციების ეროვნული კომისიის მონაცემთა ბაზები <http://gncc.ge>.
3. საქართველოს სტატისტიკის ეროვნული სამსახურის მონაცემთა ბაზები <http://geostat.ge>.
4. ევროსტატის მონაცემთა ბაზები <http://ec.europa.eu>.
5. მსოფლიო ბანკის მონაცემთა ბაზები <http://www.worldbank.org>.
6. ტელეკომუნიკაციების საერთაშორისო კავშირის ITU-ის მონაცემთა ბაზები <http://www.itu.int/en/ITU-T/publications/Pages/dbase.aspx>.

**SUMMARY**

**THE ROLE OF INFORMATION AND COMMUNICATIONS TECHNOLOGIES (ICT) IN NATIONAL ECONOMY AND THE REGULARITIES OF THEIR DEVELOPMENT**

**Tsikhistavi T.T. and Svanidze R.G.**

**Georgian Technical University**

The article discusses the role of information and communications technologies (ICT) in national economy and the regularities of their development.

**Keywords:** information and communications technologies, economy.

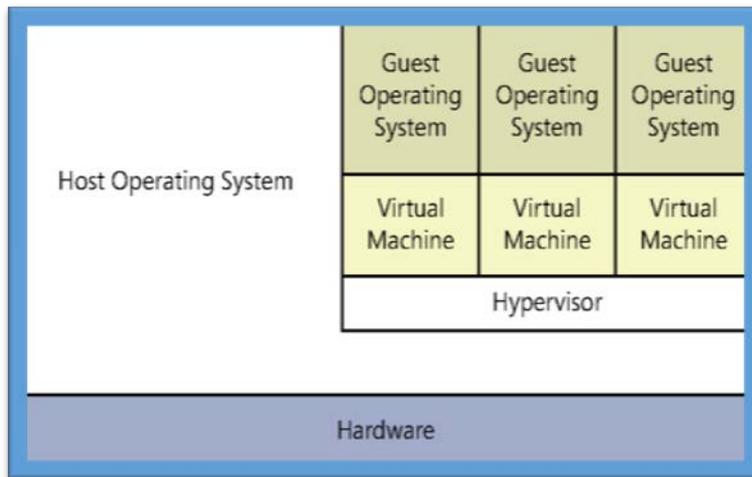
ვირტუალიზაცია ოპერაციულ სისტემაში WINDOWS SERVER 2016 –შ0

გაბაშვილი თ.გ., გაბაშვილი ნ.გ., ხართიშვილი მ.პ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ბოლო რამდენიმე წლის განმავლობაში ახალი ექსპერიმენტების შედეგად სერვერის ვირტუალიზაციის დანიშნულება მნიშვნელოვნად გაიზარდა. ეს გამოიწვია შესაბამის ლაბორატორიულ და სატესტო პირობებში დამუშავებულმა სერვერის განვითარების სტრატეგიამ. Windows Server 2016 მოიცავს Hyper-V ფუნქციას, რაც შესაძლებლობას აძლევს ადმინისტრატორს შექმნას ვირტუალური მანქანა (VM-Virtual Machine), რომელიც გაშვებულია საკუთარ იზოლირებულ გარემოში. VM უმარტივეს ადმინისტრატორს ერთი ფიზიკური კომპიუტერიდან მეორეში გადასვლას, ასევე საგრძნობლად აადვილებს ქსელური აპლიკაციების და სერვისების მართვის პროცესს.

Windows Server 2016-ის ვირტუალიზაცია დაფუძნებულია მოდულზე, რომელსაც ეწოდება Hypervisor. ზოგჯერ მას Virtual Machine Monitor (VMM) უწოდებენ. Hypervisor პასუხისმგებელია კომპიუტერის ფიზიკური უზრუნველყოფის აბსტრაქციასა და მრავალი პროგრამული უზრუნველყოფის გარემოს ვირტუალიზაციაზე. თითოეულ VM-ს აქვს საკუთარი (ვირტუალური) ფიზიკური მახასიათებლების კონფიგურაცია და შესაძლებელია გაიშვას, როგორც ოპერაციული სისტემის ცალკეული ასლი. აქედან გამომდინარე, საკმარისი ფიზიკური უზრუნველყოფისა და ლიცენზირების პირობებში, ერთ კომპიუტერს, რომელზეც Windows Server 2016-ია გაშვებული Hyper-V ფუნქციით შეუძლია მრავალი ვირტუალური მანქანის მხარდაჭერა, რომელთა მართვაც ადმინისტრატორს შეუძლია ისე, თითქოს ისინი იყვნენ ცალკეული კომპიუტერები.



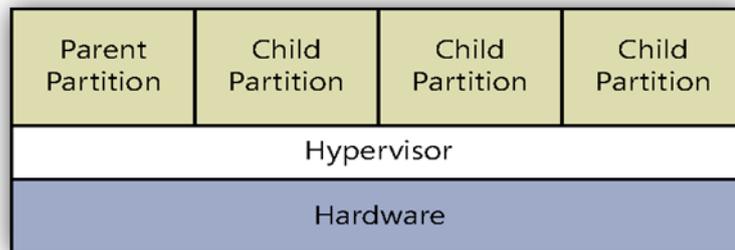
ნახ. 1. Hypervisor-ის გაშვება ჰოსტის ოპერაციულ სისტემაში

ვირტუალიზაციის პროდუქტი, კომპიუტერის ფიზიკური უზრუნველყოფის ვირტუალურ მანქანასთან გასაზიარებლად, შეიძლება იყენებდეს რამდენიმე განსხვავებულ არქიტექტურას. ვირტუალიზაციის პროდუქტის ადრეული ტიპები, მათ შორის Microsoft Windows Virtual PC და Microsoft Virtual Server მოითხოვდნენ სტანდარტული ოპერაციული სისტემის ინსტალაციას კომპიუტერზე. შემდეგ ინსტალირდება ვირტუალიზაციის პროდუქტი, რომელსაც ემატება Hypervisor კომპონენტი. Hypervisor გაიშვება ჰოსტის ოპერაციულ სისტემასთან ერთად, როგორც ნაჩვენებია ნახ.1-ზე და გვაძლევს საშუალებას შევქმნათ იმდენი VM (ვირტუალური მანქანა) რამდენს მხარდაჭერაც შეუძლია კომპიუტერის ფიზიკურ უზრუნველყოფას.

ამ ფორმატს, რომელზეც გაშვებულია Hypervisor, ოპერაციულ სისტემასთან ერთად ეწოდება II ტიპის ვირტუალიზაცია. II ტიპის Hypervisor-ის გამოყენებით ჩვენ

შეგვიძლია შევქმნათ ვირტუალური ფიზიკური უზრუნველყოფის გარემო ცალკეული ვირტუალური მანქანისთვის. შეგვიძლია განსაზღვროთ თითოეული ვირტუალური მანქანისთვის მექსიერების მოცულობა, შევქმნათ ვირტუალური დისკები კომპიუტერის ფიზიკური დისკის მოცულობის გამოყენებით და უზრუნველყოთ პერიფერიულ მოწყობილობებთან წვდომა. შემდეგ ვაინსტალირებთ ოპერაციულ სისტემას ყოველი ვირტუალური მანქანისთვის ისე, თითქოს ახალი კომპიუტერი გაემართეთ. ჰოსტის ოპერაციული სისტემა შემდეგ აზიარებს კომპიუტერის პროცესორის წვდომას Hypervisor-თან, თითოეული ვირტუალური მანქანა იღებს იმ სამუშაო ციკლს რაც მას სჭირდება და გადასცემს პროცესორის კონტროლს სხვას.

II ტიპის ვირტუალიზაციამ შეიძლება უზრუნველყოს შესაბამისი VM (ვირტუალური მანქანის) მუშაობა, განსაკუთრებით ლაბორატორიულ და სასწავლო გარემოში, მაგრამ ის არ უზრუნველყოფს ადეკვატურ მუშაობას ცალკეული ფიზიკური კომპიუტერისთვის. Windows Server 2016-ის ვირტუალიზაცია (Hyper-V) იყენებს არქიტექტურის სხვადასხვა ტიპს. Hyper-V იყენებს I ტიპის ვირტუალიზაციას, რომელშიც Hypervisor არის აბსტრაქტული დონე, რომელიც პირდაპირ ურთიერთობს კომპიუტერის ფიზიკურ მოწყობილობასთან რაც ხდება ჰოსტის ოპერაციული სისტემის ჩაურევლად. Hipervisor ყოფს ინდივიდუალურ გარემოს დანაყოფებად, თითოეული მათგანზე დაინსტალირებულია საკუთარი ოპერაციული სისტემა და უკავშირდება კომპიუტერის ფიზიკურ უზრუნველყოფას Hypervisor მეშვეობით. II ტიპის ვირტუალიზაციისგან განსხვავებით ჰოსტების ოპერაციული სისტემასთან არ ზიარდება პროცესორის დრო Hypervisor გამოყენებით. მის ნაცვლად, Hypervisor მის მიერ შექმნილ პირველ დანაყოფს აქცევს მთავარ დანაყოფად და შემდეგ შექმნილ დანაყოფებს ქვედანაყოფებად, როგორც ნაჩვენებია ნახ.2-ზე.



ნახ. 2. Hypervisor-ის ქვედანაყოფები

მთავარი დანაყოფი სისტემურ ფიზიკურ უზრუნველყოფას უკავშირდება Hypervisor-ის გავლით, ისევე როგორც ქვედანაყოფები. განსხვავება მხოლოდ ისაა, რომ მთავარი დანაყოფი გაშვებულია ვირტუალურ არეში, რომელიც ქმნის და მართავს ქვედანაყოფებს. მთავარი დანაყოფი ასევე პასუხისმგებელია ქვესისტემებზე, რომლებიც პირდაპირ ზემოქმედებენ კომპიუტერის მუშაობაზე, ისევე როგორც Plug and Play, ენერჯის მართვა და შეცდომების აღმოფხვრა.

პირველად Hyper-V გამოჩნდა ოპერაციული სისტემის Windows Server 2008-ის 64 ბიტთან ვერსიაში. Hyper-V ფუნქციას შეიცავს Windows Server 2016-ის მხოლოდ შემდეგი გამოცემები: Standart და Datacenter ვერსიები. Hyper-V ფუნქცია საჭიროა ოპერაციული სისტემის მუშაობისთვის, როგორც კომპიუტერის მთავარ დანაყოფზე, ასევე მასზე ჩართულ სხვა ვირტუალურ მანქანებზე.

არსებითი განსხვავება Windows Server 2016-ის Standard და Datacenter გამოცემებს შორის არის მათ მიერ მხარდაჭერილი VM-ის რაოდენობა. Datacenter გამოცემის ლიცენზია ერთ ფიზიკურ მოწყობილობაზე Windows Server 2016 ულიმიტო ვირტუალური მანქანების დაინსტალირების უფლებას იძლევა. Standart გამოცემის ლიცენზია კი მხოლოდ ორი ვირტუალური მანქანის დაინსტალირების უფლებას გვაძლევს.

Windows Server 2016 ვერსია შეიცავს საგრძნობ გაუმჯობესებას სისტემის მასშტაბირების კუთხით წინა ვერსიებთან შედარებით. Windows Server 2016 Hyper-V ჰოსტს შეიძლება ჰქონდეს 320-ზე მეტი ლოგიკური პროცესორი. მხარს უჭერს 2048-ზე მეტ ვირტუალურ პროცესორს და 4 ტერაბაიტზე მეტ ვირტუალურ მეხსიერებას.

ერთ სერვერს შეუძლია იყოს ჰოსტი 1024 აქტიური ვირტუალური მანქანის და თითოეული ვირტუალური მანქანა იყოს 64 ვირტუალური პროცესორით და ერთ ტერაბაიტამდე მეხსიერებით.

ამრიგად, Hyper-V-ს Windows Server 2016 ოპერაციული სისტემის ინსტალირებისათვის ესაჭიროება შემდეგი აპარატურული უზრუნველყოფა:

- 64 თანრიგიანი პროცესორი 1,4 GHz;
- ოპერაციული მეხსიერება მინიმუმ 512 მბ;
- მყარ დისკზე მინიმუმ 32 გბ თავისუფალი სივრცე.

#### ლიტერატურა

1. William R. Stanek. Windows Server 2016: IT Pro Library (English Edition)  
Publisher: Microsoft Press *Release Date: 2016*
2.  Windows Server 2016  Packt Publishing Ltd. 2016
3. [www.microsoft.com](http://www.microsoft.com)

#### SUMMARY

#### VIRTUALIZATION IN OPERATIONS SYSTEM WINDOWS SERVER 2016

Gabashvili T.G., Gabashvili N.V. and Khartishvili M.P.

Georgian Technical University

The paper deals with virtualization in operation system Windows Server 2016. Hyper-V function and the required hardware for installation of Windows Server 2016 are discussed. It is mentioned that VM simplifies the transition from one physical computer to another and also it makes easier managing network applications and services.

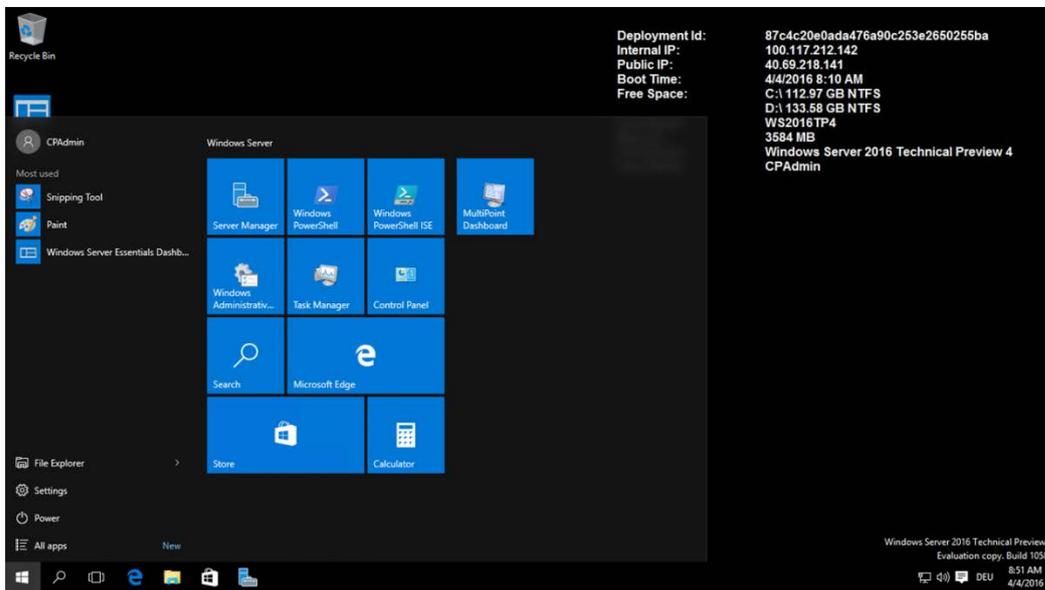
**Keywords:** Windows Server 2016, virtualization, Hyper-V function, hardware.

## WINDOWS SERVER 2016 – ის შესაძლებლობანი

გაბაშვილი ნ.გ., აბულაძე ი.ბ., გაბაშვილი თ.გ.

### საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ნაშრომში მიმოხილულია Windows Server 2016 ოპერაციული სისტემა და მისი ძირითადი უპირატესობანი წინამორბედ ვერსიებთან შედარებით. ასევე განხილულია ქსელის უსაფრთხოების საკითხები ოპერაციული სისტემის გამოყენებით. აღნიშნულია Windows Server 2016 ოპერაციული სისტემის ახალი პლატფორმა და ნაჩვენებია მისი მრავალმხრივი შესაძლებლობები და უპირატესობანი წინამორბედი ვერსიებისაგან განსხვავებით. Windows Server 2016 არის Microsoft-ის სერვერული ოპერაციული სისტემის მერვე გამოცემა. ცნობილია, რომ Windows Server არის სერვერებისთვის საკმაოდ გავრცელებული ოპერაციული სისტემა. Windows Server 2016 ოპერაციულ სისტემას წინამორბედებისგან განსხვავებით დამატებული აქვს მრავალი მახასიათებელი, როგორცაა: ვირტუალიზაცია (Hyper-V), ფაილური სისტემა (ReFS.Windows Server) და IP მისამართების განახლების მართვის ფუნქცია. კომპიუტერმა, რომელზეც დაყენებულია ეს ოპერაციული სისტემა, შეუძლია შეასრულოს ფაილურ სერვერის ფუნქცია. ასევე აქვს შესაძლებლობა ვებ-აპლიკაციის, ტერმინალის, ფოსტის, დაშორებული წვდომის სერვერებისა და ამასთან ერთად, DNS (Domain Name Controller) და DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) სერვერის ფუნქციები. Windows Server 2016 არის საკმაოდ სწრაფი და საიმედო ოპერაციული სისტემა (ნახ.1).



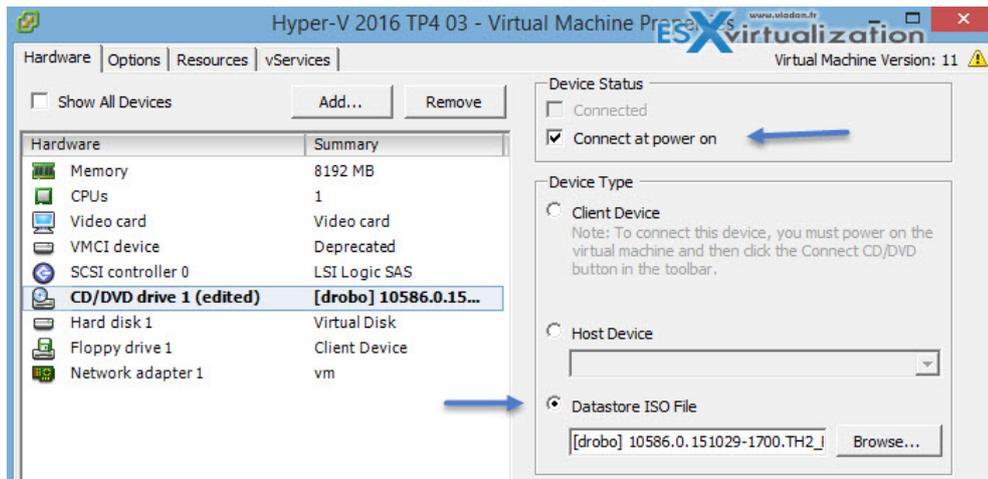
ნახ.1. Windows Server 2016 წლის სამუშაო მაგიდა

მის საიმედოობას და ინფორმაციის წვდომას უზრუნველყოფს მისი პლატფორმა, რომელშიც ჩაშენებულია სერვერის ფუნქციები და აგრეთვე ინტეგრირებული გარემო. ორგანიზაციებისთვის, რომლებიც მუშაობენ ქსელურ ბიზნეს-აპლიკაციებთან ძალიან მნიშვნელოვანია კლასტერების სერვისი, რომელიც საშუალებას იძლევა გაერთიანდეს რამდენიმე სერვერი და შესაძლებელია მოხდეს მათი პარალელური მართვა. თუ რომელიმე ერთი სერვერი გამოვა მწყობრიდან ან იქნება მიუწვდომელი,

მაშინ ამ ფუნქციის საშუალებით მომსახურება გადადის სხვა სერვერზე და პროცესი გრძელდება.

ასევე წინამორბედი ვერსიებისაგან განსხვავებით ბევრად მოხერხებულა Windows Server 2016-ის გრაფიკული ინერფეისი. სისტემის ინსტალაციის დროს სისტემა default-ად (ჩუმათობით) გვთავაზობს დავაყენოთ ბრძანებათა სტრიქონის ანუ Core Mode რეჟიმი, რომლის დაყენების შემდეგ შეგვიძლია ჩავართოთ გრაფიკული ინტერფეისი (GUI სერვისის ჩართვით). ასევე შეგვიძლია წავშალოთ გრაფიკული ინტერფეისი ოპერაციული სისტემის დეინსტალაციის გარეშე. ეს ძალიან მოსახერხებელი ფუნქციაა. ჩვენ შეგვიძლია დავაყენოთ ყველაფერი გრაფიკულად: დავაკონფიგურიროთ ყველა საჭირო სერვისი და კლიენტი; შემდეგ წავშალოთ გრაფიკული ინტერფეისი, რისი საშუალებითაც მინიმუმამდე დაგვყავს სერვერის გატეხვის რისკი.

ჩვენ მიერ განხილულია Windows Server 2016-ის ფუნქცია ვირტუალიზაცია, ანუ Hyper-V, რომელიც ლოკალურ ქსელში ვირტუალური მანქანის ერთი სერვერიდან მეორე სერვერზე ინფორმაციის გადატანის საშუალებას იძლევა, ამასთან ერთად ხორციელდება ცვლილებების სინქრონიზაცია (ნახ.2). სერვერის გადატანისთვის საჭირო აღარაა საერთო საქაღალდეები ფაილურსერვერზე, მონაცემების გადაცემა ხდება პირდაპირ სერვერებს შორის.



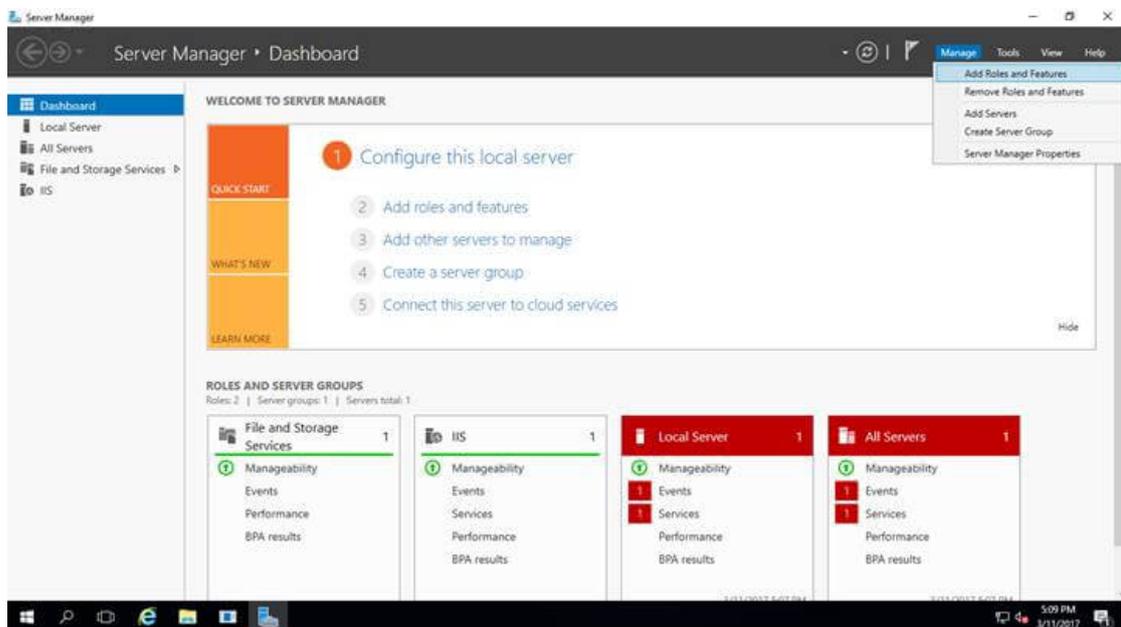
ნახ.2. Hyper-V-ს ფუნქციის ფანჯარა

უნდა აღვნიშნოთ, რომ Windows Server 2016-ში ვირტუალური მანქანების რეპლიკაციის (რეპლიკაცია არის პროცესი, რომლის დროსაც მონაცემები სინქრონიზდება ერთი, მთავარი სერვერიდან რამდენიმე სათადარიგო სერვერზე. რეპლიკაციის დროს მთავარ (primary) სერვერზე ჩაწერისა და კითხვის ოპერაციების განხორციელება შეგვიძლია, ხოლო სათადარიგო სერვერებიდან კი მხოლოდ ვკითხულობთ) შესაძლებლობა თავად ოპერაციული სისტემას გააჩნია. დღესდღეობით მრავალი ლოკალური ქსელი გაერთიანებულია ინტრანეტ ქსელებთან (წარმოადგენს ელექტრონული საკომუნიკაციო ტექნოლოგიების ერთ-ერთ სახეობას, კერძოდ, ინფორმაციის გაცვლის ლოკალურ ქსელს), ექსტრანეტ ქსელებთან (არასანქცირებული წვდომისაგან დაცული ქსელი, რომელიც იყენებს ინტრანეტ ტექნოლოგიებს შიდა კორპორატიული მიზნებისათვის) და ვებ-პორტალებთან. რაც თავისთავად მოითხოვს სისტემის უსაფრთხოების მოთხოვნის გაზრდას.

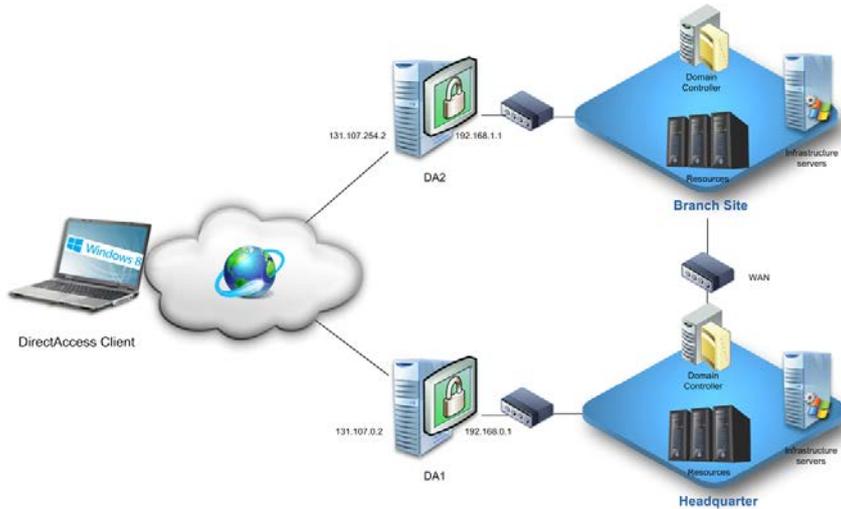
როგორც უკვე აღვნიშნეთ ქსელის უსაფრთხოების მაღალი დონე და ფაილებთან წვდომის საიმედოობა ამ ოპერაციული სისტემის ეფექტური გამოყენების

საშუალებას იძლევა. მას გააჩნია კატალოგების სერვისი Active Directory. ამ სერვისის წყალობით ინფორმაცია ინახება ქსელურ ობიექტებზე. ამის გარდა ActiveDirectory ადმინისტრატორს საშუალებას აძლევს ძალიან მარტივად მოიძიოს საჭირო ინფორმაცია. Windows Server 2016-ის გამოსვლამდე ფაილურ სისტემებთან წვდომისთვის და მის სამართავად გამოიყენებოდა სისტემა Access Control List (კონტროლის სია – კონკრეტულ ობიექტზე ვის და რას შეუძლია წვდომის მიღება). ამ სისტემას გააჩნდა უამრავი უარყოფითი მხარე, ამიტომაც Windows Server 2016-ში გაჩნდა კონცეფცია Dynamic Access Control (განსაზღვრული კრიტერიუმებით ინფორმაციასთან წვდომის მართვის საშუალება). ეს სერვისი საშუალებას გვაძლევს წვდომა გვექონდეს, როგორც ნებისმიერ ფაილთან და საქადალდესთან, ასევე მთლიანად ქსელთან. ამ კონცეფციის დახმარებით შესაძლებელია შევქმნათ მონაცემებთან წვდომის წესები, რომელიც ახორციელებს მომხმარებლის გადამოწმებას: არის თუ არა ის, ამა თუ იმ ჯგუფში. ეს წესები ვრცელდება ნებისმიერ სერვერზე ქსელში პოლიტიკის ფორმით (Group Policy – ჯგუფური პოლიტიკა) რისი საშუალებითაც იქმნება საერთო უსაფრთხოების სისტემა.

Windows Server 2016-ს გააჩნია სერვისი - Server Manager (სერვისული მენეჯერი), რომელიც საშუალებას იძლევა ლოკალურ ქსელში შევქმნათ ჯგუფები უკვე არსებული სერვერებისთვის (ნახ.3). ამ ინტერფეისის საშუალებით, შეგვიძლია ვმართოთ ნებისმიერი მოცემული სერვერი ლოკალურ ქსელში და ა.შ. სერვერები შეგვიძლია დავაჯგუფოთ ფუნქციების მიხედვით – ვებ სერვერები, მონაცემთა ბაზის სერვერები და ა.შ. დაჯგუფება შესაძლებელია ასევე რომელიმე სხვა პრინციპის მიხედვით არსებულ სერვერებზე დამატებითი ინფორმაციის მითითებით. ეს უკანასკნელი პრინციპი მოსახერხებელია ორგანიზაციებისთვის, რომელთაც არ გააჩნიათ ქსელისთვის სპეციალიზებული პროგრამული უზრუნველყოფა.



ნახ.3. Server Manager-სერვისის ფანჯარა



ნახ.4. DirectAccess სერვისის მუშაობის პრინციპი

განვიხილოთ DirectAccess (პირდაპირი წვდომა) სერვისის მუშაობა, რომელიც საშუალებას იძლევა გამოვიყენოთ ქსელი VPN (Virtual Private Network – ვირტუალური პრივატული ქსელი). თუ ეს ქსელი დაყენებულია სწორად, მაშინ მომხმარებელი ხედავს სხვა მეორე ქსელის ყველა საქაღალდეს და რესურსებს. ეს ტექნოლოგია Windows Server-ის წინა ვერსიებსაც გააჩნდათ, მაგრამ ამის განხორციელება იყო ბევრად უფრო რთული პროცესი. განვიხილოთ Resilient File System (ReFS), როგორც ევოლუციური ფაილური სისტემა New Technology File System (NTFS) ფაილური სისტემის უზრუნველსაყოფად. ReFS ტექნოლოგიის გამოყენებით ხორციელდება ერთი მთლიანი ფაილის აღდგენა ელექტრონურების შემთხვევით გამორთვისას. იგი შეიცავს „Integrity Streams“-ნაკადთა მთლიანობის ფუნქციას, რომელიც გამოიყენება როგორც სისტემური ასევე მომხმარებელთა მონაცემებთან წვდომის დასაცავად. წარუმატებლობის დროს, ფაილური სისტემა ReFS უმეტეს შემთხვევაში არ ითხოვს მონაცემთა აღდგენის ან გაუქმების პროცედურებს. სხვა მრავალ შემთხვევაში აღდგენის პროცედურები ავტომატურად განხორციელდება. ნაშრომში ასევე განიხილება Windows Server 2016-ის კიდევ ერთი ფუნქცია IP Address Management (IPAM). იგი საშუალებას იძლევა დავაჯგუფოთ და გავცეთ IP-მისამართები, ამასთან ერთად გამოვიყენოთ DNS და DHCP-სერვერები.

**ლიტერატურა**

1. Windows Server 2016: IT Pro Library (English Edition) William R. Stanek Publisher: Microsoft Press  
Release Date: 2016
2. Windows Server 2016  Packt Publishing Ltd. 2016
3. [www.microsoft.com](http://www.microsoft.com)

**SUMMARY**

**ABILITIES OF WINDOWS SERVER 2016**

**Gabashvili N.V., Abuladze I.B. and Gabashvili T.G.**  
**Georgian Technical University**

The work deals with the integrated environment and the basic functions of Windows Server 2016. The advantages of the new operation system over previous versions are discussed.

**Keywords:** Windows Server 2016, integrated environment, functions.

## სივრცითი მოდულაციის ინფორმაციული ეფექტურობა

უღრელიძე ნ.ა., აკობია დ.გ., სორდია მ.დ., ჭოხონელიძე მ.თ., ქურხულიშვილი გ.დ.

## კავკასიის უნივერსიტეტი

ცნობილია, რომ სივრცითი მოდულაციის სისტემაში გადასაცემი საინფორმაციო ბიტებისგან ფორმირდება ბლოკი, რომელშიც შემავალი  $A_b$  რაოდენობის ბიტი გამოიყენება გადამცემ ანტენათა კომბინაციების კოდირებისათვის ან როგორც შემდგომში ვუწოდებთ – ანტენათა კომბინაციების კოდირებისათვის ან უფრო მარტივად რომ ვთქვათ ანტენათა კოდირებისათვის. მომდევნო საინფორმაციო ბიტებისაგან ფორმირდება ბლოკი სივრცით  $S_b$ , რომლითაც ხორციელდება მოდულაციის პროცესი [1-3].

სისტემის სპექტრალური ეფექტურობა [2,3]

$$S_E = S_{EA} + S_{ES} \quad (\text{ბიტი/წმ/ჰც}), \quad (1)$$

სადაც  $S_{EA}$  არის სისტემის სპექტრული ეფექტურობა, რომელიც განისაზღვრება ანტენებით და  $S_{EA} = A_b$ ; ხოლო  $S_{ES}$  არის სისტემის სპექტრული ეფექტურობა, რომელსაც განსაზღვრავს მოდულირებული სიგნალები და  $S_{ES} = S_b$ .

კომბინატორიკის მარტივი ამოცანაა [4,5] და შეგვიძლია ვიანგარიშოთ  $N_t$  რაოდენობის გადამცემი ანტენიდან  $N_a$  რაოდენობის ანტენების შესაძლო კომბინაციათა რაოდენობა:

$$N = \binom{N_t}{N_a} = \frac{N_t!}{N_a!(N_t - N_a)!}; \quad (2)$$

შესაბამისად, ანტენების ყველა კომბინაციათა რაოდენობა ტოლი იქნება:

$$N_c = \sum_{N_a=0}^{N_t} \binom{N_t}{N_a} = \sum_{N_a=0}^{N_t} \frac{N_t!}{N_a!(N_t - N_a)!} = 2^{N_t}; \quad (3)$$

ამ შემთხვევაში ერთდროულად გამოყენებული ანტენების მაქსიმალური რაოდენობა  $N_{amax} = \max(N_a) = N_t$  და სისტემის სპექტრული ეფექტურობა, რომელიც განისაზღვრება ანტენებით, ტოლი იქნება:  $S_{EA} = \log_2 N_c = N_t$ . იმ შემთხვევაში, როცა  $N_{amax} < N_t$ , ცხადია:

$$N_c = \sum_{N_a=0}^{N_{amax}} \binom{N_t}{N_a} \quad (4)$$

და  $S_{EA} = \lceil \log_2 N_c \rceil$ , სადაც  $\lceil x \rceil$  აღნიშნავს უდიდეს მთელ რიცხვს, რომელიც არაა მეტი  $x$ -ზე [6].

ზემოთ მოყვანილის შესაბამისად ანტენებით განსაზღვრული ზოგიერთი სისტემის სპექტრული ეფექტურობის მნიშვნელობები მოყვანილია ცხრილში, საიდანაც (ისევე, როგორც (3)-დან) ჩანს, რომ საუკეთესო სპექტრული ეფექტურობა მიიღწევა ანტენათა ყველა კომბინაციის გამოყენებისას. წინააღმდეგ შემთხვევაში საუკეთესოსთან ყველაზე უფრო მიახლოებულ შედეგს იძლევა: თუ  $N_t = 3$ , ერთი ანტენის გამოყენება;  $N_t = 4$  და  $N_t = 5$ -ის დროს ერთდროულად მაქსიმუმ ორი ანტენის გამოყენება; თუ  $N_t = 6$  და  $N_t = 7$  მაქსიმუმ სამი ანტენის გამოყენება; ხოლო  $N_t = 8$ -ის დროს ოთხი ანტენის გამოყენება.

სისტემათა სპექტრული ეფექტურობის მნიშვნელობები

$N_E$	1	2	3	4	5	6	7	8
$S_{EA}, N_t = 3$	2	2	3					
$S_{EA}, N_t = 4$	2	3	3	4				
$S_{EA}, N_t = 5$	2	4	4	4	5			
$S_{EA}, N_t = 6$	2	4	5	5	5	6		
$S_{EA}, N_t = 7$	3	4	6	6	6	6	7	
$S_{EA}, N_t = 8$	3	5	6	7	7	7	7	8

განვიხილოთ მოდულაციის პროცესი ზემოთ წარმოდგენილი ტიპის სისტემისათვის. ვგულისხმობთ, რომ ყოველთვის  $N_c = 2^{N_t}$ . გვაქვს აქტიურ ანტენათა კომბინაციების სიმრავლე, რომელშიც  $A_i$  არის ერთნაირი,  $k$  რაოდენობის, აქტიური ანტენების კომბინაციების ქვესიმრავლე.

$$A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\} \tag{5}$$

პროცესს განსაზღვრავს აქტიური ანტენების კომბინაციების რაოდენობა  $N_c$ , ერთნაირი,  $k$  რაოდენობის, აქტიური ანტენების კომბინაციების სიმრავლე და  $S_B$  სივრცის საინფორმაციო სიმბოლოებისგან ფორმირებული ბლოკი. აქ  $S_B$  იყოფა  $k$  ნაწილად და მათ მიერ ხორციელდება მოდულაციის პროცესი თითოეული ანტენის მიერ გადაცემული სიგნალის შესაბამისად.

განვიხილოთ მაგალითი.

დაუშვათ გვაქვს სისტემა ოთხი გადამცემი ანტენით, ე.ი.  $N_t = 4$ ; მაშინ აქტიურ ანტენათა კომბინაციების სიმრავლე:

$$A = \{1, 2, 3, 4, 12, 13, 14, 23, 24, 34, 123, 124, 134, 234, 1234\}; \tag{6}$$

აქ რიცხვები გამოხატავენ ანტენათა ნომრებს და სიმრავლეში ელემენტების რაოდენობა  $|A| = 2^{N_t-1} = 15$ . (6)-დან შეგვიძლია გამოვყოთ ერთნაირი რაოდენობის აქტიური ანტენების კომბინაციების ქვესიმრავლეები:

$$\left. \begin{aligned} A_1 &= \{1, 2, 3, 4\}_{k=1}; \\ A_2 &= \{12, 13, 14, 23, 24, 34\}_{k=2}; \\ A_3 &= \{123, 124, 134, 234\}_{k=3}; \\ A_4 &= \{1234\}_{k=4}. \end{aligned} \right\} \tag{7}$$

თუ ავიღებთ  $S_B = 4$ -ს, მოდულაციის სისტემის ერთ შესაძლო ვარიანტს ექნება სახე:

$A_1 \rightarrow 16PSK, 16PSK, 16PSK, 16PSK.$

$A_2 \rightarrow QPSK + QPSK, QPSK + QPSK.$

$A_3 = BPSK + BPSK + QPSK, BPSK + BPSK + QPSK.$

$A_4 = BPSK + BPSK + BPSK + BPSK.$

ამ სისტემისთვის  $S_E = 8$  ბიტი/წმ/ჰც.  
საბოლოოდ, მოდულაციის სისტემა შეიძლება შეირჩეს შეცდომის ალბათობის მიხედვით.

#### ლიტერატურა

1. Y. Chau, S.-H. Yu, „Space modulation on wireless fading channels”, IEEE Veh. Tech. Conf. USA, v.3, Oct., 2001, pp. 1668-1671.
2. M.D. Renso, H. Haas, A. Chrayeb, S. Suguiza, L. Hanzo, „Spatial modulation for generalised MIMO: Challenges, opportunities, and implementation”, Proc. of the IEEE, v. 102, №1, Jan, 2014, pp. 56-103.
3. N. Ugrelidze, M. Sordia, S. Shavgulidze, „Bit error rate of spatial modulation systems for Nakagami-m fading”, Proc. of the 2016 IEEE Region 10 Conference (TENCON), Nov 22-25, 2016, Marina Bay Sands, Singapore, pp. 1342-1347.
4. M. Hall, Jr., Combinatorial Theory. Blaisdell Publishing Company, Walham (Massachusetts), Toronto, London, 1967.
5. M. Abramowitz, I.A. Stegun, Handbook of Mathematical Functions. United States Government Printing Office, 1964.
6. F.J. MacWilliams, N.J.A. Sloane, The Theory of Error-Correcting Codes. P.I-II., North-Holland Publishing Company, 1977.

#### SUMMARY

#### INFORMATION EFFICIENCY OF SPATIAL MODULATION

Ugrelidze N.A., Akobia D.G., Sordia M.D., Chokhnelidze M.T. and Qurkhuilishvili G.D.

#### Caucasus University

In this paper, we present a method of new system design of spatial modulation, which uses all combinations of active antennas. The spectral efficiency determined by a system of antennas and modulation systems was estimated. The examples for transmitting antennas from 3 to 8 are given.

**Keywords:** antenna, modulation, signal, bit, transmitter.

ნეირონული ქსელის ფორმირება სწავლების პროცესში

ვერულაგა ო.გ., ჩხაიძე მ.ნ., თავდიშვილი ო.ს.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

**შესავალი**

ნეირონული ქსელების შესახებ არსებული სამეცნიერო ნაშრომების უმრავლესობა აღწერს ნეირონული ქსელის სტრუქტურის აგების მეთოდებს, ხოლო ამოცნობის პროცესში დაშვებული შეცდომების გასწორების საკითხს ეძღვნება ნაშრომების შედარებით მცირე რაოდენობა [1-3]. მაგალითად, შეცდომის უკუგავრცელების ალგორითმის გამოყენებით შეცდომის გასწორებისას არ ხდება მისი გამომწვევი მიზეზების და წვლილის განსაზღვრა შეცდომის დაშვებაში. შესაბამისად, შეცდომების გამოვლენისა და გასწორების საკითხი მნიშვნელოვან ამოცანას წარმოადგენს. მოცემულ ნაშრომში შემოთავაზებულია ნეირონული ქსელით ამოცნობისას შეცდომების გამოვლენისა და გასწორების მეთოდი, რომელიც ემყარება ნეირონებში უკუკავშირის გამოყენებას, რის საშუალებითაც ნეირონები დებულობენ ინფორმაციას შეცდომის არსებობის შესახებ. შეცდომების გასწორება მოითხოვს ნეირონების პარამეტრების – წონითი კოეფიციენტების და თუ საჭიროა ზღურბლის სიდიდის ცვლილებას.

**ამოცნობის პროცესის აღწერა ფორმალური ნეირონის გამოყენებით**

როგორც ცნობილია ნეირონით ან ნეირონული ქსელით ამოცნობისას ვექტორი სახეთა სიმრავლიდან წარედგინება მათ შესასვლელზე, რის შემდეგაც ვექტორის კომპონენტები მრავლდება შესაბამის წონით კოეფიციენტებზე, ხდება მათი აჯამვა და მიიღება *NET* სიდიდე, რომლის საშუალებითაც განისაზღვრება აქტივაციის *F(NET)* ფუნქციის შესაბამისი მნიშვნელობა. მიღებული სიდიდე დარდება ნეირონის *Z* ზღურბლს, რის შედეგადაც მიიღება ნეირონის გამოსასვლელი *OUT*. თუ მიღებული შედეგი ნულის ტოლია, მაშინ ამოცნობა მცდარია; ხოლო თუ ერთის – სწორია (ჭეშმარიტია). თუ ნეირონის შესასვლელზე ამოსაცნობი ვექტორის, რეალიზაციის მოსვლას ავლნიშნავთ ტერმინით – წარდგინება (გრაფიკულად გამოვსახოთ „ $\Rightarrow$ “ სიმბოლოთი), ხოლო რაიმე მათემატიკური ოპერაციით მიღებულ შედეგს „ $\Rightarrow$ “ სიმბოლოთი, მაშინ ამოცნობის და გადაწყვეტილების მიღების პროცესი უცნობი რეალიზაციის წარდგინებისას კომპაქტურად შეიძლება ასე ჩაიწეროს:

$$X \Rightarrow Ne(W) \Rightarrow \sum_n x_n w_n \Rightarrow F(NET) \Rightarrow Z \Rightarrow OUT = \{0; 1\} \quad (1)$$

I. *OUT* = 0, თუ *F(NET)* < *Z* - ამოცნობა არასწორია (მცდარია);

II. *OUT* = 1, თუ *F(NET)* ≥ *Z* - ამოცნობა სწორია. (2)

სადაც  $X = \{x_n\}$  ამოსაცნობი რეალიზაციაა; *Ne(W)* - ნეირონების სიმრავლე  $W = \{w\}$  წონითი კოეფიციენტებით;  $\sum_n x_n w_n$  ამაჯამავი ელემენტი;  $n = \overline{1, N}$ ;  $N = Card\{x_n\}$ .

აღვნიშნავთ, რომ ექსპერიმენტატორის დასკვნა ამოცნობის პროცესის სისწორის ან მცდარობის შესახებ, განსაკუთრებით, სწავლების პროცესის განხორციელებისას, შესაძლოა განსხვავებული იყოს (2) გამოსახულებით მოცემული ფორმალური პროცედურისგან, რასაც შემდგომში განვიხილავთ.

**სწორად ამოცნობის პროცესის აღწერა**

აღვნიშნოთ ამოსაცნობ სახეთა სიმრავლე *A* -თი, ხოლო ამ სიმრავლის ელემენტი *A<sub>i</sub>* -ით ( $A_i \in A$ ),  $i = \overline{1, I}$ ,  $I = Card\{A\}$ . ვთქვათ, *X<sub>i</sub>* წარმოადგენს *A<sub>i</sub>* სახის რეალიზაციას ( $X_i \in A_i$ ) და მისი  $x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}$ ,  $n = \overline{1, N}$  კომპონენტები ნამდვილი რიცხვებია.

სწორად ამოცნობის პროცესი შედგება ორი ნაწილისგან. პირველი, როცა ამოსაცნობი სახის რეალიზაცია წარედგინება ამ სახის ამომცნობ ნეირონს, მაგალი-

თად,  $X_i$  რეალიზაცია წარედგინება  $Ne_i(W_i)$  ნეირონს. ასეთ შემთხვევაში ვამბობთ, რომ  $X_i$  რეალიზაცია წარედგინება „თავისი“ სახის ნეირონს; და მეორე, როცა იგივე სახის  $X_i$  რეალიზაცია ამოსაცნობად წარედგინება უკვე „სხვისი“ სახის  $Ne_j(W_j)$  ნეირონს. ორივე შემთხვევა აღიწერება (1) და (2) გამოსახულებების გამოყენებით.

$$X_i \Rightarrow Ne_i(W_i) \Rightarrow \sum_n x_{ni} w_{ni} = NET_i \Rightarrow F(NET_i) \Rightarrow Z_i \Rightarrow OUT = 1; \quad X_i \in A_i \quad (3)$$

$$X_i \Rightarrow Ne_j(W_j) \Rightarrow \sum_n x_{ni} w_{ni} = NET_{ij} \Rightarrow F(NET_{ij}) \Rightarrow Z_j \Rightarrow OUT = 0; \quad X_i \notin A_j \quad (4)$$

სადაც  $i, j = \overline{1, I}, i \neq j$ . როგორც ვხედავთ, (3) გამოსახულებაში  $OUT = 1$ , ხოლო (4) გამოსახულებაში  $OUT = 0$ . მიუხედავად ამისა, ორივე შემთხვევაში ამოცნობა სწორია, რითაც ეს გამოსახულებები განსხვავდება (1) და (2) გამოსახულებებისგან.

**არასწორად ამოცნობის პროცესის აღწერა**

არასწორად ამოცნობისას ისევ განვიხილოთ ორი შემთხვევა: როდესაც რომელიმე სახის  $X_i$  რეალიზაცია წარედგინება „თავის“ ნეირონს და მეორე, როცა იგივე სახის  $X_i$  რეალიზაცია წარედგინება „სხვისი“ სახის ნეირონს. მაშინ არასწორი ამოცნობისას (3) და (4) ნაცვლად გვექნება (5) და (6) შემთხვევა:

$$X_i \Rightarrow Ne_i \Rightarrow NET_i \Rightarrow F(NET_i) \Rightarrow Z_i \Rightarrow OUT = 0; \quad X_i \notin A_i \quad (5)$$

$$X_i \Rightarrow Ne_j \Rightarrow NET_{ij} \Rightarrow F(NET_{ij}) \Rightarrow Z_j \Rightarrow OUT = 1; \quad X_i \in A_j \quad (6)$$

სადაც  $i, j = \overline{1, I}, i \neq j$ . როგორც ვხედავთ (5) და (6) გამოსახულებები აღწერს არასწორად ამოცნობის პროცესს და ამოცანა სწორედ ამ შეცდომების გასწორებაში მდგომარეობს.

**შეცდომის გასწორება „თავისი“ რეალიზაციის ამოცნობისას**

(2) გამოსახულების თანახმად (5) გამოსახულებით მიღებული შეცდომის გასწორებისთვის საჭიროა, რომ უტოლობას

$$\sum_n x_{ni} w_{ni} < Z_i \Rightarrow OUT = 0, \quad X_i \notin A_i \quad (7)$$

შეეცვალოს ნიშანი. ამის მიღწევა შესაძლებელია თუ ნეირონის წონითი კოეფიციენტებისთვის ისეთ მნიშვნელობებს შევარჩევთ, რომ უტოლობა  $F(NET_i) < Z_i$  ნიშანს შეიცვლის. ეს ნიშნავს, რომ ასეთი შერჩევის შედეგად შეიძლება მივიღოთ უტოლობა:

$$F(NET_i) \geq Z_i \Rightarrow OUT = 1; \quad X_i \in A_i \quad (8)$$

განვიხილოთ  $F(NET_i)$  აქტივაციის ფუნქციის მნიშვნელობის განსაზღვრის პროცესი.  $F(\cdot)$  ფუნქციას ეწოდება აქტივაციის ფუნქცია. საზოგადოდ, ასეთი ფუნქციები არაწრფივია. მაგრამ მათ აქვთ ერთი საერთო თვისება – ხასიათდებიან მონოტონურად ზრდადი, თითქმის წრფივი უბნის არსებობით (გარდა პერსეპტრონის აქტივაციის ფუნქციისა). ამიტომ წონითი კოეფიციენტების შერჩევისას შესაძლებელია, რომ დავრჩეთ ისევ აქტივაციის ფუნქციის წრფივ უბანზე, ანუ ჭეშმარიტია შემდეგი:

$$F(NET_i) = k \cdot NET_i = k \cdot \sum_n x_{ni} w_{ni}, \quad k > 0; \quad k = const \quad (9)$$

(9) გამოსახულების ჭეშმარიტების შემთხვევაში  $k$  სიდიდე წარმოადგენს მასშტაბირების კოეფიციენტს, რომელიც შეიძლება შეიცვალოს წონითი კოეფიციენტების შეთანადების (სწავლების) პროცესში. ამიტომ თუ მივიღებთ, რომ  $k = 1$ , მაშინ (9) მიიღებს ასეთ სახეს:

$$F(NET_i) = \sum_n x_{ni} w_{ni} \quad (10)$$

შესაბამისად (7) გამოსახულების ნაცვლად გვექნება:

$$\sum_n x_{ni} w_{ni} \geq Z_i \Rightarrow OUT = 0; \quad X_i \notin A_i$$

ამოცნობის შეცდომა გამოსწორდება თუ (7) ანუ (10) ნაცვლად მივიღებთ (8) გამოსახულებით მოცემული უტოლობას:

$$\sum_n x_{ni} w_{ni} \geq Z_i \Rightarrow OUT = 1; \quad X_i \in A_i \quad (11)$$

(10)-დან (11)-ის მიღება შესაძლებელია  $W_i = \{w_{ni}\}$  წონითი კოეფიციენტების გაზრდით. ამისთვის საჭიროა, რომ წონით კოეფიციენტებს მივანიჭოთ საწყისი მნიშვნელობები. დავეუშვათ რომ  $A_i$  სახის რეალიზაციათა სიმრავლეში გვაქვს ამ სახის რეალიზაციათა სასწავლო ქვესიმრავლე  $\{X_i\}$ , რომელთათვისაც სრულდება

პირობა  $Card\{X_i\} = M_i$ .  $w_{ni}$  წონითი კოეფიციენტების საწყისი მნიშვნელობები გამოთვალეთ სასწავლო ნაკრების რეალიზაციათა (ვექტორთა) კორდინატების საშუალებით;

$$w_{ni} = \frac{1}{M_i} \sum_m x_{ni}^m; \quad n = \overline{1; N}; \quad i = \overline{1; N} \quad (12)$$

(12) პროცედურის განხორციელებით ნებისმიერი სახის ნეირონისთვის, მაგალითად  $A_i$  -თვის, ვიღებთ  $\{w_{ni}\}$  წონით კოეფიციენტებს, რომელთა მნიშვნელობები მოთავსებულია  $[\min x_{ni}; \max x_{ni}]$  დიაპაზონში. წონითი კოეფიციენტების გაზრდა შესაძლებელია თანდათანობით, რეკურენტული პროცედურის გამოყენებით და ევრისტიკულად, ანუ ერთბაშად, რაიმე მუდმივი რიცხვის მიმატებით. გაზრდის ანუ დაჯილდოების პროცედურა ჩავატაროთ წონითი კოეფიციენტებისთვის, რომელთა მნიშვნელობები მიახლოებულია ან ტოლია  $\max x_n$ , რაც ნიშნავს, რომ ეს მახასიათებლები ამ სახისთვის დანარჩენზე მნიშვნელოვანია მოცემული სახისთვის. განვიხილოთ რეკურენტული პროცედურა:

$$w_{ni} = [\beta + 1] = w_{ni}[\beta] + \Delta w, \quad \beta = 1, 2, 3, \dots \text{ ბიჯის ნომერია} \quad (13)$$

თუ გამოვიყენებთ (13) იტერაციას, საჭირო გახდება  $\Delta w$  -შერჩევა, რაც უნდა მოხდეს საწყისი წონითი კოეფიციენტების მხედველობაში მიღებით. იტერაციის ყოველ ბიჯზე შედეგს ვამოწმებთ (11) გამოსახულებით. ბიჯების რაოდენობას ვზრდით მანამ, სანამ (11) უტოლობა გახდება ჭეშმარიტი, რაც შეესაბამება შეცდომით ამოცნობილი რეალიზაციის ხელმეორედ წარდგენას ამოსაცნობად, როცა წინა ბიჯზე მიღებული წონითი კოეფიციენტების მნიშვნელობები გადადის უცვლელად შემდეგ ბიჯზე.

წონითი კოეფიციენტების ის მნიშვნელობები, როდესაც (11) უტოლობა ხდება ჭეშმარიტი, აღვნიშნოთ  $w_{ni}^*$ -ით, მაშინ გვექნება:

$$\sum_n x_{ni}^m w_{ni}^* \geq Z_i \Rightarrow OUT = 1; \quad X_i \in A_i; \quad n = \overline{1; N}; \quad i = \overline{1; I}; \quad m = \overline{1; M_i} \quad (14)$$

(14) გამოსახულების ჭეშმარიტება ნიშნავს, რომ შეცდომა ამოცნობაში გასწორებულია. “ $i$ ” და “ $m$ ” ინდექსების ცვლილებები გვიჩვენებს, რომ შეცდომების გამოსწორება შესაძლებელია სასწავლო ნაკრების ყველა  $M_i$  რეალიზაციისათვის და  $A$  სიმრავლის ყველა სახისათვის.

(14) გამოსახულებით მოცემული შეცდომების გასწორების ალგორითმი არ ცვლის სხვა სახეების ნეირონების წონითი კოეფიციენტების ცვლილებებით მიღებული სწორი ამოცნობის შედეგებს. იმ ფაქტიდან გამომდინარე, რომ წონითი კოეფიციენტების ცვლილებისას ვიყენებთ მხოლოდ „დაჯილდოების“ (13) პროცედურას; თუ ნეირონების ზღურბლების საწყის მნიშვნელობებზე ავირჩევთ ტოლ სიდიდეებს:

$$Z_i = Z_j; \quad i, j = \overline{1; I}; \quad i \neq j \quad (15)$$

მაშინ (14) და (15) პროცედურების გამოყენება საშუალებას გვაძლევს სახეთა სიმრავლის ყველა სასწავლო ნაკრების რეალიზაციები ამოვიცნოთ უშეცდომოდ, ისე რომ წინათ მიღებული ამოცნობის სწორი შედეგები არ შეიცვალოს.

**შეცდომების გასწორება „სხვისი“ სახის რეალიზაციების ამოცნობისას**

არასწორად ამოცნობის პროცესი აღიწერება (5) და (6)-ის საშუალებით. განვიხილოთ (5), სადაც  $NET_i$ -ის ნაცვლად ჩაწეროთ მისი გამოსახულება (7)-ის მიხედვით

$$\sum_n x_{ni} w_{ni} < Z_i; X_i \notin A_i, i = \overline{1; I}. \quad (16)$$

სადაც შეცდომის გასასწორებლად საჭიროა, რომ (16) შეიცვალოს უტოლობის ნიშანი, რაც შეიძლება გაკეთდეს  $w_{ni}$  წონითი კოეფიციენტების გაზრდით, ზემოთაღწერილი „დაჯილდოების“ მეთოდის გამოყენებით.

განვიხილოთ (6) გამოსახულების მარჯვენა ნაწილი:

$$NET_{ij} = \sum_n x_{nj} w_{nj} \geq Z_j \Rightarrow X_i \in A_j; j, i = \overline{1; I}; i \neq j \quad (17)$$

დაშვებული შეცდომის გასასწორებლად საჭიროა ზღურბლის გაზრდა, ან  $w_{nj}$  წონითი კოეფიციენტის შემცირება. იმის გამო, რომ, პირობის თანახმად, ვსარგებლობთ მხოლოდ „დაჯილდოების“ პროცედურით, ამიტომ ავირჩიოთ ნეირონის ზღურბლის, იტერაციულად გაზრდის პროცედურით, (13) გამოსახულება, სადაც წონითი კოეფიციენტების ნაცვლად გვაქნება ზღურბლის მნიშვნელობა:

$$Z_i[a+1] = Z_i[a] + \Delta Z; \Delta Z > 0; i = \overline{1; I} \quad (18)$$

ნეირონის ზღურბლის საჭირო მნიშვნელობა, რომლის დროსაც (17) უტოლობის ნიშანი შეიცვლება საწინააღმდეგოდ, აღნიშნოთ  $Z_i^*$ -ით, გვაქნება:

$$\sum_n x_{ni} w_{nj} < Z_i \Rightarrow X_i \notin A_j; i, j = \overline{1; I}; i \neq j \quad (19)$$

რადგან სახის ნეირონი ერთია, რომელსაც აქვს ერთი ზღურბლი, ამიტომ, თუ დავუშვებთ სახის ნეირონის ზღურბლის გაზრდას  $Z_i^*$  სიდიდემდე, მაშინ შეცდომები შეიძლება მივიღოთ „თავისი“ რეალიზაციების ამოცნობაში, კერძოდ, ასეთი შესაძლებლობები გაჩნდება იქ, სადაც სრულდება პირობა:  $Z_i^* > Z_i$ .

უფრო ზუსტად იმ ნიშანთვისებების გასარკვევად, რომლებზედაც უნდა ჩატარდეს დაჯილდოების პროცედურა, საჭიროა ამოცნობის ექსპერიმენტის ჩატარება იმ სახეთა რეალიზაციებისათვის, (ხელმეორედ წარდგენა) რომლებისთვისაც სრულდება ზემოთ აღნიშნული უტოლობა. შეცდომის არსებობის შემთხვევაში უნდა გავიმეოროთ (7)–(15) პროცედურები.

**ნიშანთვისებათა შეფასება უშეცდომო ამოცნობის კრიტერიუმის მიხედვით**

ნიშანთვისებათა შეფასებისთვის ძირითადად გამოიყენება კლასტერიზების მეთოდები, მაგალითად „რანგული კავშირების თეორია“ [3], [2], რომლის საშუალებით ხდება კლასტერების არსებობის დადგენა თითოეული სახისათვის, მათი განმხოლოების (კომპაქტურობის) ან თანაკვეთის (არაკომპაქტურობის) ხარისხის დადგენა და ა.შ. ჩვენ შემთხვევაში, გვაქვს ამოცნობის პროცესი ფორმალური ნეირონის (ნეირონების) გამოყენებით, ამიტომ, ნიშანთვისებათა შეფასებისათვის ვიყენებთ მხოლოდ ნეირონებში გამოყენებულ სწორად ამოცნობის კრიტერიუმს.

სწორად ამოცნობის კრიტერიუმი გულისხმობს იმ ნიშნების დადგენას, რომელთა ცვლილება უზრუნველყოფს სწორად ამოცნობას, ან თუ ამოცნობა მცდარია, შეცდომის გასწორებას.

$X_i \in A_i$  ამოცნობის პროცესი  $Ne_j$  ნეირონით აღწერილია (3)-ით. ამოცნობის პროცესში ძირითადია  $NET_i$  სიდიდის მიღება, რომელიც შეიძლება გამოვიყენოთ  $F(NET_i)$  სიდიდის ნაცვლად (9), ამოცნობის საბოლოო შედეგის  $OUT$ -ის მისაღებად. შემდგომში მივიღებთ, რომ ნეირონის წონითი კოეფიციენტების ცვლილებები ხდება აქტივაციის ფუნქციის  $F(\cdot)$  წრფივ უბანზე (9).

(9)-ით მიღებული დაშვებების გათვალისწინებით, ამოცნობის პროცესის შედეგი სწორია, თუ სრულდება უტოლობა (11):

$$NET_i = \sum_n x_{ni} w_{ni} \geq Z_i \Rightarrow OUT = 1 \Rightarrow X_i \in A_i; i = \overline{1; I} \quad (20)$$

(20)-ში მოცემული  $NET_i$  სიდიდის მნიშვნელობა განისაზღვრება  $x_{ni}w_{ni}$  წევრების ჯამით. იმისთვის, რომ შესრულდეს (20) უტოლობა, საჭიროა ჯამის მნიშვნელობა იყოს რაც შეიძლება მეტი. იმის გამო, რომ ნიშან-თვისებების მნიშვნელობების შეცვლა არ შეიძლება, უნდა შევცვალოთ  $w_{ni}$  წონითი კოეფიციენტები. ამისთვის ავირჩიოთ წონითი კოეფიციენტების საწყისი მნიშვნელობები რეალიზაციათა სასწავლო სიმრავლის გამოყენებით. მივიღოთ მხედველობაში, რომ  $Card\{X_i\} = M_i$ . თუ  $X$  სიმრავლის ელემენტებს აღვნიშნავთ  $X_i^m \in \{X_i\}$ , ხოლო  $X_i^m$  კოორდინატებს  $x_{ni}^m$ , მაშინ წონითი კოეფიციენტების საწყისი მნიშვნელობებისათვის გვექნება:

$$w_{ni} = \frac{1}{M_i} \sum_m x_{ni}^m; \quad m = \overline{1; M_i}; \quad i = \overline{1; I}; \quad n = \overline{1; N} \quad (21)$$

(21)-ის განხორციელებით, მივიღებთ თითოეული  $A_i$  სახისა და ნეირონის საწყისი წონითი კოეფიციენტების ვექტორების  $W_i$  სიმრავლეს, რომლის კოორდინატები  $w_{ni}$  წარმოადგენენ ობიექტურ სიდიდეებს, რადგან, მიღებული არიან ნიშანთვისებათა გაზომვის შედეგების გადამუშავებით.

ცხადია, რომ რაც მეტია  $w_{ni}$  -ის მნიშვნელობა (20) გამოსახულებაში, მით მეტია მისი წვლილი  $NET_i$  სიდიდის მიღებაში და სწორი ამოცნობის საიმედოობის გაზრდაში. წონითი კოეფიციენტების შესაფასებლად დავადგინოთ მათი მნიშვნელობათა ქვედა ზღვარი, რომლის მიხედვითაც შეგვიძლია შევაფასოთ მოცემული ნიშან-თვისების მნიშვნელობა, ანუ მისი წვლილი  $NET$  სიდიდის ფორმირებაში. ქვედა ზღვარი, სიდიდე  $U_i$ , ავირჩიოთ ნიშან-თვისებები წონითი კოეფიციენტების მაქსიმალური მნიშვნელობის მიხედვით:

$$U_i = a \cdot \max w_{ni}; \quad 1 > a > 0; \quad i = \overline{1, I} \quad (22)$$

სადაც  $U_i$  არის  $Ne_i$  ნეირონის წონითი კოეფიციენტების მნიშვნელობათა ქვედა ზღვარი.

**განსაზღვრება 1:**  $A_i$  სახის ნიშან-თვისება  $x_{ni}$  მნიშვნელოვანია (აუცილებელია) მოცემული სახისათვის, თუ მისი გაზომვით მიღებული სიდიდე მეტია ან ტოლია წონითი კოეფიციენტების ქვედა ზღვრის:  $x_{ni} \geq U_i$

დავუშვათ, რომ განსაზღვრება 1-ით მოცემულ პირობას აკმაყოფილებს  $N_1 \geq N$  რაოდენობის ნიშან-თვისება. გამოვთვალოთ ახალი წონითი კოეფიციენტები (21)-ის მიხედვით:

$$\overline{w_{ni}} = \frac{1}{M_{1i}} \sum x_{ni}^{m_1}; \quad m_1 = \overline{1; M_{1i}}; \quad i = \overline{1; I} \quad (23)$$

სადაც  $M_{1i}$  არის იმ რეალიზაციათა რაოდენობა, სადაც განხორციელდა 1 განსაზღვრებით მიღებული უტოლობა.

ცხადია, რომ  $\overline{w_{ni}} \geq w_{ni}$ , ამიტომ  $w_{ni}$  -ის გამოყენებით (20) გამოსახულებაში, უტოლობა გაძლიერდება, რაც ნიშნავს, რომ სწორი ამოცნობის საიმედოობა გაიზრდება. იმ შემთხვევაში, თუ ამოცნობა მცდარია, რაც ნიშნავს, რომ  $NET_i < Z_i$ . უფრო ზუსტად, იმ ნიშან-თვისებების გასარკვევად, რომლებზედაც უნდა ჩატარდეს დაჯილდოების პროცედურა, საჭიროა ამოცნობის ექსპერიმენტის ჩატარება იმ სახეთა რეალიზაციებისთვის (ხელმეორედ წარდგენა), რომლებისთვისაც სრულდება ზემოთ აღნიშნული უტოლობა. შეცდომის არსებობის შემთხვევაში უნდა გავიმეოროთ (7) – (15)-ით განსაზღვრული პროცედურები.

ასეთი შეცდომა შეიძლება გასწორდეს. შეცდომის ვერ გამოსწორების შემთხვევაში უნდა ვისარგებლოთ (7)–(15) ალგორითმით, სადაც დავაჯილდოებთ განსაზღვრება 1-ით დადგენილ ნიშანთვისებებს. (22) და (23)-ის საშუალებით ნიშან-თვისე-

ბათა სიმრავლიდან შესაძლებელია იმ ქვესიმრავლის გამოყოფა, რომელიც მნიშვნელოვანი და საჭიროა მოცემული სახის რეალიზაციების სწორად ამოცნობისთვის.

განვიხილოთ ნიშან-თვისებათა განსაზღვრის მეთოდი და ალგორითმი, რომელიც საშუალებას მოგვცემს გვაძლევს გამოვასწოროთ შეცდომით ამოცნობის შედეგი, რომელსაც შეიძლება გვქონდეს ერთი სახის, მაგალითად  $X_i$  რეალიზაციის წარდგენისას სხვა სახის  $Ne_j$  ნეირონისთვის. (21)-ის მიხედვით გვექნება

$$NET_{ij} = \sum_{n_2} x_{n_2}^m \geq Z_j \Rightarrow X_i \in A_j; \quad i, j = \overline{1, I}; \quad i \neq j \quad (24)$$

შეცდომის გასწორებისათვის საჭიროა, რომ (24)-ში შეიცვალოს უტოლობის ნიშანი საწინააღმდეგოთი, რისთვისაც, უნდა შემცირდეს უტოლობის მარჯვენა ნაწილი. შემცირება შესაძლებელია ორი გზით:

1.  $w_{nj}$  წონითი კოეფიციენტების შემცირებით, რამაც შეიძლება გამოიწვიოს შეცდომები „თავისი“  $X_j$  რეალიზაციების ამოცნობისას; აქედან გამომდინარე, ამ მეთოდით ვერ ვისარგებლებთ იმის გამო, რომ პირობის მიხედვით ვსარგებლობთ მხოლოდ დაჯილდოების პროცედურით.

2. განვიხილოთ წონითი კოეფიციენტების ჯამის, ანუ  $NET_{ij}$  სიდიდის შემცირების მეთოდი, რომელიც აღწერილი იყო (22) და (23)-ით. დაუშვათ, რომ დავადგინეთ  $w_{nj}$  წონითი კოეფიციენტის ქვედა ზღვარი –  $U_i$  და განსაზღვრება 1-ის გამოყენებით მნიშვნელოვან ნიშან-თვისებათა ნუსხა  $A_j$  სახისა და  $Ne_j$  ნეირონის წონითი კოეფიციენტებისთვის. (23)-ის გამოყენებით გამოვთვალოთ წონითი კოეფიციენტები:

$$\overline{w_{nj}} = \frac{1}{M_{2j}} \sum_{n_2} x_{n_2}^{m_2}; \quad m_2 = \overline{1; M_{2j}}; \quad n_2 = \overline{1; N_2}; \quad j = \overline{1; I} \quad (25)$$

სადაც  $x_{n_2}^{m_2}$   $Ne_j$  ნეირონის წონითი კოეფიციენტების მნიშვნელოვანი ნიშან-თვისებებია.  $M_{2j}$  იმ რეალიზაციების რაოდენობა, რომლებისთვისაც ხორციელდება (22) პირობა;  $N_2$  იმ ნიშან-თვისებათა რაოდენობა, რომლებისთვისაც სამართლიანია განსაზღვრება 1, ანუ უტოლობა  $n_2 \geq U_j$ .

(24)-ში  $NET_{ij}$  სიდიდის გამოსათვლელად  $w_{nj}$  -ის ნაცვლად ჩავსვათ მისი შეფასება (25)-ის მიხედვით. მივიღებთ:

$$NET_{ij} = \sum_{n_2} x_{n_2} \overline{w_{nj}}; \quad i, j = \overline{1; I}; \quad i \neq j; \quad N_2 \leq N \quad (26)$$

იმის გამო, რომ (26)-ში აჯამება ხდება  $n_2$  ინდექსით, ხოლო სავარაუდოდ, როგორც წესი,  $N_2 \ll N$ , შესაბამისად (26)-ში შესაკრებთა რაოდენობა მცირდება  $(N - N_2)$  -ით, რამაც შეიძლება (24)-ში გამოიწვიოს უტოლობის ნიშნის შეცვლა საწინააღმდეგოთი:

$$NET_{ij} < Z_i \Rightarrow X_i \notin A_j \quad (27)$$

იმ შეთხვევაში, თუ (24)-ში უტოლობის ნიშანი არ შეიცვალა, მაშინ უნდა ვისარგებლოთ (16)-(19) პროცედურებით, ანუ მოვახდინოთ ზღურბლის გაზრდა, რომლის საკომპენსაციოდ საჭიროა წონითი კოეფიციენტის გაზრდაც. იმისათვის, რომ  $w_{ni}$  კოეფიციენტების გაზრდისას არ მოხდეს ახალი შეცდომების წარმოშობა  $\{X_j\}$  რეალიზაციების ამოცნობისას, დასაჯილდოებელი ნიშან-თვისებების განსაზღვრისას ვისარგებლოთ ქვემოთ აღწერილი პროცედურით.

დაუშვათ, რომ  $A_i$  და  $A_j$  სახეების  $Ne_i$  და  $Ne_j$  ნეირონებისთვის წონითი კოეფიციენტების ვექტორები  $w_i(\overline{w_i})$  და  $w_j(\overline{w_j})$  გამოთვლილია (21) და (22)-ის მიხედვით.

მათი საშუალებით შევადგინოთ ბინარული ვექტორები  $Q_i$  და  $Q_j$ , რომელთა ელემენტები აკმაყოფილებენ პირობას:

$$q_{ni}, q_{nj} = \{0;1\}$$

ცხადია, რომ  $Q_i$  და  $Q_j$  ვექტორებს ისეთივე განზომილება იქნებათ რაც  $w_i$  და  $w_j$ . დავეუშვათ, რომ  $A_i$  სახის  $X_i$  რეალიზაციის ამოცნობისას შეცდომას ვიღებთ  $A_j$  სახის  $Ne_j$  ნეირონზე. დასაჯილდოებელ ნიშან-თვისებად ავირჩიოთ  $\overline{w_{ni}}$ -ის შესაბამისი  $x_{ni}$ , რომლისთვისაც სრულდება პირობა:

$$q_{ni} = 1 \cap q_{nj} = 0; \quad i, j = \overline{1;I}; \quad i \neq j \quad (28)$$

თუ  $X_j$  რეალიზაციის ამოცნობისას შეცდომას ვიღებთ  $Ne_i$  ნეირონზე, მაშინ შეცდომის გასასწორებლად ავირჩიოთ  $w_{nj}$ -ის შესაბამისი  $x_{nj}$ , რომლისთვისაც შესრულდება პირობა:

$$q_{nj} = 1 \cap q_{ni} = 0; \quad i, j = \overline{1;I}; \quad i \neq j \quad (29)$$

ორივე შემთხვევაში მოხდება (27) უტოლობის გაძლიერება ისე, რომ არ შეიცვალოს (20) უტოლობით მიღებული ამოცნობის შედეგები.

#### დასკვნა

ამოცნობისას დაშვებულია შეცდომები, რომელთა გამოსწორებისათვის შემუშავებულია თეორიული და ალგორითმული საშუალებები. თეორიული კვლევების სიმარტივისათვის დაშვებულია, რომ თითოეული სახის ამოსაცნობად გამოყოფილია ერთი ნეირონი, რაც ნიშნავს რომ ამომცნობი ნეირონების რაოდენობა ტოლია ამოსაცნობი სახეების რაოდენობის. სახეები წარმოდგენილია ნიშანთვისებათა სივრცეში გაზომილი ნამდვილრიცხვებიანი ვექტორების – რეალიზაციების კოეფიციენტებით. ყველა სახეების რეალიზაციები თანაბარგანზომილებიანებია. რეალიზაციების ნაწილი გამოიყენება როგორც სასწავლო სიმრავლე ნეირონის საწყისი წონითი კოეფიციენტებისა და ნეირონის ზღურბლის სიდიდეების ფორმირების და შემდგომ მათი საჭიროებისდა მიხედვით ცვლილებებისთვის.

#### ლიტერატურა

1. O.Verulava, Error-Correction of Recognition in the Process of Neuron Learning, American Journal of Intelligent Systems, p-ISSN: 2165-8978 e-ISSN: 2165-8994 ; 2015; 5(3): p: 92-96.
2. R. Khurodze, Development of the Learning Process for the Neuron and Neural Network for Pattern Recognition, American Journal of Intelligent Systems, p-ISSN: 2165-8978 e-ISSN: 2165-8994 ; 2015; 5(1): p: 34-41.
3. O.Verulava, R.Khurodze, T.Todua, O.Tavdishvili, T.Zhvania, Prediction of the Recognition Reliability using Clustering Results, International Journal on Computer Science and Engineering Vol.1(3), 2009, p:196-198.

#### SUMMARY

#### FORMATION OF THE NEURAL NETWORK FOR THE PROCESS OF LEARNING

Verulava O.G., Chkhaidze M.N. and Tavdishvili O.S.

Georgian Technical University

The learning process of formal neuron, error-correction of recognition through the correction of weight coefficients and neuron threshold is considered. Original description of the recognition process by the formal neuron is offered. Recognition procedure via formal neurons is used for the description of patterns, error correction and for the realization of the feature evaluation algorithms. As needed during the learning process the evaluation of the isolated feature or the whole feature space are carried out according to the correct recognition criterion. Initial descriptions-templates of patterns are chosen; according to the results of recognition change-correction of initial descriptions take place; if result of recognition is correct, description will not be changed, if recognition is wrong, then the error will be corrected. The Error-correction algorithm is an iterative procedure where every step begins by presenting for recognition of an unknown realization and finishes according to the result of recognition through the procedures of rewarding or non-rewarding.

In the beginning of learning Algorithm is performed formation of descriptions for the considered pattern through the realizations of initial descriptions and learning set; then formation of the final descriptions through the descriptions of the other patterns and their realizations is performed.

**Key words:** Neural Network; Learning; Recognition.

## ერთობლივი ბაზომეგობის შეფუძნების აპროქსიმაცია MATLAB-ის გამოყენებით

დარასელია ნ.მ., ჭოსონელიძე მ.თ.

## საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

პრაქტიკულ მეტროლოგიაში ხშირად საჭიროა ორი ან რამდენიმე განსხვავებული ფიზიკური სიდიდის ერთდროულად გაზომვა, მათ შორის დამოკიდებულების დადგენის მიზნით. დაგუშვით, საჭიროა დავადგინოთ  $x$ -სა და  $y$ -ს შორის დამოკიდებულების სახე  $y=f(x)$ . ამისათვის აუცილებელია, ვცვალოთ  $x$  სიდიდე და ყოველი მისი დადგენილი მნიშვნელობისათვის ერთდროულად ჩავატაროთ  $x$  და  $y$  სიდიდების გაზომვები. გაზომვების შედეგად მივიღებთ  $y=f(x)$  დამოკიდებულების კოორდინატების წყვილებს  $(x_i; y_i)$ , სადაც  $i=1, 2, \dots, n$ , ხოლო  $n$  – ერთობლივ გაზომვათა რაოდენობაა. ცხადია, ექსპერიმენტის შედეგად მიღებული  $x_i; y_i$  კოორდინატები განსხვავდება ჭეშმარიტი  $x; y$  კოორდინატებისაგან, გაზომვის სისტემატურ და შემთხვევით ცდომილებათა გამო. ამიტომ დგება ამოცანა,  $x_i; y_i$  კოორდინატების მიხედვით მოვახდინოთ  $y=f(x)$  ექსპერიმენტული დამოკიდებულების საუკეთესო აპროქსიმაცია.

როგორც ცნობილია, მსგავსი ამოცანების ამოხსნის ოპტიმალური საშუალებაა უმცირესი კვადრატების მეთოდი. მეთოდის არსი იმაში მდგომარეობს, რომ ყველაზე ალბათური იქნება საძიებელი ანალიზური დამოკიდებულების არგუმენტების ის მნიშვნელობები, რომელთათვისაც ფუნქციის ექსპერიმენტული  $y_i$  მნიშვნელობების  $y$  ფუნქციის ჭეშმარიტი მნიშვნელობებიდან გადახრის კვადრატების ჯამი იქნება უმცირესი:

$$\sum_{i=1}^n (y_i - y)^2 = \min \quad (1)$$

ჩვეულებრივ,  $y$  რამდენიმე არგუმენტის ფუნქციაა:  $y = f(x_1, \alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_m)$ , სადაც  $\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_m$  – მრავალწევრის უცნობი კოეფიციენტებია. მაშინ  $n$  რაოდენობის  $x_i; y_i$  ექსპერიმენტული წყვილების საფუძველზე საჭიროა განისაზღვროს საძიებელი  $m+1$  რაოდენობის არგუმენტი ანალიზური დამოკიდებულებისა, რომელიც ყველაზე უკეთ აღწერს  $y_i$  და  $x_i$  მასივს, ანუ ამ შემთხვევაში უმცირესი კვადრატების მეთოდი მოითხოვს შემდეგი პირობის შესრულებას:

$$\sum_{i=1}^n [y_i - f(x_i, \alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_m)]^2 = \min \quad (2)$$

გაზომვის შედეგების სტატისტიკური დამუშავებისას უმცირესი კვადრატების მეთოდის გამოყენება მოითხოვს შემდეგი პირობების გათვალისწინებას:

- არგუმენტების  $x_i$  მნიშვნელობები ზუსტადაა ცნობილი;
- გაზომვის  $y_i$  შედეგები ერთმანეთისაგან დამოუკიდებელია და შეიცავს მხოლოდ შემთხვევით მდგენელებს ერთი და იგივე დისპერსიით;
- $y_i$ -ის გაზომვათა ცდომილებები განაწილებულია ნორმალური კანონით.

პირველი პირობა მიახლოებით სრულდება  $x_i$ -ის  $y_i$ -ზე ნაკლები ცდომილებით გაზომვის ხარჯზე. მხოლოდ შემთხვევითი მდგენელების არსებობა მიიღწევა გაზომვის შედეგებიდან შესაძლო სისტემატური ცდომილებების გამორიცხვის გზით.

უმცირესი კვადრატების მეთოდით შეიძლება მოვახდინოთ სხვადასხვა ანალიზური დამოკიდებულების აპროქსიმაცია. მაგალითად, ეს დამოკიდებულება

შეიძლება წარმოდგენილი იყოს  $y = \alpha + bx + cx^2 + \dots + ex^n$  პოლინომის სახით, სადაც  $\alpha, b, c, \dots, e$  – მუდმივებია.

განვიხილოთ პრაქტიკული თვალსაზრისით მნიშვნელოვანი შემთხვევა, როცა

$$y = \alpha + bx \tag{3}$$

უმცირესი კვადრატების მეთოდის გამოყენებისას, აუცილებელია, ექსპერიმენტული  $(x_i; y_i)$  კოორდინატების  $n$  რაოდენობის წყვილთა კრებულიდან ვიპოვოთ უცნობი  $\alpha$  და  $b$  მუდმივების ისეთი შეფასებები, რომლის დროსაც მიიღება სწორი ხაზი, რომელიც საუკეთესოდ ასახავს ჭეშმარიტ გასაანალიზებელ (3) წრფეს, რომლის საკუთხო კოეფიციენტია  $b = tg\alpha$ , ხოლო ორდინატთა ღერძთან გადაკვეთს წერტილი –  $(0; \alpha)$ .

უმცირესი კვადრატების მეთოდის შესაბამისად,  $\alpha$  და  $b$ -ს საუკეთესო შეფასებებს შეესაბამება მინიმალური მნიშვნელობა შემდეგი გამოსახულებისა:

$$\sum_{i=1}^n (y_i - y)^2 = \sum_{i=1}^n [y_i - (\alpha + bx_i)]^2 \tag{4}$$

სადაც  $[y_i - (\alpha + bx_i)]$  არის  $y_i$  გაზომილი მნიშვნელობების გადახრა  $x = x_i$ -სათვის (3) ფორმულით გამოთვლილი მნიშვნელობებისაგან.

(4) ჯამი მინიმალურია, თუ მისი კერძო წარმოებულები  $\alpha$  და  $b$ -თი ნულის ტოლია:

$$\frac{\partial \sum_{i=1}^n [y_i - (\alpha + bx_i)]^2}{\partial \alpha} = 0 \quad \text{და} \quad \frac{\partial \sum_{i=1}^n [y_i - (\alpha + bx_i)]^2}{\partial b} = 0 \tag{5}$$

ამ ორი განტოლებისაგან შედგენილი სისტემის ამოხსნით ვპოულობთ  $\alpha$  და  $b$ -ს მნიშვნელობათა შეფასებებს:

$$\alpha = \frac{S_2 S_3 - S_1 S_4}{S_5}; \quad b = \frac{n S_4 - S_1 S_3}{S_5} \tag{6}$$

სადაც  $S_1 = \sum_{i=1}^n x_i$ ;  $S_2 = \sum_{i=1}^n x_i^2$ ;  $S_3 = \sum_{i=1}^n y_i$ ;  $S_4 = \sum_{i=1}^n x_i y_i$ ;  $S_5 = n S_2 - S_1^2$  (7)

$\alpha$  და  $b$ -ს გამოთვლილ მნიშვნელობათა ჭეშმარიტთან მიახლოების ხარისხი ფასდება მათი საშუალო კვადრატული გადახრებით (სკგ):

$$\sigma_\alpha = \sigma_y \sqrt{S_2/S_5}; \quad \sigma_b = \sigma_y \sqrt{n/S_5}$$

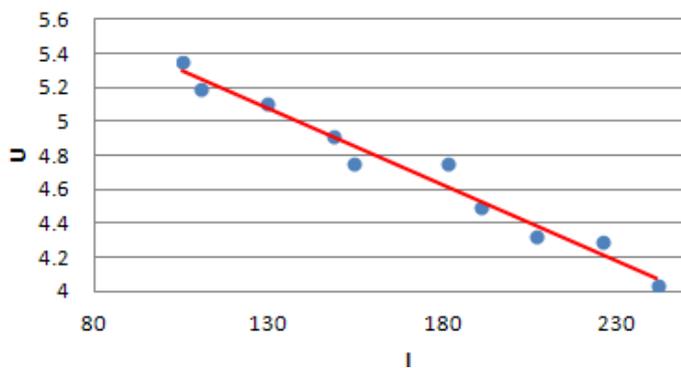
(8) აქ  $\sigma_y$  –  $y$  სიდიდის გაზომვის ცდომილების საშუალო კვადრატული გადახრა (სკგ), რომლის მნიშვნელობა შეიძლება ავიღოთ გამზომი საშუალების საპასპორტო მონაცემებიდან ან გამოვთვალოთ ფორმულით:

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [y_i - (\alpha + bx_i)]^2}{n - 2}} \tag{8}$$

(აქ  $n$  დაკვირვებათა რაოდენობაა, ხოლო  $2$  – უცნობი კოეფიციენტების რაოდენობა, ანუ ფესვის ქვეშ მნიშვნელში  $n-2$  არის თავისუფლების ხარისხი). (6) და (7) ფორმულებით გამოთვლების ჩატარება, ისევე, როგორც (8) და (9) ფორმულებით აპროქსიმაციის ცდომილების შეფასება, საკმაოდ შრომატევადი ამოცანაა, თუმცა, თანამედროვე კომპიუტერული ტექნოლოგიები, კერძოდ, პროგრამული პაკეტი MATLAB ამ გამოთვლების ავტომატიზების საშუალებას იძლევა. დავრწმუნდეთ ამაში.

**მაგალითი.** ერთ-ერთი გარდამქმნელის დატვირთვის მახასიათებლის ასაგებად 10-ჯერ გაზომეს გამოშავალი  $U_{გამ i,ვ}$  ძაბვისა და დატვირთვაში  $I_{დატ i,ა}$  დენის მნიშვნელობები. ( $i=1,2,\dots,10$  ინდექსი შეესაბამება მიმდინარე გაზომვას).  
ექსპერიმენტული მონაცემების ცხრილი ასე გამოიყურება:

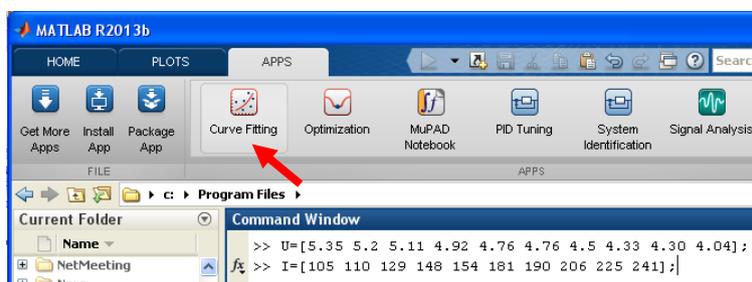
i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$U_{გამ i,ვ}$	5,35	5,2	5,11	4,92	4,76	4,76	4,5	4,33	4,30	4,04
$I_{დატ i,ა}$	105	110	129	148	154	181	190	206	225	241



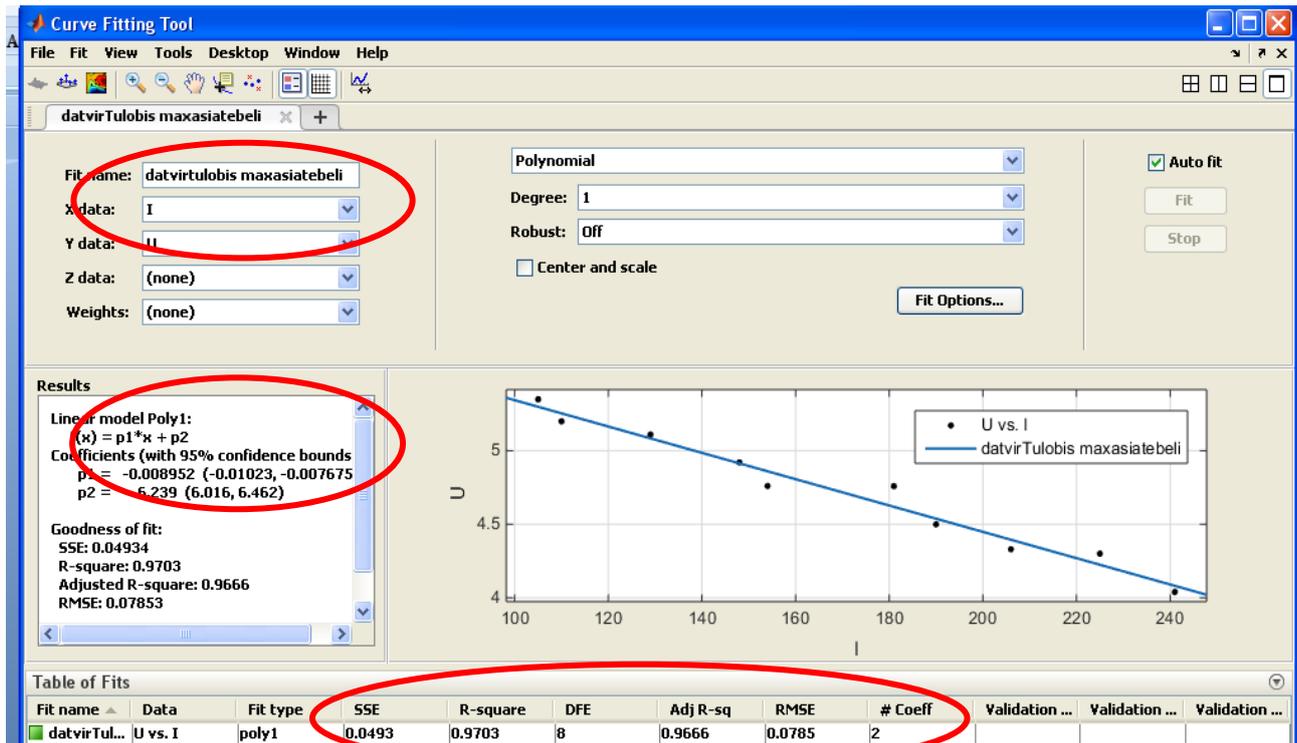
ნახ.1. ექსპერიმენტული წერტილების განლაგება

ექსპერიმენტული წერტილების განლაგებიდან (ნახ.1) ჩანს, რომ აპროქსიმაციის განტოლება შეიძლება იყოს პირველი ხარისხის პოლინომი  $U = \alpha + \beta I$ . მისი კონკრეტული სახის დასადგენად და ცდომილებათა შესაფასებლად მატლაბში (MatLab, ვერსია R2013b), ბრძანებათა ფანჯარაში (Command Window) შევიტანოთ ძაბვისა და დენის ძალის გაზომილი მნიშვნელობები ვექტორების სახით, შემდეგ გადავიდეთ APPS ჩანართში და ჩავერთოთ დიდაკი Curve Fitting (ნახ.2).

გამოსულ ფანჯარაში, შესაბამის ველებში, მივუთითოთ საჭირო მასივები (X data: I, Y data: U), აპროქსიმაციის ტიპი (Polynomial) და პოლინომის უმაღლესი ხარისხი (ჩვენს შემთხვევაში – 1, რადგან გვჭირდება წრფივი აპროქსიმაცია). შესაბამის ველში აისახება გრაფიკი ექსპერიმენტული წერტილებისა და საუკეთესო წრფივი აპროქსიმაციის გამოსახულებით.



ნახ.2 ვექტორები MatLab-ის ბრძანებათა ველში



ნახ.3. აპროქსიმაციის შედეგები

გულისხმობის პრინციპით, კოეფიციენტების განსაზღვრის სანდო ალბათობა 0.95%-ია (სანდოობის ეს ხარისხი სრულიად საკმარისია საინჟინრო პრაქტიკაში, მაგრამ საჭიროების შემთხვევაში იგი შეიძლება შევცვალოთ ლენტის Apps ჩანართის Curve Fitting Tools ფანჯარაში: ბრძანებათა თანმიმდევრობით: Tools □ Prediction Bounds □ Custom □ Confidence level.

პოლინომის (ამ შემთხვევაში, წრფივი განტოლების) კოეფიციენტები, 95%-იანი სანდო ალბათობით და შესაბამისი განუზღვრელობით, მითითებულია ღესულტს ველში:  $P1 = -0,008952 (-0,01023, -0,0076)$  და  $P2 = 6,239 (6,016, 6,462)$ . როგორც ვხედავთ, კოეფიციენტები გათვლილია ოთხი ნიშნადი ციფრის სიზუსტით, ანუ დატვირთვის მახასიათებლის განტოლებაა  $U_{გამ} = 6,239 - 0,008952 \cdot I_{ღატ}$ . ქვემოთ, მითითებულია რეგრესიული ანალიზის სტატისტიკური მახასიათებლები (ნახ.3).

**ლიტერატურა**

1. ლ. ფერაძე, მ. სორდია. პროგრამული პაკეტი MATLAB. -თბილისი, სტუ, 2012.
2. ლ. ფერაძე, დ. ბერიაშვილი. მოდელირება რადიო-სატელეკომუნიკაციო სისტემებში. -თბილისი, სტუ, 2016.
3. ნ. დარასელია, რადიოგაზომვები, ნ. უღრელიძის რედაქციით, თბილისი. სტუ, 2016 (ელექტრონული ვერსია).

**SUMMARY**

**APPROXIMATION OF EXPERIMENTAL DATA OBTAINED THROUGH JOINT MEASUREMENTS USING MATLAB**

**Daraselia N.M. and Chokhonelidze M.T.**  
**Georgian Technical University**

The paper discusses the possibility of searching for the functional dependence between two physical values based on the Least Squares (PLS) method by using programming package of MATLAB, with an acceptable error and reliable probabilities, by approximation of the experimental data obtained through joint measurements.

**Keywords:** experimental data, approximation, joint measurements, MATLAB, least squares method.

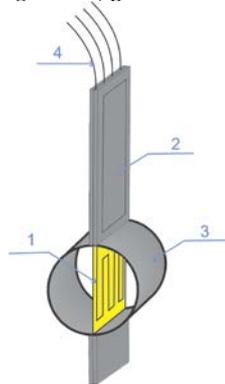
**აირადი ნაკადის სიჩქარის გაზომვი სითბური მიკროელექტრონული სენსორი  
იმპულსური კვებით**

ხაჩიძე თ.ი.

**საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი**

ენერგომეტრების და ტექნოლოგიური მასალების ხარჯვის ავტომატური კონტროლისა და ზუსტი დოზირებისათვის დიდი მნიშვნელობა აქვს მოძრავი აირადი ნაკადის სიჩქარის (დანახარჯის) გაზომვი სენსორების გამოყენებას. ფართოდ გამოიყენება სითბურ პრინციპზე დაფუძნებული თერმონემომეტრული სენსორები. მათ ტექნიკურ მახასიათებლებს ბევრად განაპირობებს გამოყენებული მგრძობიარე ელემენტის ტიპი და კონსტრუქცია. მავთულის თერმორეზისტორების შეცვლამ პლანარული ტექნოლოგიით დამზადებული მგრძობიარე ელემენტებით აღნიშნული სენსორების მასიური წარმოების და შესაბამისად თვითღირებულების შემცირების შესაძლებლობა მოგვცა. თუმცა ისეთი ძირითადი მახასიათებლები, როგორცაა გაზომვის დიაპაზონი და სწრაფმოქმედება არ გაუმჯობესებულა. წვრილ მავთულთან შედარებით მასიური პლანარული თერმორეზისტორები თერმონემომეტრულ სენსორებში გამოყენებისას ნაკადის დამატებითი პულსირებების წარმოქმნას იწვევენ შედარებით უფრო დაბალ სიჩქარეებზე და ამცირებენ გაზომვის დიაპაზონის ზედა ზღვარს [1].

შედარებით კარგი პარამეტრებით გამოირჩევა მეტალ-პოლიმერ სტრუქტურის მქონე თერმორეზისტორების ბაზაზე დამზადებული მგრძობიარე ელემენტები [2]. ამ ტიპის თერმორეზისტორები მზადდება მიკროელექტრონიკის პლანარული ტექნოლოგიით; გააჩნიათ მცირე სისქე ( $10^{-4}$  -  $10^{-5}$ მ); მდგრადობა აგრესიული გარემოსადმი; პარამეტრების სითბური და დროითი სტაბილურობა [3].



**თერმონემომეტრული დანახარჯმომზომის მგრძობიარე ელემენტი.**

- 1 - მეტალ-პოლიმერ სტრუქტურის მქონე გამზომი თერმორეზისტორი;  
2 - თერმომომპენსირებელი რეზისტორის განთავსების ადგილი; 3 - დამცავი არხი.

აირადი ნაკადის სიჩქარის გაზომვი თერმონემომეტრული სენსორისთვის დამუშავდა მგრძობიარე ელემენტის ახალი კონსტრუქცია მეტალ-პოლიმერ სტრუქტურის თერმორეზისტორების ბაზაზე. ამ კონსტრუქციაში გამზომი და თერმომომპენსირებელი რეზისტორებისაგან შემდგარი მატრიცა გაჭიმულია წრიული ფორმის დამცავ არხში, რომელიც ამავე დროს გამზომ თერმორეზისტორს მილის კედლებიდან წარმოქმნილი პულსაციებისაგან იცავს. ამ შემთხვევაში აირადი ნაკადი განჭოლავს მგრძობიარე ელემენტს რომლის სისქეც მეტალ-პოლიმერ სტრუქტურის თერმორეზისტორის სისქის ტოლია (30მკმ) (ნახაზი).

ასეთი კონსტრუქციის მგრძობიარე ელემენტი შესაძლებელია განხილული იქნას როგორც ორგანოზომილებიანი ბრტყელი ფირფიტა. თუ გამოვიყენებთ იძულებითი კონვექციის თეორიას ორგანოზომილებიანი ბრტყელი ფირფიტისთვის მივიღებთ დამოკიდებულებას სითბოგადაცემის სიმძლავრესა და ნაკადის სიჩქარეს შორის.

$$P = P_0 + kV^n \quad (1)$$

სადაც  $P$ -თერმორეზისტორზე გაბნეული სიმძლავრეა ნაკადით განჭოლვისას;  $P_0$ -თერმორეზისტორზე გაბნეული სიმძლავრეა ნაკადის ნულოვანი სიჩქარის დროს;  $k$ -კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია მგრძობიარე ელემენტის ზომებზე;  $V$ -ნაკადის სიჩქარეა,  $n=0,5$  და არ იცვლება ლამინარული ნაკადის პირობებში.

$P_0$ -ის არსებობა ართულებს თერმომომეტრის სტატიკურ მახასიათებელს, საწყის უბანზე ამახინჯებს ფუნქციონალური დამოკიდებულების სახეს, რაც მოითხოვს ამ უბნის გამორიცხვას გაზომვის დროს, ან დამატებით საკმაოდ რთულ ზომებს მისი გაწვრთვებისათვის. (1)-დან გამომდინარე შეგვიძლია დავწეროთ.

$$(P - P_0) / P_0 = k' V^n \quad (2)$$

სადაც  $k' = k / p_0$

თერმომომეტრული სენსორის სტატიკურ მახასიათებელს შეიძლება მივცეთ წრფივი სახე ლოგარითულ კოორდინატებში.

$$\lg[(P - P_0) / P_0] = \lg k' + n \lg V \quad (3)$$

სადაც  $\lg k'$ -ფუნქციის ორდინატის ღერძთან გადაკვეთს წერტილია;  $n$ -კუთხური კოეფიციენტი.

გაზომვის იმ დიაპაზონში სადაც  $n$ -ის მნიშვნელობა თითქმის უცვლელია, შესაძლებელია შეიქმნას რეალური ელექტრონული მოწყობილობები, რომელთა მუშა პარამეტრებს შორის დამოკიდებულება აღიწერება (3) ფორმულით.

თუ გავითვალისწინებთ, რომ ძაბვის გაზომვა უფრო ადვილია ვიდრე სიმძლავრისა და (3)-ს გარდაკვებით ომის კანონის გამოყენებით, მივიღებთ:

$$\lg[(U^2 - U_0^2) / U_0^2] = \lg k' + n \lg V \quad (4)$$

იმ შემთხვევაში, როდესაც გამომავალი სიგნალი განიცდის შემდგომ ციფრულ დამუშავებას, მიზანშეწონილია მისი იმპულსური წარმოდგენა. ამისთვის საჭიროა ძირითადი თერმორეზისტორის ტემპერატურა შევინარჩუნოთ არა მასზე მოდებული ძაბვის ამპლიტუდის ცვლილებით, არამედ მუდმივი ამპლიტუდისა და სიგანის მქონე იმპულსების მიწოდების სიხშირის ვარირებით. ამ შემთხვევაში (3) მიიღებს სახეს.

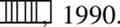
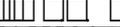
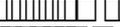
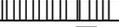
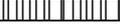
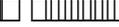
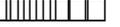
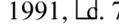
$$\lg[(f - f_0) / f_0] = \lg k' + n \lg V \quad (5)$$

სადაც  $f$ - იმპულსების მიწოდების სიხშირეა;  $f_0$ - იმპულსების საწყისი სიხშირეა.

როგორც (5) დამოკიდებულებიდან ჩანს იმპულსების სიხშირე გამზომ თერმორეზისტორზე დამოკიდებულია ნაკადის სიჩქარეზე და იმპულსების რაოდენობის დათვლა საშუალებას მოგვცემს დროის მოცემულ შუალედში განვსაზღვროთ დახარჯული აირის მოცულობა.

აღნიშნულ პრინციპზე აიწყო გამზომი სქემა, რომელშიც ჩაირთო თერმომომეტრული დანახარჯმზომი ზემოთ განხილული მგრძობიარე ელემენტი. ჩატარდა გაზომვები, რომლებმაც გვიჩვენა, რომ (5) დამოკიდებულებაზე განხორციელებული სქემა არა მარტო უფრო მარტივია არამედ უფრო მეტ სიზუსტესაც იძლევა გაზომვისას. გაზომვის დიაპაზონში (ჰაერის ნაკადისათვის) 0-30მ/წმ, გაზომვის ცდომილება (ძირითადი) იყო არა უმეტეს 2,5%.

**ლიტერატურა:**

1.          1990.
2.                   9, 1991, №. 70-71.
3. Chikovani R, Khachidze N, Khachidze T. Sensors of environmental parameters based on microelectronic technology. //Microsystems research & technology news, #1, 1997, pp.4-6.

**SUMMARY**

**THERMAL MICROELECTRONIC SENSORS OF AIR FLOW RATE MEASUREMENT WITH IULSE POWER**

**Khachidze T.I.**

**Georgian Technical University**

A novel sensor for thermomanometric flow metering presented. The sensor is 30 μm and can be considered a two-dimensional plate. In the sensor a method of pulse heating is employed. As a result, the flow rate depends on the pulse frequency, and not on the voltage. This, on its turn, facilitates digital processing of the output signal.

**Keywords:** thermal microelectronic sensor, flow metering, sensor pulse heating.

## СТАТИКА АБСОЛЮТНО ГИБКИХ СТЕРЖНЕЙ, НАГРУЖЕННЫХ СОСРЕДОТОЧЕННЫМИ СИЛАМИ В ПОТОКЕ ВОЗДУХА ИЛИ ЖИДКОСТИ

Арkania З.М.

Государственный университет Акакия Церетели, Кутаиси

Абсолютно гибкие стержни (шланги) (стержни у которых изгибные и крутильная жесткости равны нулю) имеют очень широкое распространение в самых различных областях техники. К абсолютно гибким стержням в прикладной механике принято относить провода линии электропередачи, шланги, использующиеся для перекачки жидкости, ленты в лентопротяжных механизмах, ленточные радиаторы, космические тросовые системы и т.д.

На рис. 1 - 4 показаны реальные конструкции, содержащие элементы, которые можно рассматривать как абсолютно гибкие стержни.

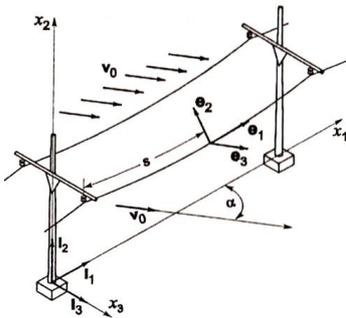


Рис.1

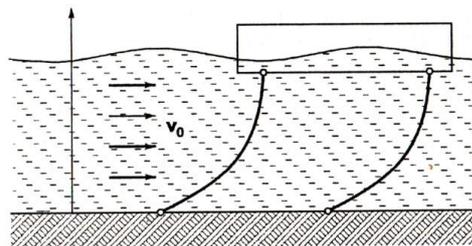


Рис.2

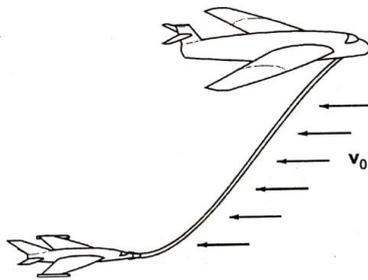


Рис.3

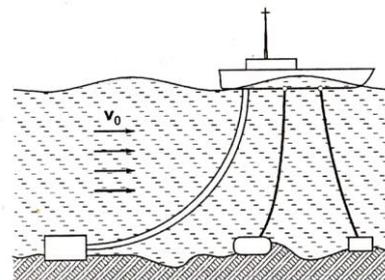


Рис.4

На рис.1 представлен участок линии электропередачи, находящейся в потоке воздуха; на рис.2 изображена морская платформа, положение которой фиксируется тросами.

На рис. 3 показана дозаправка самолёта в воздухе и шланг, по которому перекачивается горючее, можно рассматривать как абсолютно гибкий стержень.

На рис. 4 показан шланг, который используется для подъёма полезных ископаемых со дна моря.

При данных случаях на стержень одновременно действуют сосредоточенные силы и распределенные аэродинамические силы, поэтому ожидается существенное увеличение максимального значения напряжения в стержне, что может привести к аварии, поэтому работа посвященная методам расчета таких стержней, является интересной.

На рис. 5 и 6 представлена расчетная схема стержня, находящегося в потоке воздуха или жидкости. В первом случае (рис. 5), когда шланги нагружаются сосредоточенными силами  $\bar{P}_1 \dots \bar{P}_n$ . Во втором случае (рис. 6) (например, при подъёме грунта со дна моря) шланги, имеющие поплавки, нагружаются сосредоточенными силами Архимеда  $P_1 \dots P_n$ , действующими на поплавки конечных размеров. Поток жидкости, действующий на поплавки, вызовет сосредоточенные силы  $\bar{F}_1 \dots \bar{F}_n$  (рис. 6), которые при определении равновесной формы шланга и

натяжения необходимо учитывать: Оба рассмотренных случая с точки зрения алгоритма расчёта эквивалентны, так как, заменив на рис. 6 силы  $\bar{P}_j$  и  $\bar{F}_j$  их равнодействующими, получим шланг, нагруженный известными сосредоточенными силами  $P^{(1)} \dots P^{(n)}$ . Модули сил  $\bar{F}_1 \dots \bar{F}_n$  определяются экспериментально для каждой конкретной формы сосредоточенных масс. Для сферических тел направление векторов  $\bar{F}_j$  совпадает с направлением вектора скорости потока  $\bar{V}_0$ . Для других форм сосредоточенных масс, отличных от сферы, направление сил  $\bar{F}_j$  можно в зависимости от угла  $\alpha$  (рис. 6) определить экспериментально.

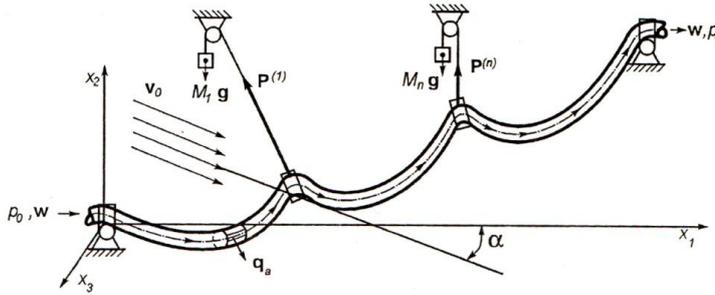


Рис.5

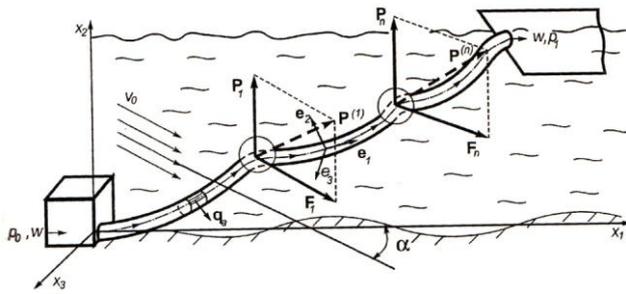


Рис.6

Для определения форм равновесия стержня и осевого усилия при действии внешнего потока жидкости и сосредоточенных сил (без учёта внутреннего потока) пользуемся уравнениями равновесия стержня на участках между точками приложения сосредоточенных сил, которые в безразмерной форме записи имеют вид:

$$\frac{dQ_{x_i}^{(j)}}{d\varepsilon} + q_{ax_i}^{(j)} - \delta_{2i} = 0$$

$$(i = 1, 2, 3), (j = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

$$\frac{dx_i^{(j)}}{d\varepsilon} = \frac{Q_{x_i}^{(j)}}{Q_1^{(j)}}$$

и уравнениями равновесия поплавков которые, в проекциях на декартовы оси координат имеют вид:

$$\begin{cases} -Q_{x_1}^{(j)}(\varepsilon_j) + Q_{x_1}^{(j+1)}(\varepsilon_j) + F_{(j)} \cos \alpha = 0 \\ -Q_{x_2}^{(j)}(\varepsilon_j) + Q_{x_2}^{(j+1)}(\varepsilon_j) + P^{(j)} = 0 \quad (j = 1, 2, \dots, n) \\ -Q_{x_3}^{(j)}(\varepsilon_j) + Q_{x_3}^{(j+1)}(\varepsilon_j) + F_{(j)} \sin \alpha = 0 \end{cases} \quad (2)$$

где  $Q_1 = Q_1(\varepsilon)$  - осевое усилие в стержне,  $Q_1^{(j)}(\varepsilon_j)$  и  $Q_1^{(j+1)}(\varepsilon_j)$  осевые усилия в стержне соответственно в конце j-ого участка и начале (j+1) участка стержня.  $P^{(k)}(k = 1, 2, \dots, n)$  - сосредоточенные силы,  $\varepsilon$  - безразмерная дуговая координата,  $\varepsilon_k(k = 1, 2, \dots, n)$  дуговые координаты точек приложения сосредоточенных сил,  $\delta_{2i}$  символ Кронекера,  $q_a^{(j)}$  - аэродинамическая (гидродинамическая) распределенная нагрузка,  $x_i$  декартовы координаты точки осевой линии шланга (стержня).

Гидродинамические силы  $F_j$  для сферических поплавков имеют вид:

$$F_j = \frac{1}{8} \frac{c_{xB} v_0^2 \pi D_k^2}{m_1 g l}$$

где  $D_k$  диаметр поплавка,  $B$  плотность воздуха или жидкости.

Проекции гидродинамических распределенных сил для случая, когда вектор скорости потока  $v_0$  параллелен плоскости  $x_1 O x_3$ , равны:

$$\begin{aligned} q_{\alpha x_1} &= q_{n0} \sin \varphi_\alpha \left( \cos \alpha - \frac{dx_1}{ds} \cos \varphi_\alpha \right) + q_{10} \cos^2 \varphi_\alpha \frac{dx_1}{ds}; \\ q_{\alpha x_2} &= -q_{n0} \sin 2\varphi_\alpha \frac{dx_2}{ds} + q_{10} \cos^2 \varphi_\alpha \frac{dx_1}{ds}; \\ q_{\alpha x_3} &= q_{n0} \sin \varphi_\alpha \left( \sin \alpha - \frac{dx_3}{ds} \cos \varphi_\alpha \right) + q_{10} \cos^2 \varphi_\alpha \frac{dx_3}{ds} \end{aligned}$$

где  $\cos \varphi_\alpha = \frac{dx_1}{ds} \cos \alpha + \frac{dx_3}{ds} \sin \alpha$

$$q_{n0} = \frac{1}{2} \frac{c_{nB} dv_0^2}{m_1 g} q_{10} = \frac{1}{2} \frac{c_{1B} dv_0^2 \text{sign}(\cos \varphi_\alpha)}{m_1 g} q_{10}$$

Решение уравнений (1) с учётом (2) должно удовлетворять следующим крайевым условиям: при  $\varepsilon = 0$ ,  $x_1 = x_2 = x_3 = 0$

при  $\varepsilon = 1$ ,  $x_1 = x_{1k}; x_2 = x_{2k}; x_3 = 0$  (3)

и условиям стыковки участков шланга

$$x_i^{(j)}(\varepsilon_j) = x_i^{(j+1)}(\varepsilon_j) \quad (i = 1, 2, 3) \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (4)$$

систему уравнений (1) можно переписать в следующем виде

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dQ_{x_1}^{(i)}}{ds} &= f_1^{(j)}(Q_{x_1}, Q_{x_2}, Q_{x_3}, x_1^{(j)}, x_2^{(j)}, x_3^{(j)}) \\ \frac{dQ_{x_2}^{(i)}}{ds} &= f_2^{(j)}(Q_{x_1}, Q_{x_2}, Q_{x_3}, x_1^{(j)}, x_2^{(j)}, x_3^{(j)}) \\ \frac{dQ_{x_3}^{(i)}}{ds} &= f_3^{(j)}(Q_{x_1}, Q_{x_2}, Q_{x_3}, x_1^{(j)}, x_2^{(j)}, x_3^{(j)}) \\ \frac{dQ_{x_1}^{(i)}}{ds} &= f_4^{(j)}(Q_{x_1}, Q_{x_2}, Q_{x_3}, x_1^{(j)}, x_2^{(j)}, x_3^{(j)}) \\ \frac{dQ_{x_2}^{(i)}}{ds} &= f_5^{(j)}(Q_{x_1}, Q_{x_2}, Q_{x_3}, x_1^{(j)}, x_2^{(j)}, x_3^{(j)}) \\ \frac{dQ_{x_3}^{(i)}}{ds} &= f_6^{(j)}(Q_{x_1}, Q_{x_2}, Q_{x_3}, x_1^{(j)}, x_2^{(j)}, x_3^{(j)}) \end{aligned} \right. \quad (5)$$

Если ввести обозначение  $Q_{i-3} = Y_i (i = 4, 5, 6)$  и  $X_i = Y_i (i = 1, 2, 3)$ , то система уравнений (5) примет вид

$$\frac{dY_i^{(j)}}{ds} = f_i^{(j)}(Y_1^{(j)}, Y_2^{(j)}, Y_3^{(j)}, Y_4^{(j)}, Y_5^{(j)}, Y_6^{(j)}) \quad (6)$$

$$(i = 1, 2, \dots, 6) (j = 1, 2, \dots, n+1)$$

а краевые условия (3) и условия стыковки участков стержня (2) и (4) примут вид

$$Y_i^{(1)}(0) = 0 \quad Y_i^{(n+1)}(1) = X_{ik} \quad (i = 1, 2, 3) \quad (7)$$

$$Y_i^{(j)}(\varepsilon_j) = Y_i^{(j+1)}(\varepsilon_j) \quad (i = 1, 2, 3) \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (8)$$

$$-Y_4^{(j)}(\varepsilon_j) + Y_4^{(j+1)}(\varepsilon_j) + F_j \cos \alpha = 0$$

$$-Y_5^{(j)}(\varepsilon_j) + Y_5^{(j+1)}(\varepsilon_j) + P^{(j)} = 0 \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (9)$$

$$-Y_6^{(j)}(\varepsilon_j) + Y_6^{(j+1)}(\varepsilon_j) + F_j \sin \alpha = 0$$

Если на каждом отрезке  $[\varepsilon_{j-1}; \varepsilon_j]$  ввести обозначения

$$\xi = \frac{\varepsilon - \varepsilon_{j-1}}{\varepsilon_j - \varepsilon_{j-1}} \quad (0 \leq \xi \leq 1) \quad (10)$$

$$Y_i^{(j)}(\varepsilon) = Y_i(\varepsilon_{j-1} + \xi(\varepsilon_j - \varepsilon_{j-1})) = U_j^{(j)}(\xi) \quad (11)$$

то из системы уравнений (6) и условий (7) – (9) получаем следующую систему уравнений

$$\frac{dU_i^{(j)}}{d\xi} = F_i^{(j)}(U_1^{(j)}(\xi), U_2^{(j)}(\xi), \dots, U_6^{(j)}(\xi)) \quad (12)$$

$$U_i^{(j)}(1) = U_i^{(j+1)}(0) = X_{ik} \quad (i = 1, 2, 3) \quad (13)$$

$$U_i^{(j)}(1) = U_i^{(j+1)}(0) \quad (i = 1, 2, 3) \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (14)$$

$$\begin{cases} -U_4^{(j)}(1) + U_4^{(j+1)}(0) + F_j \cos \alpha = 0 \\ -U_5^{(j)}(1) + U_5^{(j+1)}(0) + P^{(j)} = 0 \quad (j = 1, 2, \dots, n) \\ -U_6^{(j)}(1) + U_6^{(j+1)}(0) + F_j \sin \alpha = 0 \end{cases} \quad (15)$$

где  $0 < \xi < 1$ . Систему уравнений (12) – (15) решаем методом конечных разностей, каждый интервал  $0 < \xi^{(j)} < 1$ , разобьем на  $m_j$  равных частей; Длина каждого отрезка будет  $h_j = \frac{1}{m_j}$ .

Координата точек деления будет  $\xi_r^{(j)} = \frac{r}{m_j} (r = 0, 1, \dots, m_j)$ . Систему уравнений (12) и условия

(13) – (15) приведём к системе алгебраических уравнений относительно неизвестных

$$U_{i,r}^{(j)} = U_i^{(j)}(\xi_r^{(j)}) = U_i^{(j)}(\xi_r^{(j)}) \quad (16)$$

$$U_{i,0}^{(j)} = 0 \quad U_{i,m_{n+1}}^{(n+1)} = X_{ik} \quad (i = 1, 2, 3) \quad (17)$$

$$U_{i,m_j}^{(j)} = U_{i,0}^{(j+1)} \quad (i = 1, 2, 3) \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (18)$$

$$\begin{cases} -U_{4,m_j}^{(j)} + U_{4,0}^{(j+1)} + F_j \cos \alpha = 0 \\ -U_{5,m_j}^{(j)} + U_{5,0}^{(j+1)} + P^{(j)} = 0 \quad (j = 1, 2, \dots, n) \\ -U_{6,m_j}^{(j)} + U_{6,0}^{(j+1)} + F_j \sin \alpha = 0 \end{cases} \quad (19)$$

где  $U_{1,r-\frac{1}{2}}^{(j)} = \frac{U_{i,r}^{(j)} - U_{i,r-1}^{(j)}}{2} = \frac{U_i^{(j)}(\xi_r^{(j)}) + U_i^{(j)}(\xi_{r-1}^{(j)})}{2}$

Из уравнения (16) надо определить неизвестные  $U_{i,r}^{(j)}$  которые удовлетворяют условиям (17) – (19). Для решения этой задачи используется метод Ньютона. Задаются некоторые начальные приближения  $U_{i,r}^{(j)}$ , далее на каждой итерации получаем поправку  $Z_{i,r}^{(j)}$  к данному приближению  $U_{i,r}^{(j)}$ , такую, что уравнения (14) и условия (17) – (19) для уточненного решения  $U_{i,r}^{(j)} + Z_{i,r}^{(j)}$ , используемого на следующей итерации, удовлетворяются с точностью до первого порядка разложения в ряд по  $Z_{i,r}^{(j)}$  т. е. относительно поправок  $Z_{i,r}^{(j)}$ . В результате получаем систему линейных уравнений вида.

$$\begin{aligned} & \frac{U_{i,r}^{(j)} + Z_{i,r}^{(j)} - U_{i,r-1}^{(j)} + Z_{i,r-1}^{(j)}}{h_j} - F \left( U_{1,r-\frac{1}{2}}, U_{2,r-\frac{1}{2}}, \dots, U_{6,r-\frac{1}{2}} \right) - \\ & - \sum_{q=1}^5 \frac{\partial F_i}{\partial U_q} \left( U_{1,r-\frac{1}{2}}^{(j)}, U_{2,r-\frac{1}{2}}^{(j)}, \dots, U_{6,r-\frac{1}{2}}^{(j)} \right) Z_{q,r-\frac{1}{2}}^{(j)} = 0 \end{aligned} \quad (20)$$

$(j = 1, 2, \dots, n+1) (i = 1, 2, \dots, 6) (r = 0, 1, \dots, m_j)$

$$U_{i,m_j}^{(j)} + Z_{i,m_j}^{(j)} = U_{i,0}^{(j+1)} + Z_{i,0}^{(j+1)} \quad (21)$$

$$\begin{cases} -U_{4,m_j}^{(j)} + Z_{4,m_j}^{(j)} - U_{4,0}^{(j+1)} - Z_{4,0}^{(j+1)} - F^{(j)} \cos \alpha = 0 \\ -U_{5,m_j}^{(j)} + Z_{5,m_j}^{(j)} - U_{5,0}^{(j+1)} - Z_{5,0}^{(j+1)} - P^{(j)} = 0 \\ -U_{6,m_j}^{(j)} + Z_{6,m_j}^{(j)} - U_{6,0}^{(j+1)} - Z_{6,0}^{(j+1)} + F^{(j)} \sin \alpha = 0 \end{cases} \quad (22)$$

$$Z_{q,r-\frac{1}{2}}^{(j)} = \frac{Z_{q,r-\frac{1}{2}}^{(j)} + Z_{q,r}^{(j)}}{2}$$

Таким образом, на каждой итерации получаем линейную краевую задачу относительно невязок  $Z_{q,r}^{(j)}$ . Если эти невязки становятся на некоторой итерации достаточно малыми и при этом уравнения (20) и условия (21) – (22) удовлетворяются с заданной точностью, то итерационный процесс прекращается.

В качестве примера рассмотрим численное решение уравнений равновесия стержня с сосредоточенными силами (n=9) со следующими размерными значениями параметров:  $l=200\text{м}$ ,  $x_{1k}=120\text{м}$ ,  $x_{2k}=80\text{м}$ ,  $m_l=12,9\text{кг/м}$ ,  $d=0,27\text{м}$ ,  $|q|=270\text{н/м}$ ,  $B=1000\text{кг/м}$ ,  $D_k=1,94\text{м}$ ,  $P^{(0)}=5,93\text{кн}$ ,  $S_i=20\text{м}$ , ( $S_i$  длина участков между поплавками).

Численное решение уравнений проводили с точностью  $\Delta = 10^{-3}$ . На рис. 7 и 8 показаны формы осевой линии стержня в зависимости от модуля и направления вектора скорости потока  $v_0$ . Рассматривались два значения скорости потока воды:  $v_0 = 0,75\text{м/с}$  и  $v_0 = 1,5\text{м/с}$ . Формы равновесия шланга, приведенные на рис. 7, получены при угле  $\alpha = 45^\circ$ . На рис. 8 представлены формы равновесия шланга (1,2,3,4) при разных скоростях потока  $V_0$  и угла  $\alpha$ :

- 1)  $V_0 = 0,75 \text{ м/с}$ ,  $\alpha = 135^\circ$ ;
- 2)  $V_0 = 1,5 \text{ м/с}$ ,  $\alpha = 135^\circ$ ;
- 3)  $V_0 = 0,75 \text{ м/с}$ ,  $\alpha = 90^\circ$ ;
- 4)  $V_0 = 1,5 \text{ м/с}$ ,  $\alpha = 90^\circ$ .

На рис. 9 и 10 приведены графики  $Q_1$  соответственно, для углов  $\alpha = 45^\circ$  и  $\alpha = 90^\circ$ .

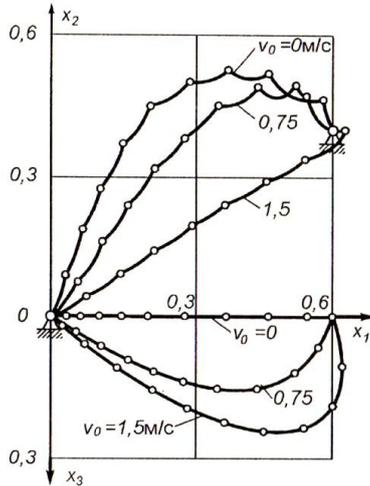


рис. 7

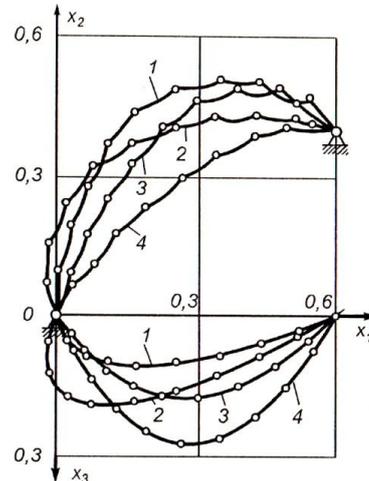


рис. 8

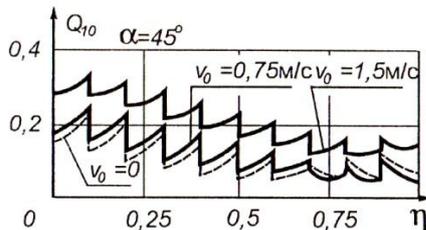


рис. 9

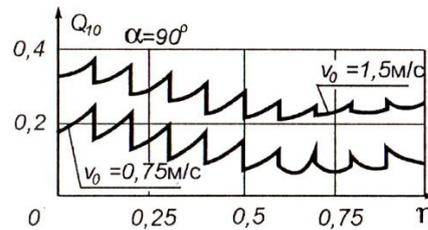


рис. 10

Изложенный метод решения нелинейных уравнений равновесия абсолютно гибкого шланга, нагруженного сосредоточенными силами, и распределенными гидродинамическими силами позволяет определить как форму осевой линии шланга, так и осевое усилие при произвольном направлении вектора скорости внешнего потока жидкости. Для учета внутреннего потока жидкости достаточно к определенным  $Q_1(\varepsilon)$  добавить  $(P + n_1 W^2)$ , где  $P$  - давление в жидкости;  $n_1$  - безразмерная масса жидкости;  $W$  - скорость внутреннего потока жидкости (усредненная по сечению).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Z. Arkania, A. Badzgaradze. About the method of calculation of the hoses loaded with concentrated forces. // Problems of Mechanics, 2008, N2 (31), pp. 72-76
2. Светлицкий В.А. Механика Трубопроводов и шлангов. – М.: Машиностроение, 1982, 279 с.

#### SUMMARY

#### STATICS OF ABSOLUTELY FLEXIBLE BARS LOADED WITH CONCENTRATED FORCES IN THE AIR OR A LIQUID FLOW

Arkania Z.M.

Akaki Tsereteli State University, Kutaisi

We developed an algorithm for solving the problems of statics of absolutely flexible bars loaded with concentrated forces in the air or a liquid flow. By the algorithm, the shape and axial tension of the hose for any direction of the external liquid flow can be determined, as well as the hose strength can be assessed. The algorithm allows solving the problems of the hose statics considering the internal liquid flows in the hose.

**Keywords:** hose, absolutely flexible bar, concentrated forces.

რადიოდაფარვის ზონაში შემნილი ელექტრომაგნიტური სიტუაციის შეფასების ზოგიერთი საკითხი

ზურაბიშვილი ვ.ი., სვანიძე თ.ს., ლაფერაშვილი დ.ლ., ბერიაშვილი დ.ბ., ფერაძე ლ.გ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

სამაუწყებლო და მობილური სისტემებით, უსადენო ინტერნეტით შექმნილი ელექტრომაგნიტური გამოსხივება ადამიანის საარსებო გარემოში უარყოფით გავლენას ახდენს მის ჯანმრთელობაზე. საერთო ელექტრომაგნიტური ფონი იქმნება როგორც ბუნებრივი (დედამიწის ელექტრული და მაგნიტური ველები, მზისა და გალაქტიკის რადიოგამოსხივება), ასევე ხელოვნური (ანტროპოგენური) წარმოშობის (სატელევიზიო და რადიო სადგურები, ელექტროგადამცემი ხაზები, საყოფაცხოვრებო ელექტროხელსაწყოები და სხვა) წყაროებით შექმნილი გამოსხივებებით [1-3].

რადიოდაფარვის ზონაში ელექტრომაგნიტური მდგომარეობის შეფასება მოითხოვს ველის ნაკადის სიმკვრივის განსაზღვრას ამ ზონის ნებისმიერ მონაკვეთში. ამისათვის გამოიყენება როგორც პრაქტიკული, ასევე თეორიული მეთოდები. ველის ნაკადის სიმკვრივის პრაქტიკული მეთოდით განსაზღვრა ხორციელდება ადგილზე, საკონტროლო წერტილებში გაზომვების მეშვეობით. გაზომვები იძლევა უტყუარ შედეგებს, თუმცა ეს შედეგები არ არის საკმარისი დასაპროექტებელი გადამცემი სადგურის დაფარვის ზონაში ელექტრომაგნიტური მდგომარეობის პროგნოზირებისათვის. ამიტომ მეტად პერსპექტიულად მიგვაჩნია სხვადასხვა გამოთვლითი მეთოდების გამოყენება, რომელთა საფუძველზეც შესაძლებელია რადიოდაფარვის ზონაში ელექტრომაგნიტური მდგომარეობის პროგნოზირება.

რადიოდაფარვის ზონაში ელექტრომაგნიტური მდგომარეობის პროგნოზირებისას აუცილებლად გასათვალისწინებელია ამ ზონაში არსებული ფონი. პრაქტიკული გაზომვებითა და თეორიული გათვლებით მიღებული შედეგების კომპიუტერული ანალიზის საფუძველზე განისაზღვრება შეზღუდვის ზონა (ზონა, სადაც ველის ნაკადის სიმკვრივე აჭარბებს დასაშვებს, მაგ. საქართველოში 10 მკვტ/სმ<sup>2</sup>).

რადიოდაფარვის ზონის საკონტროლო წერტილებში სპეციალური ხელსაწყოთი პრაქტიკული გაზომვის შედეგი წარმოადგენს მოცემული ანტენით გამოსხივებული ველის ნაკადის სიმკვრივის და მოცემულ რადიოდაფარვის ზონაში არსებული ფონის ჯამს:

$$\Pi(p) = \Pi_A + \Pi_F \tag{1}$$

სადაც  $\Pi(p)$  - მოცემულ საკონტროლო წერტილში პრაქტიკული გაზომვის შედეგად მიღებული ველის ნაკადის სიმკვრივის მნიშვნელობაა, ხოლო  $\Pi_A$  და  $\Pi_F$  - მოცემულ ზონაში ანტენიდან გამოსხივებული ველის ნაკადის სიმკვრივისა და ამ ზონაში არსებული ფონის ელექტრომაგნიტური ველის ნაკადის სიმკვრივის მნიშვნელობებია.

საკონტროლო წერტილში სპეციალური კომპიუტერული პროგრამით თეორიული გათვლის შედეგად მიღებული ველის ნაკადის სიმკვრივე  $\Pi(t)$  წარმოადგენს მოცემული ანტენით გამოსხივებული ველის ნაკადის სიმკვრივის მნიშვნელობას. ცხადია, რომ აქედან შესაძლებელია მოცემულ რადიოდაფარვის ზონაში არსებული ფონის მნიშვნელობის განისაზღვრა:

$$\Pi_F = \Pi(p) - \Pi(t) \tag{2}$$

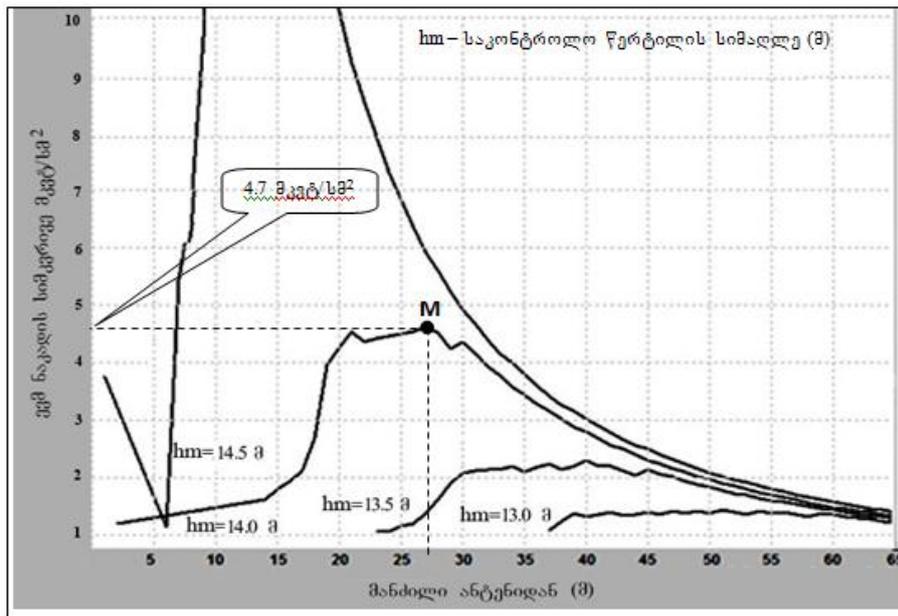
ამრიგად, პრაქტიკული გაზომვებითა და თეორიული გათვლებით შესაძლებელია დადგინდეს რადიოდაფარვის ზონაში არსებული ელექტრომაგნიტური ველის ფონის მნიშვნელობა  $\Pi_F$ .

ელექტრომაგნიტური ნაკადის სიმკვრივის მნიშვნელობა ანტენიდან საკონტროლო წერტილამდე მანძილის კვადრატის უკუპროპორციულია. რადიოდაფარვის ზონებში საკონტროლო წერტილებში პრაქტიკული გაზომვებითა და თეორიული გათვლებით მიღებული შედეგების სტატისტიკური ანალიზის საფუძველზე, აიგება ელექტრომაგნიტური ველის ნაკადის სიმკვრივის ანტენიდან დაშორების მანძილზე

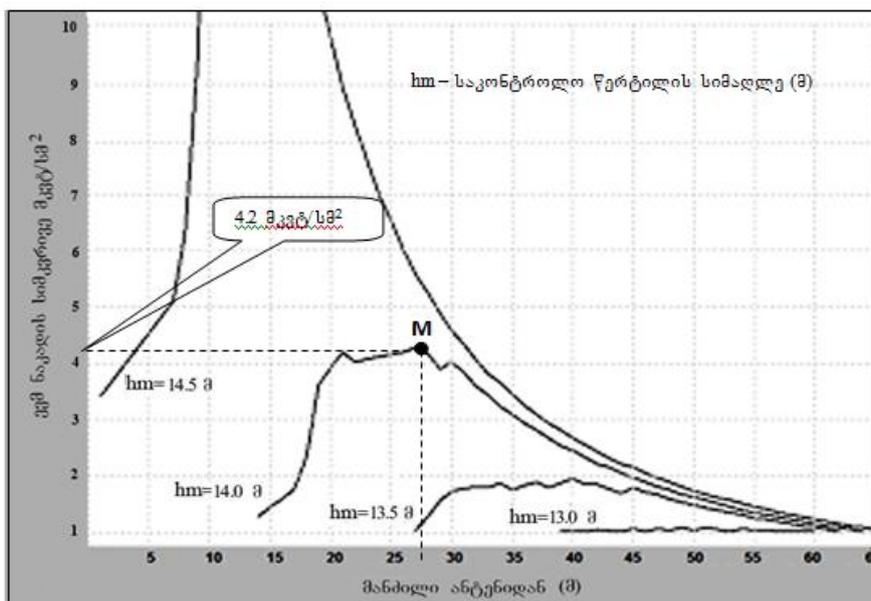
დამოკიდებულების გრაფიკები სხვადასხვა სიმაღლეებისათვის არსებული ფონის გათვალისწინებით და მის გარეშე.

მაგალითისათვის განვიხილოთ მობილური კავშირგაბმულობის საბაზო სადგური შემდეგი ძირითადი პარამეტრებით: ანტენის ტიპი – HBX6517DS, გამოსხივებული ეფექტური სიმძლავრე –  $P_a=22$  ვტ, ანტენის განთავსების სიმაღლე –  $H_a=15$  მ, მიმდებარე ტერიტორიაზე არსებული ფონი –  $\Pi_F=0,3375$  მკვტ/სმ<sup>2</sup> (ფონი დადგენილია მოცემული ანტენის მიმდებარე ტერიტორიაზე საკონტროლო წერტილებში პრაქტიკული გაზომვებით). ამ შემთხვევაში ელექტრომაგნიტური ველის ნაკადის სიმკვრივის ანტენიდან დაშორების მანძილზე დამოკიდებულების გრაფიკები საკონტროლო წერტილების სხვადასხვა სიმაღლეებისათვის არსებული ფონით და ფონის გარეშე

მოცემული  
ა ნახ. 1 და  
2.



ნახ.1. ელექტრომაგნიტური ველის ნაკადის სიმკვრივის ანტენიდან დაშორების მანძილზე დამოკიდებულების გრაფიკი (ფონით)



ნახ.2. ელექტრომაგნიტური ველის ნაკადის სიმკვრივის ანტენიდან დაშორების მანძილზე დამოკიდებულების გრაფიკი (ფონის გარეშე)

მოცემული გრაფიკები აგებულია კომპიუტერული პროგრამა „ნაკადი“-ის გამოყენებით [4].

წარმოდგენილი გრაფიკებიდან ჩანს, რომ მაგალითად, M წერტილში ველის ნაკადის სიმკვრივის მნიშვნელობა არსებული ფონის (0,3375 მკვტ/სმ<sup>2</sup>) გათვალისწინებით ტოლია 4,7 მკვტ/სმ<sup>2</sup>-ის (ნახ. 1), ეს მნიშვნელობა აჭარბებს ამავე წერტილში ფონის გათვალისწინების გარეშე განსაზღვრულ ველის ნაკადის სიმკვრივის მნიშვნელობას – 4,2 მკვტ/სმ<sup>2</sup>) (ნახ. 2).

ამრიგად, ანტენის მიმდებარე ტერიტორიაზე შექმნილი ელექტრომაგნიტური სიტუაციის შეფასებისას, ელექტრომაგნიტური ველის ნაკადის სიმკვრივის რეალური მნიშვნელობის მისაღებად აუცილებელია გავითვალისწინოთ ამ ტერიტორიაზე პრაქტიკული გაზომვებით განსაზღვრული ელექტრომაგნიტური ფონი.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Аполлонский С. М., Каляда Т. В., Синдаловский Б. Е. Безопасность жизнедеятельности человека в электромагнитных полях: Учеб. пособие. -СПб.: Политехника, 2006, 263 с.
2. Федорович Г.В. Экологический мониторинг электромагнитных полей. -Москва 2004, CD 1580;
3. В. И. Зурабишвили, Т. С. Сванидзе, М. И. Адамия; Автоматизированная система анализа электромагнитной обстановки в зонах радиопокрытия. //Georgian Engineering News, 2006, № 2.
4. მოწმობა - № 3180 ნაწარმოები: რადიოტექნიკური გამომსხივებელი ობიექტების სანიტარული დაცვის ზონების პროგნოზირებისა და გათვლის კომპიუტერული პროგრამა “ნაკადი”.

#### SUMMARY

#### SOME ISSUES OF THE ASSESSMENT OF AN ELECTROMAGNETIC SITUATION IN THE RADIO COVERAGE ZONE

Zurabishvili V.I., Svanidze T.S., Laperashvili D.L., Beriashvili D.B. and Peradze L.V.  
Georgian Technical University

The issues of the estimation of an electromagnetic situation in the radio coverage zone are discussed. The evaluation is carried out based on practical measurements and theoretical calculations at control points, taking into account the existing background. Plots of the dependence of the flux density on the distance of the reference point to the antenna are constructed.

**Keywords:** radio coverage, electromagnetic situation, electromagnetic field, electromagnetic background, electromagnetic flux density.

## CONCEPTUALITY OF THE FIELDS EXISTING IN NATURE

Kadagishvili L.G.

V. Chavchanidze Institute of Cybernetics, Georgian Technical University  
Georgian Engineering Academy

**Abstract.** The paper deals with the conceptuality of the fields existing in nature. The single carrier of the source of all fields existing in nature represents elementary particles, which are themselves conceptual. There are four states of matter: solids, liquids, gases and elementary particles. To these four states, conceptually adds the vacuum. It turned out that elementary particles emerge from the vacuum. The vacuum is a certain potential state of all kinds of matter. There are two simple notions: the torsion field and the vacuum. Hence the quantum representation of the spin that generates the torsion field affecting only the objects having the spin is confirmed. Similarly, the torsion field is independent and its existence is determined by the spin and depends neither on the mass nor on the charge. It is an independent physical phenomenon in nature. Thus, the fields existing in nature are conceptually interconnected.

**Keywords:** elementary particles, states of matter, vacuum.

The source of every field existing in nature is a single carrier – elementary particles. The particles have an independent property – they are themselves conceptual. For instance, to an electric charge, there corresponds an electromagnetic field generated by this electric charge, which acts only by electrical action. There also exists the gravitational field, the carrier of which is the mass. The mass generates its own field which is determined by Earth's gravity. The gravitational field affects only the mass. If we follow this logic, there is also a formation of the third significant field, which is determined by the interaction of positive and negative charges called a spin. This is a torsion field which also generates its own field called a torsion field, and which affects only the objects having spins or spinning objects. In general, as we speak about the electric field that is generated by a charge, in the case of the torsion field, the latter could be generated as by a common spin, an elementary particle spin, so also by a macroscopic spin. Spin (twist) is a main characteristic of the torsion field. A spinning wheel of a vehicle or a bicycle generates a torsion field. Thus, the field generated by spinning differs from other ones. It is noteworthy that emerging tornados generate strong torsion fields, as such a field (torsion field) is capable of tearing trees off the root. This indicates that, at least at the macroscopic level, the nature contains at least three fields that are independent physical objects. Therefore, it is obvious that an electromagnetic field is generated by a charge and in no event it depends on the gravitation field, i.e. on whether the charge is on the object having the mass or not. Similarly, the torsion field is independent, its existence is determined by spinning, and it depends neither on the mass nor on the charge. This is the independent factor in the nature.

Torsion fields as a cosmophysical phenomenon, their properties and emergence in nature represent the manifestation of interaction of physicochemical and biological processes. Their conceptual dependence reveals the spectrum of phenomena that cannot be explained in the framework of modern science. This suggests that science in its current form and nature may be inadequate more trivially than is usually considered. Fact remains that such phenomena exist and comprise the ones generated by the spin which are torsion fields.

Torsion fields are unusual physical objects. If in electrodynamicsthe same charges repel each other and the opposite charges attract each other, with the torsion fields (spin objects), it is vice versa: the same torsion fields attract each other and the opposite ones repel each other. There are torsion waves that do not screen with the environment.

Torsion fields are naturally and closely related to the gravitational and electromagnetic fields; they can be introduced by G.I. Shipov's theory. It shows that the torsion field problem can be efficiently solved using the vacuum Einstein equation.

This is the first real and scientifically recorded effect of excitation of physical vacuum. This does not mean that this effect was not known previously. In ancient times it was used more widely than nowadays. Egyptian pyramids are the most famous generators of torsion fields. There are various effects related to pyramids: self-sharpening of a razor blade, long-time storage of food stuffs at room temperature without a refrigerator, and also strange and unexplainable deaths of people. Very

observant people notice that the same coffee has different taste when they drink it from different cups. These are the first, easily observed signs of the effect of excitation of the physical vacuum.

Modern physics considers the physical vacuum as the fifth state of matter. There are known four states of matter: solids, liquids, gases and elemental particles. It turned out that elementary particles emerge from the vacuum. Is a certain potential state of matter of all types.. When they began studying the vacuum, the fifth state of matter, analytically, a new type of physical fields was discovered. These fields are called torsion fields. It was revealed that their exist the fields the source of which is any spinning matter. Thus, everything that spins in the world generates static torsion fields. We have two simple notions: the torsion field and the vacuum.

We can tell a lot about the zero vacuum. In short, it is a potential state of all kinds of matter. At the same time, the matter can exist in a latent form (inaccessible, invisible to our sight), in a certain potential state. We register the matter when it emerges from the vacuum. When the matter is in the vacuum, it is in a quasi-latent potential state. There are simple notions expressed by an American scientist. Essence is the following: a single carrier, elementary particles, is a source of all fields existing in nature. The particles have an independent property, which is an electric charge. To this charge, there corresponds an electromagnetic field generated by the same charge which affects only electrical charges. There is another independent property, which is mass. The mass generates its own field, a gravitational field which affects only the mass. If we follow this logic, there is the third independent parameter – the spin, a quantum analog of a spin moment, which also generates its own field that is called a torsion field. The torsion fields affect only the objects possessing the spin, when we speak about the electromagnetic field which was generated by the charge. These fields can be generated by any charge. Such can be an electron charge as an initial one. It can be considered as a star charge. We say that the torsion field can be generated by a spin, spinning of the elementary particle and macroscopic spinning. A spinning wheel of a vehicle or a bicycle generates a torsion field by the fact of its spinning. This indicates that, at least at the macroscopic level, nature comprises minimum three fields, which are independent physical objects. Hence we say that the electromagnetic field is generated by the charge and in no event it depends on the gravitational field, i.e. on that the charge is on the object having the mass or vice versa. Similarly the torsion field is independent and its existence is determined by the spin and depends neither on the mass nor on the charge. This is an independent physical phenomenon in nature.

## REFERENCES

1. V.I. Mamasakhlisovi, I.Sh. Vadhakidze, G.A. Chilashvili. Quantum Mechanics. – Tbilisi State University Press, 1978.

## РЕЗЮМЕ

### КОНЦЕПТУАЛЬНОСТЬ ПОЛЕЙ, СУЩЕСТВУЮЩИХ В ПРИРОДЕ

Кадагишвили.Л.Г.

Институт кибернетики им. В.В. Чавчанидзе Грузинского технического университета

Грузинская инженерная академия

В статье рассматривается концептуальность полей, существующих в природе. Единим носителем источника всех полей, существующих в природе, являются элементарные частицы, которые концептуальны сами по себе. Известны четыре состояния материи: твердые тела, жидкости, газы и элементарные частицы. Концептуально к этим четырем состояниям добавляется пятое – физический вакуум. Оказалось, что элементарные частицы возникают из вакуума. Вакуум это определенное потенциальное состояние всех видов материи. Существуют два простых понятия: торсионное поле и вакуум. Отсюда логически подтверждается квантовое представление спина, создающего торсионное поле, которое действует только на объекты, обладающие спином. Точно так же торсионное поле независимо и его существование определяется вращением и не зависит ни от массы, ни от заряда. Это независимое физическое явление в природе. Это значит, что существующие в природе поля взаимосвязаны концептуально.

**Ключевые слова:** элементарные частицы, состояние материи, вакуум.

ბათუმის საზღვაო პორტის ეკონომიური ანალიზი და მისი  
განვითარების პერსპექტივები

ჯიჯავაძე ნ.ო.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

მეცნიერულ-ტექნიკური პროგრესის არნახული ტემპების და სასარგებლო წიაღისეულის მოპოვება-მოხმარების ზრდის გამო, განსაკუთრებით ნახშირბადშემცველი ნედლეულის მოხმარების ზრდის გამო, საქართველოს საზღვაო პორტების მნიშვნელობა განუხრებლად იზრდება არა მარტო კავკასიის რეგიონისათვის, არამედ შუა აზიის სახელმწიფოებისთვისაც.

საქართველოს საზღვაო დერეფნით მეთვრამეტე, მეცხრამეტე საუკუნეებში აქტიურად სარგებლობდა ირანიც, რომელსაც კავკასიის რუსეთის იმპერიის მიერ დამორჩილების შემდგომდაც შეუნარჩუნდა საქართველოს ტერიტორიის გავლით ტვირთბრუნვის შესაძლებლობაც და შეღავათებიც.

მოსალოდნელია შესაბამისი პოლიტიკური კლიმატის დადგომის შემთხვევაში კვლავ დადგეს ირანის მიერ საქართველოს სატრანზიტო გზის გამოყენების საკითხიც, რაც კიდევ უფრო აამაღლებს საქართველოს საზღვაო პორტების მნიშვნელობას.

კავკასიის რეგიონისადმი დაინტერესების კონკრეტული გამოხატულებაა ევროკავშირის ცნობილი ტრასეკას პროექტი, რომელიც ერთმანეთს დააკავშირებს ცენტრალური აზიის და მდინარე დუნაის აუზის ქვეყნებს. ევროპა-აზიის ეს სატრანსპორტო-საკომუნიკაციო დერეფანი თავისი მრავალი განშტოების ერთ-ერთი ხაზით ჩვენს ქვეყანაზეც გაივლის, რაც სტაბილურობისა და ეკონომიკური აღმაშენებლის გარანტი იქნება. ამიტომ სამომავლო პერსპექტივაც საიმედოდ ისახება.

პროექტით პრაქტიკულად საუბარია ისტორიული „აბრეშუმის დიდი გზის“ საქართველოს განშტოების მოდერნიზებულ ვარიანტზე. ამ მაგისტრალით მოხდება ისეთი სტრატეგიული მნიშვნელობის ტვირთების გადაზიდვა, როგორცაა: ნავთობი, ბამბა, მინერალური ნედლეული და ა.შ.

საქართველოს სატრანსპორტო ინფრასტრუქტურა წარმოუდგენელია საზღვაო პორტების განვითარების გარეშე, ეს ითქმის განსაკუთრებით ბათუმისა და ფოთის საზღვაო პორტებზე, მათ აკისრიათ ძირითადი როლი საზღვაო ტვირთების მომსახურების საქმეში. ამავდროულად პორტების განვითარება პროპორციულად უნდა შეესაბამებოდეს საქართველოს სხვა სატრანსპორტო ინფრასტრუქტურას.

მიუხედავად იმისა, რომ საქართველოჯერ კიდევ ახლო წარსულში ფლობდა საზღვაო ფლოტის დიდ სიმძლავრეებს, დღეისათვის ამ ფლოტის გარეშეა, თუმცა მომავალში ეკონომიკის განვითარებამ არ შეიძლება დღის წესრიგში არ დააყენოს ეს საკითხი და არ შეიქმნას საქართველოს საზღვაო ფლოტი, როგორც კერძო სტრუქტურების მიერ, ასევე სახელმწიფოს მონაწილეობით, რაც საზღვაო პორტების განვითარების საკითხსაც გულისხმობს.

საქართველოს ეკონომიკური და მენეჯერული მეცნიერება ჯერ-ჯერობით არასაკმარის ყურადღებას უთმობს საზღვაო პორტების განვითარების პრობლემებს, განსხვავებით სხვა საზღვაო ქვეყნებისგან. თუმცა ბოლო პერიოდისათვის ამ მიმართულებით მუშაობა შედარებით გააქტიურდა.

საქართველოს საზღვაო ნავსადგურების შესწავლა ამ ბოლო დროს წარმოებს არა იმდენად მათი განვითარების ეკონომიკური და სოციალური სფეროების დამუშავებით, არამედ გარემოზე ზემოქმედების კუთხით, მაგრამ ეს აშკარად არასაკმარისია ქვეყნის საზღვაო ინფრასტრუქტურის სრულყოფის საქმეში.

ზემოთ აღნიშნულიდან გამომდინარე, წინამდებარე სტატიაში

– გამოკვლეულია საქართველოს საზღვაო პორტების როლი და ადგილი ქვეყნის ისტორიული განვითარების გზაზე. ისტორიულად საზღვაო ნაოსნობის ადგილი საქართველოს, კოლხეთის, აფხაზეთის, იმერეთის, სამეგრელოს სამთავროს, აჭარის, გურიის სამთავროს ეკონომიკურ ცხოვრებაში. აგრეთვე საზღვაო ნავიგაციის

გავლენა დიდი აბრეშუმის გზის ფორმირებასა და საქართველოზე გამავალი საქარავნო გზების მარშრუტის ჩამოყალიბების საქმეში;

– განსაზღვრულია საზღვაო პორტების ფუნქციონირების ეკონომიკური ეფექტიანობის თეორიის განვითარების თავისებურებანი ცალკეული მიმართულებების მიხედვით, წარმოჩენილია საზღვაო პორტების როლი და ადგილი საქართველოს ეკონომიკაში, შემოთავაზებულია საერთო ეკონომიკურ ეფექტიანობაზე პორტების მუშაობის გავლენა და პორტების მუშაობის ეფექტიანობა ლოკალური ამოცანების გადაჭრისათვის, შესაბამისად პორტებში დასაქმებულების და მათთან დაკავშირებული მოსახლეობის სოციალურ-ეკონომიკური მდგომარეობისათვის. გაანალიზებულია და მიღებულია სადისკუსიო პოზიციები;

– საქართველოს საზღვაო ქვეყნის სტატუსიდან გამომდინარე დასაბუთებულია საზღვაო პორტების განვითარების მნიშვნელობა რეგიონის ეკონომიკურ განვითარებაზე. ტვირთების საზღვაო გზით ტრანსპორტირების ეფექტიანობა საქართველოს და რეგიონის ეკონომიკური განვითარებისათვის;

– ტვირთბრუნვის მოცულობათა დინამიკა ქვეყნის ეკონომიკაში და იმ ქვეყნებისათვის, რომლებიც სარგებლობენ საქართველოს საზღვაო პორტებით. განხილულია ამიერკავკასიის ქვეყნებისათვის საქართველოს გავლით ტრანზიტული ტვირთების მოცულობის არსებული მდგომარეობა, ამ ტვირთების ხვედრითი წილი ქვეყნების საგარეო ტვირთბრუნვის მოცულობაში, გამოვლენილია საქართველოს გავლით ტვირთბრუნვის მოცულობის ზრდის ხელისშემშლელი ფაქტორები, გადაზიდვის სისწრაფე, გადაზიდვის დანახარჯები, საიმედოობა, მოხერხებულობა, პორტების ლოჯისტიკური უზრუნველყოფა, დასაწყობება. დასახულია გზები ტრანზიტული ტვირთების მოცულობის ზრდის უზრუნველსაყოფად და ამ ამოცანაში პორტების როლისა და ადგილის უზრუნველსაყოფად;

– საქართველოს საზღვაო პორტების განვითარება დამოკიდებულია, როგორც მაკრო, ისე მიკროეკონომიკურ ფაქტორებზე.

გამოკვლევაში მიღებული თეორიული დასკვნები შეიძლება გამოყენებული იქნას პორტების განვითარების პრობლემის შემდგომი დამუშავებისათვის. კვლევის შედეგად მიღებული რეკომენდაციების პრაქტიკული დანერგვა საქართველოს ტრანსპორტში, ცალკეულ პორტებსა, საწარმოებსა და ფირმებში ხელს შეუწყობს ეფექტიანობის ამაღლებას, პორტების განვითარებას, მათი სიმძლავრეების ამაღლებას, შესრულებული სამუშაოების დანახარჯების შემცირებას და ხარისხის ამაღლებას. ამით კი შესაძლებელი იქნება გაიზარდოს პორტების და ტერმინალების დატვირთვა და მიაღწიონ შესამჩნევ ეფექტიანობას, რაც თავის მხრივ ხელს შეუწყობს სამუშაო ადგილების მნიშვნელოვან ზრდას და ქვეყნის ეკონომიკური მდგომარეობის გაუმჯობესებას.

საქართველო, განსაკუთრებით მისი დასავლეთი ნაწილი, ისტორიულად მუდამ დაკავშირებული იყო ზღვასთან და საზღვაო ნაოსნობასთან. კოლხები, აჭარლები, ჭანები, ლაზები ითვლებოდნენ საუკეთესო მეზღვაურებად.

დღეს საქართველოს, როგორც საერთაშორისო სამართლის სუბიექტს, როგორც დამოუკიდებელ და სუვერენულ სახელმწიფოს, თავისი ისტორიული და გეოპოლიტიკური მდებარეობის გამო, კვლავ ეძლევა შანსი აქტიურად ჩაერთოს თანამედროვე მსოფლიო ეკონომიკურ სივრცეში, ჩაერთოს დღევანდელი ურთიერთობებით, მასშტაბებითა და მრავალგვარი პოტენციური შესაძლებლობით, ეროვნული თვითმყოფადობისა და თვითდამკვიდრების მაქსიმალური შენარჩუნებით, და ამით, ჯერერთი, თავისი, თუნდაც მცირედი, წვლილი შეიტანოს მსოფლიო სახელმწიფოთა ეკონომიკური ურთიერთობების ამჟამად მიმდინარე რთული პროცესების რეგულირებაში და მეორეც, მიაღწიოს ეკონომიკურ წინსვლასა და მოსახლეობის ცხოვრების დონის მნიშვნელოვან ამაღლებას. ყოველივე აღნიშნული მიიღწევა საქართველოს საზღვაო სატრანსპორტო ქსელის ფართო განვითარებით.

**ლიტერატურა**

1. ბ. ვითოლენდია. ტრანსკავკასიური კორიდორი და საქართველოს ეკონომიკური პერსპექტივა. //ტრანსპორტი და მანქანათმშენებლობა, თბილისი, №2, 2007, გვ. 94-98
2. ბიზნესპრესნიუსი. საქართველოს პორტები. <https://bpn.ge/ekonomika/20177-saqarthvelos-portebi.html?lang=ka-GE>. გადამოწმებულია 18.04.2017.
3. ფოთის ახალი ნავსადგურის პროექტი. დაინტერესებულ მხარეთა ჩართულობის გეგმა. მომზადებულია კორპორაცია „ფოთის საზღვაო ნავსადგური“-სთვის. შემსრულებლები: NVIRON ლონდონი, გაერთიანებული სამეფო. სამეცნიერო-კვლევითი ფირმა „გამა“. თბილისი, საქართველო, 2014, 34 გვ.
4. Мескон М., Альберт М., Хедоури Ф. Основы менеджмента, -М., 1992.
5. Алесинская Т.В. Основы логистики: Важность и задачи транспортной логистики. -М., 2007.

**SUMMARY**

**ECONOMIC ANALYSIS AND THE PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF BATUMI SEAPORT**

**Jijavadze N.O.**

**Georgian Technical University**

Today, due to its history and geopolitics, Georgia as a subject of international law, and an independent and sovereign state has an opportunity to be completely engaged in economic life of the modern world. Due to its potentialities, Georgia can reach economic well-being and increase the material well-being of citizens. These goals can be achieved only by wide development of maritime infrastructure.

**Keywords:** seaport, economic analysis, maritime infrastructure

თანამედროვე ბეტონის ნარევის დაპროექტების ძირითადი მოთხოვნები

ბალიაშვილი გ.ი., სარჯველაძე ნ.გ., გოგოლაური ი.გ., ქათამაძე ი.ი.

სსიპ გრიგოლ შულუკიძის სამთო ინსტიტუტი

ნაშრომის მიზანს წარმოადგენს თანამედროვე ბეტონის ნარევის კომპონენტების დახასიათება, მათი ზემოქმედება ბეტონის თვისებებზე, ფასზე, ეკოლოგიაზე და მათ შორის პროცენტული თანაფარდობის დადგენის ძირითადი საკითხების განხილვა.

ბეტონის ტექნოლოგიის დამუშავება იწყება ნარევის დაპროექტებით, რომლის საფუძველს კომპონენტების შერჩევა და მათ შორის თანაფარდობის დადგენა წარმოადგენს. კომპონენტების შერჩევა დამოკიდებულია მათ სახეობაზე, ფიზიკურ-მექანიკურ თვისებებზე, ზეგავლენაზე ბეტონის თვისებების მახასიათებლებზე, თვითღირებულებაზე და ეკოლოგიაზე. ამ შემთხვევაში იგულისხმება ბეტონში ადამიანის ჯანმრთელობისთვის მავნე ნივთიერებების დადგენა.

ამიტომ ნაშრომში განხილული საკითხი აქტუალურ, დროულ, აუცილებელ და საჭირო სამეცნიერო-ტექნოლოგიურ საკითხს წარმოადგენს [1-16].

ბეტონის სიმტკიცე წარმოადგენს მის არა შინაგან, არამედ ფარდობით თვისებას. იგი დამოკიდებულია ნიმუშის ზომაზე, ასაკზე, გამყარების ისტორიაზე, გამოსაცდელი მოწყობილობის სიმძლავრეზე, განივ შეზღუდვა არშეზღუდვაზე, დატვირთვის სიჩქარეზე, გარე ძალის განაწილებაზე და სხვა.

ამიტომ ბეტონის დახასიათება მისი სიმტკიცის მნიშვნელობის მიხედვით პირობითია, არ არის მუდმივი და უნივერსალური.

მაგალითად, ამერიკის ბეტონის ინსტიტუტის მიხედვით 1984 წლიდან მაღალი სიმტკიცის ბეტონად ითვლებოდა 41 მეგპა-ს მქონე ბეტონი, ხოლო 1992 წელიდან 55 მეგპა-ს მქონე ბეტონი. ზოგ რეგიონში 60 მეგპა სიმტკიცე ითვლება მაღალ სიმტკიცედ ზოგან 30 მეგპა. ამის მიზეზი ორია: მოთხოვნა და შესაძლებლობა [4-8].

საერთოდ ქვეყნებში, სადაც წარმოება მაღალ დონეზეა მაღალი სიმტკიცის ბეტონად ითვლება კუმშვაზე 41 მეგპა-დან 55 მეგპა-მდე სიმტკიცის მქონე ბეტონი.

მაგალითისთვის, ბეტონების კლასიფიკაცია კუმშვაზე სიმტკიცის ზღვრის მიხედვით შემდეგია 1) ნორმალური-სტანდარტული 20-50 მეგპა. 2) მაღალი სიმტკიცის 50-100 მეგპა. 3) ულტრა-მაღალი 100-150 მეგპა. 3) სპეციალური >150 მეგპა. არსებობს ყინვამედეგი, კოროზიამედეგი, ჰიდრომედეგი, დარტყმამედეგი და სხვა ტიპის ბეტონი [4-6].

ბეტონის ნარევის დაპროექტების საწყის, საორგანიზაციო ეტაპს წარმოადგენს ტექნიკური დავალება. იგი შედგენილია კონკრეტული პროექტის მოთხოვნების შესაბამისად.

ტექნიკური დავალება შეიცავს ბეტონის სიმტკიცური თვისებების, დრეკადობის მოდულის მნიშვნელობას, ყინვამედეგობის მარკას, კონკრეტულ მოთხოვნებს კოროზიამედეგობის, ჰიდრომედეგობის, დარტყმამედეგობის და სხვა თვისებების მახასიათებელთა მნიშვნელობებს.

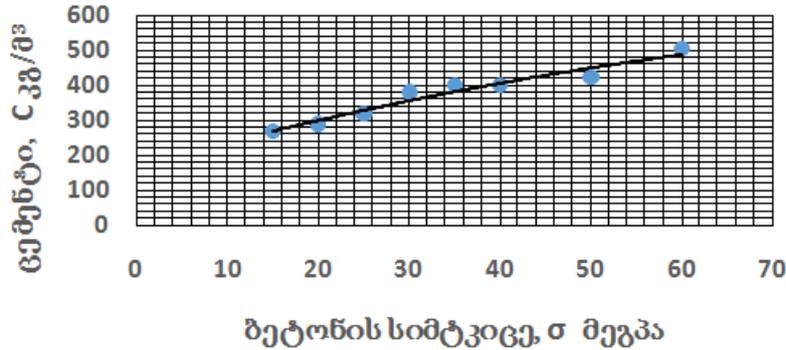
ბეტონის ნარევის ძირითადი კომპონენტები [1-16]: ცემენტი; წყალი; ღორღი, ან ხრეში (მსხვილი შემესები); ქვიშა (წვრილი შემესები); სილიკატური მტკერი; წვრილად დაფქვილი კვარცის ქვიშა; კირქვის ფხვნილი; ბოჭკო; პლასტიფიკატორი; ჰიდრატაციის შემნელებელი და დამაჩქარებელი; კოროზიამედეგობის და შეუღწევადობის გამაუმჯობესებელი.

ქვემოთ წარმოდგენილია ბეტონის ნარევის კომპონენტების მოკლე დახასიათება, მათ მიმართ წაყენებული ძირითადი მოთხოვნები, კორელაციური დამოკიდებულება ბეტონის სიმტკიცესთან და ერთმანეთთან. დამოკიდებულება ძირითადად შედგენილია პუბლიკაციების საფუძველზე [1-17].

წარმოდგენილი დამოკიდებულებების გამოყენება შესაძლებელია, როგორც საორიენტაციო მასალანარევის კონკრეტული პროექტის შედგენის დროს.

გამოიყენება პორტლანდცემენტის შემდეგი ტიპი (ამზადებს ჰაიდელბერგ-ცემენტი) CEMI 42,5 R, CEMI 52,5 R და CEMI 52,5 N. რიცხვი კუმშვაზე სიმტკიცის მაჩვენებელია (მეგპა).

წარმოდგენილია ცემენტის ხარჯსა და კუმშვაზე სიმტკიცეს შორის დამოკიდებულება გრაფიკის (ნახ. 1) და ფორმულის სახით (1).



ნახ.1. ცემენტის ხარჯსა და ბეტონის კუმშვაზე სიმტკიცეს შორის დამოკიდებულების გრაფიკი

$$C = -0,0312\sigma^2 + 7,2299\sigma + 167,91 \quad (1)$$

სადაც: C -ცემენტის ხარჯი, კგ/მ³, σ-ბეტონის სიმტკიცე, მეგპა. კორელაციის კოეფიციენტი  $R^2=0,979$

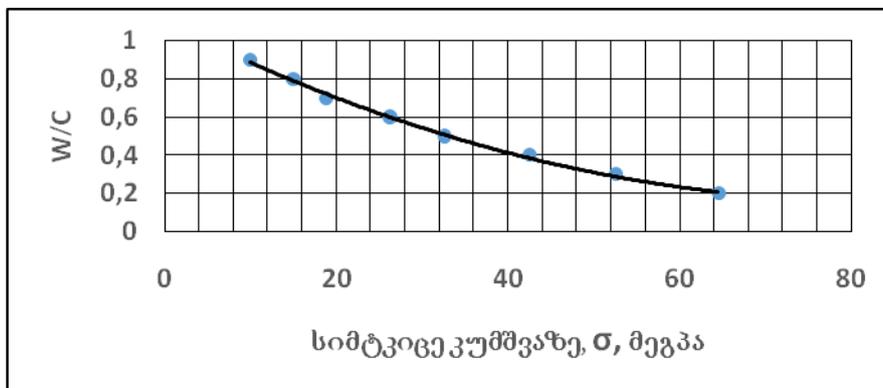
წყალი ბეტონის ერთ-ერთი ძირითადი კომპონენტია. მას და ცემენტს შორის ქიმიური რეაქციის შედეგად ყალიბდება ახალი ჰიდრატული წარმონაქმნები და ცემენტის ცომი.

წყლის რაოდენობა მკაცრად გაიანგარიშება. ზედმეტი წყლის აორთქლების შემდეგ მის ადგილზე რჩება სიცარიელე, რაც ამცირებს ბეტონის სიმტკიცეს. წყალი თავისი შედგენილობით ახლოს უნდა იყოს სასმელ წყალთან.

როდასაც ცნობილია ცემენტის ხარჯი შესაძლებელია წყლის ხარჯის დადგენა გრაფიკის (ფიგ2) და ფორმულის (2) საფუძველზე.

ღორღი, ხრეში (მსხვილი შემესები)- გამოიყენება ღორღი 5-10 მმ; 10-20 მმ და ხრეში 5-10 მმ . სიმკვრივე 2000-დან 3000 კგ/მ³ -მდე. 10 მმ-ის მაქსიმალური ზომის მქონე შემესების დროს გამოიყენება 3-10 მმ-ის ან 5-10 მმ-ის. 20 მმ-ის მაქსიმალური ზომის მქონე გამოიყენება 3-5 მმ-დან 10 მმ-მდე და 10 მმ-დან-20 მმ-მდე.

დასაშვებია ორი მონათესავე ფრაქციის გამოყენება: 10 მმ-ის მაქსიმალური ზომის დროს გამოიყენება 3-10 მმ-ის ან 5-10 მმ-ის 100 % საერთო მასიდან. 20 მმ-ის მაქსიმალური ზომის დროს გამოიყენება 3-5 მმ-დან 10 მმ-მდე 25-40 % მასიდან 10 მმ-დან-20 მმ-მდე 60-75 % მასიდან. ხრშის 5-10 მმ -ის ზომა საკმაოდ პოპულარული ვარიანტია.



ნახ. 2. წ/ც მნიშვნელობის და კუმშვაზე სიმტკიცის დამოკიდებულების გრაფიკი

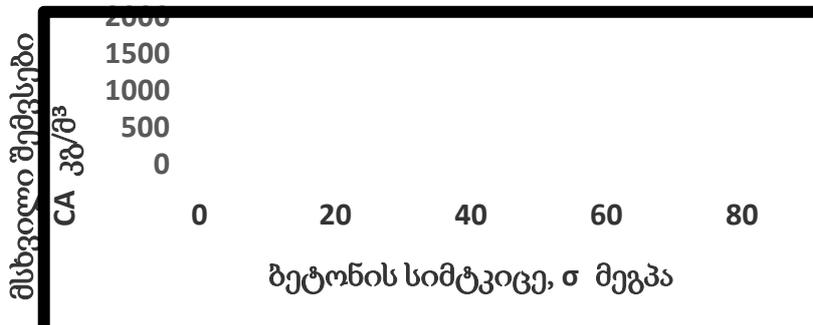
$$W/C = 0,0001\sigma^2 + 1,1003 \quad (2)$$

სადაც: W/C - წყლის ცემენტთან შეფარდება. კორელაციის კოეფიციენტი  $R^2 = 0,997$  ღორღში და სრეშში მტვრისებური და თიხოვანი ნაწილაკების შემცველობა ამოფრქვეული და მეტამორფული ქანებისაგან დამზადებულის არა უმეტეს 1 %.

ნემსისებური და ფირფიტისებური მარცვლების შემცველობა ღორღში და სრეშში არა უმეტეს 35 % საერთო მასიდან.

მსხვილი შემესების რაოდენობის კორექტირება და დაზუსტება ხდება კონკრეტული ნარევის დამზადების, ნიმუშების ჩასხმა, მოვლის და გამოცდის შემდეგ.

წარმოდგენილია მსხვილ შემესებსა და კუმშვაზე სიმტკიცეს შორის დამოკიდებულება გრაფიკის (ნახ. 3) და ფორმულის სახით (3).



ნახ. 3. მსხვილი შემესების ხარჯსა და ბეტონის კუმშვაზე სიმტკიცეს შორის დამოკიდებულების გრაფიკი. 5-10მმ+10-20 მმ-ის ფრაქცია.

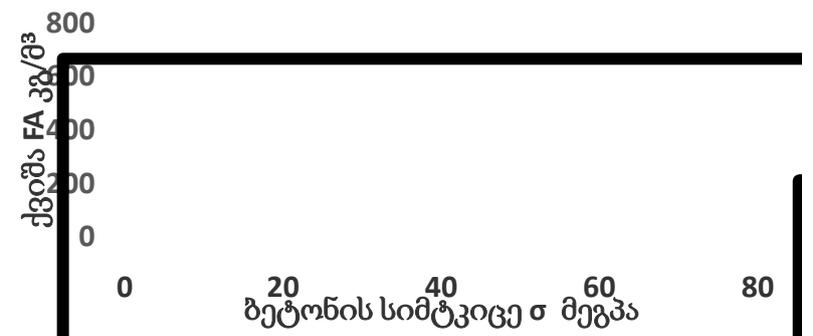
$$CA = -10626\sigma^2 + 1622,4 \quad (3)$$

სადაც: CA - მსხვილი შემესები, კგ/მ<sup>3</sup>. კორელაციის კოეფიციენტი  $R^2=0,988$

ბეტონში ძირითადად გამოიყენება ბუნებრივი ქვიშა. სწორად შერჩეული ქვიშის რაოდენობის, სახეობის და ფრაქციული შემადგენლობის შედეგად მისი მარცვლები მჭიდროდ უკავშირდებიან ერთმანეთს. ამგვარად მცირდება სიცარიელე და ცემენტის ცომი ავსებს მხოლოდ მარცვლებს შორის შუალედებს და იზრდება ბეტონის სიმტკიცური მახასიათებლები.

ხელოვნური ქვიშა გამოიყენება, როდესაც არ არის ბუნებრივი. იგი მიიღება ტიციე ქანების მსხვრევით, რაც თავის მხრივ აძვირებს ბეტონს. გარდა ამისა მისი გამოყენებით ძნელია სათანადო სიმტკიცის ბეტონის მიღება.

წარმოდგენილია ქვიშასა და კუმშვაზე სიმტკიცეს შორის დამოკიდებულება გრაფიკის (ფიგ 4) და ფორმულის სახით (4).



ნახ. 4. ქვიშის ხარჯსა და ბეტონის კუმშვაზე სიმტკიცეს შორის დამოკიდებულების გრაფიკი

$$FA=0,0148\sigma^2-2,6938\sigma+764,22$$

(4)

სადაც: FA - ქვიშა, კგ/მ<sup>3</sup>. კორელაციის კოეფიციენტი  $R^2=0,395$

სილიკატური მტერი (S). წარმოადგენს გვერდით პროდუქტს, რომელიც მიიღება კაუს და ფეროკაუს წარმოებისას წარმოშობილი, გადამუშავებული აირის გაწმენდის დროს. შ-ნაწილაკის საშუალო ზომა შედგენს ცემენტის ნაწილაკის ერთ მეათედს. თანამედროვე მარალი სიმტკიცის ბეტონებში იგი ერთ-ერთ ძირითად კომპონენტს წარმოადგენს. უნდა აღინიშნოს, რომ C 55/67 და C 60/77 ბეტონი შეიძლება დამზადდეს ამგვარი მტერის გარეშე.

შეავსებს ცემენტის მარცლებს შორის სიცარიელეს, ამალღებს მის სიმტკიცეს, აუმჯობესებს შეჭიდულობას მარცვლვან შემსვებსა და ცემენტის ქვას შორის. S-ის მაქსიმალური წილი შეადგენს 11 % ცემენტის საერთო მასიდან.

კვარცის ქვიშა. ჩვეულებრივი ქვიშისგან განსხვავებით შეიცავს მინდვრის შპატის და ქარსის ფურცლების მინარევებსაც. წერილად დაფქვილი კვარცის ქვიშა თავისი გრანულომეტრული შემადგენლობის გამო საუკეთესოა ფაქტიურდ ყველა სახეობის ბეტონისთვის.

კირქვის ფხვნილი ზრდის ბეტონის სიმტკიცეს, ამცირებს სიცარიელეებს ბეტონში, ამცირებს ცემენტის ცომის შემცველობას და ბოლო ჯამში ბეტონის თვითირებულებას. მისი გამოყენებით ჩვენი წინასწარი კვლევების შედეგად მივაღწიეთ ცემენტის 20 %-ით შემცირებას.

ბოჭკოს გამოყენებით იზრდება თითქმის ყველა თვისების მნიშვნელობა. განსაკუთრებით დარტყმითი სიმტკიცე იზრდება. ბაზალტის დისპერსული ბოჭკოს გამოყენებით ჩვენი წინასწარი კვლევებით დარტყმითი სიმტკიცე 30 %-ით გაიზარდა [18].

პლასტიფიკატორის გამოყენებით იზრდება ბეტონის ნარევის ძვრადობა, ბეტონის ნარევისა და არმატურას შორის შეჭიდულობა. მცირდება ცემენტის ხარჯი. მისი გამოყენებით მზადდება თვითკონსოლიდირებადი და მაღალი მანვენებლების მქონე ბეტონი [9-10].

ძვრადობის ამალღების მიზნით, საჭიროების შემთხვევაში ხდება პლასტიფიკატორის ჩამატება ავტომიქსერში. სიახლეს წარმოადგენს პლასტიფიკატორის ავტომატურ რეჟიმში დამატება ავტომიქსერში მისი, ან ამრევის მოძრაობის დროს. ეს მეთოდი განასაკუთრებით საჭიროა, როდესაც ნარევის დამზადების ობიექტიდან მისი გამოყენების ობიექტამდე ავტომიქსერს, სხვადასხვა მიზეზის გამო დიდი დრო სჭირდება.

ამრიგად, შესაძლებელია შემდეგი დასკვნის გაკეთება:

1. ბეტონის სიმტკიცე წარმოადგენს მის ფარდობით თვისებას.
2. დაბალი, მაღალი, ზემალაღი, უღტრა-მაღალი, სპეციალური, განსაკუთრებული და სხვა ამგვარი ტერმინების გამოყენებით ბეტონის დახასიათება ფარდობითი და არა მუდმივია.
3. ბეტონის ნარევის დაპროექტების ტექნიკურ დავალებაში მოცემულია გამყარებული ბეტონის დანიშნულება, ექსპლოატაციის პირობები, ხანმედევობა, კონკრეტული თვისების მახასიათებელთა მნიშვნელობა, ფასი, ეკოლოგიურობა და სხვა მისთვის დამახასიათებელი, რეალური პარამეტრები.
4. ბეტონის ნარევის დაპროექტებაში შესაძლებელია წარმოდგენილი კორელაციური დამოკიდებულების გამოყენება.
5. ბეტონის სტრუქტურა თანდათანობით ემგვანება მაგმური, ძალზედ მტკიცე ქანის სტრუქტურას. იგი ერთგვაროვანია, ნაკლებფოროვანია, ძირითადად კომპონენტები ზემტკიცე მასალისგან არის დამზადებული და ყალიბში განთავსებულია თვითკონსოლიდირებადი ტექნოლოგიის გამოყენებით.

#### ლიტერატურა

1. Высокопрочный бетон, сверхпрочный бетон. <http://brusshatka.ru/beton/vysokoprochnyy-beton-sverkhprochnyy-beton.php>
2. Гранулометрия заполнителей <http://www.estateline.ru/termin/3151>
3. Сверхпрочный бетон – строительный материал новых возможностей

<http://www.cpi-web.ru/Archive/main.htm>

4. Ultra-High Performance Concrete. <http://www.cement.org/for-concrete-books-learning/concrete-technology/concrete-design-production/ultra-high-performance-concrete>
5. High – Strength and High Performance Concrete. <https://theconstructor.org/concrete/high-strength-vs-high-performance-concrete/8617/>
6. Types of concrete.From Wikipedia, the free encyclopedia
7. Требования к современному бетону. [dombeton.ru/sluchaynie-materiali/kakie-trebovaniya](http://dombeton.ru/sluchaynie-materiali/kakie-trebovaniya)
8. Прочность бетона на сжатие<http://dombeton.ru/ob/prochnost-betona-na-szhatie.html>
9. Пластификаторы для бетона -<http://dombeton.ru/chimicheskie-dobavki/superplas-tifikator-s3.html>
10. SuperplasticizerFrom Wikipedia, the free encyclopedia
11. Щебень для бетона: основные виды<http://dombeton.ru/sostav-betona/sostav-betona/shheben-dlja-betona-osnovnye-vidy.html>
12. Состав бетона: гранит для бетона.<http://dombeton.ru/sostav-betona/sostav-betona/sostav-betona-granit-dlja-betona.html>
13. Состав бетона: гравий для бетона. <http://dombeton.ru/sostav-betona/sostav-betona/sostav-betona-gravij-dlja-betona.html>
14. Состав бетона:песок для бетона. <http://dombeton.ru/sostav-betona/sostav-betona/sostav-betona-pesok-dlja-betona.html>
15. Состав бетона: вода для бетона. <http://dombeton.ru/sostav-betona/sostav-betona/sostav-betona-voda-dlja-betona.html>
16. Why We Use Aggregates in Concrete<http://www.cement.org/for-concrete-books-learning/concrete-technology/concrete-design-production/use-of-aggregates-in-concrete>
17. Mix Design M-40-60 Grade<http://www.engineeringcivil.com/mix-design-m-40-grade.html>
18. გ. ბალიაშვილი, ლ. გურგენიძე, ნ.გურეშიძე, ა. მეზურიშვილი, რ. სამაღაშვილი. იაფი ბეტონის დამზადება კირქვის ფქვილის გამოყენებით. // მშენებლობა, № 1(16), 2010,

## SUMMARY

### BASIC REQUIREMENTS TO MODERN CONCRETE MIX DESIGN

**Baliashvili G.I., Sarjveladze N.V., Gogolauri I.G. and Katamadze I.I.**

**G. Tsulukidze Mining Institute**

The article considers the characteristics of the components of modern concrete mix, their impact on the properties and cost of the concrete, and on ecology. The issues of concrete mix proportioning are discussed.

**Keyword:** concrete, concrete mix design, concrete proportioning.

მსუბუქი ბეტონის ტექნოლოგიის ბაზმჯობისება

ბალიაშვილი გ.ი., სარჯველაძე ნ.გ., ქათამაძე ი.ი., ჯღამაია ვ.თ.

სსიპ გრიგოლ წულუკიძის სამთო ინსტიტუტი  
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ნაშრომის მიზანია ადგილობრივი ცემენტის და შემესების გამოყენებით მსუბუქი ბეტონის დამზადების ტექნოლოგიის გაუმჯობესება.

მსუბუქი ბეტონი ერთ-ერთ, საჭირო და იაფ სამშენებლო მასალას წარმოადგენს. მისი გამოყენებით შენობა-ნაგებობის თვითღირებულება მცირდება შენობის „მკვდარი წონის“ შემცირების ხარჯზე. წარმოდგენილია ბეტონის მოკლე ისტორია, ტერმინების განმარტება, ბეტონის კლასიფიკაცია, კორელაციური დამოკიდებულება ნარევის კომპონენტებს შორის და კონკრეტული ნარევის პროექტი.

ამიტომ სტატიაში განხილული საკითხი ბეტონის მექანიკისგანვითარების აქტუალურ ამოცანას წარმოადგენს.

ბეტონი - ფრანგულიდან - Beton, ინგლისურად - Concrete, ლათინურიდან- Concretus-გამკვრივებული ქვის მაგვარი ხელოვნური მასალა, რომელიც შემკვრელის წყალთან რეაქციის შედეგად, შემესების მარცვლების შეკავშირება-გამყარების გზით მიიღება.

პუცოლანი - იტალიურიდან Pozzolana იტალიის პორტის Pozzuoli-ის მიხედვით - ვულკანური ქანი, ფერფლი, წიდა.

პორტლანდცემენტი - ორტლანდ - Portland ქალაქი დიდ ბრიტანეთში. ცემენტი- ინგლისურად Cement, ლათინურიდან Cementum - დამსხვრეული ქვა.

კერამზიტი - გაფუებული ფოროვანი გამომწვარი თიხის ღორღი.

ინჰიბიტორი - ლათინურიდან - Inhibere - შეკავება, ქიმიური რეაქციის განვითარების შემნელებელი ნივთიერება).

არბოლიტი - ფრანგულიდან Arbre-xe შემოკლებით - ხებე-ტონი).

ვერმაკულიტბეტონი - ვერმაკულიტი - ლათინურიდან Vermaculus-ჭია. მინერალი ჰიდროქარსებიდან.

დადგენილია, რომ [1-2] ყოფილი იუგოსლავიის ტერიტორიაზე დაახლოებით 5600 წელს ჩვენს წელთაღრიცხვამდე (წ.ჩვ.წელ.ადრ.) საცხოვრებელი ქოხების იატაკზე გამოყენებულია ბეტონის მაგვარი მასალა. იგი წარმოადგენს თაბაშირით, კირით, კირქვის, ბაზალტის და მარმარილოს მარცვლების გამყარებულ მასას.

ძველ რომში (753-27 წ.ჩვ.წელ.ადრ.) გამოიყენებოდა დაფქვილი, გამომწვარი თიხის, ან პუცოლანის და კირის ნარევის გამკვრივებული ქვა-ბეტონი.ამგვარი ბეტონი საკმაოდ წყალშეუღწევადი და მყიფე იყო [1-2].

ბეტონისგანაა აგებული ეგვიპტის ლაბირინთის გაღვრეები (3600წ. წ.ჩვ.წელ.ად.) ჩინეთის დიდი კედელი (მე-3 საუკუნე ჩვ.წელ.ად.) ნაგებობები ინდოეთის ტერიტორიაზე და სხვა ადგილებში.

ბეტონის განვითარებაში ახალი ერა პორტლანდცემენტის გამოგონების (ჯოზეფ ასპდინი 1824 წ.) და გაუმჯობესების (ისააკ ჯონსონი 1845 წ.) შემდეგ დაიწყო და დღესაც წარმატებით გრძელდება [1-2].

ბეტონის საერთო კლასიფიკაცია. ა) შემკვრელის მიხედვით: ცემენტბეტონი, სილიკატბეტონი, თაბაშირბეტონი, წიდატუტიანბეტონი, ასფალტბეტონი და სხვა.

ბ) დანიშნულების მიხედვით: ჩვეულებრივი (სამრეწველო და სამოქალაქო მშენებლობისთვის), სპეციალური, ჰიდროტექნიკური, საგზაო, თბოიზოლაციური, დეკორატიული, ქიმიურად მდგრადი, სიცხემდგრადი, ბერაჩამსშობი, ანტირადიაციული და სხვა.

გ) მოცულობითი წონის მიხედვით: განსაკუთრებით მძიმე (სიმკვრივე=2500 კგ/მ<sup>3</sup>)-ბარიტული; მაგნეტიტური; ლიმონიტური; მძიმე (სიმკვრივე=1800-დან 2500 კგ/მ<sup>3</sup>-მდე) - ხრეშის; ღორღის (გრანიტის, ბაზალტის, კირქვის და სხვა); მსუბუქი (სიმკვრივე=500-დან 1800 კგ/მ<sup>3</sup>-მდე)-კერამზიტბეტონი; წიდაბეტონი; ქაფბეტონი;

აირბეტონი; არბოლიტი; ვერმაკულიტბე-ტონი; პერლიტბეტონი; განსაკუთრებით მსუბუქი (სიმკვრივე=500 კგ/მ<sup>3</sup>-ზე ნაკლები).

დ) კუმშვაზე სიმტკიცის მიხედვით) ნორმალური-სტანდარტული 20-50 მეგპა. 2) მაღალი სიმტკიცის 50-100 მეგპა. 3) ულტრა-მაღალი 100-150 მეგპა. 3) სპეციალური>150 მეგპა. არსებობს ყინვამდევი, კოროზიამდევი, ჰიდრომდევი, დარტყმამდევი და სხვა ტიპის ბეტონი [1-14].

ე) კლასის და მარკის მიხედვით მსუბუქი ბეტონი: B0,35 M 5; B0,75 M10; B1,5 M 25; B3,5 M50; B7,5 M100; B12,5 M150; B20 M250; B30 M400.

მსუბუქი ბეტონებიდან შედარებით ხშირად გამოიყენება კერამიზბეტონი და წიდაბეტონი [1-11]. მონოლითური და კარკასული რკინაბეტონის შენობაში ამგვარი ბეტონის გამოყენება გათბობაზე გაწეულ ხარჯებს მნიშვნელოვნად ამცირებს სიმსუბუქის და დაბალი თბოგამტარობის გამო. იგი წარმატებით გამოიყენება ხიდ და ჰიდროტექნიკურ მსენებლობაში. მისი გამოყენება შეზღუდულია შენობა ნაგებობის გარე კონსტრუქციულ ელემენტში რადგან მოითხოვს დამატებით ჰიდროსაიზოლაციო სამუშაოების ჩატარებას მისი დაბალი წყლშეუღწევადობის გამო.

შემკვრელ მასალად მსუბუქ ბეტონში გამოიყენება სწრაფადგამაგრებადი, ჩვეულებრივი პორტლანდცემენტი და წიდაპორტლანდცემენტი.

სწრაფადგამაგრებად ცემენტს გააჩნია სპეციალური მინერალური შემადგენლობა და კლინკერის მიკროსტრუქტურა, რაც დანამატების დოზირებით და ცემენტის დაფქვის განსხვავებული სიწმინდით მიიღება.

წიდაპორტლანდცემენტი შეიცავს სპეციალურ ჰიდრაფლიკურ დანამატს, რომელიც მიიღება 3,5 %-მდე ჩვეულებრივი პორტლანდცემენტის კლინკერის, 20-80 % წილის და 3,5 %-მდე თაბაშირის ქვის ერთად დაფქვით.

მსუბუქ ბეტონში გამოიყენება არაორგანული ბუნებრივი, ხელოვნური და ორგანული შემესები.

არაორგანული, ძირითადი ბუნებრივი შემესებია: ფოროვანი სრეში,ლორდი, ქვიშა; წიდა; გულკანური ტუფი;გულკანური ფერფლი; ნიჟარებიანი კირქვა; პერლიტი;

არაორგანული, ძირითადი ხელოვნური შემესებია: ქანის დამსხვრევით მიღებული, სითბური წიდა, ნაცარი (მაგალითად ანტრაციტის, ქვანახშირის, მურა ნახშირის დაწვით მიღებული); მეტალურგიული წიდა; კერამიტი .

ორგანული შემესებია ხის, ბამბის, ნამჯის და სხვა მასალის ღეროებისგან დამზადებული შემესები. იგი გამოიყენება, ძირითადად თბოიზოლაციურ ბეტონებში.

ბეტონის კლასის მიხედვით გამოიყენება შემდეგი მარკის II შემესები: B2.5II 15 ; B3.5II 25; B 5II 35; B7.5II 50; B710II 75; B12,5 II 100; B20II 200; B30II 300.

მსუბუქ ბეტონში გამოიყენება შემდეგი სახის დანამატი: ფორიანობის მარეგულირებელი; ჰაერმომზიდი; აირწარმომქმნელი; ქაფწარმომქმნელი; ჰიდროფობირობის შემძენი; პლასტიკურობის შემძენი; კოროზიის ინჰიბიტორი.

დაბალი თბოგამტარობა წარმოადგენს მსუბუქი ბეტონის ერთ-ერთ ძირითად თვისებას. თბოგამტარობა ნივთიერების სტრუქტურული ნაწილაკების მიერ სითბოს გადატანაა მათი სითბური მოძრაობის დროს. სითბური მოძრაობა წარმოადგენს ნივთიერების შემცველი ნაწილაკების ქაოტურ მოძრაობას.

თბოგამტარობა ტოლია სითბოს იმ რაოდენობისა, რომელიც 1 მ სისქის და 1 მ<sup>2</sup>-ის მქონე სხეულში 1 სთ-ის განმავლობაში გაივლის. ამ დროს სხეულის მოპირდაპირე ზედაპირებზე ტემპერატურის სხვაობა ტოლია 1 გრადუსის. გატარებული სითბოს რაოდენობა რიცხობრივად თბოგამტარობის კოეფიციენტის (KH) ტოლია. მის განზომილებას წარმოადგენს ვტ/მ °C (ან K), ან კკალ/მ<sup>2</sup>×სთ×გრად/მ.

ფორმულა (1)-ის მიხედვით შესაძლებელია მსუბუქი ბეტონის თბოგამტარობის განსაზღვრა მისი კუმშვაზე სიმტკიცის მიხედვით. კორელაციის კოეფიციენტი R<sup>2</sup>=0,960

$$K_H = 0,007 \times \sigma, \text{ vt/m}^0\text{K} \quad (1)$$

სადაც: KH- თბოგამტარობის კოეფიციენტი, ვტ/მ °K ; σ-სიმტკიცე კუმშვაზე, კგ/სმ<sup>2</sup>.

ფორმულა (2)-ის მიხედვით შესაძლებელია მსუბუქი ბეტონის თბოგამტარობის განსაზღვრა მისი სიმკვრივის მიხედვით. კორელაციის კოეფიციენტი R<sup>2</sup>=0,980

$$K_H=0,048 \times e^{0,001\rho, \text{კგ/მ}^3} \quad (2)$$

სადაც  $\rho$ -სიმკვრივე, კგ/მ<sup>3</sup>.

მაღალი ბგერაშეუღწევადობა (ბგერაშთანთქმადობა) წარმოადგენს მსუბუქი ბეტონის ერთ-ერთ ძირითად თვისებას. ბგერა წარმოადგენს გარემოში გავრცელებულ დრეკად ტალღებს, რომლებიც იწვევენ მის მექანიკურ რხევას.

ბგერის ხმის დონის ფიზიკურ მახასიათებელს წარმოადგენს მისი ძალა, რომელიც დეციბალებში იზომება. დეციბალი წარმოადგენს ენერჯის იმ რაოდენობას, რომელიც გადააქვს ტალღას 1 მ<sup>2</sup> ფართობის გამჭოლად ბგერის პერპენდიკულარული მიმართულებით 1 წმ-ის განმავლობაში. ბგერის ბარიერზე დაცემის დროს ნაწილი აირეკლება, ნაწილი გადადის სითბურ ენერჯიაში და შთანთქმდება, ხოლო დარჩენილი გადის ბარიერის მეორე მხარეს.

ბგერაშეუღწევადობის აჩვენებელს წარმოადგენს ბგერაშეუღწევადობის კოეფიციენტი  $K_s$ , რომელიც წარმოადგენს შთანთქმული ენერჯის დაცემულ ენერჯიასთან შეფარდების მნიშვნელობას. იგი 0-დან 1-მდე იცვლება.

ცხრილში 1 წარმოდგენილია სხვადასხვა მასალის ბგერაშეუღწევადობის კოეფიციენტის  $K_s$ , ფონი (1ფონი= 1დეციბალს 1000 ჰერცი სიხშირის დროს).

**ცხრილი 1. სხვადასხვა მასალის ბგერაშეუღწევადობის კოეფიციენტის  $K_s$  მნიშვნელობა**

მასალა	ბეტონის კედელი	აგურის კედელი	ხის კედელი	კერამიტი-ბეტონი	ტორფ-ბეტონი	მინერალური ბამბა	ქქა
$K_s$ , ფონი	0,015	0,032	0,080	0,12	0,49	0,700	0,780

ბგერაშეუღწევადი ბეტონის ძირითად მოთხოვნას ერთმანეთთან დაკავშირებული პატარა ზომის ფორმის მქონე სტრუქტურა წარმოადგენს. ამგვარ სტრუქტურაში გავლილი ბგერით ტალღას რხევით მოძრაობაში მოყავს ფორებში განთავსებული ჰაერი. პატარა ფორები დიდებთან შედარებით მეტ წინააღმდეგობას უწევენ ჰაერის გადაადგილებას და ამუხრუჭებენ მას. ხახუნის გამო მექანიკური ენერჯის ნაწილი გადადის სითბურში და შთანთქმდება მასალის მიერ.

რაც დაბალი სიმკვრივისაა მსუბუქი ბეტონი მით მაღალია მისი ბგერაშეუღწევადობის კოეფიციენტი.

მსუბუქი ბეტონის ნარევის დაპროექტება განსხვავდება სხვა ტიპის ბეტონის ნარევის დაპროექტებიდან. ამ შემთხვევაში გაძნელებულია გამოსაყენები წყლის რაოდენობის დადგენა. იმიტომ, რომ გასათვალისწინებელია: წყლის ხარჯი ჰყდრა-ტაციაზე და შემესების შთანთქმაზე; ჰიდრატაციის და წყალშთანთქმის სიჩქარე; შემესების ტენიანობა და სხვა.

წყლის ხარჯიდან გამომდინარეობს ცემენტის ხარჯი, რომელთა შეფარდება დამოკიდებულია ნარევის კუმშვაზე სიმტკიცის კლასსა და მარკაზე. აღსანიშნავია, რომ წყლის ცემენტთან შეფერადების მნიშვნელობის ბეტონზე ზემოქმედების და ბეტონის დროში გამყარების მექანიზმი, განსაკუთრებით მსუბუქ ბეტონებზე დღემდე სრულად არ არის შესწავლილი.

ცემენტის ხარჯის რაოდენობის განსაზღვრა შესაძლებელია ფორმულა (3)-ის საფუძველზე [8], რომელიც ცემენტის ხარჯსა და კუმშვაზე სიმტკიცეს შორის კორელაციურ დამოკიდებულებას გამოხატავს.

ფორმულა (4)-ის საფუძველზე [8], რომელიც კუმშვაზე სიმტკიცეს და ცემენტის ხარჯს შორის კორელაციურ დამოკიდებულებას გამოხატავს შესაძლებელია კუმშვაზე სიმტკიცის ზღერის დადგენა.

$$C = -0,1312 \times \sigma^2 + 16,97 \times \sigma + 12,005, \text{კგ/მ}^3 \quad (3)$$

სადაც  $C$ -ცემენტის ხარჯი, კგ/მ<sup>3</sup>.  $\sigma$  -სიმტკიცე კუმშვაზე, მეგპა. კორელაციის კოეფიციენტი  $R^2=0,9880$ .

$$\sigma = 0,0002 \times C^2 - 0,0283 \times C + 13,96, \text{მეგპა} \quad (4)$$

კორელაციის კოეფიციენტი  $R^2=0,9892$ ,

ექსპერიმენტულ-ანალიზური კვლევის საფუძველზე ცხრილში 2 წარმოდგენილია ჩვენ მიერ შემუშავებული, ადგილობრივი ნედლეულის გამოყენებით მსუბუქი ბეტონის ნარევის პროექტის სამი ვარიანტი.

ცხრილი 2. მსუბუქი ბეტონის ნარევის პროექტის ვარიანტი

კომპონენტი		ვარიანტი		
		1	2	3
N	სახეობა			
1	ცემენტი, კგ/მ <sup>3</sup>	240	200	150
2	წყალი, კგ/მ <sup>3</sup>	187	198	187
3	პემზა (მარცვლის მაქსიმალური ზომა, მმ), კგ/მ <sup>3</sup>	485 (19)	439 (13)	503 (19)
თვისება		მნიშვნელობა		
1	სიმტკიცე კუმშვაზე, კგ/სმ <sup>2</sup>	46	42	35
2	სიმკვრივე, კგ/მ <sup>3</sup>	912	837	840
3	კონუსის ჩაჯდომა, სმ	4	4	4
4	თბოგამტარობის კოეფიციენტი, ვტ/მ <sup>0</sup> С	0,21	0,18	0,18
5	ბგერაშეუღწევადობის კოეფიციენტი, ფონი	0,65	0,84	0,85

ამრიგად, შეიძლება გაკეთდეს შემდეგი დასკვნა: მსუბუქი ბეტონის სიმკვრივე 500-1800 კგ/მ<sup>3</sup> -ს შეადგენს და ძირითადად მზადდება მსუბუქი, ფოროვანი შემცვების და ცემენტის გამოყენებით; მსუბუქი ბეტონი წარმოადგენს, საკმაო სიმტკიცის, იაფ, კომფორტულ, სანიტარულ-ჰიგიენურ სამშენებლო მასალას; შემუშავებული ნარევის პროექტის ვარიანტების ვარირებით შესაძლებელია მსუბუქი ბეტონის დამზადება და გამოყენება მზიდ კონსტრუქციულ ელემენტში, სატიხრე კედელში, გადახურვის ფილების და გარე კედლების თბო და ბგერა საიზოლაციო დანიშნულებით, გადასატანი შენობის ელემენტების დამზადებისას და სხვა.

**ლიტერატურა**

1. Neville A.M. Properties of concrete, 4<sup>TH</sup> Edition, Now-York, 1996, 844p.
2. Ольга Мельник. Строительство и реконструкция. Журнал профессионалов. №7 2008.
3. Легкий бетон. www.avtobeton.ru
4. Легкий бетон extrabeton.ru.
5. Общая характеристика легких бетонов www.ibeton.ru.
6. ГОСТ 2582-83 Бетоны легкие. Технические условия.
7. Lightweight concrete technology. www.todaysconcretetechnology.
8. ACI 211.2-98 Standart practice for selecting Properties for structural Lighthweight concrete
9. ბალიაშვილი გ. და სხვები. ბეტონის კლასი მარკა, კონსტრუქციის სიმტკიცის დადგენა ამერიკული და რუსული სტანდარტების შედარება. //სამთო ჟურნალი, 1(24) 2010.
10. Foam Concrete www. Foamconcrete.co/nz.
11. ГОСТ 23499-79 Материалы и изделия строительные звукопоглощающие и звукоизоляционные. Классификация и общие технические требования.
12. Ultra-High Performance Concrete. http://www.cement.org/for-concrete-books-learning/concrete-technology/concrete-design-production/ultra-high-performance-concrete.
13. High – Strength and High Performance Concrete. https://theconstructor.org/concrete/high-strength-vs-high-performance-concrete/8617/.
14. Types of concrete.From Wikipedia, the free encyclopedia.

**SUMMARY**

**IMPROVEMENT IN LIGHTWEIGHT CONCRETE TECHNOLOGY**

**Baliashvili G.I., Sarjveladze N.V., Katamadze I.I. and Jgamaya V.T.**

**G. Tsulukidze Mining Institute**

The article deals with the improvement in the technology of production of lightweight concrete using the local cement and filler.

**Keyword:** lightweight concrete, cement filler.

## О ФИЗИЧЕСКОЙ ПРИРОДЕ ЭФФЕКТА ДАЛЬНОДЕЙСТВИЯ ПРИ ПРОЦЕССАХ ЗАРОЖДЕНИЯ И РОСТА КРИСТАЛЛОВ

Герасимов А.В., Вепхвадзе М.Т., Горгадзе К.М., Шенгелия М.А., Хизанишвили Ш.М.,  
Чирадзе Г.Д.

Грузинский технический университет  
Кутаисский государственный университет им. А. Церетели

Эффект дальнего действия в процессах роста кристаллов через аморфные или поликристаллические граничные слои заключается в ориентированной кристаллизации в условиях отсутствия непосредственного контакта между кристаллической подложкой и осаждаемым веществом [1,2]. По общепринятым представлениям наносимый материал должен получаться аморфной структуры или в лучшем случае поликристаллической. Но на внешней стороне граничных слоев получают монокристаллические плёнки и, в большинстве случаев, лучшего качества, чем выращенные на контрольных участках, без буферных слоев [3-7]. При этом отмечается, «что передача структурной информации не зависит от кристаллографической ориентации микрокристаллов» [2]. Но эффект уменьшается с ростом толщины буферного слоя и полностью исчезает при толщинах приблизительно 20 нм [1]. Для объяснения этого интересного явления на сегодняшний день существует предположение: «На поверхности и в объеме кристалла - подложки, по всей видимости, существуют заряженные локальные активные центры, представляющие собой точечные дефекты и их микро и макро скопления, что обуславливает в дифракционно - аморфных граничных слоях возникновение индуцированной поляризационной структуры, способной передавать и «запоминать» структурную информацию. Расположенные в объеме и на поверхности активные заряженные центры могут образовывать поляризационно заряженные мостики, способные передавать структурную информацию на значительные расстояния через буферные слои» [2]. При этом делается допущение: «В аморфных граничных слоях может существовать ближний порядок - «монокристалльный» электрический порядок, который достаточно независим от атомной структуры слоев» [2]. Но обнаружение информационных свойств у граничных металлических слоёв, которые, по принятым представлениям, закорочивая электрический активные центры, полностью экранируют потенциальный рельеф поверхности твердых тел, не должны обладать каким-либо информационными свойствами, заставило авторов сделать ещё одно, на наш взгляд, спорное допущение: «В граничных металлических слоях вблизи активных центров поверхности кристаллов – подложек образуются локальные полупроводниковые и /или диэлектрические соединения металлов, в которых индуцируется поляризационные микроструктуры электретного типа» [2].

В данной работе мы предлагаем механизм эффекта дальнего действия в процессах роста кристаллов через граничные слои, основанный на рассмотрении природы химической связи между наносимыми атомами и атомами поверхности и её изменения в зависимости от условий их взаимодействия в процессе нанесения. Как известно, природа химической связи, несмотря на значительные успехи квантовой химии, до конца не установлена [8]. Есть несколько подходов для решения этой проблемы, и все они базируются на утверждении, что химическая связь осуществляется электронами между ионными остовами соответствующих атомов [9-11]. Считается, что «реальная связь в химических соединениях носит промежуточный характер между ионной, ковалентной и металлической» [8]. Известно, что в молекулах состоящих из разных атомов, плотность отрицательного заряда связывающих электронов сдвинута в сторону атома, имеющего большую электроотрицательность (ЭО), т.е. происходит поляризация химической связи [8]. Но, поскольку «ЭО не строгая физическая величина, которую можно непосредственно экспериментально определить, не постоянна и зависит от природы другого атома, с которым химически связан данный атом» [12], мы решили для оценки полей ионных остовов, определяющих распределение плотности отрицательного заряда связывающих электронов,

использовать вполне определяемую постоянную величину - удельную энергию связи валентных электронов своим ионным остовом, рассчитываемую как

$$\bar{I} = \frac{\sum_{i=1}^n I_i}{n} \quad (1)$$

где  $I_i$  - энергия ионизации  $i$ -го валентного электрона, но получаемая не последовательной ионизацией атомов, а ионизацией нейтрального атома для каждого из  $n$  - валентных электронов [13]. В отличие от ковалентной связи электростатическое взаимодействие разноименных зарядов не знает насыщаемость [8]. Если отрицательный заряд притягивается к одному положительному, то это ему отнюдь не мешает одновременно притягиваться к другим положительным зарядам. Этим объясняется то кажущееся противоречие, что при переходе от газообразных молекул к кристаллам наблюдается заметное увеличение длины связи, тем не менее, сопровождающееся её упрочнением. Несмотря на то что каждая отдельная связь в кристалле слабее, чем в соответствующей молекуле, число связей с другими атомами намного больше, что и увеличивает общую энергию взаимодействия [12]. Естественно величина взаимодействия с увеличением расстояния от атомного остова, которому принадлежал валентный электрон, будет уменьшаться за счёт экранирования электронами и ионными остовами. Таким образом, пространственное распределение вероятности нахождения отрицательного заряда (т.е. её плотности) нельзя считать строго фиксированным между ближайшими соседними ионными остовами, оно будет распространяться и на другие межатомные области по преимущественным направлениям (такой динамический подход используется в описании электромерного [14] и индуктивного [15] эффектов, несмотря на то, что количественные оценки недостаточно определены), которые определены электростатическими и электромагнитными полями атомных остовов и их валентных электронов. Для характеристики интенсивности этого распространения, наверное, можно использовать удельную энергию связи валентных электронов, поскольку, чем больше её величина тем лучше должна сохраняться направленность и интенсивность полей определяющих химические связи. Исходя из выше сказанного, кристаллическое тело можно представить как полевую структуру совокупности электростатических и электромагнитных полей с чётко определёнными направлениями и величинами. Эту мысль впервые высказал Э. Шредингер: «Я склонен рассматривать всё строение кристаллической решетки как нечто весьма родственное стоячей де-Бройлевской волне. ... Тогда весь процесс взаимодействия можно представить как взаимодействие полевых структур или волновых функций. На этом пути, однако, возникают громадные трудности [16],...и приходится прибегать к «химической и математической интуиции» и заниматься построением «догадок» [17]. Из работ открывателей обсуждаемого эффекта - Г.И. Дистлера и его сотрудников [3,4,6,18-20] следует, что «эффективная активная поверхность твёрдого тела как бы приподнята на некоторое расстояние от его геометрической поверхности» [2]. Для объяснения этого предположения рассмотрим направленность полей на поверхности кристаллического тела до и после нанесения промежуточного слоя. Отсутствие атомов со стороны поверхности, которые должны были притягивать электроны, участвующие в создании химической связи, меняет направленность кристаллических полей и эти электроны притягиваются соседними по поверхности и подповерхностными атомными остовами. Происходит перетекание плотности заряда связывающих электронов по поверхности и в глубь кристаллического тела (рис.1), что соответственно увеличивает силу химической связи. Именно этим объясняется увеличение поверхностной твердости твердых тел [21,22] рис.2.

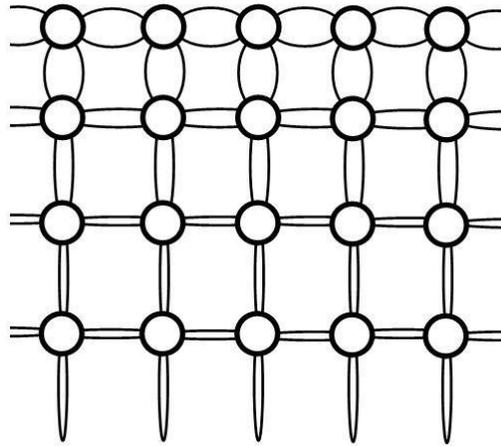


Рис. 1. Схематическое изображение перетекания излишней плотности связывающего отрицательного заряда на химические связи атомов, расположенных на и вглубь поверхности

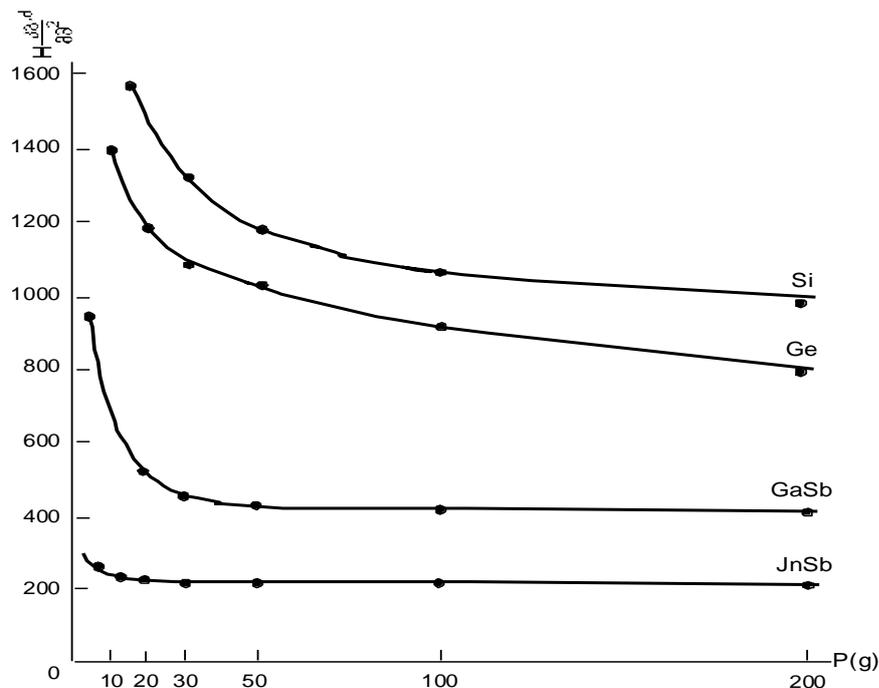


Рис.2. Зависимость микротвёрдости  $H$  вещества от нагрузки  $P(g)$  на индентор (глубина проникновения индентора тем больше, чем выше нагрузка)

Таким образом, приповерхностная область, как справедливо отмечается в [2,23], можно рассматривать как особую фазу, обладающую совсем другими характеристиками, чем объемная фаза, и распространяющуюся в глубь твердого тела. Для разных веществ проникновение в глубь объема этой избыточной плотности связывающего заряда будет тем больше, чем больше удельная энергия связи валентных электронов ионными остовами данного вещества и меньше диэлектрическая проницаемость рис.2. [24]. Эту глубину можно приблизительно оценить по уменьшению микротвёрдости с увеличением глубины проникновения индентора. Перетекание плотности заряда связывающих электронов меняет полевую структуру кристалла в том плане, что поля не распространяются от поверхности вне кристалла также как если были бы соответствующие атомы. При нанесении атомов граничного слоя из-за их взаимодействия с поверхностными атомами происходит постепенное обратное перетекание плотности заряда связывающих электронов и восстановление кристаллических полей, направленность и интен-

сивность которых значительно больше чем направленность в образующемся аморфном или поликристаллическом слое. Естественно, они будут уменьшены за счёт экранирования другими электронами и атомными остовами граничного слоя, но всё же будут на некоторое расстояние пронизывать его. Следовательно, на поверхности граничного слоя до определённых его толщин, в отличие от чистой поверхности, будут расстилаться кристаллографические ориентированные поля, что обеспечивает кристалличность наносимого вещества. Именно постепенным обратным перетеканием плотности заряда связывающих электронов и восстановлением кристаллических полей объясняется «на первый взгляд парадоксальное явление, заключающееся в улучшении степени ориентации осаждаемых в вакууме слоёв по мере увеличения их толщины» [2]. Изменение качества эффекта дальнего действия в результате различных внешних воздействий (облучение гамма квантами, химическое или ионное травление, воздействие различных полей) [2, 25] происходит из-за того, что они меняют полевою структуру приповерхностного слоя кристалла.

Таким образом, полевая структура кристаллической решётки, состоящая из совокупности электростатических и электромагнитных полей, которая пронизывает на определённое расстояние граничные слои, является кристаллографическим ориентирующим полем, обеспечивающим кристалличность наносимого слоя.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Н.Т. Кузнецов, В.М. Новоторцев, В.А. Жабрев, В.И. Марголин. Основы нанотехнологии. -Москва, БИНОМ. /Лаборатория знаний, 2014, 412 с.
2. Серов И.Н., Марголин В.И., Жабрев В.А., Тупик В.А., Фантиков В.С. Эффекты дальнего действия в микро - и наноразмерных структурах. //Инженерная физика, 2005, № 1, сс. 51-67.
3. Г.И. Дистлер. Реальное строение, активность и дальнее действие кристаллических поверхностей. В сб.: Рост кристаллов, Т. VIII. -Москва, Наука, 1968, сс. 108-123.
4. Ю.М. Герасимов, Г.И. Дистлер. Ориентированная кристаллизация золота на поверхности NaCl через аморфную углеродную плёнку. //Кристаллография, 1969, т.14, № 6, сс.1101-1104.
5. Г.И. Дистлер, Исследование структуры свойства твёрдых тел методами декорирования. /Изв. АН СССР, Сер. физ, 1972, т. 36, сс.1846.
6. Г.И. Дистлер, В.П. Власов. Сетчатая структура реальных кристаллов, определяющая ориентационные эффекты при эпитаксии. /Изв. АН СССР, Сер. физ, 1974, т. 38, сс.1438-1442.
7. Г.И. Дистлер, В.М. Каневский, Д.М. Герасимов. Получение тонких плёнок с гладкой поверхностью методом дальнего действия кристаллизации. /Изв. АН СССР, Сер. физ., 1984, т. 48, № 9, сс.1697-1702.
8. Я.А. Угай. Общая и неорганическая химия. -Москва, Высшая школа, 2000, 527 с.
9. Л. Паулинг. Природа химической связи. Москва, Ленинград, 1947, 440 с.
10. Э. Картмелл, Г.В.А. Фулс. Валентность и строение молекул. -Москва, Химия, 1979, 359 с.
11. Харрисон У. "Электронная структура и свойства твердых тел: Физика химической связи": Пер. с англ. - Москва, Мир, 1983, 381с.
12. Я.А. Угай. Общая химия. -Москва, Высшая школа, 1984, 440 с.
13. Физические величины, справочник. -Москва, Энергоатомиздат, 1991, сс. 418-420.
14. Электромерный эффект. Большой энциклопедический словарь. -Москва, Химия, Научное изд-во Большая Российская энциклопедия, 1998, 700 с.
15. В. И. Минкин. Индуктивный эффект. Большой энциклопедический словарь. -Москва, Химия, Научное изд-во Большая Российская энциклопедия, 1998, 222 с.
16. В. Кон. Электронная структура вещества – волновые функционалы плотности. УФН, 2002, т.172, №3, сс. 336-348.
17. Э. Шредингер. Лекции по физике. -Ижевск: НИЦ Регулярная и хаотическая динамика, 2001, 187с.
18. Г.И. Дистлер, В.П. Власов. Влияние электрических свойств поверхности кристаллов-подложек на процессы кристаллизации. //Кристаллография, 1969, т.14, № 5, сс. 872-878.
19. Г.И. Дистлер, Е.И. Токмаева. Исследование электрических свойств поверхности - ионных кристаллов. //Кристаллография, 1969, т.14, №6, сс.1055-1058.
20. Г.И. Дистлер. Дискуссионные вопросы эпитаксии. /Изв. АН СССР, Сер. физ., 1974, т. 38, № 7, сс.1424-1429.
21. А. В. Gerasimov, G. D. Chiradze, N.G. Kutivadze. On the Physical Nature of a Photomechanical Effect. // Semiconductors, 2001, v. 35, №1, p. 70.
22. А. В. Gerasimov, G. D. Chiradze, Т. К. Ratiani, D. G. Buachidze. New mechanism of nano-indentation process. /2nd International Conference "Nanotechnologies", Nano-2012. Tbilisi, Georgia, September 19-21, 2012. Contents, p.170.

23. В. И. Грачёв, В. И. Марголин, В. А. Тупик. Слабые и сверхслабые воздействия в нанотехнологиях, биологии и медицине. -Ижевск, Удмуртия, 2016, 303 с.
24. В. М. Глазов, В. Н. Вигдорович. Микротвёрдость металлов и полупроводников. -Москва, Metallurgia, 1969, 248 с.
25. В. Ф. Бочкарёв, Э. Ю. Бунин. Влияние электромагнитных полей на процесс формирования сверхтонких плёнок при плазмостимулированном методе осаждения. //Микроэлектроника, 2009, т.38, №3, сс. 181-187.

#### **SUMMARY**

#### **ON THE PHYSICAL ORIGIN OF THE LONG-RANGE EFFECT IN THE PROCESSES OF CRYSTAL NUCLEATION AND GROWTH**

**Gerasimov A.V., Vepkhvadze M.T., Gorgadze K.M., Shengelia M.A., Khisanishvili Sh.M. and Chiradze G.D.**

**Georgian Technical University**

In the processes of crystallization, the existence of a structuring organizing informational beginning that is a crystal surface is essential. The paper discusses the mechanism of the effect of the crystal surface on crystallization. It is shown that spatial distribution of the probability of finding of a negative binding charge (i.e. density) cannot be considered fixed between the nearest neighboring ion cores. It propagates with decreasing magnitude to other interatomic regions in preferential directions. These directions are determined by electrostatic and electromagnetic fields of atoms ion cores and their valence electrons, which provides the crystallinity of the deposited substance.

**Keywords:** long-range effect, crystallization, chemical bonds, amorphous boundary layer, polycrystalline boundary layer.

რადიოაქტიურ ნარჩენებთან მოპყრობა მათი კლასიფიკაციის გათვალისწინებით  
(საქართველოს შემთხვევა)

ნაბახტიანი გ.ნ., გორგაძე კ.მ., თვალთაშვილი ვ.ზ., გორგაძე ი.ს., ხიზანიშვილი შ.მ.

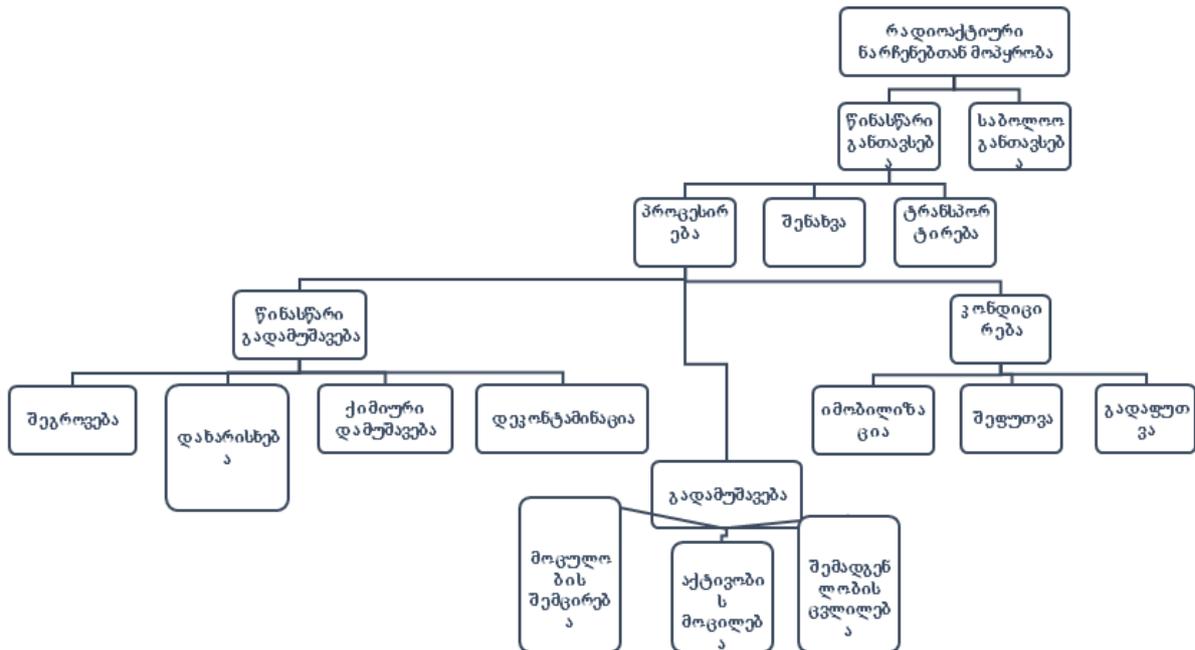
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

1. შესავალი

საქართველოში მიღებული რადიოაქტიური ნარჩენების მართვის პოლიტიკისა და სტრატეგიის [1] მიხედვით ყველა სახის რადიოაქტიური ნარჩენი საბოლოოდ უნდა განთავსდეს შესაბამის სამარხში. თუმცა, ქართული კანონმდებლობა ითვალისწინებს რადიოაქტიური ნარჩენების ექსპორტს [2], ასეთი შესაძლებლობა, როგორც წესი, გამოიყენება მხოლოდ ცალკეულ შემთხვევებში, როდესაც გარკვეული სახის ნარჩენი იგზავნება საზღვარგარეთ გამოსაკვლევად ან როდესაც ქვეყანას ტოვებს გამოყენებიდან ამოღებული რადიოაქტიური (რომელიც განიხილება, როგორც რადიოაქტიური ნარჩენი) წყარო მომწოდებელთან დასაბრუნებლად. საქართველოში მიღებული პოლიტიკის თანახმად, მოქმედებს სისტემა, რომელიც მოითხოვს რადიოაქტიური წყაროს შემომტანისგან გარკვეული გარანტიების წარმოდგენას, რომ გამოყენების ვადის გასვლის შემდგომ წყარო დაუბრუნდება მომწოდებელს. ამავე პოლიტიკის თანახმად, საზღვარზე აღმოჩენილი ყველა უკანონო რადიოაქტიური წყარო ან ნარჩენი ბრუნდება უკან. ამ მხრივ პრობლემატურია საზღვაო საზღვარი, სადაც გართულებულია წყაროს ან ნარჩენის უკან დაბრუნების პროცედურის განხორციელება. ასეთი პოლიტიკის მიზანია, რომ ქვეყანაში მინიმუმამდე იქნას დაყვანილი რადიოაქტიური ნარჩენების შესაძლო გენერაცია, რათა სახელმწიფომ არ აიღოს ვალდებულება სხვა ქვეყნის მიერ გენერირებული რადიოაქტიური ნარჩენის მოვლაზე, რაც სრულად შეესაბამება რადიოაქტიურ ნარჩენებთან მოპყრობის არსებულ საერთაშორისო პრინციპებს [3].

დამარხვამდე რადიოაქტიური ნარჩენი მოითხოვს გარკვეულ მოპყრობას [4]. უსაფრთხო განთავსების მიზნით, რადიოაქტიური ნარჩენები შეიძლება შენახული იქნას რადიოაქტიური ნარჩენების საცავში (ხანგრძლივი, დროებითი შენახვა). საცავების ოპერირების უსაფრთხოება უზრუნველყოფილი უნდა იქნას შესაბამისი უსაფრთხოების ფუნქციების, უსაფრთხოების სტრუქტურების, კომპონენტების არსებობითა და გამართული მუშაობით. ამ ფუნქციების და კომპონენტების შეფასება ხორციელდება შესაბამისი უსაფრთხოების შეფასების ჩატარებით. დამარხვის წინა პერიოდში რადიოაქტიურ ნარჩენთან მოპყრობის ქმედებები გამოსახულია ნახ.1-ზე მოყვანილ სქემაზე.

რადიოაქტიურ ნარჩენებთან მოპყრობის პირველ ეტაპზე, რადიოაქტიური ნარჩენი შეიძლება განთავსდეს რადიოაქტიური ნარჩენების სამარხში, თუ მისი ფიზიკო-ქიმიური მონაცემები აკმაყოფილებენ მოცემულ სამარხში რადიოაქტიური ნარჩენის მიღების კრიტერიუმის პირობებს. ასეთი განთავსება საბოლოოა და რადიოაქტიურ ნარჩენთან მოპყრობის სხვა ქმედებების განხორციელება არ იგეგმება. წინააღმდეგ შემთხვევაში უნდა განხორციელდეს რადიოაქტიური ნარჩენის წინასწარი განთავსება, რომელიც გულისხმობს რადიოაქტიური ნარჩენის შენახვას (როგორც ხანგრძლივს, ისე მოკლევადიანს), ნარჩენის ტრანსპორტირებას და მის პროცესირებას. რადიოაქტიური ნარჩენის პროცესირების ქვეშ განიხილება მისი წინასწარი გადამუშავება და კონდიცირება.



ნახ.1. რადიოაქტიურ ნარჩენებთან დამარხვის წინა პერიოდში განსახორციელებელი ქმედებები

რადიოაქტიური ნარჩენების წინასწარი გადამუშავება ან მისი ცალკეული ეტაპი შეიძლება განხორციელდეს მისი წარმოქმნის ადგილზე. იგი მოიცავს რადიოაქტიური ნარჩენების შეგროვებას, დახარისხებას, საჭიროებისამებრ ქიმიურ დამუშავებას და დეკონტამინაციას. რადიოაქტიური ნარჩენის გადამუშავება უნდა ხორცილდებოდეს ამისათვის სპეციალურად გამოყოფილ არეში. იგი გულისხმობს შეძლებისდაგვარად რადიოაქტიური ნარჩენის მოცულობის შემცირებას (რათა ოპტიმალურად იქნას გამოყენებული საცავის ან/და სამარხის სივრცე), გარკვეული რადიონუკლიდების მოცილებას რადიოაქტიური ნარჩენისაგან და ნარჩენის ქიმიური შემადგენლობის შესაბამის ცვლილებას. რადიოაქტიური ნარჩენის კონდიცირება ასევე უნდა განხორციელდეს შესაბამისად გამოყოფილ არეში. კონდიცირების მთავარი მიზანია განსაზღვრული ბარიერის შექმნა რადიოაქტიური ნარჩენის გარემოში გაბნევის თავიდან ასაცილებად. კონდიცირება გულისხმობს გარკვეული მოცულობის რადიოაქტიური ნარჩენის იმობილიზაციას მატრიცაში, მის შემდგომ შეფუთვას და საჭიროებისამებრ მის გადაფუთვას.

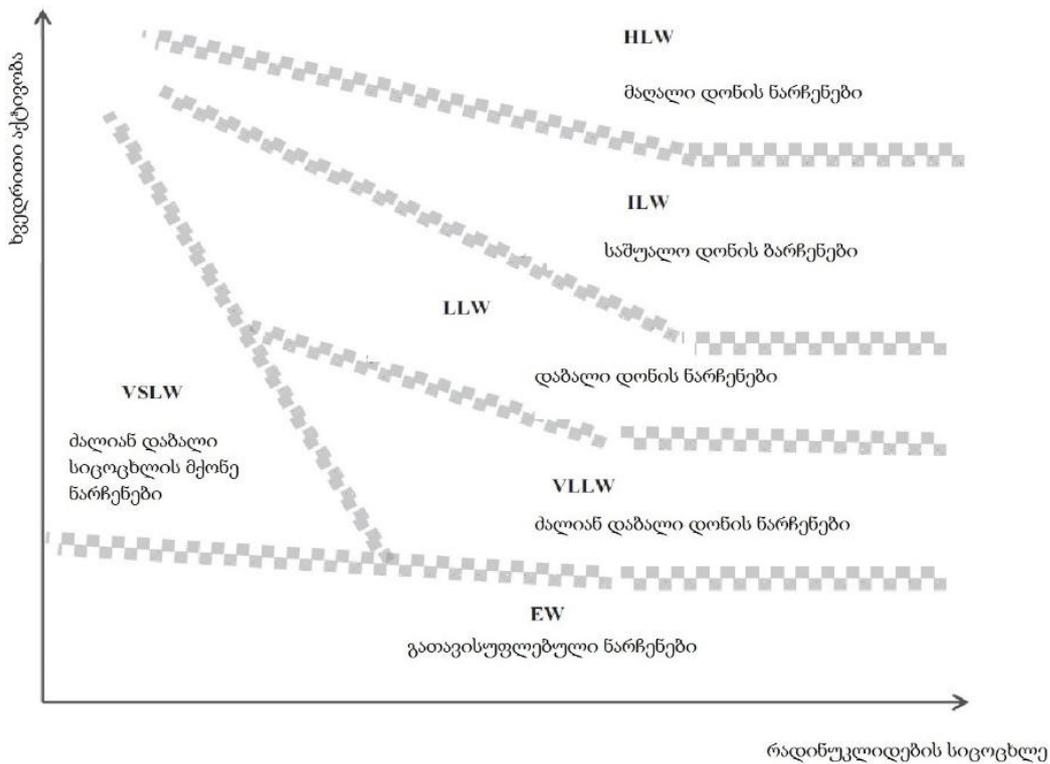
## 2. რადიოაქტიური ნარჩენების კლასიფიცირება

რადიოაქტიური ნარჩენების კლასიფიცირება განსაზღვრულია ტექნიკური რეგლამენტის - „მაიონებელი გამოსხივების წყაროების, რადიოაქტიური ნარჩენების, ავტორიზაციის უწყებრივი რეესტრის შექმნისა და წარმოების წესის, მაიონებელი გამოსხივების წყაროების კატეგორიზაცია“, მე-6 მუხლით (სურ.2). ამავე დროს საბუთი იძლევა მხოლოდ საერთაშორისო სისტემის შესაბამისი კლასების ჩამონათვალს [5], ისე, რომ არ განსაზღვრავს თუ როგორ უნდა იქნას მიკუთვნებული ეს კლასები კონკრეტული სახის ნარჩენებისთვის. გარდა ამისა, არ არის განსაზღვრული გამოყენებიდან ამოღებული რადიოაქტიური წყაროების, როგორც ნარჩენების კლასიფიცირება. ამ დროს საქართველოს რადიოაქტიური ნარჩენების უმეტესობას სწორედ გამოყენებიდან ამოღებული რადიოაქტიური წყაროები წარმოადგენს.

გასათვალისწინებელია, რომ მოცემული კლასიფიცირების მიზანია სისტემატიზირებული იქნას რადიოაქტიურ ნარჩენებთან მოპყრობა ბირთვული და რადიაციული

უსაფრთხოების გაძლიერების მიზნით. კლასიფიცირება ჩამოყალიბებულია შემდეგი პრინციპების გათვალისწინებით:

- ა) იგი მოიცავს რადიოაქტიური ნარჩენების ყველა სახეს;
- ბ) იგი აღვილადაა გამოსაყენებელი რადიოაქტიურ ნარჩენებთან მოპყრობის ყველა ეტაპზე, მიუხედავად იმისა, რომ ეს ეტაპები ერთმანეთისაგან დამოუკიდებელია;
- გ) ითვალისწინებს რადიოაქტიური ნარჩენების საშიშროების ხასიათს;
- დ) აღვილად მისასადაგებელია რადიოაქტიური ნარჩენების სხვადასხვა სპეციფიკური შემთხვევისთვის;
- ე) შესაძლებელია გამოყენებული იქნას ფართოდ (სხვადასხვა შემთხვევებისთვის).



ნახ.2. რადიოაქტიური ნარჩენების კლასები

საერთოდ, რადიოაქტიური ნარჩენის მიკუთვნება მოცემული კლასისადმი უნდა განისაზღვროს შემდეგი ფაქტორების გათვალისწინებით:

- ა) ნარჩენის წარმოშობა (გენერაციის სახე);
- ბ) კრიტიკულობა (ბირთვული მასალის შემთხვევაში);
- გ) რადიოლოგიური მახასიათებლები:
  - გ.ა) ნუკლიდების სიცოცხლის ხანგრძლივობა (ნახევარდაშლის პერიოდი);
  - გ.ბ) მაიონებელი გამოსხივების სიმძლავრე;
  - გ.დ) რადიონუკლიდების ხვედრითი აქტიუობა (კონცენტრაცია);
  - გ.ე) ზედაპირული დაბინძურება;
  - გ.ვ) არსებული რადიონუკლიდების დოზური ფაქტორები;
  - გ.ზ) რადიოაქტიური დაშლის პროდუქტები.
- დ) ფიზიკური მახასიათებლები:
  - დ.ა) აგრეგატული მდგომარეობა (მყარი, თხევადი ან აირი)
  - დ.ბ) ზომა და მასა;
  - დ.გ.) კუმშვადობა;
  - დ.ე) გაბნევადობა;
  - დ.ვ) აქროლვადობა;

- დ.ზ) შერევადობა სხვა ინგრედიენტებთან;
- დ.თ) თავისუფალი სითხის არსებობა;
- ე) ქიმიური მახასიათებლები:
  - ე.ა) ქიმიური შემადგენლობა;
  - ე.ბ) ხსნადობა და მაქელატირებელი კომპონენტების შემცველობა;
  - ე.გ) ქიმიური საშიშროება;
  - ე.დ) კოროზიამდებობა;
  - ე.ე) ორგანული კომპონენტები;
  - ე.ვ) აალებადობა და ფეთქსაშიშროება;
  - ე.ზ) ქიმიური აქტივობა და გაფართოების პოტენციალი;
  - ე.თ) აირების გენერაცია;
  - ე.ი) რადიონუკლიდების სორბცია;
  - ვ) ბიოლოგიური მახასიათებლები:
    - ვ.ა) პოტენციური ბიოლოგიური საფრთხე;
    - ვ.ბ) ბიოაკუმულაცია.
  - ზ) სხვა ფაქტორები:
    - ზ.ა) მოცულობა;
    - ზ.ბ) დროის ერთეულში გენერირებული ნარჩენის ოდენობა;
    - ზ.გ) ფიზიკური განაწილება.

რადიოაქტიური ნარჩენების მიკუთვნება თითოეული კლასისადმი უნდა განხორციელდეს შემდეგი კრიტერიუმების გათვალისწინებით:

**განთავისუფლებული რადიოაქტიური ნარჩენები (EW)**

განთავისუფლებული რადიოაქტიური ნარჩენები (EW) შეიცავენ რადიოაქტიურ ნივთიერებებს, რომელთა დონე არ აღემატება საქართველოს კანონმდებლობით განსაზღვრულ რეგულირებიდან ამოღების დაწესებულ დონეს. ისინი არ საჭიროებენ შესაბამის მოპყრობას (კონდიციონირება, გადამუშავება, შენახვა, დამარხვა), როგორც რადიოაქტიური ნარჩენი.

**ძალიან დაბალი სიცოცხლის მქონე რადიოაქტიური ნარჩენები (VSLW)**

ძალიან დაბალი სიცოცხლის მქონე რადიოაქტიური ნარჩენების (VSLW) კლასს განეკუთვნებიან ის რადიოაქტიური ნარჩენები, რომელთა შემცველი რადიონუკლიდის (პრედომინირებული რადიონუკლიდის) ნახევარდაშლის პერიოდი ძალზე მცირეა (100 დღეზე ნაკლები). ძალიან დაბალი სიცოცხლის მქონე რადიოაქტიური ნარჩენები (VSLW) შენახულნი უნდა იყვნენ, როგორც რადიოაქტიური ნარჩენები, სანამ ისინი აქტივობის მიხედვით არ გახდებიან განთავისუფლებული რადიოაქტიური ნარჩენები.

**ძალიან დაბალი დონის რადიოაქტიური ნარჩენები (VLLW)**

ძალიან დაბალი დონის (VLLW) რადიოაქტიური ნარჩენები შეიცავენ რადიონუკლიდებს, რომელთა აქტივობაც მცირედ აღემატება რეგულირებიდან ამოღების დონეს. ეს ნარჩენები ითხოვენ რადიაციული დაცვის პირობების შედარებით შეზღუდულ გამოყენებას, უფრო მაღალი კლასების რადიოაქტიური ნარჩენებისგან განსხვავებით. ეს ნარჩენები ხშირად შეიცავენ ბუნებრივი წარმოშობის რადიოაქტიურ მასალებს (NORM) და შეიძლება უსაფრთხოდ განთავსდნენ ინჟინრული სტრუქტურებით აგებულ მიწისზედა სამარხში. ისინი შეიძლება შეიცავდნენ, როგორც მცირე დროის არსებობის რადიონუკლიდებს (ნახევარდაშლის პერიოდი 30 წელიწადზე ნაკლები), ისე დიდი დროის არსებობის რადიონუკლიდებს (ნახევარდაშლის პერიოდი 30 წელიწადი და მეტი). -გამომსხივებლების შემთხვევაში მცირე სიმძლავრის რადიოაქტიური ნარჩენებისათვის ერთ შეფუთვაში განლაგებული ნარჩენების კონცენტრაცია არ უნდა აღემატებოდეს 4000 ბკ/გ-ს, ხოლო მთელ საცავში არსებულთათვის კი - 400 ბკ/გ-ს.

**დაბალი დონის რადიოაქტიური ნარჩენები (LLW)**

დაბალი დონის რადიოაქტიური ნარჩენები (LLW) შეიძლება შეიცავდნენ ხანგრძლივი სიცოცხლის მქონე რადიონუკლიდებს, მცირე კონცენტრაციით და მცირე სიცოცხლის მქონე რადიონუკლიდებს მაღალი კონცენტრაციით. როგორც წესი ასეთი

ნარჩენები არ საჭიროებენ სპეციალურ შეფუთვას. ამ კლასის ნარჩენები შეიძლება განლაგებულნი იქნენ მიწისპირა რადიოაქტიური ნარჩენების სამარხში.

**საშუალო დონის რადიოაქტიური ნარჩენები (ILW)**

საშუალო დონის რადიოაქტიური ნარჩენები (ILW) მნიშვნელოვანი კონცენტრაციით შეიცავენ ხანგრძლივი სიცოცხლის მქონე რადიონუკლიდებს. მათი გარემოსგან იზოლაცია საჭიროებს უფრო მაღალ დაცვას ვიდრე ამის საშუალებას იძლევა მიწისპირა სამარხი. კერძოდ, საშუალო დონის რადიოაქტიური ნარჩენები (ILW) უნდა განთავსდნენ საშუალო სიღრმის გეოლოგიურ სამარხებში (ათეული მეტრიდან რამოდენიმე ასეულ მეტრამდე).

**მაღალი დონის რადიოაქტიური ნარჩენები (HLW)**

მაღალი დონის რადიოაქტიური ნარჩენები(HLW), საშუალო დონის რადიოაქტიური ნარჩენებისგან განსხვავებით შეიცავენ, როგორც დიდი სიცოცხლის მქონე რადიონუკლიდებს, ისე მცირე სიცოცხლის მქონე რადიონუკლიდებს, მაღალი კონცენტრაციებით და საჭიროებენ მკაცრ იზოლაციას ბიოსფეროდან რადიოაქტიური ნარჩენების გეოლოგიურ სამარხებში განთავსებით. ჩვეულებრივ მაღალი დონის რადიოაქტიური ნარჩენები რადიოაქტიური დაშლისას გამოჰყოფენ სითბოს მნიშვნელოვან რაოდენობას.

როგორც ზემოთ მოყვანილი აღწერიდან ჩანს, მოყვანილი კლასიფიკაცია მიმართულია რადიოაქტიური ნარჩენის დამარხვის მეთოდის განსაზღვრასთან. ამგვარად, ამ კლასიფიკაციას ძირითადად ემორჩილება უკვე გადამუშავებული რადიოაქტიური ნარჩენი (ან რადიოაქტიური ნარჩენი, რომელიც არ საჭიროებს გადამუშავებას). შესაბამისად, გადამუშავებამდე რადიოაქტიურ ნარჩენთან მოპყრობის გზების შესარჩევად ეს კლასიფიკაცია არ გამოდგება. აქვე გასათვალისწინებელია, რომ საქართველოში არ არის მიღებული გამოყენებული რადიოაქტიური წყაროების კლასიფიკაცია და მათი შესაბამისობა ნარჩენების არსებულ კლასებთან. იგი შეიძლება განისაზღვროს ცხრ.1-ში მოყვანილი სიდიდეების მიხედვით.

**ცხრილი 1.**

N	კლასი	ნახევარდაშლის პერიოდი, T	აქტიუობა, A	შესაბამისობა ნარჩენების კლასებთან
1	ა	$T < 100$ დღე	-	VSLW
2	ბ	$100 \text{ დღე} \leq T < 15 \text{ წ.}$	$A \leq 10 \text{ მბკ}$	LLW
	გ	$100 \text{ დღე} \leq T < 15 \text{ წ.}$	$10 \text{ მბკ} < A \leq 100 \text{ გბკ}$	ILW
	დ	$15 \text{ წ.} \leq T < 30 \text{ წ.}$	$A \leq 1 \text{ მბკ}$	LLW
	ე	$15 \text{ წ.} \leq T < 30 \text{ წ.}$	$1 \text{ მბკ} < A \leq 1 \text{ კბკ}$	ILW
3	ვ	$T > 30 \text{ წ.}$	$A \leq 40 \text{ მბკ}$	ILW
4	ზ	$T > 30 \text{ წ.}$	$40 \text{ მბკ} < A \leq 10 \text{ გბკ}$	ILW
6	თ	$T > 30 \text{ წ.}$	$A > 10 \text{ გბკ}$	ILW

ცხადია წყაროების კლასებს არ აქვთ შესაბამისობა განთავისუფლებულ ნარჩენების კლასთან. ასევე მნიშვნელოვანია აღინიშნოს, რომ ცხრ.1-ში მოყვანილი კლასები არ შეესაბამებიან ნარჩენების კლასებს VLLW და HLW. ანუ, რაც მთავარია წყაროებს არ უნდა ისეთი მკაცრი იზოლაცია, რაც მოთხოვნილია მაღალი დონის ნარჩენებისთვის.

დღეისათვის რადიოაქტიური ნარჩენების ცენტრალიზებულ საცავში განთავსებულია სხვადასხვა სახის რადიოაქტიური ნარჩენი. მეტ წილად ეს არის რეაქტორის დეკომისიის შედეგად გენერირებული ნარჩენები, რომლებიც იმობილიზირებულნი არიან ბეტონის მატრიცაში. ამათვან, უმეტეს შემთხვევაში გვხვდება ძალიან დაბალი (VLLW) და დაბალი დონის (LLW) რადიოაქტიური ნარჩენი.

ასევე მრავლად არის წარმოდგენილი გამოყენებიდან ამოღებული რადიოაქტიური წყაროები. აღნიშნული კატეგორიის წყაროები უმეტეს შემთხვევაში ყოფილი სამხედრო დანიშნულების, საკალიბრო, მიტოვებული ან ნაპოვნი წყაროებია. რიგ

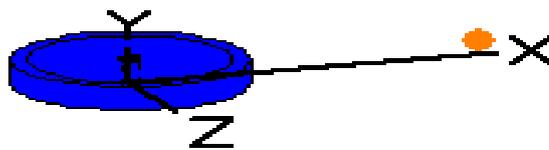
რადიოაქტიური ნარჩენების საცავში ასევე არსებობს ისეთი რადიოაქტიური წყაროები, რომელთა მახასიათებლები არ აღემატება რეგულირებიდან განთავისუფლების დონეს.

განსაკუთრებული აღნიშვნის ღირსია ე.წ. თერმოელექტრო გენერატორები (RTG), რომლებიც შეიცავენ რადიონუკლიდს  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  საწყისი აქტივობით 1 295 ტბკ. ცხადია მათი აქტოვობა სადღეისოდ პარაქტიკულად განახევრებულია, თუმცა კლასიფიკაციის მიხედვით ისინი მაინც შეესაბამებიან ILW ნარჩენების კლასს.

ასეთი წყაროების შედარებით მცირე ზომებიდან გამომდინარე მათი სამომავლო დამარხვის მეთოდათ შეიძლება არჩეული იქნას ჭაბურღილებში (Bore holes system) დამარხვა, ოღონდაც საქართველოს მოუწევს ამ სისტემის ახალი ვარიანტის შემუშავება, სადაც გათვალისწინებული უნდა იქნას უფრო ღრმა დამარხვა, ჭაბურღილის შედარებით დიდი განივი ფართი (დღემდე არსებულ სისტემებთან შედარებით) და ნარჩენების მიერ სითბოს აქტიური გამოყოფა. ეს უკანასკნელი ფრიად მნიშვნელოვანია ჭაბურღილის მომავალი უსაფრთხო მდგომარეობის შესაფასებლად. ამჟამად ხორციელდება გამოყენებიდან ამოღებული რადიოაქტიური წყაროების უსაფრთხო შენახვა.

### 3. გამოყენებიდან ამოღებული რადიოაქტიური წყაროს უსაფრთხო შენახვა

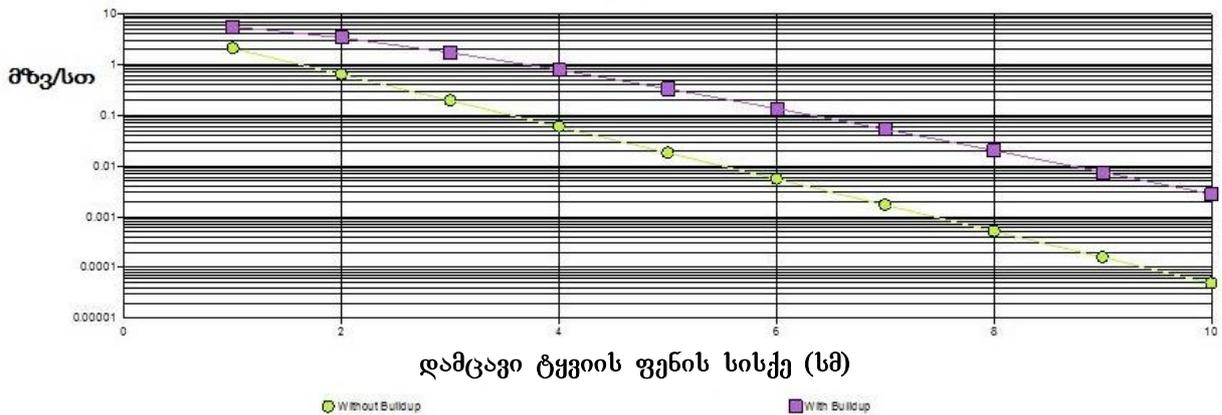
გამოყენებიდან ამოღებული რადიოაქტიური წყაროების უმეტესობა შენახულია ხელით დამზადებულ ტყვიის კონტეინერებში, რომელთა დანიშნულებაა დოზის სიმძლავრის შემცირება. მაქსიმალური დასშვები დოზის სიმძლავრე შეიძლება შეესაბამებოდეს გადასაზიდი კონტეინერების მესამე კლასს - 2მზვ/სთ, თუმცა სასურველია, რომ დოზის სიმძლავრე გაცილებით ნაკლები იყოს. შევაფასოთ, თუ რა სისქის დამცავი ტყვიის ფენა დაგეგმირდება ყველაზე მეტად გავრცელებული  $^{137}\text{Cs}$ -ის წყაროებისთვის. პირველადი შეფასება შეიძლება განხორციელდეს შედარებით მარტივი გათვლით, მაგრამ ამჯერად ჩვენ გათვალისწინებთ გეომეტრულ და გაბნევის ფაქტორებს, რა მიზნითაც გამოყენებული იქნა კომპიუტერული პროგრამა MicroShield. გათვლებისთვის მიღებული იქნა შემდეგი დაშვებები. წყარო ცილინდრული ფორმისაა (სიმაღლე 2 სმ და რადიუსი 0,5 სმ) აქტივობით 10 მკი. კონტეინერის შიგა ღრუს რადიუსია 3 სმ. გათვალისწინებული იქნა, რომ კონტეინერი შეიცავს 1 სმ სისქის რკინის კედლებს (ნახ.3).



ნახ.3. კონტეინერის კომპიუტერული მოდელი

ცხრილი 2.

N	ტყვიის დაცვის სისქე (სმ)	ნაკადი ბილდ-აუ ფაქტორის გათვალისწინების გარეშე (მეგ/სმ <sup>2</sup> /წმ)	ნაკადი ბილდ-აუ ფაქტორის გათვალისწინებით (მეგ/სმ <sup>2</sup> /წმ)	დოზის სიმძლავრე ბილდ-აუ ფაქტორის გათვალისწინების გარეშე (მზე)	დოზის სიმძლავრე ბილდ-აუ ფაქტორის გათვალისწინებით (მზე)
1	1	$1,191 \times 10^5$	$3,221 \times 10^5$	2,309	6,245
2	2	$3,639 \times 10^4$	$1,944 \times 10^5$	0,7055	3,768
3	3	$1,112 \times 10^4$	$9,821 \times 10^4$	0,2156	1,904
4	4	$3,399 \times 10^3$	$4,504 \times 10^4$	$6,589 \times 10^{-2}$	0,8732
5	5	$1,039 \times 10^3$	$1,916 \times 10^4$	$2,014 \times 10^{-2}$	0,3714
6	6	$3,175 \times 10^2$	$7,753 \times 10^3$	$6,155 \times 10^{-3}$	0,1503
7	7	97,05	$3,038 \times 10^3$	$1,881 \times 10^{-3}$	$5,889 \times 10^{-2}$
8	8	29,67	$1,160 \times 10^3$	$5,751 \times 10^{-4}$	$2,248 \times 10^{-2}$
9	9	9,069	$4,331 \times 10^2$	$1,758 \times 10^{-4}$	$8,397 \times 10^{-3}$
10	10	2,772	$1,588 \times 10^2$	$5,374 \times 10^{-5}$	$3,079 \times 10^{-3}$



ნახ.4. დოზის სიმძლავრის დამოკიდებულება დამცავის ტყვიის ფენის სისქეზე

გათვლები ჩატარდა სხვადასხვა სისქის ტყვიის დამცავი ფენის გათვალისწინებით დაწყებული 1სმ-დან დამთავრებული 10 სმ-ით, 1სმ ბიჯით. გათვლების შემაჯამებელი სიდიდეები მოცემულია ცრხ. 2 და ნახ. 4-ზე. გათვლები წარმოებდა როგორც გაბნევის (ბილდ-აუ ფაქტორი) გათვალისწინებით, ისე მის გარეშე. როგორც შედეგები აჩვენებს, ამ ფაქტორის გათვალისწინებას მნიშვნელოვანი კორექცია შეაქვს სიდიდეებში, შესაბამისად მისი უგულებელყოფა ყოვლად დაუშვებელია როგორც მიღებული შედეგებიდან ჩანს საკმარისია 3სმ ტყვიის ფენის სისქე, რომ დოზის სიმძლავრე არსებულ მოთხოვნებს შეესაბამებოდეს, თუმცა დოზის ოპტიმიზაციის მიზნით უმჯობესია ასეთ შემთხვევებში გაიზარდოს ტყვიის ფენის სისქე მინიმუმ 5-6 სანტიმეტრამდე, რამაც უნდა უზრუნველყოს მუშაკთა შედარებით დაბალი დასხივება. აქვე გასათვალისწინებელია, რომ ტყვიის დამცავი ფენის სისქის შემდგომი ზრდა უკვე მცირედ წევს დაბლა დოზის სიმძლავრეს და მნიშვნელოვნად ზრდის კონტეინერის მასას, რაც თავის მხრივ ადიდებს მისი გადატანისთვის საჭირო დროს, რაც გამოიწვევს მისაღები დოზების გაზრდას. ამიტომ, ასეთ შემთხვევასი ოპტიმალურად უნდა შეფასდეს ზემოთ მოყვანილი სიდიდე. მოცემული გათვლა შეიძლება გამოყენებული იქნას საბაზისო დაცვითი კონტეინერების დამზადების დროს.

**ლიტერატურა**

1. რადიოაქტიური ნარჩენების მართვის 2017-2031 წლების ეროვნული სტრატეგია.
2. საქართველოს კანონი „ბირთვული და რადიაციული უსაფრთხოების შესახებ“.
3. The Principles for Radioactive Waste Management. // International Atomic Energy Agency (IAEA), Safety Series 111-F, Vienna 1995.
4. Predisposal Management of Radioactive Waste. // International Atomic Energy Agency (IAEA), General Safety Requirements, GSR part 5, Vienna 2009.
5. Classification of Radioactive Waste. // International Atomic Energy Agency (IAEA), Safety Standards (GSG-1), Vienna 2009.

**SUMMARY**

**RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT IN ACCORDANCE WITH ITS CLASSIFICATION IN GEORGIA**

**Nabakhtiani G.N., Gorgadze K.M., Tvaliashvili V.Z., Giorgadze I.S. and Khizashvili Sh. M.**

**Georgian Technical University**

The main goal of radioactive waste management is to protect people and the environment from harmful effects of nuclear waste. At the same time, not only today's effects, but also the events that could occur in the distant future should be taken into consideration. In this connection, it would be expedient to use the classification of radioactive waste. Radioactive sources withdrawn from circulation, the classification of which has not existed in Georgia so far, represent a special type of radioactive waste. Based on a scientific assessment, the article gives the classification of radioactive sources withdrawn from circulation as radioactive waste, which takes into account Georgia's realities and completely complies with international classification. Currently, the radioactive waste disposal in Georgia is closed and only safe storage of radioactive waste is carried out. For this purpose, radioactive sources withdrawn from circulation are placed in special containers. The design of such a container for a standard source with consideration of the factor of scattering is presented. The design was performed using software MicroShield.

**Keywords:** radioactive waste management, radioactive waste classification, radioactive sources withdrawn from calculation.

**О ФИЗИЧЕСКОМ МЕХАНИЗМЕ НАГРЕВА ВОДЫ В ВИХРЕВЫХ И ЭЛЕКТРОГИДРОУДАРНЫХ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРАХ**

Герасимов А.Б., Прангишвили А.И., Вепхвадзе М.Т., Горгадзе К.М.

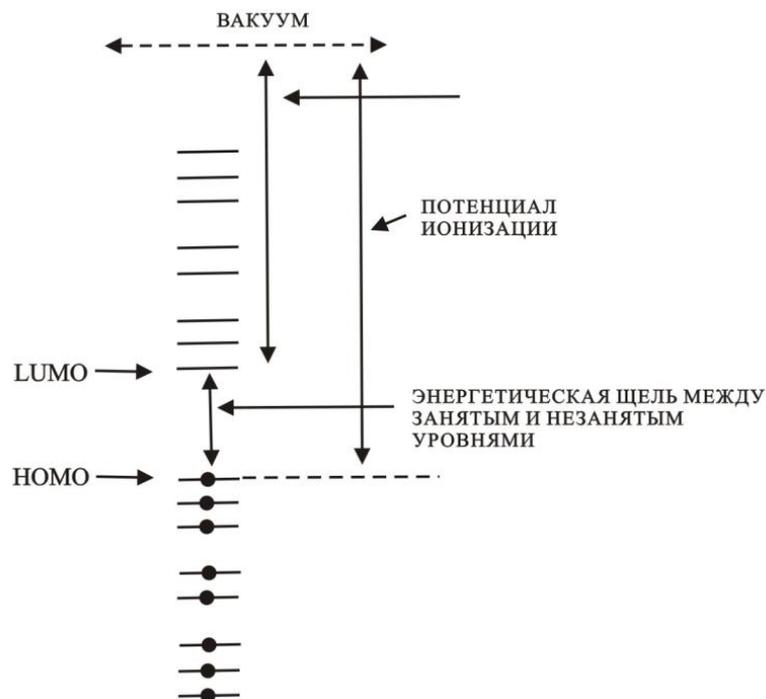
Грузинский технический университет

*”Истина проходит через три стадии: сначала ее высмеивают, потом ей яростно сопротивляются и, наконец, принимают как очевидное.”*  
Артур Шопенгауэр.

За последнее десятилетие всё больше сообщений появляется о вихревых и кавитационных электрогидроударных теплогенераторах, обладающих коэффициентом полезного действия (КПД) больше единицы [1-3]. В общих чертах суть эффекта состоит в том, что вода, прокачиваемая через корпус вихревого теплогенератора и одновременно вовлекаемая дисками во вращательное движение с частотой вращения порядка несколько тысяч об/мин, при выходе из теплогенератора нагревается. В случае кавитационных электрогидроударных теплогенераторов в результате электрических разрядов в жидкости и следующих за ними электрогидравлических ударов жидкость нагревается. Упомянутые теплогенераторы уже выпускаются для практического применения. Однако, несмотря на множество попыток, до сих пор нет механизма, объясняющего откуда берётся добавочная энергия, обеспечивающая такой КПД. Эта неудача всех попыток, по нашему убеждению, связана с тем, что во всех подходах объяснения этого интереснейшего явления используются представления общепринятых термодинамики и молекулярно-кинетической теории (МКТ) [4], которые для описания аккумуляции энергии веществом используют понятие теплоёмкости только с кинетической точки зрения. Как известно термодинамика рассматривала вещество как сплошную субстанцию и поэтому не могла объяснить многие наблюдаемые факты, а следующим шагом в познании вещества явилась МКТ, которая учитывала атомно-молекулярное строение вещества и объяснила существующие к тому времени экспериментальные факты [5]. Но постепенно накопились опытные данные, особенно в области низких температур ( $T < 0,7T_{пл.}$ , где  $T_{пл.}$  - температура плавления вещества), которые не может объяснить МКТ. Объяснить все эти данные удалось с помощью появившихся в последние годы новых физических представлений о веществе – «Электронно - потенциальной теории вещества» (ЭПТВ) [6] (первичное название – «Молекулярно-потенциальная теория» [7-9]), которая в отличие от МКТ, рассматривает вещество на более прецизионном - электронном уровне. Из ЭПТВ следует что, структура энергетических уровней (зон) в веществе, их взаимное местоположение на энергетической шкале и их заполнение электронами при данной температуре и внешних условиях, полностью определяют все свойства данных веществ. А для аккумуляции энергии веществом ЭПТВ использует не только понятие теплоёмкости, но и возбуждённые состояния электронов, участвовавших в создании химических связей. В данном сообщении нами предлагается механизм, основанный на представлениях ЭПТВ, объясняющих откуда берётся добавочная энергия, обеспечивающая  $КПД > 1$  в выше описанных эффектах.

Приведём некоторые свойства воды, необходимые для решения интересующей нас проблемы, рассматриваемой в данном сообщении. Вода относится к сложно-структурным жидкостям [10]. К настоящему времени предложено много теории и моделей о структуре воды [11-15], в основном кластерных. Под кластером принято понимать объёмную структуру, в которой каждая молекула воды связана с другими молекулами одной, двумя или тремя водородными связями. При описании водородных связей между молекулами воды возникают проблемы, связанные с неоднозначностью их природы. Например, экспериментально было показано, что водородная связь между молекулами воды во льду имеет частично ковалентный характер [16]. Предлагаются разные структуры кластеров, состоящих из молекул воды [11-15].

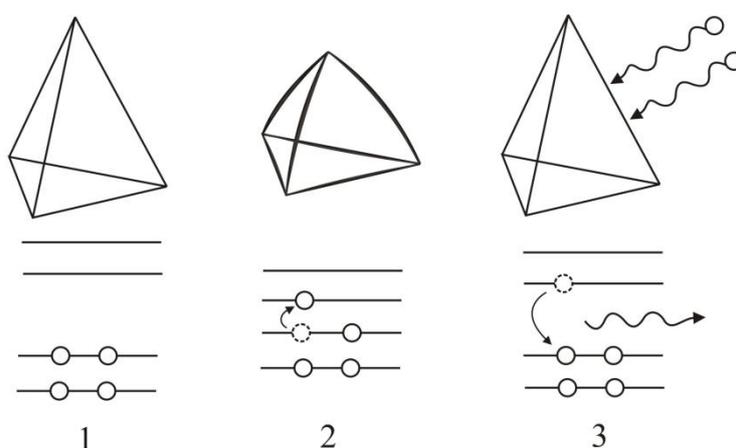
Известно, что для описания электронной структуры кластеров созданы несколько квантово-механических моделей, но, к сожалению, вычисленные с их помощью характеристические параметры не совпадают с экспериментальными результатами. Несмотря на это, следует отметить, что все они для энергетического распределения дают дискретный спектр энергетических уровней подобный изображенному на рис.1. [17]. Энергетическая щель между наивысшей молекулярной занятой электронами орбиталью - энергетическим уровнем (Higher Occupied Molecular Orbital-HOMO) и нижней молекулярной незанятой орбиталью - энергетическим уровнем (Lower Unoccupied Molecular Orbital-LUMO) имеет смысл запретной зоны. Перевод электронов в результате какого-либо воздействия (температура, давление, свет, разные поля) с HOMO на LUMO вызывает изменение различных свойств веществ (агрегатное состояние, проводимость, механические и оптические свойства и т.д.) При релаксации - возвращении электрона на исходный энергетический уровень - выделяется энергия равная энергетической разности между этими уровнями.



**Рис.1. Схематическое изображение электронной структуры энергетических уровней электронов кластера**

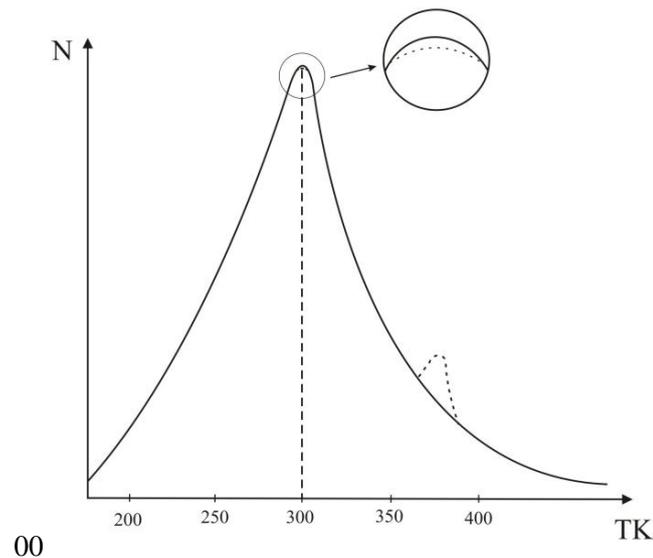
В вихревых генераторах при взаимодействии лопастей завихривателя, которые крутятся с достаточно большой частотой (3000 об/мин) и в кавитационных электрогидродарных теплогенераторах образуется ударная волна. С макроскопической точки зрения ударная волна представляет собой воображаемую поверхность, на которой термодинамические величины среды (которые, как правило, изменяются в пространстве непрерывно) испытывают устранимые особенности: конечные скачки. При переходе через фронт ударной волны меняются давление, температура, плотность вещества среды, а также скорость её движения относительно фронта ударной волны [18]. Чисто газодинамические методы непригодны для исследования микроскопической внутренней структуры ударных волн большой интенсивности [19]. Для теоретического изучения микроскопической структуры ударных волн применяется кинетическая теория. Аналитически задача о структуре ударной волны не решается, но используется ряд упрощённых моделей, применение которых в случае сложного движения жидкости ещё не рассматривалось. Поэтому, для решения интересующей нас

проблемы мы будем оперировать установленными фактами. Ясно, что поверхность лопасти завихривателя, как бы хорошо она не была отполирована, на атомарном уровне будет иметь неровности (островки нестроеного атомного слоя, ступеньки атомных слоёв и т.д.), которые в процессе кручения будут ударять по кластерам воды, создавая ударную волну с огромным давлением, способным деформировать их химические связи настолько, что энергия, соответствующая комнатной температуре, недостаточна для их восстановления. Известно, что давление вызывает сдвиг на энергетической шкале взаимного местоположения энергетических уровней химических связей в веществах [20-22]. В некоторых веществах расстояние между ними увеличивается, у большинства – уменьшается, но при очень больших давлениях во всех веществах уменьшается [23].



**Рис. 2. Заполнение электронами энергетических уровней кластера с недеформированными и деформированными химическими связями**

В результате уменьшения расстояния между уровнями деформированных химических связей кластеров воды при комнатной температуре увеличится интенсивность переходов электронов с нижних на верхние уровни рис.2. т.е. электроны окажутся в возбуждённом состоянии. Эти кластеры, отдаляясь от ударной волны, будут испытывать столкновения с молекулами с разной кинетической энергией. В результате нескольких одновременных столкновений деформированных кластеров с молекулами с энергией (равной или меньше), соответствующей комнатной температуре, если их суммарная энергия оказывается достаточной для выправления деформированных химических связей, то они передают кластеру эту энергию, т.е. «остывают». Но поскольку нагреватели не являются закрытыми системами и взаимодействуют с окружающей средой, количество молекул с энергией, соответствующей комнатной температуре, можно считать почти бесконечным, поэтому это охлаждение будет быстро ликвидировано и не заметно. Ликвидация деформации вызовет увеличение зазора между уровнями и электроны (релаксируют) возвращаются на исходные низшие уровни с выделением суммарной энергии, полученной от нескольких низкоэнергетических молекул. Концентрация кластеров с восстановленными химическими связями соизмерима с концентрацией «тёплых» молекул в воде (находящейся при комнатной температуре), поэтому их влияние обнаруживается в виде нагрева воды (рис.3). Но поскольку тройные и четверные соударения происходят значительно реже, чем двойные [5], то выправление деформированных химических связей с выделением энергии растянуто во времени. Этим объясняется тот факт, что максимальная температура нагрева воды наблюдается на некотором удалении от выхода теплогенератора.



რის.3. სხმატიკური იზბრაენი ენერგეტიკური რასპრედენი კონცენტრაციი მლეკული ვიდი დო (—) ი ასლე ნაგრევი (- - -)

#### ლიტერატურა

1. Вихревые теплогенераторы. <https://econet.ru/articles/102925-vihrevye-teplogeneratory>.
2. С. В. Козлов. Электронный журнал энергосервисной компании. //Экологические системы, 2010, №11.
3. В. Д. Дудышев Электрогидродуарный теплонагреватель воды - патент РФ на полезную модель 72308.
4. Я.И. Френкель. Кинетическая теория жидкостей. -Москва-Ленинград, 1945. 424 с.
5. ა. გიგინეშივილი, გ. კუკულაძე. ზოგადი ფიზიკა. ტ.1, თბილისი, 2011, 372 გვ.
6. А.Б. Герасимов, М.Т. Вепхвадзе. Электронно - потенциальная теория вещества, 2017. (в печати)
7. A.Gerasimov. Fundamentals of Low-Temperature Technology of Production of Semiconductor Devices. Tbilisi: Tbilisi Univ. Press., 2005, 235 p.
8. A.V. Gerasimov, Principles of the molecular-potential theory. 2nd International Conference „Nanotechnologies“ Nano - 2012, -Tbilisi, Georgia, September 2012, pp. 160-170.
9. ა. გერასიმოვი. //მეცნიერება და ტექნოლოგიები, თბილისი, 2014, №1, გვ. 23-37.
10. В.И. Грачёв, В.И. Марголин, В.А. Тупик. Слабые и сверхслабые воздействия в нанотехнологиях, биологии и медицине. – Ижевск: Удмуртия, 2016, 304 с.
11. А.А. Стехин, Г.В. Яковлева. Структурированная вода: Нелинейные эффекты. – Москва, Изд-во ЛКИ, 2008, 320 с.
12. J.D. Bernal, R.H. Fowler. A Theory of Water and Ionic Solution, with Particular Reference to Hydrogen and hydroxyl Ions. J. Chem. Phys, 1933, №1, pp.515 -521.
13. С.В. Зенин. Гидрофобная модель структуры ассоциатов молекул воды. //Журнал физ. химии, 1994, т.68, сс. 634-641.
14. Г.Н. Саркисов. Структурные модели воды. УФН, 2006, т.176, №8, сс. 833-845.
15. Е.С. Хлебный, А.А. Шеин, Б. М. Кершенгольц. Природа воды и вода в природе. /Наука и техника Якутии, 2009, №2(17).
16. E.D. Isaacs, A. Shukla, P.M. Platzman, D.R. Hamann, B. Barbiellini and C.A. Tulk. Covalency of Hydrogen Bond in Ice: A Direct X-Ray Measurement. //Physical Review Letters, 1999, vol.82, pp. 600-603.
17. Ю.И. Петров. Кластеры и малые частицы. -Москва, Наука, 1986, 367 с.
18. П. В. Булат и другие. Научно-технический вестник ИТМО, март-апрель 2015, УДК 532.529.
19. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика: Учебное пособие в 10 т. Т. VI Гидродинамика. -Москва, Наука, 1986, 494 с.
20. А.Л. Полякова. //ФТТ, 1967, №1, сс.1164-1169.

21. А.Л. Полякова. //Акустический журнал, 1972, т. 18, сс.1-4.
22. Э.Г. Меликян, Ф.В. Арутюнян, М.Г. Акопян. ФТП, 1973, №7, сс. 855-858.
23. Тонков Е.Ю. Фазовые диаграммы элементов при высоком давлении. –Москва, Наука, 1979, 192с.

#### **SUMMARY**

#### **WATER HEATING IN VORTEX AND ELECTROHYDRAULIC IMPACT HEAT GENERATORS**

**Gerasimov A.B., Prangishvili A.I., Vepkhvadze M.T. and Gorgadze K.M.**

**Georgian Technical University**

The paper describes the mechanism of obtaining additional energy by vortex and electrohydraulic impact heat generators, which guarantees their coefficient of efficiency more than one. In the devices of both types, shock waves are formed and they exert tremendous pressure on water cluster. This pressure is able to deform the chemical bonds of water clusters so that the energy corresponding to room temperature will not be enough for their recovery. In the result, the distance between the levels of deformed chemical bonds decreases and, at room temperature, the intensity of transitions of electrons from lower to upper levels increases. In the result of simultaneous collisions of the clusters with the some molecules having the energy corresponding to room temperature, the molecules transmit this energy to the clusters, i.e. they “cool down”, in case their total energy is sufficient for correction of deformed chemical bonds. As heaters are not closed systems and interact with the environment, this cooling will be inconspicuous. Elimination of deformation increases the gap between the levels, and, returning to initial lower layers, the electrons release the total energy obtained from several low-energy molecules. The released energy heats water.

**Keywords:** vortex heat generators, chemical bonds, coefficient of efficiency, water molecules, energy.

ნავთობის საბადოების პერსპექტივები საქართველოში

ბერიძე ნ.ვ., მაჭარაძე მ.გ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ნავთობის პირველი ჭაბურღილი მსოფლიოში, ჩვენ მეზობლად, აზერბაიჯანში გაიბურღა 1848 წელს, მაგრამ იმ ჭაბურღილში ნავთობი არ აღმოჩნდა და ამან ბუნებრივია უარყოფითი გავლენა იქონია ამ მნიშვნელოვან წამოწყებაზე და საფუძვლიანად შეაფერხა დარგის განვითარება. ამ შეფერხების ერთ-ერთი ხელშემწყობი დიდი რუსი გეოლოგი გ. ვ. აბიხიცი იყო, რომელიც ქართული და მთელი კავკასიის გეოლოგიური სკოლის ფუძემდებლად და მამამთავრად ითვლება (ჩვენ უცხოელს ვგულისხმობთ, სათავეებთან მდგარს, თორემ ქართული გეოლოგიის უდავო მამამთავარი ალ. ჯანელიძეა). ბურღვითი სამუშაოები მოგვიანებით ისევ გაგრძელდა, მაგრამ ტემპი დაკარგული იყო და ალბათ სწორედ ის პირველი წარუმატებელი ჭაბურღილი იყო მთავარი მიზეზი იმისა, რომ 1859 წელს გაბურღული პირველი ამერიკული ნავთობის ჭაბურღილია აღიარებული თანამედროვე ნავთობმრეწველობის დასაწყისად.

მსოფლიო ნავთობმოპოვების ისტორია 1857 წლიდან იწყება, როცა მსოფლიო ოფიციალურმა ნავთობმოპოვებამ 275 ტ შეადგინა და ეს მონაპოვარი მხოლოდ ერთი ქვეყნის, რუმინეთის წილად მოდიოდა. შემდგომი წელიწადიც რუმინელების აღმოჩნდა და 495 ტ იყო. 1859 წლიდან უკვე ორი ნავთობმოპოვებელი ქვეყანაა: რუმინეთი 605 ტ და აშშ 262 ტ. ასე გრძელდებოდა 1874 წლამდე. 1874 წლიდან ძირითად მოპოვებლებს გალიცია შემოემატა, მოპოვებელთა ტრიო შეიქმნა და ასე გაგრძელდა მსოფლიო ნავთობმოპოვება 1880 წლამდე. 1880 წლიდან კი ასპარეზს კიდევ ერთდროულად სამი ქვეყანა: რუსეთი, იაპონია და გერმანია ამოუღვა მხარში.

საქართველოში შირაქისა და ელდარის სარეწაოებზე 1861, 1862 და 1863 წლებში 72-72, 1864 წელს -78, 1865 წელს - 120 ტონა ნავთობია მოპოვებული (გამომსყიდველების მონაცემებით). მაგრამ უნდა ვივარაუდოთ, რომ ეს ცნობები სინამდვილეს არ შეესაბამებოდა და შეგნებულად მნიშვნელოვნად იყო შემცირებული. ამას ადასტურებს 1865 წლის ვალბერგის მიერ წარმოდგენილი ნავთობმოპოვების ანგარიში (ცხრილი).

სარეწაოს დასახელება	ჭების რაოდენობა		ნავთობის მოპოვება		
	მოქმედი	უმოქმედო	წელიწადში ტონებში	დღე-ღამეში ვედროებში	წელიწადში ვედროებში
შირაქის ნავთობის წყაროები	23	18	666	152	5548
მირზაანის ნავთობის წყაროები	19	-	66	16	5475
ელდარის ნავთობის სარეწაოები	7	3	53	12	4380
ჯამი	59	21	785	180	65335

ნავთობის მსოფლიო მოპოვების ტემპი მსოფლიოში იზრდება, რასაც სამწუხაროდ ვერ ვიტყვით საქართველოს შემთხვევაში. ეს ბოლო ეტაპს შეეხება, როცა ჩვენი ქვეყნის ტერიტორია ნავთობშემცავ ბლოკებად დაიყო და უცხოელ ინვესტორებზე გაიწვია, რომლებიც ირწმუნებოდნენ, რომ თანამედროვე ტექნოლოგიების გამოყენებით გაცილებით მეტი ნავთობის მოპოვებას შეძლებდნენ. ეს იმედი არ გამართლდა. მოპოვების სამუშაოს პარალელურად უნდა მიმდინარეობდეს ახალი ბუდობების ძებნა-ძიების სამუშაოები, რაც ჩვენში თითქმის შეჩერებულია, ძველი საბადოები კი ამოიწურა და ახლა ამბობენ ჩვენ ნავთობი არ გვაქვსო.

ქართულ ნავთობმოპოვების ოქროს ხანა 1974 წლის 28 აგვისტოს სამგორის №7 ჭაბურღილში მიღებული დიდი ნავთობით იწყება.

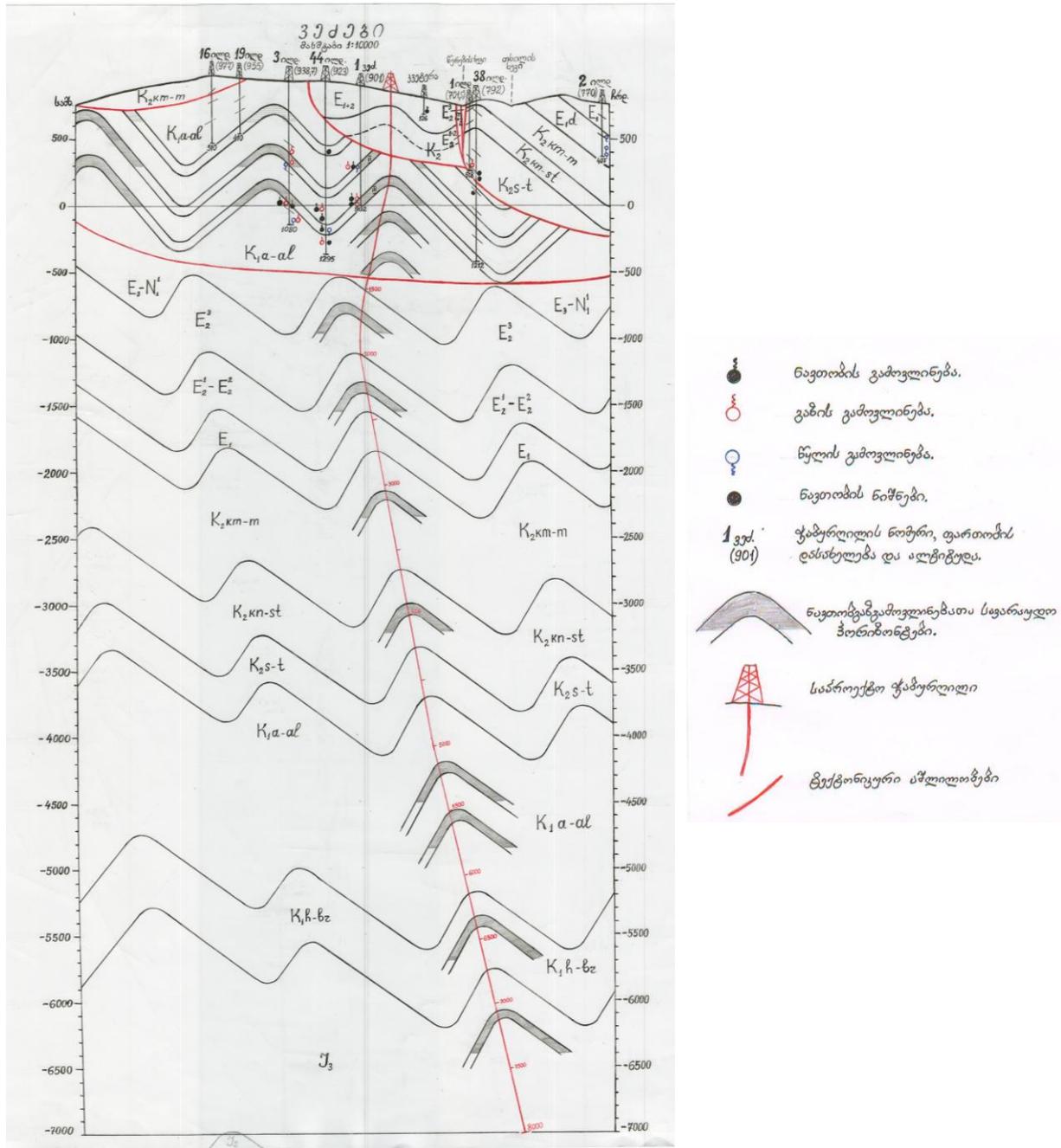
განა არ იყო მანამდეც ნავთობის საბადოები საქართველოში? მირზაანი, ნორიო, პატარა შირაქი, საცხენისი, ტარიბანი, სუფსა, მაგრამ ისინი იმდენად ცოტა

ნავთობს იძლეოდნენ, რომ მოპოვების მთელი დროის განმავლობაში 1930-დან 1974 წლამდე სულ რაღაც 1 366 208 ტონა ნავთობი იქნა მოპოვებული. ნავთობის მოპოვების ყველაზე მაღალი წლიური დონე ომის დროს, 1941-1944 წლებშია მიღწეული, შესაბამისად 57532, 56108, 57477 და 50000 ტ წელიწადში. დანარჩენი წლების განმავლობაში კი მოპოვება 20-40 ათასი ტონის ფარგლებში მერყეობდა. ამავე ეტაპზე საქართველოში 440 სადაზვერვო და საძიებო ჭაბურღილი გაიბურღა 42 ფართობზე. გაბურღული ჭაბურღილების საერთო სიღრმემ 751 ათასი მეტრი შეადგინა. ნავთობის გეგმაზომიერი ძებნა საქართველოში ოციან წლებში დაიწყო. სამრეწველო მოპოვება კი 1930 წლიდან ხდება. სწორედ მაშინ, კახეთის ნავთობის საბადოების დაზვერვისა და ექსპლოატაციის მიზნით (1929) შეიქმნა ტრესტი „საქ-ნავთობი“ 1937 წლიდან კი ის ნავთობის სახალხო კომისარიატის შემადგენლობაში შედიოდა. სამგორის საბადოს აღმოჩენამდე, უკანასკნელ წლებში საქსპლოატაციო ფონდს არ გადასცემია არცერთი მაღალდებიტიანი ჭაბურღილი. ექსპლოატაციაში არსებულთან კი მოპოვება განუხრელად ეცემოდა. 1973 წელს საქართველოში სულ 22 222 ტონა ნავთობი იქნა მოპოვებული. ქართული ნავთობმოპოვების ოქროს ხანა მაღალი წლიური მოპოვებით ხასიათდებოდა. უკვე 1977 წელს ნავთობის მოპოვებამ 1,752 მილიონი ტონა შეადგინა, რაც ლამის 80-ჯერ აღემატებოდა 1973 წლის მოპოვებას და 385 922 ტონით მეტი იყო 1930-1974 წლების ჯამურ მოპოვებაზე. 1978 და 1979 წლებში შესაბამისად 2,456 და 2,785 მილიონი ტონა მოიპოვეს. მაქსიმალურ დონეს მოპოვებამ 1980-1983 წლებში მიაღწია, როცა წელიწადში შესაბამისად 3,186, 3,322, 3,331 და 3,308 მილიონი ტონა ნავთობი მოიპოვებოდა. მაგრამ 1984 წლიდან დაწყებული ნავთობის მოპოვების საქმეში მკვეთრი დაცემა დაიწყო. 1984 წელს მოპოვებულია 1,718, 1985 წელს კი 0,552 მილიონი ტონა.

როგორც ზემოთ აღინიშნა, ჩვენში, საძიებო ჭაბურღილები თითქმის არ იბურღება და ვაცხადებთ საქართველოში ნავთობი არ არისო, თითქოს ჩვენც რომელიმე სალიცენზიო ტერიტორიაზე უკვე გვქონდეს გაბურღული 200 ჭაბურღილი და ასეც რომ იყოს, მაშინაც კი, რა გარანტია გვაქვს, რომ სწორედ ორასმეერთე ჭაბურღილმა არ მოგვცეს დიდი ნავთობი.

ჩვენი მიზანია სავარაუდო პერსპექტიული უბნების არსებობა-არარსებობის დასაბუთება საქართველოში.

ყურადღება გვინდა მთიან კახეთში გაბურღულ, ჩვენი აზრით მნიშვნელოვან, ვეძების № 1 ჭაბურღილს (X ბლოკი) მივაპყროთ, რომელიც ახმეტის რაიონის სოფელ ვეძებთან მდებარეობს. მისი გაბურღვა 902 მეტრამდე მოხერხდა და ამ მიდამოებისათვის უკვე ცნობილი სამიდან ორი ძირითადი – მეორე და მესამე ნავთობშემცველი ჰორიზონტი გაიხსნა. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანი იყო მესამე ჰორიზონტის გახსნა 851-902 მ-ის ინტერვალში, საიდანაც 18 საათში 12,5 მ<sup>3</sup> ნავთობი იქნა მიღებული. ამ ნავთობის ანალიზების თანახმად მისი ხვედრითი წონა: 0,876-0,878 გ/სმ; დუღილის ტემპერატურა კი 138-139 °C. 0-დან 610 მ-მდე 168 მმ-იანი ტექნიკური კოლონის ჩაშვების შემდეგ, გადაუხურავი ინტერვალის (610-708) წყლის გადმოღინება დაიწყო ნავთობთან და გაზთან ერთად. მისი დებიტი 2,5 მ<sup>3</sup>-ს შეადგენდა დღე-ღამეში. ამ ინტერვალში აღებული ნავთობის ხვ. წონა 0,908-0,906 გ/სმ ; დუღილის საწყისი ტემპერატურა 150-152 °C-ია. ჩვენი ვარაუდით ადვილი შესაძლებელია, რომ 610 მ-ზე გადახურულ ჭაბურღილში ჩვენ ამ ჰორიზონტის წყალნავთობის კონტაქტის საზღვართან ან ცოტა უფრო ქვემოთაც კი აღმოვჩნდით და ამიტომაც მივიღეთ უმნიშვნელო რაოდენობის ნავთობი და გაზი. ცოტა უფრო ზემოთ 570-600 მ-ის ინტერვალის დასინჯვის შემდეგ ადვილი შესაძლებელია ნავთობი მივიღოთ. სწორედ წყლის მოღვნის აღსაკვეთად 541-851 მ-ის ინტერვალში ჩაიშვა 127 მმ-იანი მაღალი კოლონა – „კული“ (გეოლოგიურ-საძიებო სორტამენტის) და ჩაცემენტდა. ეჭვს გარეშეა ვეძების № 1 ჭაბურღილის საწყისი დებიტი 16 მ<sup>3</sup>-ს აღემატებოდა დღე-ღამეში.



**ჭაბურდილის ჭრილი**

J<sub>3</sub> - ზედაიურული ნალექები; K<sub>1h-br</sub> - ქვედა ცარცულის პორტირულ-ბარემული სართულები; K<sub>1a-al</sub> - ქვედა ცარცულის აბტურ-ალბური სართულები; K<sub>2s-t</sub> - ზედაცარცულის სენომანური და ტურონული სართულები; K<sub>2s</sub> - ქვედასენომანური (უკულმართის წყება); K<sub>2s-t1</sub> - ზედა სენომანურ-ქვედატურონული (ანანურის წყება); K<sub>2t</sub> - ზედატურონული (მარგალიტის კლდის წყება); K<sub>2kn-st</sub> - ზედაცარცულის კონიაკური და სანტონური სართულები; K<sub>2km-m</sub> - ზედაცარცულის კამპანური და მასტრიხტული სართულები; E<sub>1</sub> - პალეოცენური (შახვეტილის წყება); E<sub>2</sub><sup>1</sup>-E<sub>2</sub><sup>2</sup> - ქვედა და შუაეოცენური (ქვაკვერის წყება); E<sub>3</sub><sup>2</sup> - ზედაეოცენური; E<sub>3</sub>-N<sub>1</sub><sup>1</sup> და E<sub>3</sub><sup>2</sup>-N<sub>1</sub><sup>1</sup> - მაიკოპის წყება და კინტას წყება.

შემდგომში ამ ბლოკზე სამუშაოებს აწარმოებდა ბრიტანული ფირმა „რამკო“, რომლის მიერ შესრულებულ სამუშაოთაგან ვეძები-ილდოყანის ნავთობის შესწავლის თვალსაზრისით დიდ ინტერესს იწვევს Robertson Research-ის მიერ ინგლისში ჩატარებული ანალიზები, რომლებიც ზედაპირული გამოსავლებიდან აღებული 5 და ჭაბურდილებიდან აღებულ 9 ნიმუშს მოიცავდა. აქედან 9 ვეძები-ილდოყანის საბადოს მიდამოებში იყო აღებული, დანარჩენი 5 კი X ბლოკის სხვა ადგილებში. შემდგომში გამოკვლევებზე დაყრდნობით გაირკვა, რომ ფიზიკური თვისებების დადგენა ხშირად

არ ხერხდებოდა ნიმუშების უმეტესობის ბიოდეგრადაციის გამო. ჭაბურღილებიდან მოპოვებულმა ნიმუშებმა ბიოდეგრადაციისადმი სუსტი მიდრეკილება გამოავლინეს. საპირისპირო შედეგია მიღებული ზედაპირული გამოსავლებიდან აღებულ ნიმუშებში. ისინი ძლიერ ბიოდეგრადირებულები აღმოჩნდნენ, რაც ზედაპირული პირობებით არის გამოწვეული. თუმცა, ერთ შემთხვევაში ზედაპირული გამოსავლიდან წერების ხევიში აღებული ნავთობი (98 054) ბიოდეგრადირებული არ აღმოჩნდა, რაც ნავთობის აქტიურ მიგრაციაზე მიუთითებს. ის მხატვ ნავთობების რიცხვს განეკუთვნება (33,7<sup>0</sup> API), მისი ხვედრითი წონა ჩვენებურად 0,857 გ/სმ<sup>3</sup>-ა. გაზოლინის შემადგენლობა კი გვიჩვენებს, რომ ნავთობის წყარო ზღვიური, წყალმცენარეული კეროგენისგან შედგება, რომელშიც კონტინენტური კეროგენიც მონაწილეობს და თიხოვან, ბიტუმურ ფაციფსზე დაილეკა. X ბლოკის აღმოსავლეთ ნაწილში (ჭერემი, ფხოველი) აღებული ნიმუშები შესაძლოა შედარებით ნაკლები თიხებისა და ბიტუმების შემცველობის მქონე ფაციფსიდან გადმოილეკა. ოლეანინის არსებობა ყველა ნიმუშში გვიანი ცარცისა და მესამეული ასაკისათვისაა დამახასიათებელი, ამიტომაც ყველაზე მეტად სავარაუდო ნავთობმბადი ფორმაცია ზედაეოცენური ილდოყანის წყება უნდა იყოს. ვეპები-ილდოყანის ჭაბურღილებიდან და X ბლოკის ზედაპირული გამოსავლებიდან აღებული ნავთობის სინჯების ანალიზმა, რომელიც ინგლისში გაკეთდა, რამდენიმე საგულისხმო დასკვნამდე მიგვიყვანა: 1. ისინი ნახევრად განვითარებული და მთლიანად განვითარებული ნავთობმბადი ქანებიდან არიან წარმოშობილი; 2. ნავთობის ყველა ნიმუში ერთი ნავთობმბადი ქანიდანაა წამოსული; 3. სავარაუდო ნავთობმბადი ფორმაცია ზედაეოცენური ილდოყანის წყება უნდა იყოს. ვეპები-ილდოყანის საბადოს ფარგლებში ჭაბურღილების ბურღვის პროცესში ეფექტური ნავთობგამოვლინებანი ძირითადად ალოქტონურ აპტალბურ ნალექებში დაიკვირვებოდა და თავისთავად გაჩნდა მოსაზრება, ნავთობის ზედაპირული გამოსავლები და ჭაბურღილების მიერ გახსნილ უფრო ახალგაზრდა ნალექებთან დაკავშირებული გამოვლინებანი ალბათ ისევე, როგორც თვით აპტალბური მეორადია ანუ ეპიგენეტური (შემდგომ წარმოშობილი) და გენეტიკურად უფრო ღრმად განლაგებული ავტოქტონური (ადგილზე წარმოშობილი, ადგილზე დალექილი) ნალექების ნავთობწარმოქმნელ, სავარაუდოდ სინგენეტურ (ერთად წარმოშობილ) ქვედალიასურ, ან თვით ალბურნალექებთანაც იყოს დაკავშირებული. თუმცა მათ შორის, უფრო რეალურ დედაქანად, მაინც ყველაზე ღრმად განლაგებულ ლიასურ თიხა-ფიქლებს აღიარებდნენ და ყველაფერი ეს საკმაოდ აუფასურებდა ლიასური ნავთობწარმოქმნელი ქანების მნიშვნელობას. თუ მათი სიღრმეული სტრუქტურები რღვევებით გაკვეთილი, დანაპრალიანებული აღმოჩნდებოდა და მისი ნავთობი, სწორედ იმ რღვევებითა და ნაპრალეებით, თვით ალოქტონურ ქვედა ცარცამდე და უფრო ახალგაზრდა ქანებამდეც შემოდწეული, თავისთავად იგულისხმებოდა, რომ ის ძირითადად უკვე გამოწურულია და რაიმე მნიშვნელოვანის, ყოველ შემთხვევაში – გიგანტურის იმედი აღარ უნდა გვქონოდა. ანალიზების შედეგების საფუძველზე ნავთობი ზედაეოცენური აღმოჩნდა. ე.ი. ამ მიდამოებში ლიასური ნავთობის გამოსავლები არაა და ამდენად მათი სიღრმეში მოძიება ფრიად პერსპექტიული საქმეა. ამ მიზეზების გამო მთიანი კახეთის ქვედა იურული ნალექები და კერძოდ მისილიასური თიხაფიქლები მიგვანია დიდი ქართული ნავთობის დედაქანად და მის ზემოთ განლაგებული, ნებისმიერი, კოლექტორად ვარგისი დახურული, ფოროვანი და ნაპრალოვანი სტრუქტურა შეიძლება დიდი ქართული ნავთობის საბადო აღმოჩნდეს. მთიანი კახეთის აღმოსავლეთ ნაწილში კი ალაზნის სერიის მძლავრი საფარის ქვეშ მოქცეული ნალექები ბევრი ნიშნით ავლენენ ნავთობგაზიანობის პერსპექტივას. ქვემოთ ამის რამდენიმე მაგალითსაც მოგიყვანთ. ყვარელის რაიონში, ალაზან გაღმა კახეთში მცირე სიღრმის ჰიდროგეოლოგიური № 17 ჭაბურღილის ბურღვისას, რომელიც მდ. ჩელთის ქვემო დინებაში იყო მიცემული, 160 - 180 მ-ის სიღრმიდან, ლიასის თიხიანი ფიქლების შრენარიდან საწვავი გაზის გამოვლინება დაიკვირვებოდა. იმავე ყვარელის რაიონში ზედა ლიასის ანალოგიურ ფიქლებიანი შრენარიდან გაზგამოვლინებას ჰქონდა ადგილი, ისევე ჰიდროგეოლოგიური № 499 (1029–1031 მ) ჭაბურღილიდან, რომელიც სოფელ ოქტომბერთან გაიბურდა, მიღებული გაზი 78,18 % მეთანს შეიცავდა. სოფ. ოქტომბერის მიდამოებში გაბურღული № 498, ნეკრესისა და შაქრიანის № 584, სოფ. გრემის № 589 და მყრალისხევის № 566 ჭაბურღილების სხვადასხვა ინტერვალებში გახსნილი გაზის გამოვლინებანი სწორედ იურულ-ქვედა-ცარცული ნალექებიდანაა მიღებული. რაც ჩვენი აზრით ავტოქტონური (ქანები, რომლებიც თავისი თავდაპირველი წარმოქმნის ადგილას იმყოფებიან) იურული და ქვედა ცარცული ნალექების ნავთობგაზიანობაზე უნდა მიუთითებდეს. ორგანული ნივთიერებებით მდიდარი ლიასის ქვედა ნაწილის თიხები რეგიონულად ვრცელდებიან კავკასიონის აუზის ორივე მხარეს (ჩრდილოეთი და სამხრეთი). დაღესტანსა და მანგიშლაკის ნახევარკუნძულზე ეს

თიხები ნავთობმბად ქანებს წარმოადგენენ. მათი შესატყვისი თიხები კავკასიონის სამხრეთ ფერდზე შავი ფიქლებია. საქართველოს ნებისმიერ რეგიონში მიწის ზედაპირზე გაშიშვლებული თიხების ანალიზმა მათი ნავთობით გაჯერებულობა დაადასტურა. X ბლოკის ტერიტორიაზე ლიასური ნალექების ზემოთ, ბურღვისთვის მისაღწევ სიღრმეში მოძიებული კოლექტორებად ვარგისი ნებისმიერი ქანების არსებობის შემთხვევაში ნავთობის საკმაოდ დიდ წყაროს მივიღებდით. პირველი საძიებო ჭაბურღილის გაბურღვას წინ უნდა უსწრებდეს 2 და 3 სეისმური სამუშაოები, რომლებმაც უნდა დაადგინონ ავტოტონური ნალექებზე, ალოქტონური ნალექებისგანლაგების სიბრტყე და ამ ნალექებში სტრუქტურების აღმოჩენა და მათი განლაგების დადგენა შეძლონ. ბურღვითი სამუშაოების დაწყება მაინც, ისევე ვეძებთ მიდამოებში უნდა მოხდეს. ამის განმაპირობებელი მთავარი არგუმენტი ისაა, რომ ვეძებთ გაბურღულმა ჭაბურღილმა, როგორც უკვე იყო აღნიშნული 2 ნავთობშემცველი ჰორიზონტი გახსნა, განსაკუთრებით მნიშვნელოვანი კი მაინც III ნავთობშემცველი ჰორიზონტის გახსნა იყო, რომელიც საპროექტო ჭაბურღილმაც უნდა გაიაროს. ამას გარდა ალოქტონური ნალექების საგებამდე შეიძლება კიდევ რამდენიმე, ან თუნდაც ერთის მაინც ნავთობშემცველი ჰორიზონტის გახსნა მოსალოდნელი. მერე კი ავტოტონური ნალექებში უკვე დადგენილი ზედაეოცენური დედაქანი უნდა გაიაროს და შეიძლება ბევრ მოულოდნელობას გადავაწყდეთ. მის ქვემოთ განლაგებულმა შუა ეოცენურმა ნალექებმაც სავარაუდოდ თავიანთი სიტყვა უნდა თქვან, თუ ისინიც ისეთივე მაღალი უარყოფითი წნევის მატარებელი აღმოჩნდებიან, როგორც ეს, მაგალითად სამგორის საბადოზეა, ბუნებრივია მაშინ იქაც ნავთობს უნდა ველოდოთ. მერე კი საინტერესო იქნება ავტოტონური ქვედაეოცენური და ცარცული ნალექები, რომლებშიც ასევე შეიძლება იყოს კოლექტორობისათვის მისაღები ქანები, ალბურთი და ნეოკომური თიხები კი მოსალოდნელია ნავთობწარმოებელი დედაქანები აღმოჩნდნენ. ისევე, როგორც ნეოკომური ქვიშაქვები კოლექტორები.

საპროექტო ჭაბურღილს ნავთობგაზშემცველობის თვალსაზრისით ძალიან საინტერესო ინტერვალის გავლა მოუწევს, ასე რომ ნამდვილად ღირს მისი გაბურღვა. რაც უფრო მეტი სიღრმის იქნება მით უფრო მეტ ღირებულ ინფორმაციას მივიღებთ და რაც მთავარია მეტ ნავთობშემცველ ჰორიზონტს და შესაბამისად ბუღობს გავსნით. მისაღებ სიღრმედ 2000-2500 მეტრიც მიგვანია, მაგრამ უმჯობესია 6000 მეტრი ან უფრო მეტიც იყოს.

ასეთი ჭრილი ჯერ არცერთ ჭაბურღილის არ გაუჭრია და შესაბამისად, ჩვენ მიერ წარმოდგენილი მონაცემები შეიძლება ფაქტიურისაგან მნიშვნელოვნად განსხვავებული აღმოჩნდეს. ამიტომაც მიგვანია, რომ ბურღვითი სამუშაოების დაწყება აქ მხოლოდ 2D და 3D სეისმური სამუშაოების ჩატარების შემდეგ იქნება შესაძლებელი, რომლის დახმარებით საბოლოოდ დადგინდება ამ რაიონის სიღრმეული სტრატეგრაფია და გაირკვევა ალოქტონური და ავტოტონური ნალექების გამყოფი სიბრტყის მდებარეობა სიღრმეში.

ამ ერთი პერსპექტივის განხილვა, რა თქმაუნდა, სულაც არ ნიშნავს მთიანი კახეთის და მით უმეტეს საქართველოს პერსპექტიულობის დამტკიცებას, მაგრამ ასეთის, ზოგ შემთხვევაში კი უფრო უკეთესი პერსპექტივების მქონე კიდევ ბევრი ისეთი სტრუქტურის მონახვა შეიძლება, როგორც ისევე მთიანი კახეთის, ისე ქართლისა და დასავლეთ საქართველოს ფარგლებში, რომელთაგან ახლო მომავალში სავარაუდოდ დიდი ქართული ნავთობის მიღება იქნება შესაძლებელი.

#### ლიტერატურა

1. И. Г. Бежанов, Д. А. Булеишвили. История развития нефтяной промышленности в Грузии. /Труды ВНИГНИ, вып. 150, -Тбилиси, Мелниереба, 1975.
2. Мировая производство сирой нефти. //Нефтяное дело, № 6, 1907, сс. 449-450.
3. ე. ვახანია, დ. პაპავა. მაცოცხლებელი შადრევანი. -თბილისი, სამშობლო, 1996.
4. გეოლოგიური განგარიშებები „საქნავთობის“ ფონდებიდან.

#### SUMMARY

#### PROSPECTS OF GEORGIA'S OIL FIELDS

**Beridze N.V. and Macharadze M.G.**

**Georgian Technical University**

The article reviews oil prospects of mountainous Kakheti, in particular, of the Vedzebi oil field. The possibility of the existence of an oil reservoir in Liass sediments and of Jurassic oil collectors in younger sediments above the Liass ones, which could turn out to be large Georgian oil fields, is discussed. It is planned to conduct deep exploration drilling after carrying out 2D and 3D seismic work. According to the authors, industrial oil in Georgia "was, is and will be!"

**Keywords:** oil, oil field, prospects, exploration drilling.

## ONE-STAGE PRODUCTION OF SUPERCONDUCTING $MgB_2$ AND HYBRID POWER TRANSMISSION LINES BY THE HOT SHOCK-WAVE CONSOLIDATION TECHNOLOGY

Gegechkori T.O., Godibadze B.A., Peikrishvili V.A., Mamniashvili G.I. and. Peikrishvili A.V.

Iv. Javakhishvili Tbilisi State University

G. Tsulukide Mining Institute

F. Tavadze Institute of Metallurgy and Materials Science

**Abstract.** The rapid development of research of the conductors based on superconducting compound  $MgB_2$  makes realistic a prospect of their technical application at temperatures below 30 K. The technology of development of superconductive materials belongs to traditional powder metallurgy: preparation and compaction of Mg-B powder blends under static conditions with further sintering. Earlier the shock wave consolidation technology was used to fabricate high-density  $MgB_2$  billets with maximum critical temperature  $T_c = 40K$ , but sintering after shock wave compression to fabricate high dense  $MgB_2$  billets was additionally required. We used a unique method of hot shock-assisted consolidation combining high temperature with the two-stage explosive process without any further sintering, which produced superconducting materials of high density and integrity. The consolidation of  $MgB_2$  billets was performed at temperatures above the melting point of Mg up to  $1000^\circ C$  with Mg-B blend powders in a partially liquid state. The impact of the isotope B composition on critical temperature and superconductive properties of  $MgB_2$  was evaluated, as well as the first successful application of this method to production of hybrid power transmission lines for simultaneous transport of hydrogen and electric energy was demonstrated.

**Keywords:** superconducting  $MgB_2$ , shock-wave consolidation, B isotopes, hybrid energy lines

### 1. Introduction

The rapid development of research of the conductors based on superconducting compound  $MgB_2$  makes realistic a prospect of their technical application at temperatures below 30 K.

Reported achievements of all higher values of the critical current density in wires and tapes at moderate magnetic fields [1,2] lay out a strong hope that soon these conductors may be more economical at helium temperatures than industrial wires and cables based on NbTi and  $Nb_3Sn$ .

In the field of applied superconductivity, at temperatures 20–30 K  $MgB_2$ -based conductors may seriously push forward industrial tape-based high-temperature superconductor (HTSC) materials.

The main procedure to obtain  $MgB_2$  is solid-phase synthesis in particular modifications. For instance, the synthesis under high pressure is a quite efficient method [3]. As HTSC ceramics, compound  $MgB_2$  is brittle and therefore cannot be directly manufactured in the form of wire or ribbon. Currently the most widely used method to produce the conductors based on  $MgB_2$  (as HTSC ceramics) is the "powder-in-tube" (PIT) method [4]. It is mainly used in two ways: in situ and ex situ. In the in situ PIT method, a thoroughly mixed stoichiometric mixture of magnesium and boron powders is pressed into a metallic tube, after which it runs into the wire. A superconducting core of the  $MgB_2$  wire is a final result of wire annealing over the temperature range of  $600-950^\circ C$ . In contrast, in the ex situ PIT method, a metal tube filled with already synthesized compound  $MgB_2$  is stretched into the wire. Both options have their advantages and drawbacks.

In work [5], a novel method of photostimulated solid-state synthesis of oxide materials enabling a dramatic increase of the solid-state reaction rate was developed. The solid-state reaction rate turned out to be approximately two orders of magnitude higher as compared to the ordinary high-temperature solid-state reaction proceeding in the furnace. The experimental results given in [5] provide evidence of the photostimulated nature of the solid-state reaction and demonstrate the possibility of production of HTSC and CMR oxides with light, which is usually limited by the sample thickness. One could expect that this method could be particularly effective in the preparation of oxide films of high technological importance.

Work [6] presents the first results of investigation of the properties of superconducting  $MgB_2$  samples, obtained by the method of hot explosive compaction (HEC). By this method, the effect of increasing the solid-state reaction rate similar to that in the case of using the photostimulated solid-state synthesis was obtained. Besides, due to the high penetrating capability of shock waves generated by explosion with intensity of compression 10 GPa, this method allows fabricating the bulk, high-density and long-body cylindrical billets about 200 mm in length and 30 mm in diameter. The HEC of

cylindrical billets was performed using a semi-automatic explosive device, designed at Tsulukidze Institute of Mining, allowing to consolidate precursors of different composition with close-to-theoretical density over the temperature range 20-1200°C and the loading intensity 5-10 GPa.

The described HEC method allows also producing multilayer cylindrical tubes (pipes) when the gap between two metallic layers (e.g., Cu) is filled with superconducting  $MgB_2$  composites, which could find important applications in production of superconducting cables for simultaneous transport of hydrogen and electrical power in hybrid  $MgB_2$ -based electric power transmission lines filled with liquid hydrogen [7].

In this work we present new results on the impact of the isotope B composition on critical temperature and superconductive properties of consolidated  $MgB_2$  billets. Besides, the first successful application of this method to the production of hybrid power transmission lines for simultaneous transport of hydrogen and electric power is demonstrated.

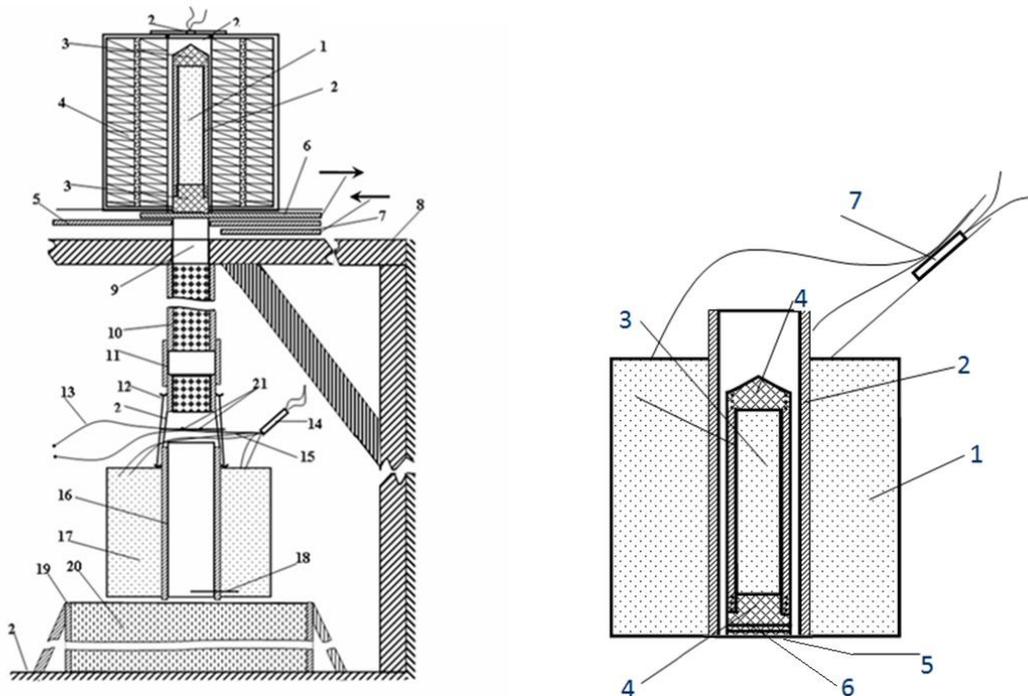
## 2. Experimental Results and Discussion

The novelty of the proposed nonconventional approach lies in the fact that the consolidation of solid high-density long-body cylindrical  $MgB_2$  billets from submicron-sized Mg and B powder blends is performed in two stages:

1. At the first stage, preliminary explosive compression of the precursors is carried out at room temperature with the loading intensity of 5-10 GPa to increase the initial density and to activate surfaces in the powder blend.

2. At the second stage, the same already preconsolidated cylindrical sample is loaded with a primary explosive shock wave with the loading intensity of 10 GPa, but at temperatures about 1000°C.

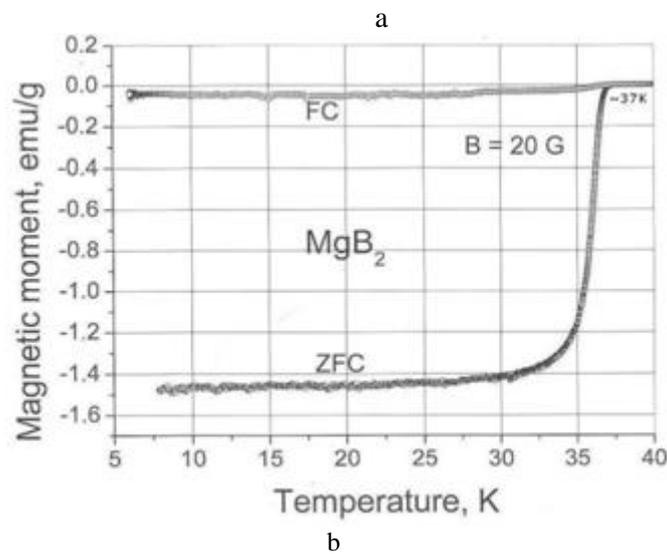
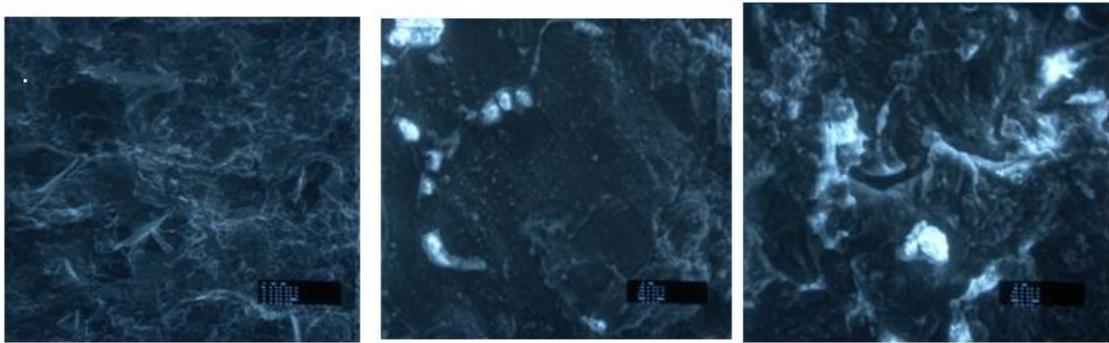
The experimental set-up is shown in Fig.1.



**Fig.1. Set-up of the HEC device**

1. Consolidating powder material;
2. Cylindrical steel container;
- 3.Plugs of the steel container;
4. Heating wires of the furnace;
5. Opening and closing movement of the furnace;
6. Opening sheet of the furnace;
7. Closing sheet of the furnace;
8. Basic construction of the HEC device;
9. Feeding steel tube for the samples.
10. Movement tube for the heated container;
11. Connecting tube from rub;
12. Accessory for fixing explosive charge;
13. Circle fixing passing of steel container;
14. El. Detonator;
15. Detonating cord;
16. Flying tube for HEC,
17. Explosive charge;
18. Lowest level of the steel container;
- 19.Bottom fixing and stopping steel container;
20. Sand.

The first successful HEC of Mg-B powder blends was performed at 1000°C, which is above the melting point of the Mg phase, at loading intensity 10 GPa providing critical temperature of superconductive transition  $T_c$  near 37 K, Fig. 2b.

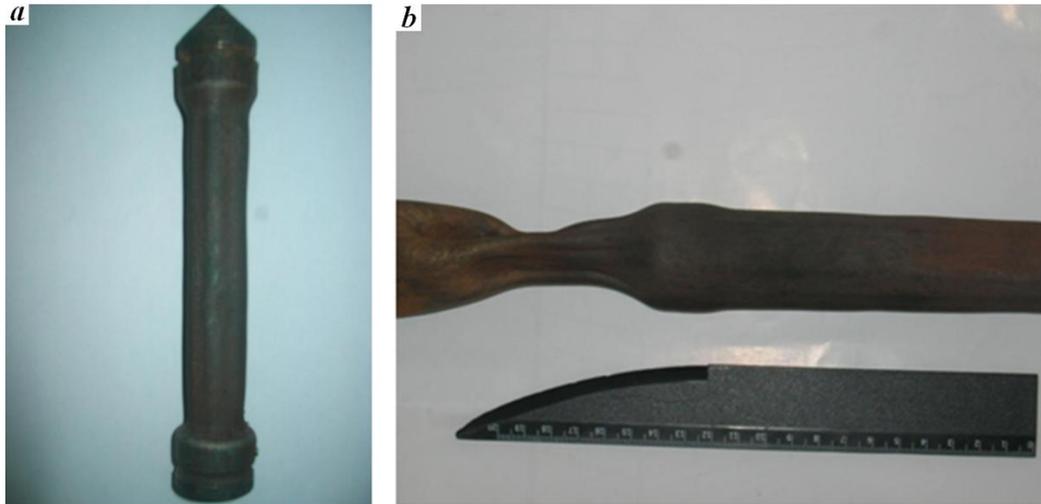


**Fig.2. a- Traces of oxidation are observed on the microstructures (light places).  
b- Magnetic moment temperature dependence measurements in zero-field-cooled (ZFC) and field-cooled (FC) modes, showing the superconducting transition at temperature near 37 K [6].**

The above confirms the important role of temperature in the formation of a superconducting  $MgB_2$  phase in the entire volume of the sample and is in agreement with the literature data, according to which the formation of  $MgB_2$  phase with  $T_c = 40$  K took place only after sintering at the temperature above 900°C. The difference of  $T_c$  between the HEC and sintered  $MgB_2$  composites can be explained by the rest unreacted Mg and B phases or by the existence of some oxides in precursors, Fig. 2a.

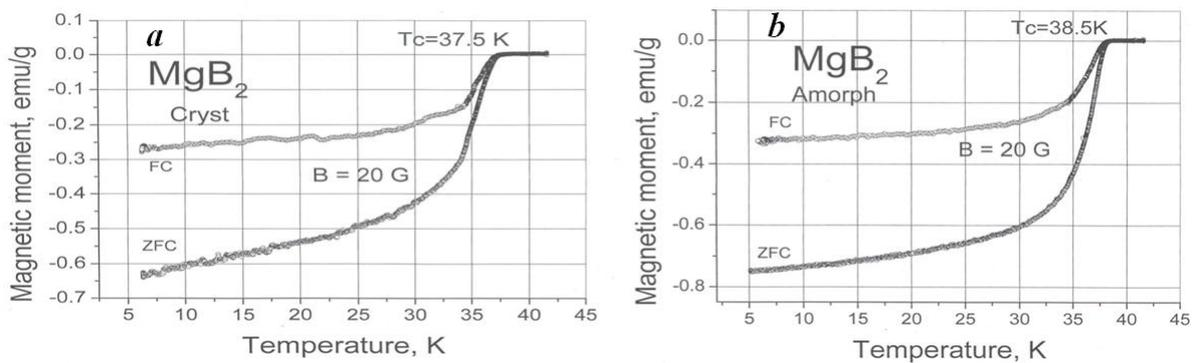
This can be checked by increasing the HEC temperature or by further sintering. Careful selection of initial Mg and B phases is important too, and, in case of consolidation of Mg-B precursors with the abovementioned corrections, the chance to increase  $T_c$  in the HEC samples essentially increases.

In Fig. 3 are shown  $MgB_2$  billets in steel jackets after previous compaction (Fig. 3a) and after the HEC procedure (Fig. 3b).



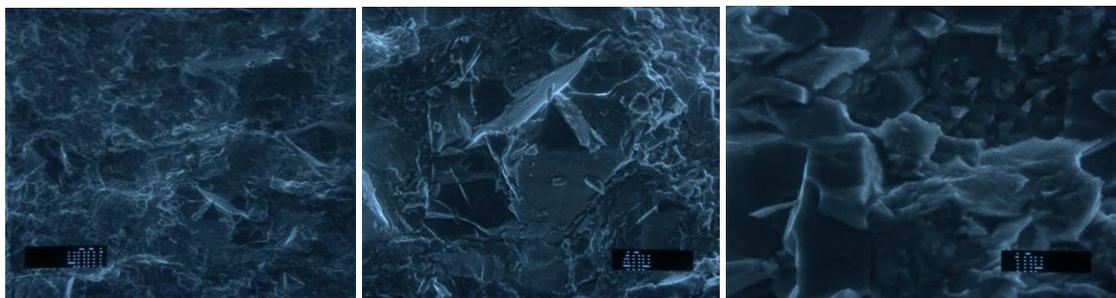
**Fig. 3. Billets before (a) and after (b) the HEC procedure at 1000°C and loading intensity 10 GPa**

In subsequent experiments, the application of pure Mg and a crystalline and amorphous B powder blend prevented the formation of MgO in HEC billets and increased  $T_c$  of the obtained  $MgB_2$  composites up to 38.5 K (Fig. 4) in the case of pure amorphous boron powder without any post-sintering of the obtained samples.



**Fig. 4. Temperature dependences of the zero-field cooled (ZFC) and field-cooled (FC) magnetic moment for HEC  $MgB_2$  composites at 1000°C with the loading intensity 10 GPa in the 20 Oe magnetic field**

For these samples, the traces of oxidation (light places) on microstructures were not observed (Fig. 5.)



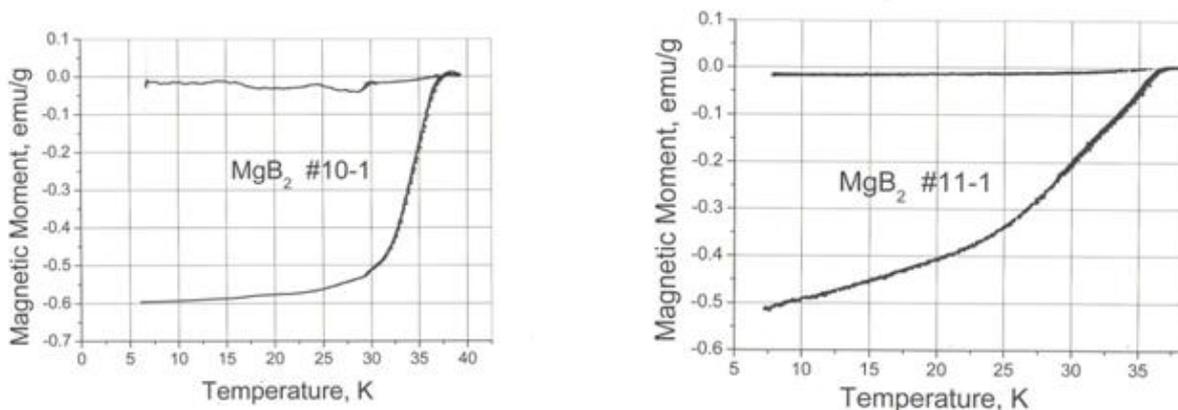
**Fig. 5. Microstructures of the HEC  $MgB_2$  composites; HEC at 1000°C and loading intensity 10 GPa from pure Mg and B powder blends [6]**

The experiments for HEC of precursors were performed at the temperature below and above the melting point of the Mg phase. The consolidation was carried out at 500, 700, 950, and 1000°C s with the loading intensity 10 GPa.

It was experimentally determined that comparatively low-temperature consolidations at 500°C and 700°C gave no results, and the obtained compacts had no superconducting properties.

The application of higher temperatures and consolidation at 1000°C provides the formation of the MgB<sub>2</sub> composition in the entire volume of HEC billets with the maximum value T<sub>c</sub> =38.5 K without further sintering takes place, which corresponds to the literature data.

Fig. 6 shows the impact of the isotopic effect on superconductivity.



**Fig.6. The impact of the isotopic effect on superconductivity**

The investigation of the impact of the type of a boron isotope on the final superconducting characteristics of magnesium diborides (MgB<sub>2</sub>) after the HEC at 1000°C showed that, in contrast to the <sup>11</sup>B isotope, application of the <sup>10</sup>B isotopes in Mg-B precursors increases the critical temperature by 1K. Such a difference may be explained by higher density of <sup>10</sup>B in contrast to <sup>11</sup>B.

Finally, different types of superconducting Cu-MgB<sub>2</sub>-Cu tubes for hybrid power transmission lines are shown in Fig. 7.



**Fig. 7. Cu-MgB<sub>2</sub>-Cu superconducting tubes**

### Conclusion

- The liquid phase HEC of Mg-B precursors at 1000°C provides the formation of the MgB<sub>2</sub> phase in the entire volume of billets with maximum T<sub>c</sub>=38.5K
- The type of applied B powder affects the final superconducting characteristics of MgB<sub>2</sub>. Better results were obtained in the case of amorphous B precursors (38.5K versus 37.5K).
- The purity of precursors is an important factor, and the existence of oxygen in the formed oxidized phases in precursors leads to the reduction of T<sub>c</sub> and the uniformity of HEC billets.
- Isotopic modification of initial boron powders is also important, and application of <sup>10</sup>B isotope in the initial Mg-B precursors provides higher critical temperature in the formed MgB<sub>2</sub> composites.

### Acknowledgements

*This research was supported by Shota Rustaveli National Science Foundation (SRNSF) [grant number. 217004].*

### REFERENCES

1. Jiang C.H., Nakane T., Hatakeyama H., Kumakura H. Enhanced J<sub>c</sub> property in nano-SiC doped thin MgB<sub>2</sub>/Fe wires by a modified in situ PIT process.//Physica C: Supercond. Appl., 2005, 422, 127-131.
2. Holcomb M.J. Supercurrents in magnesium diboride/metal composite wire.//Physica C: Supercond. Appl., 2005, 423, 103-118..
3. Priknya T.A., Gavwalek W., Savchuk Ya.M., Moshchil V.E., Sergienko N.V. et al. High-pressure synthesis of a bulk superconductive MgB<sub>2</sub>-based material.//[Physica C: Supercond. Appl.](#), 2003, 386, 565-568.
4. Mamalis A.G., Vottea I.N., Manolakos D.E. Explosive compaction/cladding of metal sheathed/superconducting grooved plates: FE modeling and validation.//Physica C: Supercond. Appl., 2004, 408-410, 881-883. .
5. Daraselia D., Japaridze D., Jibuti A., Shengelaya A., Müller K.A. Rapid solid-state synthesis of oxides by means of irradiation with light.//[J. Supercond. Nov. Magn.](#), 2013, 26, 2987-2991.
6. Mamniashvili G., Daraselia D., Japaridze D., Peikrishvili A., Godibadze B. Liquid-phase shock-assisted consolidation of superconducting MgB<sub>2</sub> composites.//J. Supercond. Nov. Magn., 2015, vol. 28, No. 7, pp. 1926-1929.
7. Kostyuk V.V., Antyukhov I.V., Blagov E.V., Vysotsky V.S., Katorgin B.I., Nosov A.A., Fetisov S.S., Firsov V.P.: Experimental hybrid power transmission line with liquid hydrogen and MgB<sub>2</sub> based superconducting cable.//Technical Physics Letters, 2012, 38, 279-282.

### РЕЗЮМЕ

#### ОДНОЭТАПНОЕ ПРОИЗВОДСТВО СВЕРХПРОВОДЯЩЕГО MgB<sub>2</sub> И ГИБРИДНЫХ ЛИНИЙ ЭНЕРГОПЕРЕДАЧ НА ЕГО ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИЕЙ ГОРЯЧЕЙ УДАРНОВОЛНОВОЙ КОНСОЛИДАЦИИ

Гегечкори Т.О., Годибадзе Б.А., Пейкришвили В.А., Мамниашвили Г.И., Пейкришвили А.В.

Тбилисский государственный университет им. Ив. Джавахишвили

Горный институт им. Г. Цулукидзе

Институт металлургии и материаловедения им. Ф. Тавадзе

Быстрое развитие исследований проводников на основе сверхпроводящего соединения MgB<sub>2</sub> делает очень реальной перспективу их технического применения при температурах ниже 30К. Технология разработки сверхпроводящих материалов относится к традиционной порошковой металлургии: подготовка и уплотнение порошковых смесей Mg-B в статических условиях с последующими процессами спекания. Ранее была также применена технология ударноволнового уплотнения для изготовления высокоплотных заготовок MgB<sub>2</sub> с максимальной критической температурой T<sub>c</sub> = 40К, но дополнительно требовалось спекание, применяемое после ударноволнового сжатия для изготовления высокоплотных заготовок MgB<sub>2</sub>. Мы применили оригинальный консолидационный метод в сочетании нагрева с ударной волной в процессе двухэтапного взрывного компактирования без последующего спекания, который производит сверхпроводящие материалы с высокой плотностью и целостностью. Консолидирование заготовок MgB<sub>2</sub> проводили при температурах выше температуры плавления Mg до 1000°C в частично жидком состоянии порошков Mg-B. Оценено влияние состава изотопа В на критическую температуру и сверхпроводящие свойства MgB<sub>2</sub>, а также продемонстрировано первое успешное применение этого метода для производства гибридных линий электропередач для одновременной транспортировки водорода и электрической энергии.

**Ключевые слова:** сверхпроводящий MgB<sub>2</sub>, взрывная консолидация, изотопы В, гибридные энергетические линии.

## О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В БИОТЕХНОЛОГИЯХ ПАРОВ ПЕРЕКИСИ ВОДОРОДА, ВОДЯНОГО РАСТВОРА МОРСКОЙ СОЛИ И ВОДЯНОГО РАСТВОРА ГИДРОКАРБОНАТА НАТРИЯ ( $\text{NaHCO}_3$ ) ПЛАЗМООБРАЗУЮЩЕЙ СРЕДОЙ ПРИ ГЕНЕРИРОВАНИИ НЕРАВНОВЕСНОЙ ПЛАЗМЫ

Сабашвили З.В.

Грузинский технический университет

### 1. Введение

В последнее время во многих странах мира ведутся интенсивные научно-исследовательские работы по применению неравновесной (холодной) плазмы низкого давления в биотехнологиях. Интерес вызван физико-химическими свойствами холодной плазмы, в частности ее низкой температурой (от комнатной температуры до нескольких десятков градусов) и состава: возбужденные молекулы, свободные радикалы, положительные и отрицательные ионы, электроны, фотоны, атомы в метастабильном состоянии, нейтральные атомы. Важнейшей отличительной особенностью плазмы низкого давления является средняя энергия электронов, превышающая среднюю энергию теплового движения атомов и молекул. Соударения энергичных электронов с невозбужденными атомами и молекулами приводят к возбуждению внутренних степеней свободы последних. В случае молекул это возбуждение вращений, колебаний и электронных состояний. В случае атомов речь идет только о возбуждении электронных состояний. Обладающие повышенной внутренней энергией возбужденные состояния обладают более высокой химической активностью.

Энергия электронного возбуждения молекул может быть соизмерима с энергией колебательных квантов или превышать её. Электронные удары также приводят к распаду молекул на свободные атомы и радикалы. Те и другие, обладая свободной валентностью, вступают в химические взаимодействия, которые часто идут без энергии активации. Кроме перечисленных частиц, обладающих повышенной химической активностью, нужно учитывать также излучаемые возбужденными атомами и молекулами кванты света, прежде всего УФ излучение, поглощение которого может инициировать протекание фотохимических реакций. Таким образом, в неравновесной плазме низкого давления электронные соударения приводят к генерации вышеперечисленных химически активных частиц.

При низком давлении основную роль приобретают иницилируемые плазмой гетерогенные химические взаимодействия. В любом случае время жизни химически активной частицы должно быть достаточно большим для того, чтобы она успевала вступить в химическую реакцию.

Практическое применение плазмы низкого давления для реализации гомогенных и гетерогенных химических реакций требует проведения исследований кинетических характеристик процессов генерации химически активных частиц – скоростей образования активных частиц и их связи с такими параметрами разряда, как давление и состав плазмообразующей среды, ток разряда.

Состав плазмы обеспечивает протекание химических реакции, которые обеспечивают бактерицидное влияние плазмы на биологические ткани и инактивацию микроорганизмов (антибиотикорезистентные микроорганизмы, грамм-положительные, грамм-отрицательные и полирезистентные бактерии). Атакие факторы, как ультрафиолетовое излучение (мягкая область спектра), электрические поля и магнитные поля плазмы оказывают влияние, например, на защитную оболочку семян, на эндосперм, на ростковый зародыш, на клетки. При воздействии плазмой, важно чтобы все факторы были сбалансированы.

На практике применяется как прямое, так и косвенное воздействие плазмы на биологические организмы. При прямом воздействии один из электродов - обрабатываемая

поверхность, на которую воздействуют активные заряженные и незаряженные частицы, а также ультрафиолетовое излучение. Его положительными свойствами являются большая площадь обработки, плотный поток заряженных частиц, а недостатками: - протекание тока через ткань и трудность обработки поверхностей сложной конфигурации. При косвенном воздействии возможна обработка относительно малой площади поверхностей, но любой конфигурации. На биологические организмы, в основном, воздействуют незаряженные частицы.

## 2. Основная часть

В медицине плазма используется при заживлении ран, стерилизации, лечении язв и бактериальных заболеваний кожи, для коагуляции крови и т.д. В агрономии плазма, в основном, применяется для обработки семян растений, что положительно влияет на прорастивание семян, повышается энергия прорастания, всхожесть семян, устойчивость семян и растений к грибковым и бактериальным заболеваниям, повышается сохранность семян и зерна в условиях длительного хранения. Проростки семян более крепкие, опушенные, с хорошо развитыми корешками. По некоторым литературным данным повышается пищевая ценность плодов за счет усиления накопления в них белков, сахаров, органических кислот, витамина С, макроэлементов.

Преимуществами использования неравновесной (холодной) плазмы в биотехнологиях являются:

- простота, невысокая стоимость и надежность метода; безопасность оборудования при соблюдении общепринятых мер предосторожности и правильном методическом использовании;
- бактериостатическое и бактерицидное действие;
- малая глубина проникновения при воздействии плазменного потока на биологическую ткань;
- отсутствие какого-либо значительного жесткого излучения.
- мощность плазменного потока лежит в пределах мощностей лазерных пучков от 0,5 до 5 Вт, а ток не превышает величины, максимально допустимой в медицине.
- при взаимодействии плазменного потока с биологическими тканями не происходит денатурация белковых соединений.

Практический интерес представляет влияние плазменной обработки (стерилизации) плодов фруктов и овощей, мясных продуктов на увеличение срока годности, влияние плазменной обработки при разных заболеваниях растений и разных культур, возможность обработки почвы, прилегающей к корням растений.

При плазменных технологиях большое внимание уделяется выбору плазмообразующей среды, поскольку от нее зависят энергетические и физико-химические свойства плазмы. Наш интерес представляет использование в качестве плазмообразующей среды и исследование таких бактерицидных сред, как перекись водорода (в чистом виде или в водном растворе), водной раствор морской соли, который богат биологически активными макро- и микроэлементами и водной раствор гидрокарбоната натрия ( $\text{NaHCO}_3$ ). Их использование усилит бактерицидное воздействие неравновесной плазмы.

Основной составляющей морской соли является жизненно важное соединение для организма хлорид натрия ( $\text{NaCl}$ ). Без ионов натрия и хлора невозможен внутриклеточный обмен. В ее состав также входят следующие основные ионы: магний, кальций, калий, сульфат и минералы- фосфор, марганец, цинк, железо и т. д. Каждый из этих элементов необходим организму и из их многих ценных свойств мы представляем некоторые:

- Калий в организме способствует нормальному прохождению обменных процессов, росту новых клеток, регулирует водный баланс в клетках;
- Кальций влияет на свертываемость крови и укрепление клеточных мембран;
- Хлор участвует в образовании желудочного сока, формировании плазмы крови,

активации ферментов;

- Магний способствует усвоению витаминов и минералов;

- Марганец укрепляет иммунитет;

- Железо доставляет кислород к клеткам и необходим для образования эритроцитов;

- Фосфор является строительным компонентом клеточных мембран и его недостаток приводит к остеопорозу.

- Селен обладает антиоксидантными свойствами, предотвращает онкологические заболевания, повышает защитные силы организма.

Уникальные бактерицидные, противовоспалительные свойства соды известны ещё с древних времён и применялись для лечения различных болезней. В агрономии известен способ обработки семян перед посевом водяным раствором гидрокарбоната натрия (соды). Мощное воздействие соды объясняется ее способностью ощелачивать организм и является отличным антацидом (антикислотным препаратом).

Перекись водорода (ПВ) при попадании в организм человека, под действием фермента каталаза, распадается на воду и кислород. Вода усваивается организмом, а кислород приступает к уничтожению больных клеток, всевозможных паразитов, бактерий, вирусов отравляющих нас, негативно влияющих на работу органов, являющихся источником большинства заболеваний человека. Перекись водорода участвует во всех биологических процессах обмена веществ: белков, жиров, углеводов, минеральных солей, а также в образовании витаминов, в работе всех ферментных, гормональных систем. Она окисляет токсичные вещества. При определенной концентрации ПВ гибнут такие патогенные микробы, как возбудители холеры и брюшного тифа, споры сибирской язвы, очень устойчивые во внешней среде. Перекись водорода стимулирует работу иммунной системы, препятствуя росту опухолей. Использование ПВ вместе с ультрафиолетовым облучением крови оказывает еще более выраженный терапевтический эффект.

Интересно также представляет исследование свойств плазмы, генерируемой в смесях перекиси водорода как с водяным раствором гидрокарбоната натрия, так и с водяным раствором морской соли.

Исходя из вышеизложенного, можно предположить, что использование данных плазмообразующих сред будет эффективным как в медицине, так и в агрономии.

Неравновесная плазма генерируется с помощью различных видов электрических разрядов, таких как диэлектрико-барьерный, коронный, искровой, высокочастотный, высоковольтный и др. Давление плазмообразующей среды при генерировании должна быть низкой. При низком давлении в разряженном газе процессы ионизации редки, что позволяет поддерживать температуру плазмы низкой, а упругие столкновения электронов с нейтральными атомами и молекулами так редки, что передача электроном своей энергии газу невелика. Для того, чтобы обеспечить низкое давление предлагаемых нами сред, целесообразно их использование в виде пара.

### **3. Заключение**

Исходя из вышеизложенного, можно предположить, что использование перекиси водорода, водяного раствора морской соли и водяного раствора гидрокарбоната натрия ( $\text{NaHCO}_3$ ) в состоянии пара плазмообразующей средой при генерировании неравновесной плазмы в биотехнологиях будет эффективным, так как они содержат необходимые для биологических тканей жизненно важные соединения и ионы.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. А.Н. Алейник, А.Н. Байков, Г.Ц. Дамбаев, О.И. Денек, О.С. Жданова, Е.П. Красноженов, Е.В. Семичев. Особенности взаимодействия неравновесной плазмы с живыми тканями. //Вестник науки Сибири, 2012 г., №3 (4), с. 44-48.

2. Eliasson B., Kogelschatz U. Nonequilibrium volume plasma chemical processing // IEEE Transactions on Plasma Science, 1991, vol. 19 (6), pp. 1063–77.
3. Gaunt L.F., Beggs C.B., Georghiou G.E. Bactericidal Action of the Reactive Species Produced by Gas-Discharge Nonthermal Plasma at Atmospheric Pressure // IEEE Transactions on Plasma Science, 2006, vol. 34, No. 4, pp. 785–801.
4. Gostev V., Ignakhin V., Popova E., Ostashkov O. Cold Plasma in Biological Investigations. / NATO: Advanced Study Institute. Plasma Assisted Decontamination of Biological and Chemical Agents, 16-26 September 2007, Çeşme, Turkey, pp. 54 – 56.
5. Комкова О. П., Мисюн Ф. А., Гостев В. А. Экспериментальное изучение бактерицидных свойств холодной плазмы // Материалы Конференции «Диагностика и лечение инфекционных заболеваний» - Петрозаводск, Изд-во ПетрГУ. 2000. с. 158.
6. А.И. Максимов. Плазмохимия неравновесных процессов. Учебное пособие. – Иваново, 2010, 116 с.

## SUMMARY

### FEASIBILITY OF USE IN BIOTECHNOLOGIES OF HYDROGEN PEROXIDE VAPOR, AN AQUEOUS SOLUTION OF SEA SALT AND AN AQUEOUS SOLUTION OF SODIUM BICARBONATE ( $\text{NaHCO}_3$ ) AS PLASMA-FORMING MEDIA WHEN GENERATING THE NONEQUILIBRIUM PLASMA

Sabashvili Z.V.

Georgian Technical University

Recently, in many countries intense studies on the use of non-equilibrium (cold) low-pressure plasma in biotechnologies have been carried out. In plasma technologies, great attention is paid to the choice of a plasma-forming medium. We propose to use bactericide media such as hydrogen peroxide, and aqueous solutions of sea salt and sodium bicarbonate ( $\text{NaHCO}_3$ ) as plasma-forming media. As a result, the bactericidal effect of non-equilibrium plasma will enhance, because the mentioned substances contain compounds and ions essential for biological tissues.

**Keywords:** non-equilibrium plasma, biotechnology, plasma-forming medium, hydrogen peroxide, sea salt, sodium bicarbonate.

## ბრაფიტი→ალმასი კატალიზური გარდაქმნის კინეტიკის კვლევა

ლოლაძე ნ.თ., წეროძე მ.პ., ფხალაძე თ.ბ.

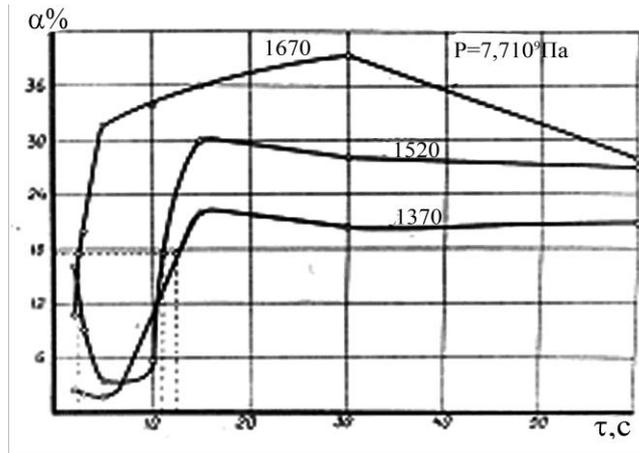
## საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

გრაფიტის ალმასში გარდაქმნის პროცესი ლითონ-კატალიზატორების ნაღობებში ზემოდალი წნევისა და ტემპერატურის პირობებში საკმაოდ დრამატიულად არის შესწავლილი თერმოდინამიკული მეთოდებით. განსაზღვრულია გრაფიტისა და ალმასის ხსნადობა სხვადასხვა სისტემაში, აგებულია სხვადასხვა მეტალების ნახშირბადთან წონასწორობის დიაგრამები ზემოდალი წნევების პირობებში, გათვლილია ალმასური ჩანასახების ჰომოგენური და ჰეტეროგენული მექანიზმით წარმოშობის თერმოდინამიკული ალბათობა და სხვ. მაგრამ, მხოლოდ თერმოდინამიკური თვალსაზრისით პროცესების შესწავლა არ შეიძლება იყოს გამოყენებული ალმასების სინთეზის კინეტიკური კანონზომიერებების შესწავლისას. მაგალითად, სისტემის ცვლილება დროში, გამსხნევის შემადგენლობისა და საწყისი ნახშირბადის სტრუქტურის გავლენა კრისტალიზაციის სიჩქარეზე და მიღებული რისტალების თვისებებზე და ა.შ. ამავდროულად, პროცესების კინეტიკური კანონზომიერებების ცოდნის გარეშე ძნელია საფუძვლიანი და დადასტურებული წარმოდგენის ჩამოყალიბება გრაფიტი→ალმასი გარდაქმნის შესახებ, რომელიც დამოკიდებულია წნევისა და ტემპერატურაზე, საწყისი რეაგენტების ფიზიკურ-ქიმიურ თვისებებზე და რიგ სხვა ფაქტორებზე. ამგვარად, გრაფიტი → ალმასი ფაზური გადასვლების შესწავლისას P - T პირობებში, მიზანშეწონილია კვლევების ჩატარება როგორც თერმოდინამიკული, ასევე კინეტიკური მიდგომებით.

კატალიზატორ-გამსხნელების თანაობისას გრაფიტის ალმასად გარდაქმნის მექანიზმისა და კინეტიკის შესწავლის პრობლემა განუხრელად დაკავშირებულია სინთეზის პროცესის მართვის ამოცანების გადაჭრასთან, გარდაქმნის ხარისხის გაზრდასა და მაღალი ხარისხის ალმასური ფხვნილებისა და მონოკრისტალების მიღებასთან.

წარმოდგენილი მონაცემები გრაფიტი-ალმასი გარდაქმნის კინეტიკაზე, ძირითადად ეხება როდესაც სინთეზის პროცესი მიმდინარეობს 30 წმ-ზე მეტი ხანგრძლივობით. მნიშვნელოვან ინფორმაციას გვაძლევს ალმასწარმოქმნის პროცესის დაწყებითი სტადიების შესწავლა, როდესაც ალმასური კრისტალების წარმოქმნისა და ზრდის დრო მინიმალურია და შეადგენს მხოლოდ რამოდენიმე წამს. ამ მიმართულებას განეკუთვნება კვლევები გრაფიტი-ალმასი ფაზური გარდაქმნის საწყისი პერიოდის შესასწავლად სხვადასხვა თერმოდინამიკურ პირობებში [1]. წარმოდგენილ სამუშაოში ალმასების გარდაქმნის ხარისხი განისაზღვრებოდა ყველა წერტილისათვის (როცა  $P=7,7 \cdot 10^9$  პა,  $T=1370$  K,  $T=1520$  K,  $T=1670$  K) დაყოვნების შემდეგ 2, 3, 5, 10, 15, 30 და 60 წმ, თანაც ყოველი დაყოვნების შემთხვევაში აღებულია  $\alpha$ -ს საშუალო მნიშვნელობა 20 ცდიდან. მიღებული შედეგების საფუძველზე აგებულია დამოკიდებულება  $\alpha = f(\tau)$  ნახ. 1 გარდაქმნის ხარისხის კრისტალიზაციის დროსთან დამოკიდებულების კინეტიკური მრუდების ხასიათი თითქმის ერთნაირია და როგორც [2,3], შრომებშია აღნიშნული აქვთ S-მაგვარი ხასიათი. მოყვანილი მონაცემებიდან გამომდინარეობს, რომ მაღალი თერმოდინამიკური პარამეტრებისას, როცა  $P=7,7 \cdot 10^9$  პა,  $T=1520$  K და  $P=7,7 \cdot 10^9$  პა,  $T=1670$  K გრაფიტის ალმასში გარდაქმნის პროცესი სრულდება შედარებით ჩქარა (30 წმ-მდე); გარდაქმნის ხარისხი თავისი მაქსიმალური მნიშვნელობის მიღწევის შემდეგ იწყებს შემცირებას, რაც ეთვლით, რომ განპირობებულია წარმოქმნილი, არაწონასწორული ფორმის კრისტალების გადაკრისტალებით და ნაწილობრივი გახსნით ლითონ-კატალიზატორის ნაღობში [4].

მიღებული კინეტიკური მრუდები იძლევა საშუალებას, გარდაქმნის ხარისხის ( $\alpha=17,5\%$ ) მცირე სიდიდეებისას ტემპერატურულ ინტერვალში 1370-1670 K გაითვალისწინოს ალმასების წარმოქმნის პროცესის აქტივაციის ენერჯია (ნახ.1).



ნახ.1. გარდაქმნის ხარისხის დამოკიდებულება კრისტალიზაციის დროზე და ტემპერატურაზე, როცა  $P = 7,7 \cdot 10^9$  პა

გათვლები განხორციელდა განტოლებით  

$$d \ln V / dT = E / RT^2$$

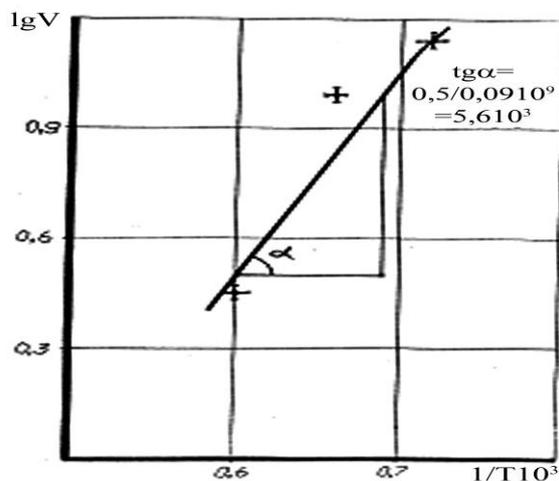
გამარტივებით ვიღებთ

$$E = 4,576 \frac{\lg V}{1/T}$$

სადაც  $V$  - აღმასის ახალი ფაზის წარმოქმნის სიჩქარე. გარდაქმნის მასური სიჩქარე  $V = \frac{m}{\tau}$ ; სადაც  $m$  - მიღებული აღმასების მასა;  $\tau$  - კრისტალიზაციის დრო. რო-

გორც ცნობილია  $\frac{\lg V}{1/T} = \text{tg } \alpha$ , გამოსახული კალ/მოლ.

ნახ.2 მოყვანილია გარდაქმნის სიჩქარის ლოგარითმის პროცესის ტემპერატურის შებრუნებულ სიდიდეზე  $1/T$  დამოკიდებულების გრაფიკი.



ნახ.2. გრაფიტი—აღმასი გარდაქმნის სიჩქარის ლოგარითმის დამოკიდებულება პროცესის ტემპერატურის შებრუნებულ სიდიდეზე

გათვლების თანახმად -  $\text{tg}\alpha=5,6\cdot 10^3$ ;  $E=4,576\ 5,6\cdot 10^3 = 25,625\cdot 10^3$  კალ/მოლ, რაც  $\cong 111$ კჯ/მოლ ტოლფასია.

მიღებული E სიდიდის მნიშვნელობა პრაქტიკულად ემთხვევა მნიშვნელობას  $E=126$  კჯ/მოლ, მიღებულს ნაშრომში [5], რომელშიც გათვლილია  $T=1690$  K და  $P=5,4\cdot 10^9$  პა პირობებში ნიკელის 0,012; 0,005 და 0,0012 სმ სისქის ფენაში ნახშირბადის დიფუნდირებისას პროცესის აქტივაციის ენერგია.

მიღებული ექსპერიმენტალური შედეგები და გათვლები იძლევა საფუძველს, ვივარაუდოთ, რომ ალმასწარმოქმნის პროცესი იმყოფება დიფუზიურ არეში (რეჟიმში) უკვე რამდენიმე წამში დაგეგმილი P და T პარამეტრების მიღწევის შემდეგ.

#### ლიტერატურა

1. Г.Н. Безруков, В.П. Поляков, Н.Т. Лоладзе, М.М. Мухаметкулова. Исследование кинетики каталитического превращения графита в алмаз при различных термодинамических условиях синтеза. //Сверхтвердые материалы, 1982, № 2, сс.7-10.
2. В.П. Бакуль, А.М. Прихна, А.А. Шульженко, М.Г. Богданович. Экспериментальные исследования минералообразования в сухих окисных и силикатных системах. –Москва, Наука, 1971, 363с.
3. Г.Н. Безруков. Кинетика кристаллизации алмаза. В сб.: Новое в теории и практике создания и применения синтетических сверхтвердых материалов в народном хозяйстве. - Киев, 1977, сс.33-36.
4. Н.Т. Лоладзе. Алмазы и другие углеродные материалы. - Тбилиси, Технический университет, 2009, 331с.
5. S.H.M. Strong, R.E. Hanneman. Crystallization of Diamond and Graphite. //J. Chem.Phys., 1967, v.46, 9, p. 3668-3676.

#### SUMMARY

#### RESEARCH OF THE KINETICS OF GRAPHITE→DIAMOND CATALYTIC CONVERSION

Loladze N.T., Tserodze M.P. and Pkhaladze T.B.

Georgian Technical University

The paper presents experimental data on the kinetics of conversion of graphite to diamond under different dynamic parameters of the process. Based on the data obtained, the authors calculated the activation energy of the process. It is inferred that diamond formation is limited by the diffusion process within a few seconds after the start of the reaction.

**Keywords:** diamond, catalytic conversion,

ჰეტეროგენული სისტემების თერმოდინამიკური შეფასების ალგორითმის  
მათემატიკური მოდელი

ერისთავი დ.ვ., გოგიშვილი ა.რ., სარუხანიშვილი ა.ვ., გუგეშიძე მ.კ.,  
ქერქაძე ჯ.ვ., მაცაბერიძე ე.ლ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ცნობილია, რომ ბუნებრივ გარემოში არსებული სისტემების უმრავლესობა ჰეტეროგენურია. მათი შესწავლა დაკავშირებულია შესაბამის სისტემებში მიმდინარე პროცესების ფიზიკო-ქიმიური კანონზომიერების ცოდნასთან, რომელიც ეყრდნობა ემპირიული ექსპერიმენტების ჩატარების აუცილებლობას. მსგავსი ინფორმაციის მიღების ერთერთ მნიშვნელოვან საშუალებას წარმოადგენს - სისტემების ფაზური დიაგრამები.

ექსპერიმენტალური მონაცემების მიხედვით ფაზური დიაგრამების აგება მოითხოვს ხანგრძლივ ძვირადღირებულ ექსპერიმენტების ჩატარებას. ამიტომ, ბევრ და განსაკუთრებით რთული სისტემებისათვის არ არსებობს კორექტული ფაზური დიაგრამები.

მრავალკომპონენტიანი სისტემების მდგომარეობის ფაზური დიაგრამების აგების რეალურ გზად ჩვენ გვესახება ემპირიული ექსპერიმენტების შეცვლა კომპიუტერული ექსპერიმენტებით და მიღებული შედეგების დამუშავება, რაც გულისხმობს შესასწავლი სისტემის შემთხვევაში, მასში შემავალი კომპონენტების მიხედვით მიზნობრივი პროდუქტების მიღების ოპტიმალური პირობების დადგენას, რაც ძალზე მიმზიდველია სხვადასხვა სამეცნიერო და ტექნიკური დარგებისათვის, რადგან წარმოადგენენ მნიშვნელოვანი ფიზიკო-ქიმიური თვისებების მქონე მრავალი მასალის მიღების „წყაროს“ [1-4].

ექსპერიმენტული ნაწილი

ნებისმიერი სისტემის თერმოდინამიკური ანალიზი, განსაკუთრებით კი რთული ჰეტეროგენული, აუცილებელია ჩავატაროთ სათანადო პროგრამული უზრუნველყოფის კომპლექსის საშუალებით. პროგრამული კომპლექსი „АСТРА – 4“ განკუთვნილია ქიმიური და ფაზური წონასწორობის მოდელირებისთვის მაღალ ტემპერატურებზე. მას საფუძვლად უდევს წარმოებული ჰეტეროგენული სისტემების მახასიათებლების განსაზღვრის უნივერსალური თერმოდინამიკური მეთოდი, დაფუძნებული ენტროპიის მაქსიმუმის ფუნდამენტალურ პრინციპზე. ეს მეთოდი გვაძლევს საშუალებას ორი მოცემული მდგომარეობის პარამეტრით და სისტემის საწყისი ქიმიური შემადგენლობით განისაზღვროს წონასწორობის ყველა დანარჩენი მახასიათებლები, თერმოდინამიკური პარამეტრების გადატანის თვისებები, ფაზური და ქიმიური შემადგენლობა [5].

საწყისი თერმოდინამიკური პარამეტრები ჩვენს მიერ აღებულ იქნა „JANAF“ და „ИВТАНТЕРМО“-ს ცნობარიდან, ასევე აშშ-ს სტანდარტების ბიუროს ბაზათა მონაცემებიდან [6-8].

იმ შემთხვევაში, როდესაც აირადი ფაზა არის წარმოდგენილი იდეალური აირების ნარევის სახით, ხოლო კონდენსირებული კომპონენტები განიხილება, როგორც სუფთა შეურეველი ფაზები, ანდა როგორც იდეალური ხსნარების შემადგენელი, მაშინ სისტემის შიდა ენერგია შესაძლებელია წარმოვადგინოდ წრფივი და წნევაზე დამოუკიდებელი ფუნქციის სახით.

$$U = \sum_{i=1}^k U_i(T) \cdot n_i + \sum_{l=1}^L U_l(T) \cdot n_l + \sum_{x=1}^X \sum_{r=1}^R U_{rx}(T) \cdot n_{rx} \quad (1)$$

სადაც,  $U_i$  ( $i = 1, 2, \dots, k$ ),  $U_l$  ( $l = 1, 2, \dots, L$ ),  $U_{rx}$  ( $r = 1, 2, \dots, R$ ) ( $x = 1, 2, \dots, X$ )

კომპონენტების მოლური შიდა ენერგიებია - სუფთა ფაზების და კონდენსირებული ხსნარების კომპონენტები (ინდექსი  $x$  - მიეკუთვნება ხსნარებს, ხოლო  $r$  - ხსნა-

რების კომპონენტს). თუ სისტემებში ხსნარები არ განიხილება, (1) ეს ნაწილი უტოლდება 0.

ჩაკეტილი სისტემების განხილვისას უნდა სრულდებოდეს მატერიალური ბალანსის პირობა:

$$b_j + \sum_{i=1}^k \nu_{ji} \cdot n_i + \sum_{l=1}^L \nu_{jl} \cdot n_l + \sum_{x=1}^x \sum_{r=1}^l \nu_{jrx} \cdot n_{rx} \geq 0 \quad (2)$$

სადაც,  $b_j$  – მოლური შემადგენლობა  $j$  – რი ქიმიური ელემენტის სისტემაში (მოლი/კგ);  $n$  – ქიმიური ელემენტების რაოდენობა, სისტემის წარმომქმნელი  $\nu_{ja} - j$  – რი ელემენტის რაოდენობა  $a$  – კომპონენტში (სტექიომეტრიული კოეფიციენტი).

კონდენსირებული ხსნარებისთვის შემოგვაქვს თანაფარდობა, რომელიც ზღუდავს ამ ფაზათა შემადგენლობას:

$$\sum_{r=1}^R n_{rx} - n_x = 0 \quad \text{ან} \quad \sum_{r=1}^R \omega_{rx} - 1 = 0, \quad x = 1, 2, \dots, x \quad (3)$$

სადაც,  $\omega_{rx} = n_{rx} / n_x - r$  კომპონენტის მოლური წილი  $x$  - ხსნარში.

ყველა ფაზის ყოველი კომპონენტისათვის უნდა სრულდებოდეს კონცენტრაციების არაუარყოფითობის პირობა. აირადი ფაზისა და კონდენსირებული ხსნარების შემადგენლებისათვის ასეთი ფუნქციის სახით უმჯობესია ავირჩიოთ  $n_a = \exp x_a$ ,  $a = i, r, x$ . ზოგადად ნებისმიერი განსახილველი კონდენსირებული ფაზის საერთო მასას მთლიანობაში შეუძლია მიიღოს, როგორც დადებითი ისე ნულოვანი მნიშვნელობა ფაზის არსებობის ან არარსებობის შემთხვევაში მოცემულ პირობებში.

მაშასადამე, სისტემის წონასწორობის პირობების განსაზღვრა დადის ისეთი მდგომარეობის პარამეტრების დადგენაში, მათ შორის ფაზების კომპონენტების კონცენტრაციების, რომელსაც მიყვავართ ყველა დასახელებული შეზღუდვის პირობებში ენტროპიის მაქსიმუმისაკენ. რთული სისტემის ენტროპია შესაძლებელია წარმოდგენილი იყოს როგორც შემადგენელი ფაზების ენტროპიების ჯამის სახით.

$$S = S_{za3} + \sum_{x=1}^x S_{paama} + \sum_{l=1}^L S_l = \sum_{i=1}^k \left[ S_i^0(T) - R_0 \ln \frac{R_0 T}{V} \cdot n_i \right] \cdot n_i + \sum_{x=1}^x \sum_{r=1}^R \left[ S_{rx}^0(T) - R \ln \omega_{rx} \right] \cdot n_{rx} + \sum_{l=1}^L S_l^0(T) \cdot n_l \quad (4)$$

აქ მიღებულია, რომ აირადი ფაზის ყოველი კომპონენტისათვის მართებულია იდეალური აირის მდგომარეობის ტოლობა, ხოლო კონდენსირებული ხსნარების განხილვისას, განზავება ხდება მოცულობის შეუცვლელად და ენტროპია გამოითვლება როგორც სხვადასხვა სახის არაურთიერთქმედებადი ნაწილაკების ნარევი.

წონასწორობის პარამეტრების განსაზღვრისათვის გამოიყენება ლაგრანჟის განუსაზღვრელი მამრავლების მეთოდი. ყოველი ცვლადის ყველა კერძო წარმოებული უტოლდება ნულს. ამ დროს ვიღებთ განტოლებათა სისტემას, რომელიც აკავშირებს წონასწორული მდგომარეობის პარამეტრებს.

განტოლებათა სისტემა იანგარიშება ნიუტონის მეთოდით პარამეტრების იტერაციული მნიშვნელობების კორექტივებით. მის საფუძველზე აგებულია ალგორითმი, რომლის მეშვეობით ხდება შედეგების მიღება.

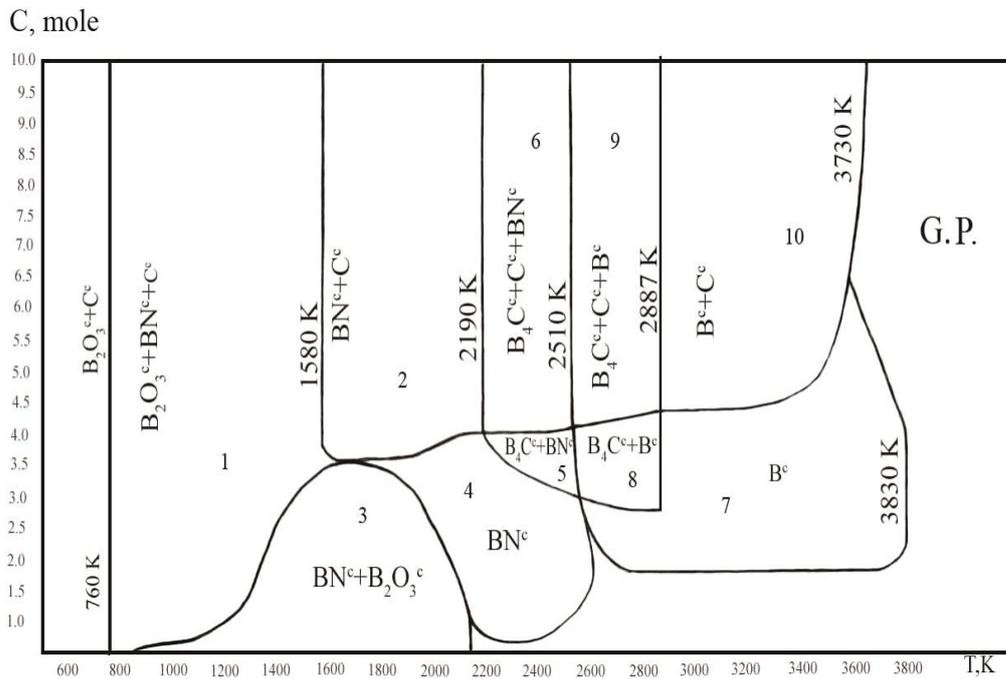
აღწერილი, წონასწორული მდგომარეობის პარამეტრების განსაზღვრის (სინერჯის-მოისევის) ალგორითმი იწვევს ყველა ფაზის კომპონენტების მოლური შემადგენლობის განსაზღვრას და ყველა სიდიდის რიცხვითი მნიშვნელობის დადგენას როგორც არის:  $P$  – წნევა;  $T$  – ტემპერატურა;  $V$  – კუთრი მოცულობა;  $S$  – ენტროპია;  $I$  – ენტალპია;  $U$  – შინაგანი ენერჯია. მდგომარეობის დანარჩენი პარამეტრები არიან წარმოებული სიდიდეები და ადვილად იანგარიშება თანაფარდობიდან [9].

წონასწორული მდგომარეობათა თერმოდინამიკური შეფასების ალგორითმის მათემატიკური მოდელის გამოყენებით, ჩვენ მიერ შესწავლილი იყო „B-O-N-C“ და „Si-O-N-C“ რთული ჰეტეროგენული სისტემები. წონასწორული შემადგენლობის ანგარიშისათვის, საწყის ნარევეში კომპონენტების საწყისი თანაფარდობის შერჩევა განისაზღვრება შესაბამისი რეაქციების კომპონენტების სტექიომეტრული თანაფარდობით.

ბორისა და სილიციუმის ნიტრიდის, ასევე ბორისა და სილიციუმის კარბიდის გამოსავლიანობაზე ნახშირბადის რაოდენობის ზემოქმედების განსასაზღვრავად ჩატარებული იყო წინასწარი ანგარიშის სერია, რადგან ეს კომპონენტები ამ სისტემის ანგარიშსას წარმოადგენენ ყველაზე დიდ ინტერესს როგორც მიზნობრივი პროდუქტები.

შედეგად, და საწარმოო მნიშვნელობიდან გამომდინარე, არჩეული იყო საწყისი ნარევი ყოველი სისტემისათვის ნახშირბადის ცვლადი შემადგენლობით 0,25 – 5 მოლამდე. თერმოდინამიკური ანგარიშის განსახორციელებლად არჩეული იყო მათემატიკური მოდელი: იდეალური აირი – ურთიერთუხსნადი კონდენსირებული კომპონენტები. ანგარიშის ტემპერატურული ინტერვალი შეადგენდა: 600-3850 K „B-O-N-C“ და 1200-3300 K „Si-O-N-C“ სისტემებისათვის ბიჯით 50K. ტემპერატურის ქვედა ზღვარის არჩევა დამოკიდებული იყო სისტემებში შემავალი კომპონენტების ურთიერთქმედების დასაწყისად, ხოლო ზედა – ყველა კონდენსირებული ნივთიერებების გადასვლით აირად ფაზაში. ანგარიში ტარდებოდა აირადი ფაზის წნევისათვის P = 101 კპა.

ნახ. 1. და ნახ. 2-ზე წარმოდგენილია „B-O-N-C“ და „Si-O-N-C“ სისტემების ფაზური დიაგრამები. დიაგრამებზე „G.P.“ გამოკვეთილად აღნიშნულია მხოლოდ აირადი ფაზის არსებობის არე, ხოლო ცხრ. 1 და 2-ში შესაბამისად მოყვანილია „B-O-N-C“ და „Si-O-N-C“ სისტემის მიზნობრივი პროდუქტების მიღების ოპტიმალური პირობები.



ნახ. 1. “B-O-N-C” სისტემის კონდენსირებული ფაზების შემადგენლობის დამოკიდებულება T, K -ზე და საწყის ნარევეში ნახშირბადის რაოდენობაზე G.P. – მხოლოდ აირადი ფაზის არსებობის არე



სამუშაოს პროცესში დაგროვილია დიდი რაოდენობის გრაფიკული მასალა, რომელიც უსათუოდ წარმოადგენს დიდ პრაქტიკულ ინტერესს ამ დარგის სპეციალისტებისათვის, ამიტომ იყო სისტემატიზირებული და გამოქვეყნებული ჩვენს მიერ მონოგრაფიის სახით. ამ მასალის ყველაზე მნიშვნელოვანი ნაწილი, კერძოდ ტემპერატურული ჭრილები რთული "B-O-N-C" და "Si-O-N-C" სისტემების, შესაბამისად წარმოდგენილია მონოგრაფიის დანართის I და II ნაწილში [10].

მსგავსი მიდგომის გამოყენება, ასევე შესაძლებელია, ბუნებრივი გარემოს ტექნოგენური დაბინძურების პროცესების კომპიუტერული მოდელირებით, ანთროპოგენული ფაქტორებით გამოწვეული გარემოში არსებული მრავალი გამაჭუჭყიანებელი ნივთიერებების და მათ მიგრაციულ პროცესებზე შესასწავლად.

კერძოდ, ჩატარდა კომპიუტერული ექსპერიმენტების დიდი სერია აირადი და თხევადი წიაღისეული საწვავის წვის პროდუქტების (ემისიების) შემადგენლობის დასადგენად, რომელიც შესაძლებელია გამოვსახოთ, როგორც "C-H-N-O" და "C-H-S-O-N" სისტემები. ამ სისტემებში შემავალი "C-H" ელემენტები შეესაბამება საწვავის ორგანულ ნაწილს, ხოლო "N-O" ატმოსფერული ჰაერის ძირითად კომპონენტებს, რომელიც განაპირობებს წვის პროცესს. რადგანაც თხევად საწვავი შეიცავს გოგირდის, ამიტომ მეორე სიტემის თერმოდინამიკური ანალიზის ჩატარებისას აუცილებელია მისი გათვალისწინება.

შესაბამისად, ჩავატარეთ "C-H-N-O" და "C-H-S-O-N" სისტემების თერმოდინამიკური ანალიზი გამონახობლქვი აირების ქიმიური შედგენილობის დასადგენად აირადი ფაზის წნევისათვის  $P = 101$  კპა.

თავიდან განვიხილოთ "C-H-S-O-N" სიტემა. თერმოდინამიკური ანგარიშის დროს ვითვალისწინებდით დიზელის საწვავის ( $\text{JI} - 62$ ) სერტიფიცირებულ მონაცემებს [11].

აქედან გამომდინარე, ანგარიში ტარდებოდა ჟანგბადის სიჭარბის კოეფიციენტის რამოდენიმე მნიშვნელობისათვის ტემპერატურულ დიაპაზონში 600-2500K, ბიჯით 50K. მაგალითისათვის მოგვყავს მხოლოდ ორი შედეგი: ნახაზი 3  $\alpha = 18$  (ძრავის სრული დატვირთვა) და ნახ. 4  $\alpha = 50$  (სუსტი დატვირთვა). საანგარიშო მოდელი არ გამოირიცხავდა კონდენსირებული ჩანართების განხილვას, როგორც არის ჭვარტლი და გოგირდი. სისტემის ანგარიშის დროს გათვალისწინებული იყო 130-მდე შესაძლო ურთიერთქმედების პროდუქტები.

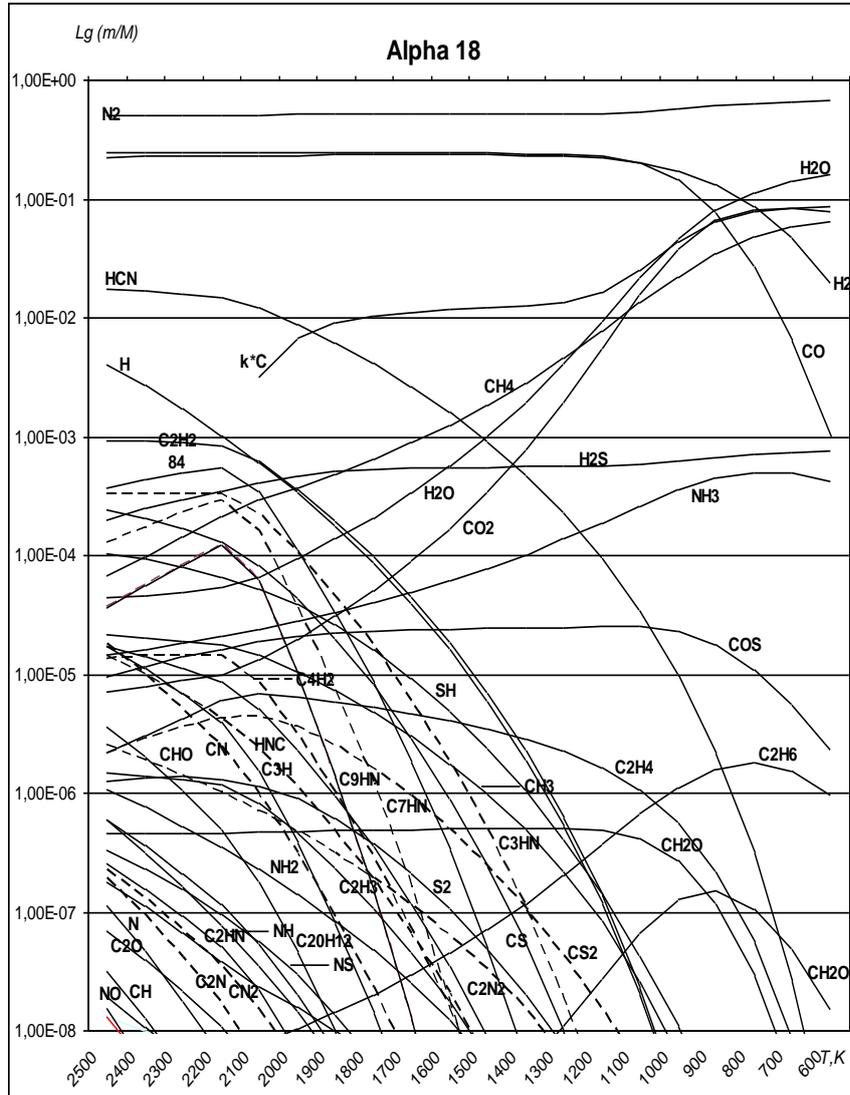
მე-3 ცხრილში მოყვანილია ზოგიერთ ნივთიერებათა ჯამური მონაცემები, შემაჯავლი გამოფრქვეულ აირებში  $\alpha = 18$  დროს.

ცხრილი 3. ნამწვი აირების საანგარიშო შემადგენლობა (მას.წილის)

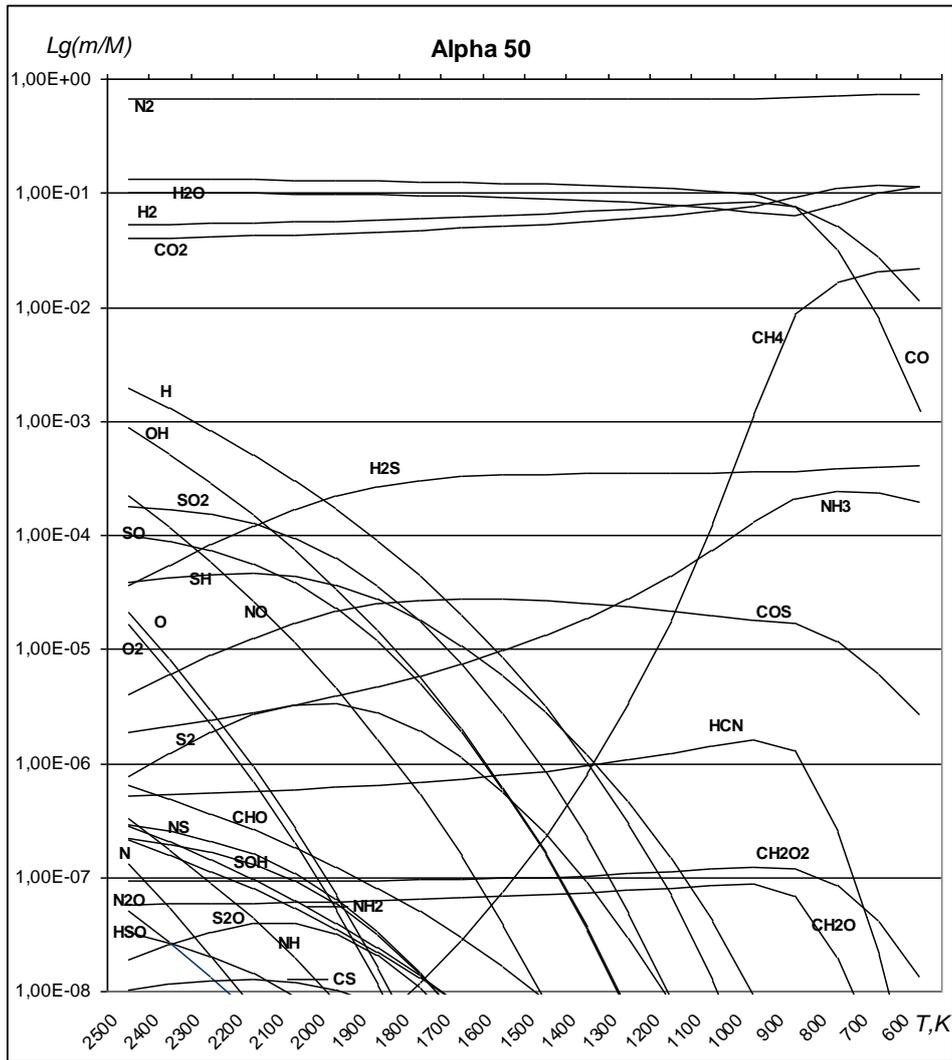
კომპონენტები	T = 2500 K	T = 600 K
აზოტი	2,18E-01	4,08E-01
ჟანგბადი	2,08E-09	0
წყალი	4,35E-05	0,162619
ნახშირორჟანგი	7,19E-06	0,07708
CO	0,242955	0,00097
NO <sub>x</sub>	6,04E-07	1,40E-19
SO <sub>x</sub>	1,30E-08	1,01E-13
ნახშირწყალბადები	1,06E-03	0,06446
ბენზ(ა)პირენი	3,56E-06	3,73E-20
ჭვარტლი	0	0,085917

დავადგინეთ ტემპერატურის ცვლილების ზემოქმედება სისტემაში შემაჯავლი კომპონენტების ურთიერთქმედებაზე, ჟანგბადის სიჭარბის კოეფიციენტის  $\alpha = 18$  (ნახ. 3) და  $\alpha = 50$  (ნახ. 4) მნიშვნელობებისას. ანგარიშის შედეგები წარმოდგენილია გრაფიკულად, სისტემაში შემაჯავლი ელემენტთა და კომპონენტთა შემადგენლობის

დამოკიდებულებით ტემპერატურაზე. აბსცისთა ღერძზე გამოსახულია ტემპერატურა, ხოლო ორდინატთა ღერძზე კომპონენტთა მასური წილის ლოგარიტმი ნარევის საერთო მასიდან ( $\lg m/M$ , სადაც  $m$  – კომპონენტის მასა;  $M$  – მუშა სხეულის მასა). მიღებული და წარმოდგენილი შედეგების ანალიზი, გარკვევით ცხადყოფს, რომ გამონატყორცნში კომპონენტთა რაოდენობრივი შემადგენლობა დამოკიდებულია უანგბადის სიჭარბის კოეფიციენტზე [12].



ნახ.3 ტემპერატურის ცვლილების ზემოქმედება «C-H-S-N-O» სისტემაში შემავალი კომპონენტების ურთიერთქმედებაზე, უანგბადის სიჭარბის კოეფიციენტის  $\alpha = 18$  მნიშვნელობისას



ნახ.4. ტემპერატურის ცვლილების ზემოქმედება «C-H-S-N-O» სისტემაში შემავალი კომპონენტების ურთიერთქმედებაზე, ჟანგბადის სიჭარბის კოეფიციენტის  $\alpha = 50$  მნიშვნელობისას

რაც შეეხება “C-H-N-O” სისტემის თერმოდინამიკურ ანალიზს, შესწავლილი იყო ბუნებრივი აირის ქიმიური შემადგენლობა გამოსასული ფარდობით პროცენტებში: 86,36% - CH<sub>4</sub>; 9,7% - C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>; 2,74% - C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>; 0,23% - C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>, 0,4% - CO<sub>2</sub> და 0,3% - O<sub>2</sub> მინარევების გათვალისწინებით. ყველა ამ მონაცემთა გადაანგარიშებით ელემენტთა შემადგენლობაზე ჯამში საწყისებით ვიღებთ ელემენტთა ნარევის ბრუტო-შემადგენლებს ბუნებრივი აირის 100 მოლზე. მაშასადამე, ჟანგბადის მიმართ სტექიომეტრული ჰაერის რაოდენობა შეადგენს: ნახშირბადი – 182,75 მოლი; წყალბადი – 592,487 მოლი; ჟანგბადი – 436,906 მოლი და აზოტი – 1635,34 მოლი.

გამოთვლებში ვითვალისწინებდით 63 ძირითად ნივთიერებასა და ელემენტს, ანგარიში ტარდებოდა 1000-300K ტემპერატურულ დიაპაზონში ბიჯით 50K.

**ცხრილი 4. ჟანგბადის სიჭარბის კოეფიციენტის  $\alpha$  - გავლენა ბუნებრივი აირის წვის პროცესზე**

კომპონენტები	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	NO
შემცველობა პროცენტებში	12,1761	4,4	–	–	0,0146
$\alpha = 2$	14,180	4,0	–	$0,5 \cdot 10^{-6}$	0,0020

ცხრილის მონაცემებიდან ჩანს, რომ ჟანგბადის სიჭარბის კოეფიციენტი  $\alpha$  გავლენას ახდენს ბუნებრივი აირის წვის პროცესზე.  $\alpha = 2$  დროს გამოსავალ აირში არსებული ძირითადი კომპონენტების მნიშვნელობების შედარებით მიღებული ჩვენი თეორიული გამოთვლებით კომპიუტერზე სათანადო პროგრამული კომპლექსის გამოყენებით – მრიცხველი და უშუალოდ ექსპერიმენტულად - მნიშვნელი - აღებული ჭიათურმანგანუმის საწარმოო გაერთიანებიდან. ვასკვნიტ, რომ თეორიული და ექსპერიმენტალური შედეგები უმნიშვნელოდ განსხვავდება ერთმანეთისაგან, საწარმოში გამოყენებული ტექნოლოგია კარბონატული მანგანუმის კონცენტრატის წვისას ეკოლოგიის თვალსაზრისით უსაფრთხოა, რადგან გამომავალ აირებში საძიებელი შესაბამისი კომპონენტების მნიშვნელობები ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაციების მნიშვნელობებზე ნაკლებია [13].

ამით მტკიცდება, რომ წვის პროცესის თერმოდინამიკური მოდელირება იძლევა საიმედო შედეგებს. მისი გამოყენება შეიძლება ნებისმიერი საწვავის წვის პროდუქტების შედგეილობის დასადგენად [12,14].

აღსანიშნავია, რომ კომპიუტერული ქიმიის მეთოდების კერძოტ, კი რთული ჰეტეროგენული სისტემების წონასწორული მდგომარეობათა თერმოდინამიკური შეფასების ალგორითმის მათემატიკური მოდელის გამოყენება სათანადო პროგრამული უზრუნველყოფის კომპლექსის საშუალებით შესაძლებელია არა მხოლოდ ტექნოგენური სისტემების თერმოდინამიკური კვლევებისათვის და მიზნობრივი პროდუქტების ოპტიმალური პირობების დასადგენად, არამედ, გარემოში ანთროპოგენული დაბინძურების წარმოქმნის, მათი ქიმიური შემადგენლობის, მოსალოდნელი კონცენტრაციების და შესაძლებელი ეკოლოგიური ცვლილებების როგორც წინასწარი შეფასების, ასევე ხარისხობრივი და რაოდენობრივი პროგნოზირებისათვის.

**ლიტერატურა**

1. Д.В. Эристави, А.Р. Гогишвили, А.В. Саруханишвили, Н.А. Куцава, В.В. Эристави. Термодинамика взаимодействия триоксида дибора с графитом и азотом. -Москва. // Химическая кибернетика, моделирование и автоматизация химико-технологических процессов, № 12, т.8, 2006, с.36-37.
2. Д.В. Эристави, А.Р. Гогишвили, А.В. Саруханишвили, Н.А. Куцава, В.В. Эристави. Применение приведенных химических потенциалов при изучении равновесий в системе “В - Si - O - C”. -Москва. // Химической Технологии. Технология неорганических веществ и материалов, № 4, т.10, 2009, с.208-211.
3. Д.В. Эристави, А.Р. Гогишвили, А.В. Саруханишвили, В.В. Эристави, Н.Ш. Бибилури. Диаграмма равновесных составов системы “В - O - N - C” с переменным содержанием углерода. // Металлургическая и горнорудная промышленность, (Украина), №1 сс.57-59.
4. Д.В. Эристави, А.Р. Гогишвили, А.В. Саруханишвили, В.В. Эристави, Н.Ш.Бибилури. Диаграмма равновесных составов системы “Si - O - N - C” с переменным содержанием углерода. //Металлургическая и горнорудная промышленность, Украина, №3, с.33 - 35.
5. Трусов Б.Г. Многоцелевой программный комплекс АСТРА. -М.: МГТУ им. Баумана,1993.
6. Термодинамические константы веществ. Справочник вып.(1-10). ( Под редакцией В.П.Глушко) - - М., ВИНТИ АН СССР, сс.1965-1982.
7. Гурвич Л.В., Вейц И.В., Медведев В.А. и др. термодинамические свойства индивидуальных веществ.: ( справочное издание- в 4-ех томах). -М.:наука, сс.1978-1982.
8. <http://www.nist.com>.
9. Синярев Г.Б., Ватолин Н.А., Трусов Б.Г., Моисеев Г.К. Применение ЭВМ для термодинамических расчетов металлургических процессов. -М., Наука, 1982, 264 с.
10. Эристави Д.В., Гогишвили А.Р., Саруханишвили А.В. Целевые продукты и термодинамический анализ систем “В-O-N-C” и “Si-O-N-C”. –Тбилиси, Технический Университет, 2009, 239 с.
11. <http://www.mazdanews.ru>

12. А.Р. Гогишвили, Д.В. Эристави, Ш.Ж. Сабахтарашвили, Н.А. Куцава, И.В. Гелашвили  
Влияние продуктов сгорания моторного топлива на экологическое состояние городов.  
/Известия национальной академии наук Грузии, серия химическая № 4, т.34, Тбилиси 2008,  
с.456 - 462.

13. Мазмишвили С.М., Миндин В.Ю., Гогишвили А.Р. Термодинамический расчет состава отходящих газов при обжиге карбонатных марганцевых руд во вращающейся печи. // Известия ВУЗов, №12, 1992, с.28-29.

14. ა. გოგიშვილი, დ. ერისთავი, ნ. შარაშიძე, გ. ასპანიძე. მეთანის წვის პროდუქტებით გარემოს ტექნოგენური დაბინძურების მოდელირება და პროგნოზირება თერმოდინამიკური ანალიზით ეგმ-ზე. //საქართველოს ქიმიური ჟურნალი. № 4, ტ. 9, 2009, გვ. 370-373.

## SUMMARY

### A MATHEMATICAL MODEL OF THE THERMODYNAMIC ESTIMATION ALGORITHM OF HETEROGENEOUS SYSTEMS

**Eristavi D.V., Gogishvili A.R., Sarukhanishvili A.V., Gugeshidze M.K., Kerkadze J.V. and Matsaberidze E.L.**

**Georgian Technical University**

The goal was to substantiate the concept of changing the empirical experiments with complex heterogeneous systems by modeling of corresponding thermodynamic processes. There are presented the phase diagrams first plotted by the authors for B-O-N-C and Si-O-N-C systems at 101 kPa of the gaseous phase in the result of thermodynamic analysis. These diagrams enable one to forecast relevant technical processes and to give scientifically grounded representation of their mechanism. The mathematical model of the thermodynamic estimation algorithm of heterogeneous systems with appropriate software can be used not only for thermodynamic studies of technogenic systems and establishment of optimal conditions for targeted products, but also for determination of the chemical composition and expected concentrations of pollutants of anthropogenic origin, as well as for assessment and forecast of changes in the environment.

**Keywords:** thermodynamics, ecology, computer simulation.

**ON ONE PROBABILISTIC MODEL OF A CHEMICAL REACTION WITH FINITE LIFETIME**

**Dochviri B.M., Tkemaladze G.Sh. and Makhshvili K.A.**

**Georgian Technical University  
Iv.Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia**

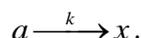
**Abstract.** A probabilistic model of the single-molecule chemical reaction with finite lifetime was constructed. Explicit formulas of the mathematical expectation of the reagent and the product were obtained.

**Keywords:** single-molecule chemical reaction, probabilistic model, mathematical expectation.

1. Nearly all natural processes are of a random character. In many spheres of science and technology, it is essential to use probabilistic-statistical methods [1-3]. Using these methods, probabilistic models were constructed and fundamental results were obtained, for instance, in the investigation of the following issues of chemistry and biology: autocatalytic, single-molecule, bimolecular, monomolecular and chain reactions, population growth, mutation, epidemic theory, gene frequency theory, radiobiology and so on [1].

In this paper, the probabilistic model of a single-molecule chemical reaction with finite lifetime is constructed. Explicit formulas of the mathematical expectation of the reagent and the product are obtained.

2. Let us consider the following single-molecule chemical reaction for reagent  $a$



Denote the concentrations (numbers of molecules) of the reagent  $a$  and the product  $x$  at the moment of time  $t$ ,  $0 \leq t < \infty$ , by  $a(t)$  and  $x(t)$ , where  $a(0) > 0$ ,  $x(0) = 0$ .

Using equation (8.6) from [1] for the probability

$$P_a(t) = P(a(t) = a), \quad a = 0, 1, \dots, a(0)$$

we consider the following model of reagent  $a$  and for product  $x$ :

$$Ea(t) = a(t) = \frac{T-t}{T} a(0) e^{-kt}, \quad (1)$$

$$Ex(t) = x(t) = a(0) \left( 1 - \frac{T-t}{T} e^{-kt} \right), \quad (2)$$

where  $0 \leq t \leq T$ .

Note that, from Eqs.(1)-(2), we have

$$a(0) = a(t) + x(t),$$

$$a(t) \rightarrow a(0), \quad \text{when } t \rightarrow 0,$$

$$a(t) \rightarrow 0, \quad \text{when } t \rightarrow T,$$

$$x(t) \rightarrow 0, \quad \text{when } t \rightarrow 0,$$

$$x(t) \rightarrow a(0), \quad \text{when } t \rightarrow T.$$

$$V_a(t) = \frac{da(t)}{dt} = - \left( \frac{1}{T} + \frac{T-t}{T} k \right) a(0) e^{-kt}, \quad (3)$$

$$V_x(t) = \frac{dx(t)}{dt} = \left( \frac{1}{T} + \frac{T-t}{T} k \right) a(0) e^{-kt} \quad (4)$$

Whence, for the initial speeds, we obtain, respectively:

$$V_a(0) = - \left( \frac{1}{T} + k \right) a(0), \quad (5)$$

$$V_x(0) = \left( \frac{1}{T} + k \right) a(0), \quad (6)$$

Note that from (1)-(6), at  $T \rightarrow \infty$  we have

$$a(t) \rightarrow a(0)e^{-kt}, \quad x(t) \rightarrow a(0)(1 - e^{-kt}),$$

$$V_a(t) \rightarrow -ka(0)e^{-kt}, \quad V_x(t) \rightarrow ka(0)e^{-kt},$$

$$V_a(0) \rightarrow -ka(0), \quad V_x(0) \rightarrow ka(0).$$

Consider the graphs of functions  $a(t)$ ,  $x(t)$ ,  $V_a(t)$  and  $V_x(t)$ . We have

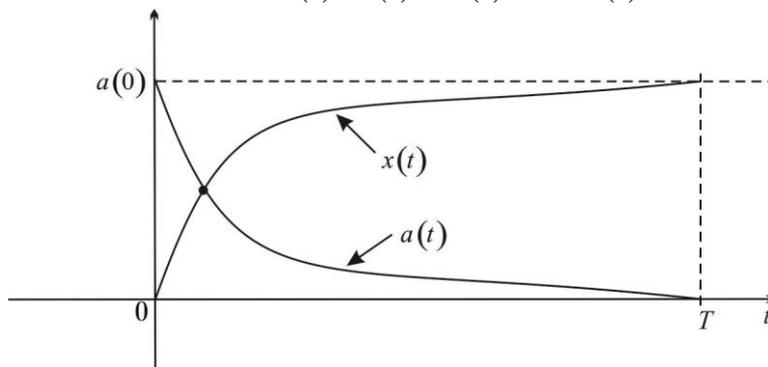


Fig. 1.

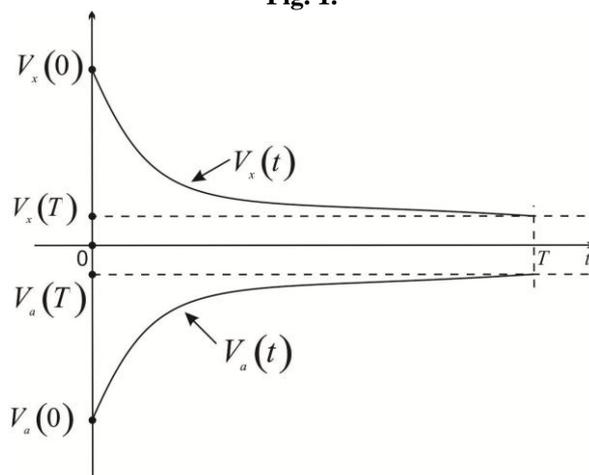


Fig. 2.

## REFERENCES

1. A. T. Bharucha-Reid. Elements of the theory of Markov processes and their applications. McGraw-Hill Series in Probability and Statistics. - McGraw-Hill Book Co., Inc., New York-Toronto-London, 1960.
2. B. Dochviri, O. Purtukhia, G. Sokhadze, G. Tkemaladze, On one stochastic model of a chemical reaction. //Bull. Georgian Nat. Acad. Sci., 2013, 7, No. 2, pp.92-96.
3. B. M. Dochviri, G. A. Sokhadze, G. Sh. Tkemaladze, K. A. Makhshvili. On the kinetics of the bimolecular chemical reaction. //Georgian Engineering News, No. 4 (76), 2015, pp.100-103.

## РЕЗЮМЕ

### ОБ ОДНОЙ ВЕРОЯТНОСТНОЙ МОДЕЛИ ХИМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ С КОНЕЧНЫМ ВРЕМЕНЕМ ЖИЗНИ

Дочвири Б.М., Ткемаладзе Г.Ш., Махашвили К.А.

Грузинский технический университет

Тбилисский государственный университет им. Ив. Джавахишвили

Построена вероятностная модель одномолекулярной химической реакции с конечным временем жизни. Получены явные выражения математического ожидания для реагента и продукта.

**Ключевые слова:** одномолекулярная химическая реакция, вероятностная модель, математическое ожидание.

ჰალოგენწყალბალების მათემატიკურ-ქიმიური ბამოკვლევა

ბრეგაძე მ.ა., ლობჯანიძე ლ.ვ., გვერდწითელი მ.ი.

იგბერიტაშვილის სახელობის ბიომედიცინის ექსპერიმენტული ცენტრი  
 იგჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

მოლეკულური გრაფები და მათი შესაბამისი სხვადასხვა ტიპის მატრიცები ფართოდ გამოიყენება მათემატიკურ ქიმიაში მოლეკულებისა და მათი გარდაქმნების (ქიმიური რეაქციების) შესწავლისათვის [1,2]. ანბ-მატრიცაც მიეკუთვნება ამ კლასის მატრიცებს - კერძოდ, მოლეკულური გრაფების თანახაობის მატრიცების მოდერნიზებულ სახესხვაობებს [3].

ნებისმიერი სამატომიანი XYV მოლეკულის შესაბამის ანბ-მატრიცას გააჩნია სახე:

$$\begin{vmatrix} Z_X & \Delta_{XY} & \Delta_{XV} \\ \Delta_{XY} & Z_Y & \Delta_{YV} \\ \Delta_{XV} & \Delta_{YV} & Z_V \end{vmatrix} \quad (1)$$

სადაც:  $Z_X, Z_Y, Z_V$  დიაგონალური ელემენტები წარმოადგენენ X, Y, V ქიმიური ელემენტების ატომური ნომრებს;  $\Delta_{XY}, \Delta_{XV}, \Delta_{YV}$  - X~Y, X~V, Y~V ქიმიური ბმების ჯერადობებია.

ანბ-მატრიცების დეტერმინანტების მნიშვნელობის ათობითი ლოგარითმი -  $\lg(\Delta_{ანბ})$  - წარმოადგენს მოლეკულურ დისკრიპტორს (ტოპოლოგიურ ინდექსს) „აღნაგობა-თვისებები“ ტიპის კორელაციური განტოლების ასაგებად.

ჩატარებულია ჰალოგენწყალბალების მათემატიკურ-ქიმიური შესწავლა -მატრიცების მეთოდის ფარგლებში, ამ ნაერთების ზოგადი ფორმულაა:

$$H - X \quad (2)$$

სადაც: X ≡ F, Cl, Br, I.

შესაბამის ანბ-მატრიცას გააჩნია სახე:

$$\begin{vmatrix} 1 & 1 \\ 1 & Z_X \end{vmatrix} \quad (3)$$

და მისი შესაბამისი დეტერმინანტი გამოითვლება ფორმულით:

$$\Delta = Z_X - 1 \quad (4)$$

ცხრილში მოყვანილია  $\lg(\Delta_{ანბ}), \Delta H^0_f, \Delta G^0_f, E_{H-X}$  და  $\mu$  ამ ნაერთებისთვის.

H-X	$\lg(\Delta_{ანბ})$	$\Delta H^0_f$ , კჯ/მოლი	$\Delta G^0_f$ , კჯ/მოლი	$E_{H-X}$ , კჯ/მოლი	$\mu \cdot 10^{29}$ , კმ
HF	0,90	-270,9	-272,8	525	0,640
HCl	1,20	-92,8	-94,8	431	0,347
HBr	1,53	-34,1	-53,2	364	0,263
HI	1,72	+26,6	+1,78	297	0,127

კომპიუტერზე, უმცირესი კვადრატების მეთოდის გამოყენებით, აგებულია ოთხი კორელაციური განტოლება:

$$\Delta H_f^0 = 177,91 \lg(\Delta_{\text{სგბ}}) - 306,3 \quad (5)$$

$$\Delta G_f^0 = 126,0 \lg(\Delta_{\text{სგბ}}) - 245,1 \quad (6)$$

$$E_{\text{H-X}} = -203,01 (\Delta_{\text{სგბ}}) + 674,6 \quad (7)$$

$$\mu = 0,255 \lg(\Delta_{\text{სგბ}}) + 0,653 \quad (8)$$

კორელაციის  $r$  კოეფიციენტი, შესაბამისად ტოლია: 0,981; 0,981; 0,985; 0,986. ამგვარად, ჯაფეს კრიტერიუმით [5], კორელაციები დამაკმაყოფილებელია.

#### ლიტერატურა

1. Chemoinformatics. Ed.I.Gastaiger and T.Endel – Willey – VCH, 2003.
2. M.Gverdtsiteli, G.Gamziani, I.Gverdtsiteli. The Contiguity Matrices of Molecular Graphs and their Modifications. –Tbilisi, TU- press, 1996.
3. M.Gverdtsiteli, M.Rusia, G.Chachava. Mathematical-chemical Investigation of some Classes or Inorganic and Organic Compounds – Tbilisi, Publishing House “Universal”, 2010.
4. Н.С.Ахматов. Общая неорганическая химия. - Москва, Высшая школа, 2005, с.332.
5. მგვერდწითელი. ფიზიკური ორგანული ქიმის რჩეული თავები. თბილისი, თუ-გამომც., 1982, გ.19.

#### SUMMARY

#### MATHEMATICAL-CHEMICAL INVESTIGATION OF HYDROGEN HALIDES

Bregadze M.A., Lobzhanidze L.V. and Gverdtsiteli M.I.

Iv. Beritashvili Experimental Center of Biomedicine

Iv. Javakhishvili Tbilisi State University

Halogen halides were studied within the scope of ANB-matrices method. Four correlation equations of the type “structure-properties” were derived and investigated. The correlations are satisfactory.

**Keywords:** halogen halides, ANB-matrix, correlation equation

IVჯგუფის B ქვეჯგუფის ელემენტების დიოქსიდების  
მათემატიკურ-ქიმიური შესწავლა

სიღამონიძე ნ.ნ., ქოიავა ნ.ა., გვერდწითელი მ.ი.

ივჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი  
თბილისის სახელმწიფო სამედიცინო უნივერსიტეტი

მოლეკულური გრაფის თანახმადობის მატრიცა და მისი სახეცვლილებები ფართოდ გამოიყენება მათემატიკურ ქიმიაში და ანბ-მატრიცაც მათ კლასს მიეკუთვნება [1-3]. XYV სამატომიანი მოლეკულის შესაბამის ანბ-მატრიცას გააჩნია ფორმა:

$$\begin{vmatrix} Z_x & \Delta_{xy} & \Delta_{xv} \\ \Delta_{xy} & Z_y & \Delta_{yv} \\ \Delta_{xv} & \Delta_{yv} & Z_v \end{vmatrix} \quad (1)$$

სადაც:  $Z_x$ ,  $Z_y$  და  $Z_v$  დიაგონალური ელემენტები X, Y და V ქიმიური ელემენტების ნომრებია:  $\Delta_{xy}$ ,  $\Delta_{xv}$  და  $\Delta_{yv}$  არადიაგონალური ელემენტების ქიმიური ბმების ჯერადობებია x და y, x და v, y და v ქიმიური ელემენტების ატომებს შორის.

IV ჯგუფის B ქვეჯგუფის ელემენტების დიოქსიდების ზოგადი ფორმულაა:

$$O = X = O \quad (2)$$

სადაც: X ≡ Ti, Zr, Hf, Rf (რეზერფორდიუმი)

(2) შესაბამისი ანბ-მატრიცაა:

$$\begin{vmatrix} 8 & 2 & 0 \\ 2 & Z_x & 0 \\ 0 & 2 & 8 \end{vmatrix} \quad (3)$$

(3)-ის დეტერმინანტის მნიშვნელობა გამოითვლება ფორმულით:

$$\Delta = 64(Z_x - 1) \quad (4)$$

ცხრილში მოყვანილია  $L_g$  ( $\Delta_{ანბ}$ ), Tდღ.,  $\Delta H^0_{298}$  და  $\Delta G^0_{298}$  [4] ამ ნაერთებისათვის.

$L_g$  ( $\Delta_{ანბ}$ ), TIR.,  $\Delta H^0_{298}$  და  $\Delta G^0_{298}$  დიოქსიდებისათვის

დიოქსიდი	$L_g$ ( $\Delta_{ანბ}$ )	Tდღ. <sup>0</sup> C	$\Delta H^0_{298}$ კჯ/მოლი	$\Delta G^0_{298}$ კჯ/მოლი
TiO <sub>2</sub>	3,13	1870	-840	-889
ZrO <sub>2</sub>	3,40	2850	-1100	-1043
HfO <sub>2</sub>	3,66	2900	-1118	-1061
RfO <sub>2</sub>	3,82	(3250)	(-1228)	(-1114)

უმცირესი კვადრატების მეთოდის გამოყენებით კომპიუტერზე აგებულია სამი კორელაციური განტოლება:

$$T_{\text{ლლ.}} = 2000Lg(\Delta_{\text{ანბ}}) - 4390 \quad (5)$$

$$\Delta H^0_{298} = -519 Lg(\Delta_{\text{ანბ}}) + 785 \quad (6)$$

$$\Delta G^0_{298} = -325 Lg(\Delta_{\text{ანბ}}) + 128 \quad (7)$$

კორელაციის  $r$  კოეფიციენტი, შესაბამისად ტოლია 0,980; 0,982; 0,982. ამრიგად, ჯაფეს კრიტერიუმით [5], კორელაციები დამაკმაყოფილებელია.

$R_fO_2$ -სათვის  $T_{\text{ლლ.}}$ ,  $\Delta H^0_{298}$  და  $\Delta G^0_{298}$  მნიშვნელობები გამოთვლილია თეორიულად, (5) – (7) ფორმულების გამოყენებით. ისინი ცხრილში ფრჩხილებშია მოყვანილი.

#### ლიტერატურა

1. Chemoinformatics. Eds.I.Gastaiger and T.Endell. – Willey-VCH, 2003.
2. Gverdtsiteli M.I., Gamziani G.A., Gverdtsiteli I.M. TheContiquity Matrices of MolecularGraphs and their Modifications.- Tbilisi: Tbilisi Univ. Press., 1996.
3. M.Gverdtsiteli,M.Rusia, G.Chachava. Mathematical-Chemical Investigation of some Classes of Inorganic and Organic Compounds.- Tbilisi, Publishing House “Universal”, 2010.
4. Н.С. Ахметов. Общая неорганическая химия. - Москва, Высшая школа, 2005, с.407.
5. მ.გვერდწითელი. ფიზიკური ორგანული ქიმიის რჩეული თავები - თბილისი, თსუ გამომც. 1982, გვ 19.

#### SUMMARY

#### MATHEMATICAL-CHEMICALSTUDYOFTHE SUBGROUPBELEMENTS OF GROUP IV DIOXIDES Sidamonidze N.N., Koiava N.A. and Gverdtsiteli M.I.

Iv. Javakhishvili Tbilisi State University

Tbilisi State Medical University

The subgroup B elements of group IV dioxides were studied within the scope of the ANB-matrices method. Threecorrelation equations were derived and investigated. The correlations are satisfactory.

**Keywords:** group IV dioxides, subgroup B, ANB-matrix, correlation equations.

ერთფუძიანი, ნაჯერი, განუშტოებელი კარბონმჟავების მათემატიკურ-ქიმიური  
ბამოკვლევა

ქარჩხაძე მ.გ., გვერდწითელი მ.ი.

ივ. ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

ანბ-მატრიცა მიეკუთვნება მოლეკულური გრაფის თანაზიარობის მატრიცის მოდიფიცირებულ სახესხვაობას. მისი დიაგონალური ელემენტებია მოლეკულაში შემავალი ქიმიური ელემენტების ატომური ნომრები, არადიაგონალური – ქიმიური ბმების ჯერადობები [1].

ნებისმიერი ABC-მოლეკულისათვის ანბ-მატრიცას გააჩნია სახე:

$$\begin{vmatrix} Z_A & \Delta_{AB} & \Delta_{AC} \\ \Delta_{AB} & Z_B & \Delta_{BC} \\ \Delta_{AB} & \Delta_{BC} & Z_C \end{vmatrix} \quad (1)$$

სადაც:  $Z_A, Z_B$  და  $Z_C$  – ქიმიური ელემენტების ატომური ნომრებია;  $\Delta_{AB}, \Delta_A$  და  $\Delta_{BC}$  – A~B, A~C და B~C – ქიმიური ბმების ჯერადობები.

ზოგიერთ შემთხვევაში, გამოთვლების გამარტივების მიზნით, შესაძლებელია ანბ-მატრიცას სახეშეცვლილი სახეობის – ქვაზი-ანბ-მატრიცის (ანბ) გამოყენება. ანბ-მატრიცაფორმალურად (1) მატრიცისმსგავსია. განსხვავება ისაა, რომ დიაგონალური ელემენტები წარმოადგენს მოლეკულის გარკვეულ სტრუქტურულ ფრაგმენტში შემავალ ქიმიური ელემენტების ატომური ნომრების ჯამს, არადიაგონალური – ბმების ჯერადობებს ამ სტრუქტურულ ფრაგმენტებს შორის. ამგვარად, ანბ-მატრიცა იგება არა თვით მოლეკულის, არამედ მისი მოდელის საფუძველზე, რაც ნოვატორული მიდგომაა მათემატიკურ ქიმიაში [2,3].

ანბ-მატრიცის მეთოდის ფარგლებში შესწავლილია ერთფუძიანი, ნაჯერი, განუშტოებელი კარბონმჟავები. მათთვის შემუშავებულია უმარტივესი მოდელი:

$$X - Y \quad (2)$$

სადაც:  $X = CH_3, C_2H_5, C_3H_7, C_4H_9 \dots, Y = COOH$ .

შესაბამისი ანბ-მატრიცაა:

$$\begin{vmatrix} Z_x & 1 \\ 1 & Z_y \end{vmatrix} \quad (3)$$

ანბ-მატრიცის დეტერმინანტის მნიშვნელობის ათობითი ლოგარითმი –  $\lg(\Delta_{ანბ})$ , წარმოადგენს ეფექტურ მოლეკულურ დისკრიპტორს (ტოპოლოგიურ ინდექსს).

ცხრილში მოტანილია  $\lg(\Delta_{ანბ})$ ,  $T_{დუღ.}$  და  $d_4^{20}$  ამ კარბონმჟავებისათვის [4].

$\lg(\Delta_{\tilde{A}\tilde{B}})$ ,  $T_{\text{დუღ.}}$ ,  $d_4^{20}$  კარბონმჟავებისათვის

კარბონმჟავა	$\lg(\Delta_{\tilde{A}\tilde{B}})$	$T_{\text{დუღ.}}, ^\circ\text{C}$	$d_4^{20}$
HCOOH	1,08	100,5	122
CH <sub>3</sub> COOH	2,31	126,2	1,049
CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> COOH	2,52	141,1	0,998
CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> COOH	2,76	163,5	0,964
CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> COOH	2,88	186,3	0,939
CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> COOH	2,97	205,8	0,927
CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>5</sub> COOH	3,03	223	0,918
CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>6</sub> COOH	3,10	239,7	0,916
CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> COOH	3,17	255,6	0,906
CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>8</sub> COOH	3,22	274	0,853

კომპიუტერზე აგებულია ორი კორელაციური განტოლება:

$$T_{\text{დუღ.}} = 250,01\lg(\Delta_{\tilde{A}\tilde{B}}) - 536,7 \quad (4)$$

$$T_{\text{დუღ.}} = -0,0801\lg(\Delta_{\tilde{A}\tilde{B}}) + 1,160 \quad (5)$$

კორელაციის რკოეფიციენტი, შესაბამისად, ტოლია: 0,963; 0,981. ამგვარად, ჯაფეს კრიტერიუმით [5], კორელაციები დამაკმაყოფილებელია.

#### ლიტერატურა

1. Gverdtiteli M., Gamziani G., Gverdtiteli I. The Contiguity Matrices of Molecular Graphs and their Modifications. – Tbilisi, Tbilisi University Press, 1996.
2. N. Kobakhidze, M. Gverdtiteli, I. Gverdtiteli. The Correlations „Structure-properties”. Algebraic Chemistry. - Tbilisi, Tbilisi University Press, 1997.
3. Сидамонидзе Н.Н., Купатадзе К.Т., Гвердцители М.И. Теоретическое исследование корреляции „структура-свойства” в рамках методов ПНС-, квази-ПНС и ЭП-матриц. // Прикладная физика, 2009, №6, с. 36.
4. К. Неницеску. Органическая химия. т.2. - Москва, Иностранная литература, 1962, 708 с.

#### SUMMARY

#### MATHEMATICAL-CHEMICAL INVESTIGATION OF MONOBASIC SATURATED UNBRANCHED CARBOXYLIC ACIDS

Karchkhadze M.G. and Gverdtiteli M.I

Iv. Javakhishvili Tbilisi State University

Mathematical-chemical investigation of monobasic saturated unbranched carboxylic acids was carried out within the scope of the  $\tilde{A}\tilde{B}$ -matrices method. Two correlation equations were constructed. Correlations are satisfactory.

**Keywords:** carboxylic acids,  $\tilde{A}\tilde{B}$ -matrix, correlation equation.

**ბიომრავალფეროვნების დაცვა და მისი ეკონომიკური ასპექტები**

**გიგინეიშვილი ლ.გ., ყარალაშვილი ნ.გ.**

**საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი**

**შესავალი**

ველური ბუნების საერთაშორისო ფონდის მიხედვით ბიოლოგიური მრავალფეროვნება (ბიომრავალფეროვნება) არის დედამიწაზე არსებული ყველა ფორმის ცოცხალი ორგანიზმების ერთიანობა. (ანუ მილიონობით სახეობის მცენარეების, ცხოველების, მიკროორგანიზმების) ერთობა, რომლებიც ქმნიან ცოცხალ ბუნებას. ეს უკანასკნელი კი გლობალური მასშტაბით სერიოზული საფრთხის ქვეშაა. ანთროპოლოგიური ზეგავლენით მილიონობით წლის განმავლობაში ფორმირებული ეკოსისტემები უმოკლეს ვადაში ნადგურდება. მიზეზი კი უამრავია: ექსტენსიური ნადირობიდან დაწყებული მტაცებლების ხელოვნური ინტროდუქციით დამთავრებული. ადამიანის ერთი, ცალკე აღებული აქტივობა შეიძლება უსაფრთხოდ გამოიყურებოდეს, მაგრამ ეკოსისტემის რომელიმე კომპონენტის დაზიანება ჯაჭვურ რეაქციას იწვევს.

კაცობრიობა, რა თქმა უნდა, სრულად აცნობიერებს მის წინაშე მდგარ გამოწვევის მნიშვნელობას. ამიტომ ძირითადად მეოცე საუკუნის მეორე ნახევრიდან ფართო, ჭეშმარიტად გლობალური მასშტაბის კამპანია გაშლილი ცოცხალი ბუნების დასაცავად. თუმცა სუბიექტური თუ ობიექტური მიზეზების გამო ზოგიერთ რეგიონში ასეთი ქმედებები მხოლოდ ქაღალდზე დაწერილი დეკლარაციებისა და კონვენციების დონეზე რჩება, ამიტომ საჭიროა რეალური ქმედითი ნაბიჯების გადადგმა.

ბიომრავალფეროვნების შენარჩუნებისთვის გასატარებელი ღონისძიებები კონცეპტუალურად შეიძლება სამ ნაწილად დაიყოს: პირველ რიგში უნდა მოხდეს ცოცხალი გარემოს მრავალფეროვნების აღწერა და შესწავლა, შემდეგ – გამოვლინდეს და შეფასდეს ადამიანის ზემოქმედება სახეობრივ, თანასახოგადობრივ და ეკოსისტემების დონეზე. და ბოლოს, შემუშავდეს ბიოლოგიური მრავალფეროვნების დაცვის და აღდგენის კომპლექსური ღონისძიებები. ამ უკანასკნელში საგანგებოდ გავუსვით ხაზი „კომპლექსურს“. ცალკეული დარგების, მაგ., ტყის დაცვის ღონისძიებები კარგა ხანია მთელს მსოფლიოში ფართოდაა აპრობირებული. მაგრამ, როგორც ცნობილია ტყე არ არის მხოლოდ ჭურჭლოვანი მცენარეების ერთობლიობა. იგი ასევე ცხოველების, ფრინველების, სოკოების და სხვა ორგანიზმების ეკოლოგიური გარემოა, რომელზე ზრუნვაც სატყეო მეცნიერებების კომპეტენცია არ არის. ამიტომაც საჭირო კომპლექსური მიდგომა, რათა მაგალითად იგივე ტყე არ დარჩეს მხოლოდ რამდენიმე სახეობის ხეების ერთობლიობა, არამედ ასევე მოხდეს ტყეში მცხოვრები ფლორის და ფაუნის წარმოდგენელების სათანადოდ დაცვა-შენარჩუნება. ცნობილია, რომ ეკოსისტემის ერთი ნაწილის დაზიანება ჯაჭვისებურ რეაქციას იწვევს - ადრე თუ გვიან ბუნებრივი წონასწორობის ხელოვნური დარღვევა მოტიანად ეკოსისტემას დააზიანებს.

მეორე მხრივ, რა თქმა უნდა მნიშვნელოვანია სოციალური საკითხი. შეუძლებელია, რომ დღეს ადამიანმა სრულად თქვას უარი ეკოსისტემების ექსპლუატაციაზე. დედამიწაზე მნიშვნელოვნად გაზრდილი ადამიანების რაოდენობის გათვალისწინებით გარემოს თეორიული საფუძვლების მიხედვით დაცვა მილიარდობით ადამიანს ელემენტარულად შიმშილის ზღვარზე დააყენებს.

### ბიომრავალფეროვნის დაცვის საფუძვლები.

ბიოლოგიური მრავალფეროვნების დაცვა გარემოსშემსწავლელი მეცნიერებების საერთო ყურადღების ცენტრში მე-20 საუკუნეში მოექცა. თუმცა მანამდე ადამიანი მაინც ზრუნავდა გარემოზე. საქართველოში საკრალური მნიშვნელობის ადგილები და მცენარეები უძველესი დროიდანაა ცნობილი. წმინდა ხეების და ადგილების თაყვანისცემის ტრადიცია ფართოდ იყო გავრცელებული როგორც მთაში მცხოვრებთათვის, ისე ბარის მკვიდრთა შორის. სხვადასხვა წყაროებიდან ცნობილია წმინდა ხეების რამდენიმე ვარიანტი: მუხა, ცაცხვი, იფანი, ნაძვი, ურთხმელი, ბზა. ასეთი მცენარეებს არა მარტო მკურნალობა, ბოროტი ძალებისაგან დაცვა და ნაყოფიერების უზრუნველყოფა მიეწერებოდა, არამედ ისინი ზოგჯერ ღვთაებათა საბრძანებლადაც მიიჩნეოდა.

ამ შემთხვევაში საკულტო დანიშნულებისაგან განსხვავებით ჩვენთვის უფრო საინტერესოა საზოგადოების ქცევა წმინდა ადგილების მიმართ. მაგ. საქართველოს მთიანეთში ხატის მიმდებარე ტყეები, თანამედროვე გაგებით ნაკრძალი იყო. მოსახლეობა ასეთ ადგილებში არც მცენარეებს ჭრიდა, არც შემგროვებლური საქმიანობით იყო დაკავებული და არც შინაურ პირუტყვს აძოვებდა. რელიგიური ტაბუირებით დაცული ტერიტორიები დღემდე თვალშისაცემია მთიან რეგიონებში (კერძოდ: ხევსურეთში, ფშავში, თუშეთსა და ერწო-თიანეთში). სალოცავებში ხის დარგვა და მოვლა-პატრონობაც მნიშვნელოვან სამსახურად მიიჩნეოდა. შედეგად საზოგადოებასაუკუნეების განმავლობაში ამგვარად, არაპირდაპირი გზით ახორციელებდა გარემოზე ზრუნვას. ასეთი მოდგომა მხოლოდ საქართველოს და კავკასიას არ ახასიათებს. კალიკოტის (Callicott 1990) მიხედვით ბევრი რელიგია ავალდებულებს ადამიანს გარემოსთან ჰარმონიულ თანაცხოვრებას. ზოგიერთი ამერიკელი ფილოსოფოსი კი ველურ ბუნებას ადამიანის მორალის და სულიერი განვითარების მნიშვნელოვან კომპონენტად განიხილა.

აკადემიურ წრეებს, რა თქმა უნდა, უფრო წონადი არგუმენტები გააჩნდათ გარემოს დაცვის პროპაგანდირებისთვის. მაგ. 19-20 საუკუნეების მიჯნაზე ცნობილმა მეტყვევებმა გ. პინჩოტმა წამოაყენა იდეა, რომლის მიხედვითაც ყველა ბუნებრივი ობიექტი და მოვლენა, ხე-მცენარეების, საკვების, სუფთა წყლის, ცოცხალი ბუნების, სახეობათა მრავალფეროვნების და თვით ლანდშაფტების სილამაზის ჩათვლით შეიძლება განიხილებოდეს როგორც ბუნებრივი რესურსი და მისი მართვის ძირითადი მიზანი უნდა იყოს შესაძლებლობა - ადამიანმა რაც შეიძლება ხანგრძლივად ისარგებლოს ამ სიკეთით. საბოლოო ჯამში ასეთი იდეები ეკოსისტემების დაცვის მართვის კონცეფციებად ჩამოყალიბდა. კიდევ ერთი, ახლა უკვე ფართოდ გავრცელებული მდგრადი განვითარების კონცეფცია სწორედ გასულ საუკუნეში, პინჩოტის მიერ გამოთქმულ აზრს იზიარებს: ნებისმიერი ბუნებრივი რესურსის გამოყენება ისე უნდა ხდებოდეს, რომ ბიოლოგიური თანასაზოგადოება მინიმალურად დაზიანდეს. ამ ბიოლოგიური თანასაზოგადოების სიკეთით მომავალმა თაობებმაც უნდა ისარგებლონ. ფართო საზოგადოებისთვის მხრიდან გარემოსდაცვითი პრობლემების უკეთესად გასაანალიზებლად შემუშავებულია სამეცნიერო მიდგომებზე და მათ პრაქტიკულ რეალიზაციაზე დაფუძნებული რამდენიმე ფუნდამენტური ეთიკური ნორმა:

- სახეობების და ბიოლოგიური თანასაზოგადოებების მრავალფეროვნება უნდა იყოს დაცული;
- თავიდან უნდა იქნეს აცილებული პოპულაციების და სახეობების ერთდროული გადაშენება;
- ეკოლოგიური კავშირების მრავალფეროვნება უნდა იყოს შენარჩუნებული;
- ევოლუცია უნდა გაგრძელდეს;
- ბიომრავალფეროვნებას აქვს თავისი, დამოუკიდებელი ღირებულება.

ბიომრავალფეროვნების დაცვის ეკონომიკური საფუძველი

თანამედროვე მსოფლიოში უკვე დიდი ხანია ადამიანის საქმიანობაზე ეკონომიკური ფაქტორი სერიოზულ გავლენას ახდენს. სახელმწიფოთა (მეტადრე განვითარებადი) ძირითადი მიზანი ეკონომიკური სტაბილურობის უზრუნველყოფაა. საცხოვრებელი პირობების მნიშვნელოვანად გაუარესების უპირველესი მიზეზი სწორედ ეკონომიკაა: ხელისუფლებას ეკონომიკურად აქტიურ მოსახლეობასთან ერთად სამეწარმეო საქმიანობის დაგეგმვისას „ავიწყდება“ სრულად შეაფასოს ამ საქმიანობით გამოწვეული გარემოზე ზემოქმედების მასშტაბი. ან უკეთეს შემთხვევაში ასეთი შეფასება ნაკლოვანია. კიდევ ერთი საკვანძო პრობლემა არის გაცნობიერება იმისა, თუ რამდენად მნიშვნელოვანია ბიოლოგიური მრავალფეროვნების შეფასება და მონიტორინგი, რა დააკლდება სამომავლოდ მას ეკოსისტემების ანთროპოგენული დაზიანების შემთხვევაში, რამდენად რთული იქნება მომავალი თაობებისთვის ადაღ-გინონ ეკოლოგიური ბალანსი.

ეკონომიკური საქმიანობის პრიორიტეტად გამოცხადების მომხრეთა ნაწილს აქვს თავისი არგუმენტი: ბიომრავალფეროვნება პლანეტის განვითარების მანძილზე მნიშვნელოვნად შეიცვალა ისეთ ეტაპზე, როდესაც ადამიანი ვერანაირ გავლენას ვერ ახდენდა გარემოზე. ამ მტკიცებას აქვს თავისი საფუძველი, მაგრამ საქმე ისე მარტივად არაა, როგორც ეს ერთი შეხედვით ჩანს [1-5].

იმისთვის, რომ კატასტროფული შედეგი შევამციროთ, საჭიროა სწორად შევაფასოდ მისი გამომწვევი მიზეზები. პირველი და მთავარი, როგორც უკვე აღვნიშნეთ, ეკონომიკური ფაქტორია: მაგ. ტყეები იჩეხება სამშენებლო და სხვა სახის მასალებისთვის, ცხოველებზე ნადირობენ საკვების, ხორცის, ტყავის, ბეწვის და სხვა მიზეზებით, მცენარეების შეგროვება ხდება სამკურნალო მიზნებისთვის და ა.შ. ბიომრავალფეროვნებისთვის ასევე მზარდი პრობლემაა ეკოსისტემებისთვის უცხო, ინვაზიური ფლორისა და ფაუნის სახეობების ინტროდუცირება. მეორე მხრივ, ეკონომიკური აქტივობის სრულად შეჩერება შეუძლებელია: კაცობრიობას შიმშილი ემუქრება, შეუძლებელი იქნება მისი ელემენტარული ყოფის ორგანიზაცია. გამოსავალი ოქროს შუალედის დაცვაა ანუ ეკონომიკური საქმიანობის ისე წარმართვა, რომ მინიმალური ზარალი მიადგენს ბიომრავალფეროვნებას.

აქედან გამომდინარე, გარემოსდაცვით თემაზე მომუშავე სპეციალისტების ანგარიშებში სულ უფრო ხშირად გამოიყენება ეკონომიკის ელემენტები, გარემოსდაცვით რეკომენდაციების თან ერთვის გარემოს დაცვის ღონისძიებების ეკონომიკური ანალიზი. ასეთი ანალიზი სპეციალურად შექმნილი დისციპლინის – ეკოლოგიური ეკონომიკის საშუალებით ხორციელდება. იგი ეფუძნება ეკონომიკას, გარემოსდაცვით მეცნიერებებს, ეკოლოგიას და სახელმწიფო პოლიტიკას. ბიომრავალფეროვნებისა თუ ბუნებრივი რესურსების ფულადი შეფასება ურთულესი საქმეა. ეკოლოგიური ეკონომიკის ძირითადი ამოცანა ბიოლოგიური მრავალფეროვნების შეფასების კრიტერიუმების და ხერხების განსაზღვრაა. ამ მხრივ გარკვეული პროგრესი არის: შემუშავებულია გენეტიკური, სახეობრივი, ეკოსისტემების ეკონომიკური შეფასების მიდგომები. ერთ-ერთი ასეთი მიდგომა გამოყენებულ იქნა მაკნილის (McCNeely at al. 1990) და ბარბიერის (Barbier et al. 1992) მიერ. მის მიხედვით საერთო ღირებულება იყოფა პირდაპირ ღირებულებად (direct value, განისაზღვრება ეკონომიკაში საქონლის ინდივიდუალური ღირებულებით, რომელსაც ადამიანი ბუნებიდან იღებს სხვადასხვა სახით (მაგ. მერქანი, სამკურნალო მცენარეები, თევზი და სხვა)) და ირიბ ღირებულებად (indirect value, რაც ეკონომიკაში ცნობილია როგორც საზოგადოებრივი კეთილდღეობა. იგი კავშირშია ბიომრავალფეროვნების შენარჩუნებით მიღებულ სარგებელთან, მაგრამ უშუალოდ არ არის დაკავშირებული მოხმარებულ ბუნებრივ რესურსებთან). ირიბი ღირებულებით მიღებული ფასეულობები მოიცავს წყლის ხარისხს, ნიადაგის დაცვას, გარემოს აღდგენას, განათლებას და

სხვ. ბიომრავალფეროვნებისთვის ასევე განიხილავენ დამატებით ღირებულებას (option value) - დაკავშირებულს მომავალში ახალი პროდუქტების და მომსახურების მიღებასთან, ასევე არსებობის ღირებულებას (existence value) დაფუძნებულს შეფასებაზე - თუ რამდენადაა მზად საზოგადოება გადაიხადოს საფასური ცოცხალი ორგანიზმების სახეობების გადაშენებისაგან დასაცავად ან რომელიმე ეკოსისტემის განადგურების აღსაკვეთად.

არასამომხმარებლო ღირებულება არანაკლებად მნიშვნელოვანი კომპონენტია. იგი გულისხმობს ისეთ ღირებულებებს, რომლებიც პირდაპირი გაგებით არ მოიხმარება ბუნებათსარგებლობის პროცესში. ასეთია: ნიადაგების დაცვა ეროზიისგან, წყალდიდობების, მეწყერების, ღვარცოფების რეგულირება/თავიდან არიდება, სასმელი წყლის სისუფთავის უზრუნველყოფა, დასასვენებელ-რეკრეაციული ზონების შენარჩუნება და სხვ. არასამომხმარებლო ღირებულების განსაზღვრის მეთოდოლოგია ჯერ კიდევ არ არის კარგად დამუშავებული. თუმცა სპეციალისტები მაინც აკეთებენ წინასწარ შეფასებებს გლობალურ და ლოკალურ დონეებზე. მაგ. კონსტანცას (Constanza et al. 1997) მიხედვით გლობალური ეკოსისტემების საერთო ღირებულება 32 ტრილიონი აშშ-ს დოლარია და მისი ღირებულება მნიშვნელოვანად აჭარბებს ბიომრავალფეროვნების სრული ეკონომიკური გამოყენებით მიღებულ სარგებელს. როგორც უკვე აღვნიშნეთ, ასეთი ეკონომიკური შეფასების ხერხები ჯერ კარგად არ არის დამუშავებული, ამიტომ ეკონომისტების გარემოში ხშირად ხდება მისი სხვადასხვაგვარი ინტერპრეტაცია.

ბიომრავალფეროვნება ასევე შეიძლება ეკონომიკური შემოსავლების პირდაპირი წყარო იყოს. საქართველოს ტურიზმის ეროვნული ადმინისტრაციის მონაცემებით 2016 წელს შემოსავლებმა საერთაშორისო ტურიზმიდან 2166334 აშშ დოლარი შეადგინა, ხოლო 2017 წლის პირველ კვარტალში 434553 აშშ დოლარი. ტურიზმიდან მიღებული შემოსავალი პირდაპირ აღირიცხება ეკონომიკური სამსახურების მიერ. მაგრამ არავინ აქცევს ყურადღებას იმ ფაქტს, რომ ბიომრავალფეროვნების გარეშე ეს მაჩვენებლები გაცილებით დაბალი იქნებოდა. ამ შემთხვევაში სავალდებულოდ მიგვაჩნია ასეთი ეკონომიკური აქტივობის ეკოსისტემების ირიბ ეკონომიკურ შეფასებასთან დაკავშირება.

ბიოლოგიური მრავალფეროვნების დამატებითი ღირებულება გამოიხატება ბუნებრივი რესურსების დროში განაწილებაში: ადამიანი ეკონომიკურ სარგებელს მიიღებს მომავლის გარკვეულ მონაკვეთში. საზოგადოების განვითარებასთან ერთად იცვლება მისი მოთხოვნილებები, ზოგჯერ ჩნდება ისეთი საჭიროებები, რომელზეც მანამდე არავის უფიქრია და პირდაპირ კავშირშია ბიოლოგიურ მრავალფეროვნებასთან. მაგ. ენტომოლოგები ეძებენ ორგანიზმებს, რომლებსაც გამოიყენებენ მავნებლებთან ბრძოლისათვის, მიკრობიოლოგები ბიოქიმიური წარმოებისთვის გამოსადეგ ბაქტერიებს, ზოოლოგების მიერ შესწავლილი ცხოველების მრავალფეროვნებას გენეტიკოსები იყენებენ შინაური პირუტყვის პროდუქტულობის გასაუმჯობესებლად. ყველაფერი ეს დაკავშირებული ბიოლოგიურ მრავალფეროვნებასთან. რომ არა ცოცხალი ორგანიზმების სახეობათა დიდი რაოდენობა, ყველა ზემოთ ჩამოთვლილი აქტივობა ან შეუძლებელი იქნებოდა ან უკიდურესად გართულებული.

## ლიტერატურა

1. ცაგარეიშვილი თ. ტყეთსარგებლობის ეთნოეკოლოგიური კულტურა საქართველოში ხეთა თაყვანისცემა, ხატის ტყე. //სატყეო მოამგე, 2012, №5, გვ. 74-76
2. საქართველოს ტურიზმის ეროვნული სააგენტო/ <http://gnta.ge>
3. Мэффи Г., Кэрролл Р. и соавт. Основы природоохранной биологии. [перев.] Сибирский экологический центр, 1997.

4. Примак Р. Основы сохранения биоразнообразия. [перев.] О. С. Якименко, О. А. Зиновьевой с англ. -М.: Науч. и учеб.-метод. центр, 2002, 256 с.
5. Экосистемы и благосостояние человека: биоразнообразие. -Вашингтон, Институт мировых ресурсов, Доклад международной программы «Оценка экосистем на пороге тысячелетия» 2005, 98 с.

#### **SUMMARY**

#### **PROTECTION OF BIODIVERSITY AND ITS ECONOMICAL ASPECTS**

**Gigineishvili L.V. and Karalashvili N.V.**

**Georgian Technical University**

Bio-diversity is under a serious peril on a world scale. Economic factor plays a considerable role upon its protection and preservation: nowadays it is impossible for humans to abandon completely the exploitation of ecosystems. Therefore, conducting activities for protection of the environment, the specialists more and more often draw arguments with regard of economic substantiation as to what damage will the environment suffer if this or that project is implemented. For making such an assessment, the methods of ecological economy are used. It is based on economy, ecology and state policy. The main goal of the ecological economy is to establish criteria and techniques for assessment of biological versatility. In this regard, there is a certain progress: genetic, species and economic approaches to the assessment of ecosystems were elaborated. According to the present practice, the benefits obtained from the exploitation of the environment can be divided in direct, indirect, existential and non-consumer values. Biodiversity can also directly affect income: for example, in the devastated environment, flows of tourists will considerably decrease, due to which the income will proportionally money income fall.

**Keywords:** biodiversity, environmental protection, economical aspects, assessment, ecosystems.

მთრიმლაჰი და მღებჰი ნივთიერებების კვლეჰა დასაგლეე  
საქართველოში ველურად მზარდ კენკროვნებში

ვიფიანი ა.გ., გამყრელიძე ე.ა.

აკაკი წერეთელის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, ქუთაისი

ჯანმრთელი კვების კონცეფციასში პრიორიტეტულ ტენდენციას, მოსახლეობის მიერ ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებებით მდიდარი, მცენარეული ნედლეულის მოხმარება წარმოადგენს. ასეთ ნედლეულთა შორის უპირველესია ველურად მზარდი კენკრა-ნაყოფები (ქაცვი, მოცვი, კუნელი, მაყვალი, ჭალაფშატი და სხვა), რომლებიც შეიცავენ ფენოლური ბუნების, ბიოლოგიურად აქტიურ ნივთიერებებს კაროტინოიდების, ანტოციანების, კატეხინების, ფლავონოიდებისა და სხვათა სახით.

უკანასკნელ პერიოდში ძალზედ გაიზარდა ინტერესი აღნიშნულ ნივთიერებათა მიმართ, ადამიანის ორგანიზმისათვის მათი დიდი მნიშვნელობის გამო, რამდენადაც აღნიშნულ ნივთიერებებს გააჩნიათ სისხლძარღვთა კაპილარების კედლების განმტკიცებისა და შეღწევადობის რეგულირების, გამოსხივების მავნე ზემოქმედებისაგან დაცვის უნარი, ისინი აუმჯობესებენ თავის ტვინის მოქმედებას და ახდენენ აზროვნების პროცესების აქტივაციას, გამოირჩევიან მაღალი ანტიოქსიდანტური თვისებებით.

ჩვენი კვლევის ობიექტს წარმოადგენს დასავლეთ საქართველოს მთასა და ბარში ველურად მზარდი მაყვლის ნაყოფები. რამდენადაც ფლავონოიდები და სხვა ფენოლური ნაერთები მცენარეებში წარმოადგენილია მთრიმლაჰი და მღებჰი ნივთიერებების სახით, რომლებიც მცენარის ზრდისა და განვითარების პროცესში და ნაყოფების სიმწიფის მიღწევისას ექვემდებარებიან ღრმა ცვლილებებს, ჩვენ მიერ მაყვლის ნაყოფებში, სიმწიფის სხვადასხვა სტადიაზე (მწვანე-უმწიფარი, მოწითალო-ნახევრად მწიფე და შავი მწიფე ნაყოფები), ლევენტალის საერთოდ მიღებული მეთოდით, განსაზღვრულ იქნა მთრიმლაჰი და მღებჰი ნივთიერებების საერთო რაოდენობა [1-4].

კვლევებით დადგენილ იქნა, რომ მაყვლის უმწიფარი ნაყოფები შეიცავენ მთრიმლაჰი და მღებჰი ნივთიერებების მაქსიმალურ რაოდენობას, რომლებიც ნაყოფებს ანიჭებენ სპეციფიურ მწარე, მწკლარტე გემოსა და შესაბამის შეფერილობას. ბარში გაზრდილი მცენარის ნაყოფებში მათი რაოდენობა შეადგენს 0,48% მშრალ ნივთიერებაზე გადაანგარიშებით, ხოლო მთიანი ზონის შემთხვევაში მისი შემცველობა 0, 63% აღწევს. მომწიფების პროცესში აღნიშნულ ნივთიერებათა რაოდენობა თითქმის ორჯერ მცირდება და აღწევს 0,25-0,32% მშრალ ნივთიერებაზე გადაანგარიშებით. ნაყოფების სრული სიმწიფის დროს კი შეინიშნება მათი რაოდენობის 0,09-0,2%-მდე შემცირება, რაც უზრუნველყოფს გემოს შერბილებასა და შეფერილობის გაძლიერებას კატეხინებისა და ლეიკოანტოციანების მღებჰ ნაერთებად გარდაქმნის გამო.

მაყვლის მღებჰი ნივთიერებების სპექტროფოტომეტრული კვლევისათვის, წინასწარ გასრესილი კენკრის საშუალო ნიმუშიდან აღებული 2 გ წონაკი, გადავიტანეთ კონუსურ კოლბაში, სადაც ექსტრაგირების მიზნით დაგუმატეთ მეთილის სპირტისა და კონცენტრირებული მარილმჟავას (თანაფარდობით 99:1) ორგანული ნარევის 10 მლ. წონაკიდან მღებჰი ნივთიერებების ექსტრაგირება ვაწარმოეთ ოთახის ტემპერატურაზე, ელექტრო სანჯღრეველაზე რამდენიმე ჯერადად, თითოეული 30 წთ, წონაკის გაუფერულებამდე. გამონაწვლილის მიღებული ულუფები, 15-20 მლ ოდენობით, გადატანილ იქნა 100 მლ-იან მზომ კოლბაში, ეს უკანასკნელი მიყვანილ იქნა ნიშნულამდე და ხსნარი გაფილტრულ იქნა მინის №3 ფილტრში. ყველა გამონაწვლილში, სპექტრომეტრ CΦ-10-ის (რუსეთი) დახმარებით, გამოკვლეულ იქნა ხსნარების ოპტიკური სიმკვრივეები (ცხრილი).

ხსნარების სპექტროგრამები გადავიღეთ სპექტროფოტომეტრზე „Spekord UV ЛП“ (გერმანია). მიღებული სპექტროგრამების შთანთქმის მაქსიმუმი ანტოციანებისათვის იყო 500-600 ნმ არეში, ქლოროფილებისათვის 600-700 ნმ არეში, ხოლო კაროტინოიდებისათვის 400-500 ნმ არეში. სპექტროგრამების მონაცემებით, საშუალება გვქონ-

და შეგვესწავლა არა მარტო პიგმენტების შემცველობა, არამედ თვალყური გვედევნებინა მათ ცვლილებაზე კენკრის მომწიფების პროცესში.

დასავლეთ საქართველოს მთასა და ბარში, ველურად მზარდ მაყვლის ნაყოფებში, სიმწიფის სხვადასხვა სტადიაზე მიღებული მონაცემების თანახმად მთრიმლავი და მღებავი ნივთიერებების შემცველობა თანდათანობით მცირდება, რაც უზრუნველყოფს ნაყოფის გემოს გაუმჯობესებასა და ფერის განვითარებას.

**მაყვლის მღებავი ნივთიერებების ოპტიკური სიმკვრივეები სიმწიფის სხვადასხვა სტადიაზე**

მაყვლის ნაყოფები სიმწიფის სხვადასხვა სტადიაზე	პიგმენტები	ზრდის ზონები	
		ბარის	მთის
უმწიფარი მწვანე	ქლოროფილები	0,50	0,42
	კაროტინოიდები	1,25	0,85
	ანტოციანები	0,032	0,02
უმწიფარი (ნახევრადმწიფე) მოწითალო-წითელი	ქლოროფილები	კვალი	კვალი
	კაროტინოიდები	0,28	0,25
	ანტოციანები	0,19	0,16
მწიფე შავი	ქლოროფილები	-	-
	კაროტინოიდები	0,30	0,24
	ანტოციანები	0,45	0,31

ამრიგად, მაყვლის ნაყოფები საკვები დანიშნულებით, სასმელებისა და საკონდიტრო ნაწარმის მომზადებისას, შეიძლება გამოყენებულ იქნას მხოლოდ სიმწიფის სტადიაზე, აგრეთვე დაფუძნებული სახით, როგორც საკვები დანამატი კვების პროდუქტების სრულფასოვნების ამაღლების მიზნით.

**ლიტერატურა**

1. Петрова В.П. Биохимия дикорастущих плодово-ягодных растений. -Киев: Высш. школа, 1986.
2. Кошев А.К. Дикорастущие съедобные растения в нашем питании. -М.: Пищ. Пром., 1980.
3. ნიქარაძე ა., ბუნეჭური გარეული ხილ-კენკრა და მისი სამრეწველო გამოყენება. -თბილისი, 1980.
4. პაპუნძე ვ., ხიდაშელი ა. საქართველოს ტყის სამკურნალო მცენარეები. -ბათუმი, საბჭოთა აჭარა, 1985, 214 გვ.

**SUMMARY**

**STUDY OF TANNING AND COLORING SUBSTANCES IN BLACKBERRIES GROWING WILD IN WESTERN GEORGIA**

**Kipiani A.V. and Gamkrelidze E.A.**

**Akaki Tsereteli State University, Kutaisi**

The paper dwells on the changes in the total amount of tanning and coloring substances existing in the blackberries growing wild in Western Georgia at different stages of ripeness. It was found that unripe blackberries contain the maximum amount of tanning and coloring substances, which give the berries a specific bitter, harsh taste and a respective color. During ripening, the content of the mentioned substances reduces almost by half, but, during full ripeness, their amount reduces to 0.09-0.2%, thus ensuring the improvement in the taste and color due to conversion of catechins and leucoanthocyanins into the coloring substances. It is reasonable to use blackberries at the stage of full ripeness.

**Keywords:** wild blackberries, tannins, coloring substances, degree of ripeness.

მაყვლის (*Rubus fruticosus*) ბიოლოგიური თავისებურობანი

კატარავა თ.ო., დევაძე დ.ე.

## საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

## შესავალი.

გაერთიანებული ერების ორგანიზაციის პროგნოზით, მოსალოდნელია მსოფლიოს მოსახლეობის მკვეთრი ზრდა, ამასთან, მსოფლიოში მიმდინარე პროცესები, კლიმატის გლობალურ ცვლილებებთან ერთად დამატებით გამოწვევებს ქმნის მოსახლეობის ადეკვატური რაოდენობისა და ხარისხიანი საკვებით უზრუნველყოფის თვალსაზრისით. ცხადია, საქართველო, როგორც გლობალური ეკონომიკის ნაწილი, არსებული პროცესების მიღმა ვერ დარჩება. ამიტომაც აგრარული საქმიანობის ერთ-ერთი ძირითადი მიმართულება კენკროვანი კულტურების გაშენება და მათი ნაყოფის წარმოების ინდუსტრიის განვითარებაა. ეს მცენარეები ჩვენში უხსოვარი დროიდანაა გავრცელებული ველური სახით. მათი ნაყოფების შეგროვებისა და გამოყენების მდიდარი ტრადიციაც არსებობს, თუმცა ამჟერად უპირატესობა კულტურულ ფორმებს აქვს, რომელთა გაშენება და მოვლა-მოყვანა თანამედროვე ტექნოლოგიების პირობებში უფრო მოსახერხებელია და ეკონომიკურადაც ხელსაყრელი. კენკროვანთა ნაყოფებზე დიდი მოთხოვნაა არა მხოლოდ საშინაო, არამედ მსოფლიო ბაზარზეც.

საქართველოში უნდა შეიქმნას კენკროვანი კულტურების, კერძოდ, ერთ-ერთი პოპულარული და სასარგებლო კულტურის - მაყვლის *Rubus fruticosus* გამრავლების თანამედროვე სისტემა, რომლის საწყის ეტაპს წარმოადგენს კვლევით ლაბორატორიაში სინჯარის მცენარეების გამოყვანა (გამრავლება, განახლება). ჩვენში მიღებული ნერგი შემოტანილთან შედარებით ბევრად იაფი ჯდება. ასევე საჭიროა თანამედროვე ბიოტექნოლოგიური მეთოდის გამოყენებით *in vitro* მაყვლის სინჯარის მცენარეების კოლექციის შექმნა, რაც ადგილობრივი ფორმების ბიომრავალფეროვნების შენარჩუნების გარანტიაცაა. ახალი ტექნოლოგიის გამოყენებით საუკეთესო ხარისხის სანერგე მასალის მიღება რაც ხელს შეუწყობს საქართველოში სოფლის მეურნეობის ამ დარგის განვითარებას [1].

ჩვენი კვლევის ობიექტია მაყვალი *Rubus fruticosus*, იგი ვარდისებრთა (*Rosaceae*) ოჯახის წარმომადგენელია, მიწისზედა ნაწილი ხვიარა ნახევრადბუჩქი, ხოლო მიწისქვეშა კი ორწლოვანია. მაყვლის გრძელი ღეროები დაფარულია ეკლებით, თუმცა არსებობს სწორმდგომი ისეთი სახეობებიც, რომლებიც უეკლოა და აქვს მიწაზე დაშვებული გრძელი ტოტები. ერთწლიან ყლორტებზე მორიგეობით განლაგებულია გრძელყუნწიანი ფოთლები, ორწლიან ყლორტებზე კი ყვავილები და ნაყოფები. ყვავილები მარტოეულია. უფრო იშვიათად ყვავილედებად შეკრებილი. მოწითალო-მოშავო ნაყოფი კრებადია და შედგება ნაფიფქი, წვნიანი მრავალთესლიანი ცალკეული მარცვლებისაგან. საქართველოში გვხვდება მაყვლის 37 სახეობა, მათგან 27 საქართველოს ენდემია [2,3].

## ძირითადი ნაწილი.

ცნობილია, რომ მცენარეული წარმოშობის ნაერთები აძლიერებს ცოცხალი ორგანიზმის იმუნიტეტს და ხელს უშლის მრავალი დაავადების პროვოცირებას, რადგან ონტოგენეზის პერიოდში მცენარეში მკაცრად ლიმიტირებული რაოდენობით და თანმიმდევრობით წარმოიქმნება ადამიანის ჯანმრთელობისათვის ისეთი აუცილებელი ბიოლოგიურად აქტიური ნაერთები, როგორც არის ნახშირწყლები, ცილები, ვიტამინები, ფენოლები, ანტოციანინები და სხვ., რომელთა მოქმედება დადებითად სტაბილურია თანმდევნი გართულებების გარეშე, ამიტომ მცენარეული ნედლეულისაგან დამზადებული საკვები პროფილაქტიკის საშუალებაც ხდება.

მაყვალი, როგორც საკვებად და მოსახლეობლად ვარგისი კენკრა, ფასდება მასში მეორეული მეტაბოლიზმის პროდუქტებიდან ყველაზე ფართოდ გავრცელებული არომატული ბუნების ფენოლურ ნაერთთა მაღალი შემცველობის გამო, რაც ასევე

სამკურნალო ეფექტითაც გამოირჩევა. იგი გამოიყენება როგორც ანთების საწინააღმდეგო, ანტიმიკრობული, სეკრეციის გამაძლიერებელი, ჰიპოტენზიური, შემკვრელი ან საფაღარათო, სედატიური საშუალება.

ამ უნიკალურ მცენარეზე მოთხოვნა სულ უფრო და უფრო იზრდება; მისი ინტენსიური გამოყენება ველური ფორმების განადგურებას იწვევს, პროცესი შეუქცევადია, ამიტომაც ფიტოგენეტიკური რესურსის დაცვისათვის აუცილებელია მათგანის სამრეწველო პლანტაციების გაშენება. ამ მიზნით ჩავატარეთ ბიომორფოლოგიური კვლევა. კლასიკური მეთოდით ონტოგენეზის პერიოდში, შევისწავლილ იქნა ზრდა-განვითარების მექანიზმები, ცალკეული ფიზიოლოგიური ფაზებისა და ეტაპების დაწყება და ხანგრძლივობა, დადგინდა ორგანოთა წარმოქმნის და ასაკობრივ პროცესებს შორის ურთიერთკავშირი, რაც განსაზღვრავს მცენარის სასიცოცხლო ციკლის მიმდინარეობასა და თავისებურებებს, ამასთან იძლევა უხვი და ხარისხიანი მოსავლის გარანტიას. უნდა აღინიშნოს, რომ ყველა პროცესი, რომელიც ახასიათებს ონტოგენეზს, მიმდინარეობს სინქრონულად და ეკოსისტემასთან ურთიერთკავშირში, ხასიათდება რაოდენობრივი და თვისებრივი ცვლილებებით, რაც გარკვეულ გავლენას ახდენს ნაყოფის გარეგნობასა და შედგენილობაზე.

**ცხრილი 1. მათგანის ნაყოფის ტექნიკური მაჩვენებლები**

N	დასახელება	მასა (გ)	მოცულობა (მლ)	გემო	გრძივი ზომა (მმ)	განივი ზომა (მმ)	ფერი	ფორმა
1	კულტივირებული მათგანი (ქედის რ-ნი)	4,50	4,9 მლ	მომჟავო მოტკბო	25,10	16,90	შავი	მოგრძო-მომრგვალო
2	ველური მათგანი (ქედის რ-ნი)	3,90	15,1	მოტკბო ტკბილი	13,40	17,20	შავი	მრგვალი
3	კარაკა ბელქი (ოზურგეთის რ-ნი)	10,20	20,0	მოტკბო მომჟავო	29,5	14,9	წითელი შავი	მოგრძო-გრძელი
4	ასტერინა (ოზურგეთის რ-ნი)	9,92	10,2	მოტკბო	28,20	24,62	შავი	მრგვალი
5	ველური მათგანი (ონის რ-ნი)	2,5	10,1	ტკბილი	12,60	16,07	შავი	მრგვალი
6	ველური მათგანი (სურამის რ-ნი)	1,14	10,1	მჟავე	13,46	12,46	შავი	მრგვალი
7	<i>In vitro</i> კულტივირებული მათგანი (ოზურგეთის რ-ნი)	4,77	9,1	მომჟავო მოტკბო	25,32	17,93	წითელი შავი	მოგრძო-მომრგვალო

ბოლო ხანს მათგანის პროდუქტების მიმართ ინტერესი საგრძნობლად გაიზარდა მასში ძლიერი ანტიოქსიდანტების მაღალი შემცველობის გამო. დადგენილია, რომ ბევრი ავადმყოფობისა და სიბერის პროცესების ძირითადი მიზეზი ბიოლოგიურ სითხეებში თავისუფალი რადიკალების მოქმედებაა, რომლებიც, როგორც ძლიერი მჟანგავები, აზიანებს სისხლძარღვთა კედლებს, უჯრედთა მემბრანებს, ჟანგავს ლიპიდებს. რაც იწვევს დიაბეტს, გულ-სისხლძარღვთა, ონკოლოგიურ და მრავალ სხვა სახიფათო დაავადებას [2].

მათგანის პროდუქტების სისტემატური გამოყენება თრგუნავს ორგანიზმის ბიოლოგიურ სითხეში თავისუფალი რადიკალების მათგანზე ზემოქმედებას. მათი

ქიმიური შედგენილობისა და გადამუშავების ბიოქიმიური თავისებურებების შესწავლა საშუალებას იძლევა მეცნიერულად დასაბუთებული ტექნოლოგიური ხერხები და ნორმები შემუშავდეს ნედლეულის ქიმიურ და მექანიკურ შედგენილობასთან შესაბამისობაში. ფენოლოგიური ნაერთები ლოკალიზდებიან ახალგაზრდა, აქტიური მეტაბოლიზმის ქსოვილებში (ფოთლებში, ყვავილებში, უმწიფარ ნაყოფებში), თანაც ამ ორგანოებში ფენოლების რაოდენობა მერყეობს ვეგეტაციის ხანგრძლიობის მიხედვით. ზოგჯერ დღის განმავლობაშიც კი შეიმჩნევა მათი თვისობრივი ცვლილებები.

ცხრილი 2. მაყვლის ნაყოფის ქიმიური შემადგენლობა

	დასახელება	ნედლი ნაყოფი		
		ანტოციანები მგ/100გ მშრალ მასაზე გადაანგარიშებით	საერთო ფენოლები მგ/100გ მშრალ მასაზე გადაანგარიშებით	საერთო ფლავონოიდები მგ/100გ მშრალ მასაზე გადაანგარიშებით
1	კულტივირებული მაყვალი (ქედის რ-ნი)	1090,2	369,8	163,9
2	ველური მაყვალი (ქედის რ-ნი)	1306,0	384,7	160,5
3	კარაკა ბელქი (ოზურგეთი)	1224,5	603,7	66,8
4	სტერინა (ოზურგეთი)	1053,8	591,6	65,9
5	ველური მაყვალი (ონის რ-ნი)	730,3	496,2	60,2
6	ველური მაყვალი (სურამის რ-ნი)	1306,2	754,7	70,5
7	<i>In vitro</i> კულტივირებული მაყვალი (ოზურგეთი)	1086,0	698,4	67,4

მიღებული შედეგების შეჯერებით აღმოჩნდა, რომ ანტიოქსიდანტური აქტიურობა მაღალია მაყვლის ველურ ფორმებში ქედისა და ონის რაიონებში, კულტივირებულ და *in vitro* ტექნოლოგიით კულტივირებულ მაყვალში ოზურგეთის რაიონში [3].

ცხრილი 3. ანტიოქსიდანტური აქტიურობა

N	მაყვლის ნაყოფის ექსტრაქტი	ანტიოქსიდანტური აქტიურობა მგ.
1	კულტივირებული მაყვალი (ქედის რ-ნი)	42,9
2	ველური მაყვალი (ქედის რ-ნი)	91,7
3	კარაკა ბელქი (ოზურგეთის რ-ნი)	81,7
4	ასტერინა (ოზურგეთის რ-ნი)	76,3
5	ველური მაყვალი (ონის რ-ნი)	72,1
6	ველური მაყვალი (სურამის რ-ნი)	46,9
7	ველური მაყვალი (თერჯოლის რ-ნი)	61,3
8	<i>In vitro</i> კულტივირებული მაყვალი (ოზურგეთის რ-ნი)	88,4

**დასკვნა.**

ჩვენ მიერ შესრულებული ექსპერიმენტების საფუძველზე შეიძლება დავასკვნათ, რომ მაყვლის ნაყოფის მოკრეფა უნდა მოხდეს სრული სამომხმარებლო სიმწიფის პერიოდში. მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული ეკოსისტემის პარამეტ-

რები და გამრავლების ტექნოლოგიები, რადგან თანამედროვე მეცნიერება კენკროვან ნედლეულს განიხილავს, როგორც ორგანიზმისათვის სასიცოცხლოდ აუცილებელ პროდუქტს, რომელიც წარმოადგენს ანტიოქსიდანტების, ვიტამინების, მინერალური მარილების, ორგანული მჟავების, ფენოლური და არომატული ნაერთების და ასევე ადვილად შეთვისებადი ნახშირწყლების ძირითად წყაროს.

#### ლიტერატურა

1. დევაძე დ., კაჭარავა თ. მაცვლის ქიმიური შემადგენლობა და სამეურნეო მნიშვნელობა. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია „ეკოლოგიურად სუფთა პროდუქტების წარმოების თანამედროვე ტექნოლოგიები სოფლის მეურნეობის მდგრადი განვითარებისათვის“, საქართველოს სოფლის მეურნეობის მეცნიერებათა აკადემია, თბილისი, 2016, გვ. 170-173;
2. დიასამიძე მ., ვანიძე მ., ქამადაძე ე., კალანდია ა. ულოს ნაყოფის (*Rubus buschi* Grossh) ფენოლური ნაერთები. /თანამედროვე ტექნოლოგიები და გამოყენებითი დიზაინი, -ქუთაისი, 2011, გვ. 321- 322.
3. ნ. ვარშანიძე, მ. ვანიძე, ი. ჯაფარიძე. აჭარის სასარგებლო მცენარეები, 2009, გვ. 145-147.

#### SUMMARY

#### BIOLOGICAL SPECIFIC FEATURES OF BLACKBERRY (*Rubusfruticosus*)

**Kacharava T.O and Davadze D.E.**

**Georgian Technical University**

The article discusses the genetic resource, biological and chemical specific features, productivity, etc. of blackberries. The possibility of development of the technology of cultivation of industrial plantations and its role in protection of biodiversity of the country is considered.

**Keywords:** blackberry, biological specific features, technology.

ჯანსაღი კვების მენეჯერული და პრაქტიკული ასპექტები

თავდიდიშვილი დ.რ., ლუჯავა ქ.ს., მამრიკიშვილი ლ.გ., კვირიკაშვილი ლ.დ.

აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, ქუთაისი

კვება იმ მნიშვნელოვან ფაქტორთა რიცხვს ეკუთვნის, რომელიც განსაზღვრავს ერის ჯანმრთელობას, მის პოტენციალს და განვითარების პერსპექტივებს. კვების პროდუქტების უკმარისობა ან ბიოლოგიური არასრულფასოვნება იწვევს მძიმე ეკონომიკურ და სოციალურ შედეგებს. ჯანსაღი კვება ადამიანის ცხოვრების გახანგრძლივების, ნორმალური განვითარების და საბოლოო ჯამში, პროგრესისა და ცხოვრების ხარისხის გადამწყვეტი პირობაა.

ყოველდღიურ კვების რაციონში შეუცვლელი და ფიზიოლოგიურად აუცილებელი ნუტრიენტების დეფიციტი ადამიანის ორგანიზმში იწვევს იმუნიტეტის, გონებრივი და ფიზიკური აქტიურობის დაქვეითებას, ნივთიერებათა ცვლის დარღვევას, გულ-სისხლძარღვთა სისტემის, ონკოლოგიურ და სხვა დაავადებებს. წარმოიქმნება ახალი, უცნობი პათოლოგიები, მათ შორის ისეთიც, რომლებიც გავლენას ახდენს ცოცხალი ორგანიზმის გენეტიკურ აპარატზე.

მენეჯერული წარმოდგენების ჩამოყალიბება ჯანსაღ კვებაზე და საკვები ნივთიერებების მნიშვნელობაზე ცხოველქმედების პროცესში დაიწყო XIX საუკუნის მეორე ნახევარში, ხოლო XIX საუკუნის ბოლოს – XX საუკუნის დასაწყისში ჩამოყალიბდა ბალანსირებული კვების თეორია, რომელიც საფუძვლად უდევს რაციონალური კვების კონცეფციას. ამ თეორიის თანახმად საკვებისადმი წაყენებულია შემდეგი ფიზიოლოგიური მოთხოვნები: რაციონში შეუცვლელი საკვები ნივთიერებების გარკვეული თანაფარდობა, საკვები ნივთიერებების ქიმიური სტრუქტურების შესაბამისობა ფერმენტულთან, კერძოდ ორგანიზმის საჭმლის მომწელებელ სისტემასთან, საკვების გემოვნური და ორგანოლექტიკური მახვენებლები.

ბალანსირებული კვების თეორიიდან გამომდინარე სრულფასოვანი კვების რაციონი უნდა შეიცავდეს ხუთი ჯგუფის საკვებ ნივთიერებას. ესენია: ენერჯის წყაროები (ცილები, ცხიმები, ნახშირწყლები); შეუცვლელი ამინომჟავები; ვიტამინები, შეუცვლელი ცხიმოვანი მჟავები; არაორგანული ელემენტები. ამას გარდა ორგანიზმს მისი დანაკარგების აღსადგენად სჭირდება წყალი.

ბალანსირებული კვების თეორიის ფუძემდებლები თვლიდნენ, რომ საკვებში მნიშვნელოვანია მისი მხოლოდ ის კომპონენტები, რომლებიც შეითვისება ორგანიზმის მიერ, დანარჩენები კი ბალანსურია.

შემდგომში მიღებული იქნა ახალი მონაცემები ბალანსური ნივთიერებებისა და ნაწლავების მიკროფლორის როლის შესახებ საჭმლის მონელების პროცესებში, რამაც არსებულ თეორიაში კორექტირების შეტანა მოითხოვა.

XX საუკუნის 80-იან წლებში ჩამოყალიბებული იყო ადეკვატური კვების თეორია. ადეკვატური კვების თეორიას საფუძვლად უდევს ოთხი პრინციპული დებულება: საკვები შეითვისება როგორც ორგანიზმის, ისევე მასში არსებული ბაქტერიების მიერ; ნუტრიენტები ორგანიზმს მიეწოდება საკვებით და ბაქტერიების მოქმედების შედეგად, რომლებიც ახდენენ დამატებითი საკვები ნივთიერებების სინთეზს. ნორმალური კვება განპირობებულია საკვები და მარეგულირებელი ნივთიერებების ერთი კი არა, არამედ რამდენიმე ნაკადით; საკვების ფიზიოლოგიურად მნიშვნელოვანი კომპონენტებია ბალანსური ნივთიერებები, რომელთაც „საკვები ბოჭკოები“ ეწოდება.

ადეკვატური კვების თეორია აყალიბებს ძირითად პრინციპებს, რომლებიც უზრუნველყოფენ რაციონალურ კვებას: ენერჯის ბალანსი (გულისხმობს საკვებიდან მიღებული და ცხოველქმედების პროცესში დახარჯული ენერჯიების ადეკვატურობას); ორგანიზმის მოთხოვნილებების დაკმაყოფილება ოპტიმალური რაოდენობისა და თანაფარდობის საკვები ნივთიერებებით; კვების რეჟიმი (გულისხმობს საკვების მიღების ჯერადობას, დროს, და რაციონალურ განაწილებას დღის განმავლობაში).

XX საუკუნის ბოლოს მიღებული იყო ახალი მსოფლიო კონცეფცია „ჯანსაღი კვება“. მას საფუძვლად უდევს პროგრამა „პრობიოტიკები და ფუნქციური კვება“.

ჯანსაღი (პოზიტიური, ფუნქციური) კვების პროდუქტები პირველად 1980-1985 წლებში იაპონიაში შეიქმნა, სადაც დაკანონებული იქნა „ჯანმრთელობისათვის სპეციალური დანიშნულების კვების პროდუქტების წარმოების სახელმძღვანელო“.

ასეთ პროდუქტებს მიაკუთვნეს სპეციფიური სამკურნალო თვისებების მქონე საკვები. დღეისათვის იაპონიაში დარეგისტრირებულია 200-ზე მეტი დასახელების ასეთი პროდუქტი, რომელთა წარმოება კანონმდებლობით დადგენილი რეკომენდაციების შესაბამისად ხორციელდება.

ფუნქციური დანიშნულების პროდუქტების წარმოება დაიწყო სხვა განვითარებულ ქვეყნებშიც. აშშ-ში 1996 წლიდან საკვებ პროდუქტებს ამდიდრებენ ფოლის მჟავით. ესპანეთში, საფრანგეთში, უნგრეთსა და სხვა ევროპულ ქვეყნებში იმუნური სისტემის გასაძლიერებლად და ორგანიზმიდან მავნე ნივთიერებების გამოსადევნად დაიწყო თხევადი საკვები პროდუქტების შექმნა რძისა და ჩაის ფუძეზე.

ადამიანის კვების რაციონი ისეთი პროდუქტებიდან უნდა შედგებოდეს, რომლებიც მოამარაგებენ რა ორგანიზმს ენერგიით, უზრუნველყოფენ მას ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებებით და გამოდევნიან მისგან საკვების მეტაბოლიტებსა და მომწამლავ ნივთიერებებს.

ამრიგად, თანამედროვე ადამიანის კვების რაციონი, რომელიც საბოლოო ჯამში განსაზღვრავს მის ჯანმრთელობას, ჩამოყალიბებული უნდა იყოს ადამიანის ფიზიოლოგიური მოთხოვნების საფუძველზე ჯანსაღი კვების ძირითადი პრინციპების გათვალისწინებით.

#### ლიტერატურა

1. Спиричев В.Б. Обогащение пищевых продуктов микронутриентами: научные подходы и практические решения. // Пищевая промышленность, 2010, № 4, сс. 20-24.
2. Тутельян В., Суханов Б., Андриевских., Поздняковский В.М. Биологически активные добавки в питании человека. -Томск: Научно-техническая литература, 1999, 229 с.
3. Шендеров Б.А. Медицинская микробная экология и функциональное питание. - М.: Грант, т. III, 2001, 288 с.
4. Шабров А.В., Дадали В.А., Макаров В.Г. Биохимические основы действия микрокомпонентов пищи. -М.:Аввалон, 2003, 184с.

#### SUMMARY

#### SCIENTIFIC AND PRACTICAL ASPECTS OF HEALTHY NUTRITION

Tavdidishvili D.R., Lezhava K.S., Mamrikishvili L.G. and Kvirikashvili L.D.

Akaki Tsereteli State University, Kutaisi

The article discusses the role of nutrition in human life, the scientific concept of nutrition, the basic principles of balanced, adequate and healthy nutrition, etc. Modern requirements to the diet are given; the sphere of distribution of functional food products and the feasibility of innovative technologies for their production and expansion of the product range is analyzed.

**Keywords:** nutrition, diet, functional products, modern concept.

**Lepideumsativum - ნელეუმი ანტიკანცეროგენული აქტივობის საკვები დანამატებისა და პროდუქტების შესაქმენლად**

ქარჩავა მ.ს., არნანია თ.გ., ბერულავა ი.ო., ჯინჯოლია შ.რ., ქაჯაია ნ.შ.

**აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, ქუთაისი**

ონკოლოგიური დაავადებები თანამედროვეობის ერთ-ერთი ყველაზე აქტუალური პრობლემაა. ავთვისებიანი სიმსივნეები სიკვდილიანობის მაჩვენებლით მსოფლიოში მეორე ადგილზეა. ბოლო მონაცემებით ამ დაავადებებით 60 მილიონი ადამიანი აღრიცხული. ეს მონაცემები ძალიან სწრაფი ზრდის ტენდენციით ხასიათდება – ყოველწლიურად მსოფლიოში სიმსივნის 9 მილიონი ახალი შემთხვევა ფიქსირდება.

დაავადების ინიცირება ხდება, როცა პროკანცეროგენი აქტიურდება, უკავშირდება დნმ-ს და იწვევს მის მუტაგენირებას. პროკანცეროგენთა შორის წამყვანი ადგილი უჭირავს ქიმიოტოქსინებს და თავისუფალ რადიკალებს. მათი მოქმედებისთვის ხელსაყრელ გარემოს ქმნის ორგანიზმის დაქვეითებული იმუნიტეტი – უნარი წინააღმდეგობა გაუწიონ მიმდინარე პათოლოგიურ პროცესებს. ამ პროცესების ინჰიბირება შეუძლიათ ბიოლოგიურად აქტიურ ნივთიერებებს, რომლებიც აუვნებელყოფენ ტოქსინებს, ანეიტრალებენ თავისუფალ რადიკალებს და ამადლებენ უჯრედულ იმუნიტეტს.

კვებისა და სიმსივნურ დაავადებათა ურთიერთკავშირი უკვე საყოველთაოდაა აღიარებული ონკოლოგიაში. მსოფლიოს წამყვანი ონკოცენტრები სიმსივნის წინააღმდეგ ბრძოლის ერთერთ ყველაზე პერსპექტიულ მიმართულებად კიბოს მკურნალობიდან მის პრევენციულ ღონისძიებებზე გადასვლას განიხილავენ.

საკვები პროდუქტები ადამიანის ჯანმრთელობაზე მოქმედი უმთავრესი ფაქტორია. საკვებს შეუძლია ჯანმრთელობის როგორც გაურესება, ისე მისი ნორმალიზება და გაუმჯობესება.

თანამედროვე ეკოლოგიურ გარემოში საკვები ხდება ადამიანის ჯანმრთელობისათვის პოტენციურად საშიში მრავალი ქიმიური ნივთიერებების წყარო. კვების პროდუქტების მთავარი დამაბინძურებელინაერთები, რომლებიც კანცეროგენული ნივთიერებების წარმოშობის დიდი რისკის ფაქტორის მატარებლები არიან არის პოლიციკლური ნახშირწყალბადები, ნიტროზოშენაერთები, ბიოლოგიური წარმოშობის ტოქსინები, ტოქსიკური მეტალები, პესტიციდები, მეცხოველობაში და მემცენარეობაში გამოყენებული ქიმიური პრეპარატები, სინთეზური საკვები დანამატები და სხვა.

კვლევებით დადგენილია, რომ აღნიშნული პრობლემებიდან ორგანიზმის დამცველი ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი ფაქტორი სრულფასოვანი პროფილაქტიკური კვებაა.

ანტიკანცეროგენული მოქმედების თვალსაზრისით განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭებათ საკვების ისეთკომპონენტებს როგორცაა C, PP, B ჯგუფის ვიტამინებს, (განსაკუთრებით ფოლის მჟავას) A, D, E ვიტამინებს, მინერალებს განსაკუთრებით (სპილენძი, თუთია, სელენი), საკვებ ბოჭკოებს, პოლიფენოლურ ნაერთებს და სხვა ბიოლოგიურად აქტიურ ნივთიერებებს.

მცენარეული წარმოშობის ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებებიდან მკვეთრად გამოხატული ანტიკანცეროგენული ეფექტით - სიმსივნურ და პროსიმსივნურ უჯრედებზე დამთრგუნველი და გამანადგურებელი მოქმედებით გამოირჩევიან გლუკოზიდონატები. გლუკოზიდონატები - ორგანულ ნაერთთა კლასია, რომელიც შეიცავს გოგირდს, აზოტს და გლუკოზის წარმოებულებს. მცენარეულში იდენტიფიცირებულია 120-მდე სხვადასხვა გლუკოზიდონატები. ყოველი გლუკოზიდონატები შეიცავს ცენტრალურ ნახშირბადის ატომს, რომელიც გოგირდის ატომის საშუალებით უკავშირდება გლუკოზის ნაშთს, ხოლო აზოტის ატომის საშუალებით კი სულფოჯგუფის ნახშირბადის ცენტრალური ატომი უკავშირდება ასევე რადიკალს, რომელიც სხვადასხვა გლუკოზიდონატისათვის სხვადასხვა ბუნებისა და

წარმოშობისაა. მცენარეები შეიცავენ ფერმენტ მიროზინაზას, რომელიც ახდენს გლუკოზინოლატების ჰიდროლიზს გლუკოზის ნაშთის მოცილების შემდეგ დარჩენილი მოლეკულა სწრაფად გარდაიქმნება თიოციანატებად, იზოთიოციანატებად და ნიტრიდებად. სწორედ ეს ნივთიერებები ხასიათდებიან მრავალმხრივი დამცავი თვისებებით, როგორც მცენარების, ასევე ადამიანებისათვისაც. გლუკოზინოლატების წარმოებულები (იზოთიოციონატები, ინდოლ-3-კარბინოლი და სხვა) აუენებელყოფენ კანცეროგენებს, თრგუნავენ სიმსივნის ზრდის ფაქტორებს, ანელევენ სიმსივნური უჯრედების დაყოფას და იწვევენ მის აპოპტოზს. ხასიათდებიან ანტიოქსიდანტური და ფიტოესტროგენული უნარით. მსოფლიოს წამყვანი სამეცნიერო ცენტრების მიერ არაერთგზისაა დადასტურებული გლუკოზინოლატების ძლიერი ანტიკანცეროგენული ეფექტი - საჭმლის მომწელებელი სისტემის სიმსივნეების, ფილტვის კიბოსა და ჰორმონდამოკიდებული (სარძევე ჯირკვლის, საშვილოსნოს ყელის, პროსტატის) სიმსივნეების დროს. გლუკოზინოლატები ფართოდ გამოიყენება მსოფლიოში წარმოებულ საკვებ დანამატებში, როგორც ანტიკანცეროგენული ბიოლოგიურად აქტიური დანამატი. მისი პროფილაქტიკური დოზა 50მგ-ია დღეში, ხოლო მაქსიმალური დოზა 100-120მგ დღეში.

გლუკოზინოლატების მაღალი შემცველობით ხასიათდებიან ჯვაროსანთა ოჯახის (Cruciferae) მცენარეები - ბროკოლი, ჩინური კომბოსტო, ბრიუსელის კომბოსტო, თაღვამი, ბოლოკი, პირშუშხა, ბადის წიწმატი და სხვა. გლუკოზინოლატების შემცველობა მათში 50 400მგ%-ის ფარგლებშია.

საქართველოში გავრცელებული „ფართოფოთლიანი“ წიწმატიდან *Lipidium sativum.L* (LS) ჩვენ მიერ ლიოფილური შრობით (სუბლიმაციური საშრობი GT-50, შრობის პარამეტრები: გაყინვა - 40°C, ვაკუუმი 100 მიკრონი, საბოლოო ტემპერატურა 37°C). მიღებულია LS-ის მშრალი კონცენტრატი გლუკოზინოლატების შემცველობით 4000მგ%-მდე ანუ მიღებული პრეპარატის ყოველი 1 გრამი შეიცავს 40მგ გლუკოზინოლატებს.

ამრიგად, მიღებული LS-ის მშრალი კონცენტრატის გამოყენებით დამუშავებულია გლუკოზინოლატების შემცველი ანტიკანცეროგენული პროფილაქტიკური აქტივობის საკვები პროდუქტების (პურის, კექსის და შოკოლადის) ტექნოლოგიები, რომლებიც გლუკოზინოლატების შემცველობით 0,5-1%-ის ფარგლებშია, რაც იმას ნიშნავს, რომ პროფილაქტიკური პროდუქტის ყოველი 100გ შეიცავს 20მგ-დან 40 მგ-მდე გლუკოზინოლატებს, რაც სავსებით აკმაყოფილებს ადამიანის ორგანიზმის მოთხოვნას ამ ნივთიერებაზე.

## ლიტერატურა

1. Jane V. Higdon, Barbara Delage, David E. Williams, and Roderick H. Dashwood. Cruciferous Vegetables and Human Cancer Risk: Epidemiologic Evidence and Mechanistic Basis. <https://www.hindawi.com/journals/ecam/2015/297425/> -
2. Daniel Villarreal-García and Daniel A Jacobo-Velázquez\* Glucosinolates from broccoli: Nutraceutical properties and their purification. [nutraceuticals.imedpub.com/glucosinolates-from-broccoli-n](http://nutraceuticals.imedpub.com/glucosinolates-from-broccoli-n).
3. Cruciferous Vegetables and Cancer Prevention. <https://www.cancer.gov/.../cruciferous-vegetables-fact-sheet>
4. Glucosinolates from Brassica vegetables: risks and benefits. [www.tekno.dk/pdf/.../brussels\\_may08\\_williamson.pdf](http://www.tekno.dk/pdf/.../brussels_may08_williamson.pdf)

## SUMMARY

### LEPIDEUM SATIVUM – A RAW MATERIAL FOR PRODUCTION OF FOOD ADDITIVES AND PRODUCTS WITH AN ANTICARCINOGENIC ACTION

Karchava M.S., Arnania T.G., Berulava I.O., Jinjolia Sh.R. and Kajaia N.Sh.

Akaki Tsereteli State University, Kutaisi

The article discusses the structure of glucosinolates of vegetable origin with an anticarcinogenic effect and the prospects of using these glucosinolates for production of anticarcinogenic food products. The possibility of using the dry liophilic concentrate of Georgian broadleaf cress (*Lepideum sativum*) for production of prophylactic anticarcinogenic food products (bread, cake, chocolate, etc.) is considered.

**Keywords:** food products, anticarcinogenic effect, raw material, broadleaf cress.

ფიჭვის მტვრის ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებები

ქარჩავა მ.ს., არნანია თ.გ., ჯინჯოლია შ.რ., ბერულავა ი.ო., ხეცურიანი გ.ს.,  
ქაჯაია ნ.შ.

აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, ქუთაისი

არაჯანსაღი ეკოლოგიური გარემო, საკვები პროდუქტების კონტამინაციის მაღალი ხარისხი, სოციალური, ეკონომიკური, ემოციური სტრესები და მრავალი სხვა ფაქტორი სერიოზულ პრობლემებს უქმნის ადამიანთა ჯანმრთელობას და განაპირობებს ე.წ. „ცივილიზაციის დაავადებების“ - გულსისხლძარღვთა ათეროსკლეროზული ცვლილებების, იმუნოდეფიციტის, ონკოდაავადებების, ვირუსული ინფექციების, ალერგიული რეაქციების, რკინადეფიციტური ანემიის, ქრონიკული დაღლილობის სინდრომის, ალცჰეიმერის, დიაბეტის და სხვათა ფართო გავრცელებას.

ასეთ პირობებში საკვები პროდუქტების დანიშნულება უკვე აღარ არის მხოლოდ ცილებზე, ცხიმებზე, ნახშირწყლებზე, ვიტამინებსა და მინერალურ ნივთიერებებზე ორგანიზმის მოთხოვნილებების დაკმაყოფილება. XXI საუკუნის საკვებმა ამავე დროს უნდა გააქტიუროს და გააძლიეროს ორგანიზმის დამცავი ფიზიოლოგიური მექანიზმები და დაიცვას იგი ზემოთხსენებული პრობლემებისაგან. საკვებისათვის ასეთი თვისებების მისანიჭებლად საჭიროა მათი შედგენილობის საფუძვლიანი კორექტირება და შედეგად ახალი თაობის, თვისობრივად ახალი პროდუქტების შექმნა ორგანიზმზე აქტიური ბიოლოგიური და ფიზიოლოგიური ზემოქმედების უნარითა და პროფილაქტიკური ეფექტურობის ფართო სპექტრით.

ამ თვალსაზრისით მნიშვნელოვანი პერსპექტივები აქვს სასურსათო ტექნოლოგიებში ფიჭვის მტვერის ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებების დღეისათვის უკვე კარგად შესწავლილი და მეცნიერულად დასაბუთებული დადებითი პოტენციალის გამოყენებას.

ფიჭვის მტვერი შეიცავს სიცოცხლის ჩასახვის, განვითარების, დაცვისა და ხანგრძლივად შენარჩუნებისათვის საჭირო თითქმის ყველა ნივთიერებას: სრულფასოვან ცილებს, შეუცვლელ ამინომჟავებს, უჯერ ცხიმოვან მჟავებს, ნახშირწყლებს, ვიტამინებსა და მინერალების სრულ კომპლექტს, ფერმენტებს, ანტიბიოტიკებს, მცენარეულ სტეროიდებს, ფენოლურ ნაერთთა რთულ ნაკრებს და ორგანიზმის ფუნქციონირებისათვის აუცილებელ მრავალ სხვა მინორულ ნივთიერებას. იგი არის ძლიერი ანტიოქსიდანტი, ანტიეპატიკი, ანტიბიოტიკი, ანტიკანცეროგენი, ბიოსტიმულატორი, ანტიდეპრესანტი და ფართოდ გამოიყენება ბრონქიტების, ფილტვების დაავადებების, ასთმური დაავადებების სამკურნალოდ, ამაღლებს იმუნიტეტს, ღვიძლის ბარიერულ ფუნქციას, ხელს უშლის სიმსივნური უჯრედების წარმოქმნასა და გავრცელებას, ხსნის ქრონიკულ დაღლილობას, აწესრიგებს სისხლის პლაზმის შედგენილობას, ამაგრებს სისხლძარღვთა კედლებს, აწესრიგებს სისხლის მიმოქცევის სისტემას, აუმჯობესებს საჭმლის მონელების პროცესს, ადადგენს მეხსიერებას, ამაღლებს ფსიქო-ემოციურ ტონუსს, აუმჯობესებს კანის უჯრედების მეტაბოლიზმს და სხვა.

სამკურნალოდ ფიჭვის მტვერის გამოყენების ისტორია მრავალ ათასწლეულს წელს ითვლის. ის მოიხსენიება სამედიცინო ტრაქტატების მთელ დინასტიებში. უნიკალური გამაჯანსაღებელი თვისებების გამო მან „სასწაულმოქმედი ელექსირის“ სახელი დაიმკვიდრა ხალხში.

საქართველოში ტყის მასივების 4,5-5% (90-100 ათასი ჰა) ფიჭვის ტყეებია. განსაკუთრებით დიდი მასივების სახით იგი გავრცელებულია აბასთუმანის, ბორჯომისა და მანგლისის რაიონებში. ამ ფართობების ძირითადი ნაწილი უჭირავს კავკასიურ ანუ სოსნოვსკის ფიჭვს (*pinus sosnovskyi*), ბიჭვინთის ფიჭვს (*pinus pityusa*), ელდარის ფიჭვს (*pinus eldarica*) და კოხის ფიჭვს (*pinus kochiana*).

ქვემოთ მოყვანილია მსოფლიოში გავრცელებული სხვადასხვა სახეობის ფიჭვის მტვერში ზოგიერთი ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებების შემცველობის ზღვრები.

**ცხრილი 1. შეუცვლელი ამინომჟავების შემცველობა ფიჭვის მტვერში**

№	შეუცვლელი ამინომჟავები	შემცველობა, მგ%
1	ვალინი	610-652
2	ლეიციანი	8221-870
3	ოზოლეიციანი	501-547
4	ლიზინი	802-835
5	მეთიონინი	161-207
6	თრეონინი	1030-1100
7	ტრიფტოფანი	852-905
8	ფენილალანინი	520-585

**ცხრილი 2. ვიტამინების შემცველობა ფიჭვის მტვერში**

№	შეუცვლელი ამინომჟავები	შემცველობა, მკგ%
1	ასკორბინის მჟავა	5600-5700
2	თიამინი	6000-7000
3	რიბოფლავინი	400-500
4	ნიკოტინამიდი	1500-1600
5	პირიდოქსინი	1300-1400
6	ფოლის მჟავა	900-1000
7	რეთინოლი	40-50
8	ქილოკალციფეროლი	20-40
9	ტოკოფეროლი	3000-3500

**ცხრილი 3. მინერალური ნივთიერებების შემცველობა ფიჭვის მტვერში**

№	შეუცვლელი ამინომჟავები	შემცველობა, მგ%
1	კალიუმი	115-145
2	მაგნიუმი	100-135
3	ფოსფორი	200-230
4	კალციუმი	80-105
5	ნატრიუმი	10-20
6	რკინა	25-38
7	სპილენძი	0,42-0,53
8	თუთია	3,1-3,55
9	სპილენძი	0,003-0,006

როგორც ცხრილების (ცხრ.1-3) მონაცემებიდან ჩანს, მსოფლიოში გავრცელებული სხვადასხვა სახეობის ფიჭვის მტვერი შეიცავს შეუცვლელი ამინომჟავების სრულ კომპლექსს. იგი მდიდარია წყალში და ცხიმში ხსნადი ვიტამინებით (განსაკუთრებით ფოლის მჟავა, ქილოკალციფეროლი, პირიდოქსინი და ტოკოფეროლი) შეიცავს მაკრო- და მიკროელემენტებს, განსაკუთრებით მდიდარია რკინით, სპილენძით, თუთიით, სელენით.

ფიჭვის მტვერის კვლევის შესახებ არსებული ლიტერატურული მონაცემებიდან ჩანს, რომ იგი ასევე მდიდარია ადამიანის ორგანიზმის ცხოველქმედებისათვის მნიშვნელოვანია ფერმენტების, ანტიოქსიდანტების, მცენარეულ სტროიდების, ფენოლურ ნაერთთა რთულ ნაკრებს და ორგანიზმის ფუნქციონირებისათვის აუცილებელ მრავალ სხვა მინორულ ნივთიერებას, რაც მისი ანტიოქსიდანტური, ანტიეპოტიკური, ანტიბიოტიკური, ანტიკანცეროგენული, ბიოსტიმულატორული, ანტიდეპრესიული თვისებების განმსაზღვრელი ფაქტორია.

ქართული ფიჭვის მტვერი კი სრულად შეუსწავლელია. ვფიქრობთ, რომ შესაბამისი კვლევების საფუძველზე იგი შეიძლება გამოყენებული იქნას როგორც ფართო

სპექტრის ფიზიოლოგიური მოქმედების ნატურალური ბიოლოგიურად აქტიური დანამატი სპეციალური დანიშნულების კვების პროდუქტების წარმოებისათვის.

#### ლიტერატურა

1. Kirov E.I., Tarakanov V.V, Kukushkina T.A, Chankina O.V., Kalchenko L.I. BIOCHEMICAL AND ELEMENTAL COMPOSITION OF POLLEN FROM DIFFERENT CLONES OF SCOTS PINE. [http://www-sbras.nsc.ru/ws/cfgrs2009/tezisy\\_1\\_en/4/5.htm](http://www-sbras.nsc.ru/ws/cfgrs2009/tezisy_1_en/4/5.htm)
2. Nutritional Analysis of Pine Pollen | RAW Forest Foods. <https://www.rawforestfoods.com/nutritional-analysis-of-pine>.
3. J. Oleksyn, P. Karolewski, W. Chalupka, J. Oleksyn. Nutritional Status of Pollen and Needles of Diverse Pinus Sylvestris Populations Grown at Sites with Contrasting Pollution. <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1005064218004>
4. K. Komosinska-Vassev, P. Olczyk, J. Kaźmierczak, L. Mencner, K. Olczyk. Bee Pollen: Chemical Composition and Therapeutic Application

#### SUMMARY

##### BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES OF PINE POWDER

**Karchava M.S., Arnania T.G., Jinjolia Sh.R., Berulava I.O., Khetsuriani G.S. and Kajaia N.Sh.**

**Akaki Tsereteli State University, Kutaisi**

The article discusses the role and possibilities in the struggle against the diseases of modern civilization. To this end, the prospects of use the pine powder are considered. Literature data on the investigation of pine powder of various pine species are analyzed. It is shown that the pine powder contains essential amino acids, vitamins and a complex of essential minerals. Besides, the pine powder contains antioxidants, vegetable steroids, a complete set of phenolic compounds and other essential substances. This is a decisive factor determining antioxidant, antiseptic, antibiotic, anticarcinogenic, biostimulating and antidepressant properties of the pine powder.

**Keywords:** biologically active substances, pine powder, antioxidant effect, anticarcinogenic action, biostimulating activity.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРА РАЗРУШЕНИЯ СИСТЕМЫ «ВОЛОКНО-СВЯЗУЮЩЕЕ» В ТЕКСТИЛЬНЫХ КОМПОЗИТАХ

Мосешвили Т.В.

Кутаисский государственный университет им. А. Церетели

**Введение.** Одним из способов нетрадиционного прядения является формирование пряжи без крутки, путем склеивания волокон. Этот способ позволяет формировать прочную пряжу из волокон любой длины и линейной плотности, без натяжения при высоких скоростях выпуска. Бескруточную пряжу можно рассматривать как текстильный композиционный материал, состоящий из двух типов дискретных элементов – волокон и склеек между ними. Склейки объединяют параллельные волокна в непрерывную систему и передают на них внешнее усилие [1].

Прочность волокнистого композита обусловлена прочностью волокон и прочностью адгезионной связи в местах их склеивания. Вид и способ нанесения связующего вещества на волокнистый слой влияет на технологию выработки композита. Его можно ввести в смесь базовых волокон в виде раствора, терморезактивных или растворимых волокон, которые при воздействии температуры или растворителя превращаются в адгезив.

Адгезионная прочность при взаимодействии полимеров с волокнами зависит от многих факторов: от типа и состава связующего, природы армирующих волокон, температуры эксплуатации и хранения и т.д. Поэтому естественно, что хронология создания новых типов волокон и матриц соответствует хронологии изучения прочности границы раздела волокно.-полимер.

Элементарной ячейкой армированного волокнами композита служит участок волокна вместе с прилегающим к нему слоем связующего. Поэтому большинство исследований адгезионной прочности соединений «полимер-волокно» проводится на образцах, моделирующих эту элементарную ячейку.

**Цель исследования.** Исследование характера разрушения адгезионной связи между волокнами в клееной пряже.

**Материалы и методы исследования.** Модель элемента клееной пряжи представляет собой пару волокон, на поверхность которых нанесено определенное количество связующего вещества [2]. Модель закрепляется в зажимы разрывной машины и определяются ее разрывные характеристики. Для закрепления системы волокно-связующее в зажимы необходимо подготовить специальную форму. Из листа картона размерами 30x5 см вырезают прямоугольные окна размерами 3x2см. На лист картона укладывают пару волокон и приклеивают к краям вырезанного прямоугольника. Затем сверху накладывают второй кусок картона такой же формы, после чего на центральную часть пары волокон наносят каплю связующего. После высыхания клея волокно обрезают с одной стороны капли связующего. Лишние участки формы обрезают. Каждую систему волокно-связующее фотографируют или рассматривают под микроскопом и определяют геометрические размеры склейки: длину, ширину и площадь склейки в плоскости приложения силы. После этого приготовленную форму закрепляют в зажимы разрывной машины. Тело формы разрезают, чтобы зажимы машины могли воздействовать непосредственно на систему волокно-связующее. На разрывной машине определяют прочность и удлинение системы и производят запись диаграмм.

Исследовалась клееная сиблоновая пряжа. Микрофотографии структуры клееной пряжи показали, что толщина слоя связующего гораздо меньше диаметра волокна (рис.1). целью получения более адекватной картины поведения системы волокно-связующее вещество размеры реальной склейки увеличивались в 1000 раз и вместо сиблонового волокна использовался малоразвесной вискозный жгут. Пара жгутов с разными расстояниями между ними наклеивались на вырезанную форму. Из поливинилспиртового порошка приготавливался клей, который с помощью иглы наносился на центральную часть пары волокон. Затвердение клея происходило в условиях комнатной температуры в течение 24 часов.



Рис. 1. Микрофотография системы волокно-связующее

На микроскопе МИН-4 измерялись геометрические размеры склеек. Настоящая величина объекта исследования рассчитывалась по формуле

$$E = \frac{zT}{A}$$

где  $z$  - число делений объекта микрометра (равно 100);  $T$  - цена делений объекта микрометра (равно 0,01мм);  $A$  - число делений окулярной сетки (равно 10,7).  $E=0,093$  мм.дел.

Для определения площади связующего вещества в плоскости приложения силы употреблялась окулярная сетка, при помощи которой можно сосчитать число клеток, охватывающих всю поверхность связующего. Величину площади каждой склейки можно определить, зная площадь одной клеточки.  $f=(0,093)^2=0,0087$ (мм.дел).<sup>2</sup>

Общую площадь склейки можно определить по формуле

$$S_{ск} = n_{кл} 0,0087$$

где  $n_{кл}$  - число клеточек;

Исследования системы волокно-связующее проводилось на приборе F01-С с записью диаграмм. С помощью специальной трубки проводились визуальные наблюдения за поведением системы при разрушении. Растяжение образцов проводилось при постоянной скорости 0,2см/мин. Зажимная длина – 20 мм, вес груза – 50гс. С целью исследования физико-механической картины разрушения системы, определения зависимости от деформации от геометрических размеров склейки было приготовлено по тридцать образцов с расстоянием между волокнами 1,4; 0,8 и 1,12 мм. В каждой подгруппе на десять образцов наносилось примерно одинаковое количество связующего и под микроскопом измерялась длина склейки. На разрывной машине записывалась диаграмма удлинение-растяжение и проводились визуальные наблюдения на поведением системы при растяжении.

В таблице приведены геометрические размеры склейки, разрывная нагрузка и величина относительного разрывного удлинения системы.

### Геометрические размеры склейки, разрывная нагрузка и величина относительного разрывного удлинения системы

Подгруппа	Расстояние между волокнами	Длина склейки	Средняя разрывная нагрузка системы, гс	Относительное удлинение системы, %	Разрушение		
					на границе раздела	волокна	Связующее вещество
1	0,4	0,83-0,93	22,0	6	10	-	-
		1,12-1,3	31,5	14,0	10	-	-
		1,4-1,58	36,0	13,5	10	-	-
2	0,8	0,83-0,93	28,0	9	10	-	-
		1,12-1,3	32,6	10,6	10	-	-
		1,4-1,58	34,2	11,5	10	-	-
3	1,12	0,83-0,93	30,2	10,2	10	-	-
		1,12-1,3	34,3	11,8	9	1	-
		1,4-1,58	39,2	12,1	9	1	-

**Результаты исследования.** Как видно, с увеличением длины склейки при постоянном расстоянии между волокнами разрывная нагрузка системы и относительное удлинение увеличивается. Также, увеличение расстояния между волокнами при постоянной длине склейки вызывает увеличение разрывных характеристик системы.

При наблюдении разрушения 90 образцов установлено, что в основном разрушение происходит на границе раздела волокно-связующее. Только в 2 образцах произошел разрыв волокна.



Рис.2. Фотоснимки концов бескруточной пряжи после испытания на разрывной машине

Фотоснимки (рис.2) полученные при исследовании концов бескруточной пряжи после испытания на разрывной машине, подтверждают факт, что не происходит когезионный разрыв связующего вещества. Как видно из рис. 2, связующее вещество полностью отдалено от поверхности одного волокна.

Измерить массу и толщину склейки невозможно, но судить об этих показателях можно косвенно, зная геометрические размеры склейки. Увеличение геометрических размеров склейки вызывает увеличение прочности и деформацию системы.

Схема системы волокно-связующее представлена на рис.3. Расстояние между волокнами  $W$ , длина склейки  $h$ . Анализ показал, что при растяжении в продольном направлении происходит удлинение свободного участка волокна, а связующее вещество получает деформацию сдвига.

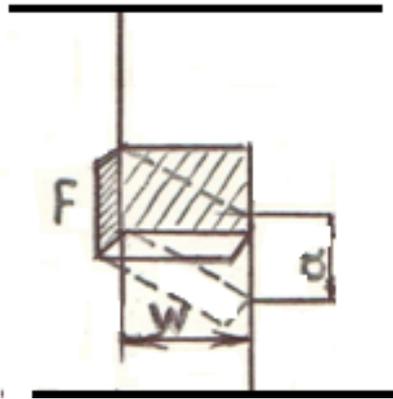


Рис. 3. Схема системы волокно-связующее

Напряжение сдвига в связующем определяется по формуле

$$\tau = \frac{P}{F}$$

где  $P$  – прикладываемая нагрузка, гс;  $F$  – площадь поперечного сечения связующего в плоскости действия сил, мм<sup>2</sup>.

Относительный сдвиг  $\gamma$  связующего определяется по формуле

$$\gamma = \frac{a}{w}$$

где  $a$  – абсолютный сдвиг одного края связующего относительно другого. Напряжение сдвига определяется по формуле

$$\tau = \gamma G_{CB}$$

где  $G_{CB}$  – модуль упругости при сдвиге, кгс/мм<sup>2</sup>.

$$\tau = G_{CB} \frac{a}{W}$$

Абсолютный сдвиг связующего равен

$$a = \frac{\tau W}{G} = \frac{PW}{FG_{CB}}$$

Абсолютное удлинение волокна  $\Delta l_B$  равно

$$\Delta l_B = \frac{Pl}{F_B E_B}$$

где  $l$  – длина участка волокна вне склейки;  $F_B$  – площадь поперечного сечения волокна;  $E_B$  – модуль продольной упругости волокна.

Тогда общее удлинение системы волокно - связующее, находящейся между зажимами разрывной машины, можно определить по формуле

$$l_{\text{общ.}} = a + \Delta l_B = \frac{Pl}{F_B E_B} + \frac{PW}{FG} = P \left( \frac{l}{F_B E_B} + \frac{W}{FG} \right)$$

Для каждой системы параметры  $l$ ,  $F_B$ ,  $E_B$  и  $G_{CB}$  – величины постоянные, тогда выражение

$l_{\text{общ.}}$  можно записать в виде

$$l_{\text{общ.}} = P \left( K_1 + K_2 \frac{W}{F} \right)$$

где -  $K_1 = \frac{l}{F_B E_B}$ ;  $K_2 = \frac{1}{G_{CB}}$ .

Таким образом, общее удлинение системы зависит от прикладываемой нагрузки и от геометрических размеров склейки, в частности от расстояния между волокнами и площади склейки в направлении действия нагрузки. Увеличение  $W$  ведет к повышению абсолютного удлинения системы. При  $W \rightarrow 0$ , система ведет себя как одиночное волокно и сдвиг связующего вещества не влияет на общую деформацию.

**Заключение:** При полном разрушении системы волокно-связующее были получены результаты, которые позволяют сделать следующие выводы:

- ни в одном случае не наблюдается разрушение связующего (когезионный разрыв);
- в основном происходило разрушение связи связующего вещества с волокном или разрыв волокон. Начальная деформация системы очень похожа на начальную деформацию одиночного волокна.

Отклонения в скорости нарастания нагрузки в зависимости от удлинения можно объяснить исключительно деформацией связующего вещества, находящегося между волокнами.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. T. Moseshvili, A. Tvalchrelidze, P. Savchuk. The Mathematical Model of Strength of Yarn With Discrete Parallel Fibers. Pro- Futuro Oswiata I nauka bez granic, 2013, N3(1).
2. Hearle J.W. S., Newton A. The Behavior of Model Systems of Bonded Fabrics. //Textile Research Journal. 1987,v.38, N5.

#### SUMMARY

##### BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES OF PINE POWDER

**Karchava M.S., Arnania T.G., Jinjolia Sh.R., Berulava I.O., Khetsuriani G.S. and Kajaia N.Sh.**

**Akaki Tsereteli State University, Kutaisi**

The article discusses the role and possibilities in the struggle against the diseases of modern civilization. To this end, the prospects of use the pine powder are considered. Literature data on the investigation of pine powder of various pine species are analyzed. It is shown that the pine powder contains essential amino acids, vitamins and a complex of essential minerals. Besides, the pine powder contains antioxidants, vegetable steroids, a complete set of phenolic compounds and other essential substances. This is a decisive factor determining antioxidant, antiseptic, antibiotic, anticarcinogenic, biostimulating and antidepressant properties of the pine powder.

**Keywords:** biologically active substances, pine powder, antioxidant effect, anticarcinogenic action, biostimulating activity.

ახალი სახის ბოჭკო „ლონა“-ს თვისებები

ბაკურაძე ე.ი., ზივზივაძე ბ.ლ., ვადაჭკორია ზ.ა., ბაკურაძე კ.ე., აბესაძე ნ.მ.

აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, ქუთაისი

მსოფლიო მაშტაბით ქიმიურ ბოჭკოებსა და მათ ფუძეზე დამზადებულ კომპოზიციურ მასალებზე მოთხოვნილება ყოველწლიურად იზრდება. მრავალი სამცნიერო ნაშრომი [1-3] მიგვითითებს ისეთი ნედლეულის და რეცეპტურის ძიების აქტუალობაზე, რომელიც ბოჭკოს მიაწოდებს მაღალ თერმო- და ქიმიურ მდგრადობას.

ჩვენ მიერ მსოფლიო [4] პრაქტიკის გათვალისწინებით, ინოვაციურ-საავტორო ტექნოლოგიის გამოყენებით მიღებული იქნა კონკურენტუნარიანი ქიმიური ბოჭკო „ლონა“ (ნახ.1).



ნახ. 1. ბოჭკო „ლონა“

კვლევის სიახლეს წარმოადგენს ქიმიური ბოჭკოს მიღება ახალი ქიმიური რეცეპტურით, ჩვენი ქვეყნის მეტალურგიული და ქიმიური საწარმოების ტექნოლოგიური მყარი ნარჩენების (რომელნიც ამ დანიშნულებით ადრე არ იყო გამოყენებული) და მაკორექტირებელი იაფფასიანი დანამატის გამოყენებით.

შესწავლილი და გამოკვლეული იქნა ბოჭკოს შემდეგი თვისებები: ტემპერატურა, აგრესიული გარემოსადმი მდგრადობა, ბოჭკოს სიმტკიცე დრეკადობის მიმართ, ბოჭკოს სიმტკიცე გაწელების მიმართ, აკუსტიკური და ბერაშთანთქმის უნარი.

ექსპლუატაციის პირობების გათვალისწინებით უწყვეტი ბოჭკო უნდა ფლობდეს განსაკუთრებულ გეომეტრიულ და ფიზიკურ-მექანიკურ თვისებებს, რომელთაგან უმთავრესია შემდეგი: დიამეტრი, სიმტკიცის ზღვარი გაწელების დროს, აგრესიული გარემოსადმი ქიმიური მდგრადობა და თერმომდგრადობა.

ექსპერიმენტალური უწყვეტი ბოჭკოს დიამეტრი იზომებოდა მოკროსკოპით  $750\times$  ჯერადი გადიდებით, ხოლო სიმტკიცის გაზომვა გაწელების დროს ხდებოდა წონითი ტიპის დინამომეტრით.  $1440\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ზე მიღებული 6,8 მკმ დიამეტრის მქონე ბოჭკოს სიმტკიცეურის 8,95 გპა. ამავე ტემპერატურაზე მიღებულია 30 მკმ დიამეტრის ბოჭკო, მისი ფარდობითი სიმკვრივე შეადგენს 2,82 გ/მ<sup>3</sup>.

შესწავლილი იქნა მიღებული ბოჭკოების აგრესიული გარემოსადმი ქიმიური მდგრადობა. უწყვეტი ბოჭკოს ქიმიური მდგრადობა შეფასებული იქნა აგრესიულ გარემოში სამსაათიანი დუდილის შედეგად 5000 სმ<sup>2</sup> ზედაპირიდან მასის დანაკარგების გაზომვის შემდეგ. შედეგები მოცემულია ცხრილში 1.

**ცხრილი 1. ბოჭკოს ქიმიური მდგრადობა**

აგრესიული გარემო	მდგრადობა, %
H <sub>2</sub> O	98,0
NaOH	93,0
HCl	92,0

ცხრილის მონაცემებიდან ჩანს, რომ მიღებულ ბოჭკოს გაანჩია მაღალი მდგრადობა ტუტე და მჟავა გარემოს მიმართ. განსაზღვრული იქნა აგრეთვე ბოჭკოს მდგრადობა ტემპერატურისა და ვიბრაციის მიმართ. მისი განსაზღვრა ხდებოდა მაღალ ტემპერატურაზე ბოჭკოს დაყოვნების შედეგად სიმტკიცის ცვლილებების გაზომვის შემდეგ. ცხრ. 2-ში მოცემულია მიღებული უწყვეტი ბოჭკოს ტემპერატურამდგრადობა, ხოლო ცხრ. 3-ში მოცემულია მიღებული უწყვეტი ბოჭკოს ვიბრომდგრადობა.

**ცხრილი 2. ბოჭკოს მდგრადობა სხვადასხვა ტემპერატურაზე**

გამოსაკვლევი ბოჭკოს საშუალო დიამეტრიც, მკმ	სიმტკიცის საწყისი მანვენებელი, გპა	სიმტკიცე 500 °C-ზე, გპა	სიმტკიცე 600 °C-ზე, გპა
9,78	8,95	5,3	4,5

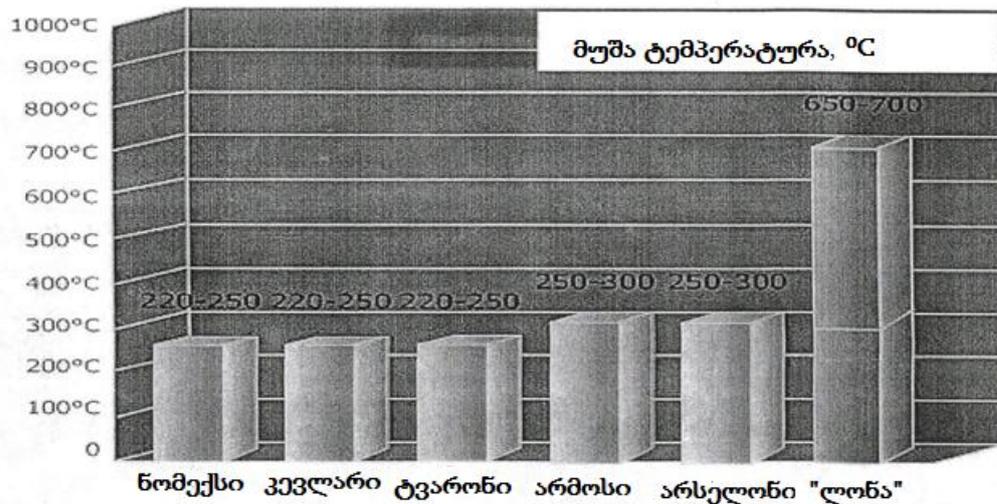
**ცხრილი 3. ბოჭკოს ვიბრომდგრადობა**

ვიბრომდგრადობა, 5 % (v=50ჰც, A=1 მმ, t=3 საათი)	200° C	450°C	700°C
	-	0,1	0,45
აკუსტიკური მახასიათებლები, ბგერაშთანთქმის კოეფიციენტი	0,90		

ცხრ. 4-ში მოყვანილია ჩვენ მიერ მიღებული ბოჭკო „ლონა“-ს და სხვა მსოფლიო ლიდერი ბოჭკოების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების შედარებითი მახასიათებლები.

**ცხრილი 4. ფიზიკურ-მექანიკური თვისებები**

ბოჭკოები	კუთრი სიმკვრივე ფუნტ/დიუმ <sup>3</sup>	სიმტკიცე, ფუნტ/დიუმ <sup>2</sup>	მოდული, 10 <sup>6</sup> ფუნტ/დიუმ <sup>2</sup>	წაგრძელება ბაწვემტისას, %	კუთრი სიმტკიცე გაჭიმვისას 10 <sup>6</sup> დიუმში	ხაზობრივი თერმული გაფართოების კოეფიციენტი, 10 <sup>-6</sup> /°F	დაშლის ტემპერატურა	
							°F	°C
ლონა	0,054	700	18,0	3,0	10,8	+1,8	1562	(850)
სხვა სახის ბოჭკოები								
კეკლარი29	0,052	424	10,2	3,6	8,15	-2,2	800-900	(427-482)
კეკლარი 49	0,052	435	16,3	2,4	8,37	-2,7	800-900	(427-482)
პოლიამიდი 66	0,042	143	0,8	18,3	3,40	-	490	(254)
პოლიეთერი	0,050	168	2,0	14,5	3,36	-	493	(256)
პოლიეთილენი	0,035	375	17	3,5	10,7	-	300	(149)
ნახშირბადოვანი ბოჭკო	0,065	450	32	1,4	6,93	-0,1	6332	(3500)



ნახ. 2. ბოჭკოების მუშა ტემპერატურები

ნახ. 2-ზე მოცემულია ბოჭკოების შედარებითი ტემპერატურამდგრადობა.

კვლევის შედეგებმა გვიჩვენა, რომ ბოჭკო ფლობს თერმო და აგრესიული გარემოსადმი მაღალ მდგრადობას და ტექნოლოგიურ თვისებებს. ბოჭკოს უნიკალური თვისებების გამო მისგან გამომუშავებულ საფეიქრო მასალებს ექნებათ ფართო გამოყენების სპექტრი სახალხო მეურნეობის და მრეწველობის მრავალ დარგში. მისგან შეიძლება გამომუშავდეს საწარმოთა გამონაბოლქვი აირების გამფილტრავი სახელოები, თერმო და ბგერასაიზოლაციო მასალები, მილსადენები, შენობის სახურავის ბრტყელი და რელიეფური დამფარი მასალები, გაზისებური და თხევადი მასალების რეზერვუარები, მანქანის მთლიანკომპოზიციური ძარის კორპუსები, თვითმფრინავების, კოსმოსური ხომალდების კორპუსების სხვადასხვა ნაწილები და ა.შ.

არსებული სანედლეულო ბაზის, საავტორო ტექნოლოგიების, მეცნიერულ-ტექნიკური კადრების არსებობა გვაძლევს იმის გარანტიას, რომ შევქმნათ ნებისმიერი სიმძლავრის წარმოება, რომელსაც ექნება სტრატეგიული მნიშვნელობა და დიდი სოციალურ-ეკონომიკური ეფექტის მომტანი იქნება ჩვენი ქვეყნისათვის.

#### ლიტერატურა

1. Дубров С.К. Стекло для лабораторных изделий и химической аппаратуры. -Москва: Наука, 1995, 105 с.
2. Лапсин Р.Р. Влияние добавок некоторых оксидов на свойства безборных безщелочных стекол и стекловолокон. -Москва: Наука, 1997, 200 с.
3. Патент США №4363878 СОЗ 13/00. Щелочно и термостойкое неорганическое волокно. т.1025, №2, 1988.
4. Бакурадзе К.Е., Бакурадзе Е.И. Патент №93813. Композиция для изготовления минерального волокна. Украина 10.03.2011.

*სამუშაო შესრულებულია შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის ფინანსური ხელშეწყობით (გრანტი FR-239-3-220-14). წინამდებარე პუბლიკაციაში გამოქვეყნებული ნებისმიერი აზრი ეკუთვნის ავტორებს და შესაძლოა არ ასახავდეს შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის შეხედულებებს.*

#### SUMMARY

##### PROPERTIES OF NEW TEXTILE FIBER “LONA”

Bakuradze E.I., Zivivadze B.L., Vadachkoria Z.A., Bakuradze K.E. and Abesadze N.M.

Akaki Tsereteli State University, Kutaisi

The paper describes the results of the study on the technological-working properties (temperature and hostile environment resistance, resistance to elasticity, acoustic and sound absorption capacity, stretching resistance) of novel textile fiber “LONA” produced by using industrial technological waste and corrective additive of our country’s metallurgical and chemical enterprises based on authorial technologies. By its properties, the fiber, which is a novelty, is far ahead of numerous fibers currently produced and used in the world.

**Keywords:** textile fiber, technological properties, novelty.

ჰკვიანი ინტერაქტიული მრავალფუნქციური ტექსტილი

ფაილოძე ნ.ო., ბუაძე ე.პ., ბოჭორიშვილი რ.ი., ფესტვენძე თ.კ., კიკვიძე ი.ო.

აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, ქუთაისი

ტრადიციული ტექსტილიც კი, რომ არაფერი ვთქვათ „ჭკვიან“ ტექსტილზე, არსით მრავალფუნქციურია. ბუნებრივი და ქიმიური ბოჭკოების მრავალფეროვნება, იძლევა საშუალებას მივიღოთ ახალი სხვადასხვა თვისების მქონე ტექსტილი.

მექანიკური ტექნოლოგიები (დართვა, გრეხა, საფეიქრო საქმე) ვარირების კიდევ ერთი სერიოზული შესაძლებლობაა რომლებიც ქიმიურ ტექნოლოგიასთან ერთად (საბოლოო გამოყვანა) აყალიბებს სამომხმარებლო თვისებების ფართო ნაკრებს. მათემატიკური შესაძლებლობებიდან გამომდინარე განუსაზღვრელი სახეობის ტექსტილის მიღება შეიძლება ტრადიციული ტექნოლოგიების გამოყენებითაც კი.

ტექსტილის მეზოსტრუქტურა (შუალედური მაკრო- და მიკროსტრუქტურას შორის) განისაზღვრება ბოჭკოების გარე ზედაპირით, პროფილით, ზემოლექულებური სტრუქტურით და მასზეა დამოკიდებული ტექსტილის ფიზიკურ-მექანიკური, სორბციული და ქიმიური თვისებები.

მიკრო- და ნანოსტრუქტურის ელემენტები განსაზღვრავენ ტექსტილის ფუნდამენტურ თვისებებს. სტრუქტურის ყველა დონე მხოლოდ ერთიანობაში გვაძლევს ტექსტილის ძირითად და სპეციფიკურ სახეს და მიაჩვენებს მას წინასწარ გამიზნული თვისებებს.

XX საუკუნის ბოლოდან ტექსტილისათვის ახალი თვისებების მისაჩვენებლად და ტრადიციული თვისებების გასაუმჯობესებლად დაიწყო მაღალტექნოლოგიების გამოყენება, რამაც მკვეთრად გააფართოვა ტექსტილის გამოყენების სფეროები, მათ შორის მედიცინაშიც.

„ჭკვიანი“ ტექსტილის, პრაქტიკული წარმატებები განაპირობა სხვადასხვა მიზეზებმა, რომელთა შორის უნდა გამოვყოთ სოციალური მიზეზები:

– ქრონიკულ ავადმყოფთა რიცხვის არსებითი ზრდა, რომლებიც გამუდმებულ მკურნალობასა და ზრუნვას საჭიროებენ;

– სერიოზული სასიკვდილო შედეგების მქონე დაავადებების მნიშვნელოვანი რიცხვი;

– სამედიცინო დახმარების გაიაფების აუცილებლობა ხარისხის დაქვეითების გარეშე ასევე რიგ რაიონებში და სამედიცინო პერსონალის დეფიციტი.

ამჟამად „ჭკვიანი“ სამედიცინო ტექსტილი გადის განვითარების დაწყებით „ბავშვურ“ ფაზას, მაგრამ უკვე დაიმკვიდრა მდგრადი ადგილი ჯანდაცვის მსოფლიო სისტემაში, დაავადებათა პროფილაქტიკაში, ცხოვრების ჯანსაღი წესის ორგანიზებაში. მეცნიერებისა და ტექნიკის ყველა თანამედროვე და მომავალი წარმატებები, უწინარეს ყოვლისა კი, მიკრო- და ნანოელექტრონიკის, NBIC-ტექნოლოგიები და რათქმა უნდა სოციალური ტექნოლოგიები (რომელიც სამეცნიერო-ტექნიკური პროგრესის მთავარი მიზანია) ეფექტურად იქნება აკუმულირებული სამედიცინო პრაქტიკების ამ გარეგან ნაწილში.

„ჭკვიანი“ ტექსტილი დაგვეხმარება წარმატებით გაუმკლავდეთ სხვადასხვა ეპიდემიებს, პანდემიებს, ის დიდი დახმარება იქნება კატასტროფების მედიცინისათვის.

დღეისათვის ერთ-ერთი აქტუალური და სოციალურად ღირებულია კვლევები რომლებიც ისახავენ მიზნად „ჭკვიანი“ ტექსტილის გამოყენებით როგორ მიეწოდოს სამკურნალო ნივთიერებები ორგანიზმს. ეს ინტერესი გამოწვეულია, უწინარეს ყოვლისა, სამედიცინო და ეკონომიკური სარგებლიანობით. რაც მდგომარეობს გამოყენებული წამლის გვერდითი ეფექტების მოხსნისა და სამკურნალო ნივთიერებების დო-

ზის შემცირების შესაძლებლობაში.

უკანასკნელ ხანებში ფარმაცევტული მრეწველობის განვითარებამ დასკვნის გაკეთების შესაძლებლობა მოგვცა, რომ ამჟამად ძირითადი საშუალებები მიმართულია არა ახალი სამკურნალო პრეპარატების შემუშავებისაკენ, არამედ მათი მიწოდების ახალი გზების ძიებისაკენ. ამაზე მუშაობენ მეცნიერების სხვადასხვა დარგის მკვლევარები: ექიმები, ფარმაცევტები, ქიმიკოსები, ბიოქიმიკოსები, ბიოფიზიკოსები და ქიმიკოს-ფეიქრები.

სწორედ, ტექსტილის ქიმია შეიძლება იყოს დაინტერესებული ტექსტილის ფუძეზე სამკურნალო მასალების დამუშავებით, რომლებშიც შეტანილია წამალი, აპლიკაციების ადგილობრივი გამოყენებისათვის, დაზიანებულ ადგილზე დასაფენად.

წინამდებარე სამუშაო წარმოადგენს ტექსტილის ქიმიის ჩვეულ ტექნოლოგიებზე დაყრდნობით ტექსტილის ფუძეზე სამკურნალო ნივთიერების ორგანიზმში მიზანმიმართული მიწოდების ახალი მასალების შექმნის მცდელობას. შესაძლებელი იქნება ამ მასალების გამოყენება სამედიცინო ხელსახოცების სახით. ამ შემთხვევაში საფეიქრო მასალებს დაეკისრებათ „დეპოს“ როლი, სადაც სამკურნალო ნივთიერება იმობილიზებული იქნება და საიდანაც იგი გადავა დაზიანების კერაში.

მიზანმიმართულად სამკურნალო საშუალების მიწოდება ორგანიზმისათვის არის მიწოდების ყველაზე რთული გზა, როგორც სამკურნალო მასალების შექმნის ტექნოლოგიის თვალთახედვით, ასევე საფეიქრო მასალიდან ან სხვა პოლიმერული ფუძიდან კანის გავლით დაზიანების კერისაკენ სამკურნალო საშუალების მასათა-გადაცემის პროცესის მართვის თვალსაზრისითაც. საფეიქრო მასალა შეიძლება განვიხილოთ როგორც „დეპო“, საიდანაც ხდება სამკურნალო ნივთიერების მასათა-გადაცემა ორგანიზმში, პათოლოგიური კერისაკენ ექიმების მოთხოვნების მიხედვით.

დღეს მეცნიერები დიდ ყურადღებას უთმობენ სამკურნალო ნივთიერების ტრანსდერმალური მიწოდების საკითხებს, ორგანიზმში კუჭ-ნაწლავის ტრაქტის გვერდის ავლით, ჯანმრთელ ქსოვილებსა და ორგანოებზე მოქმედი ნივთიერების ზემოქმედების თავიდან ასაცილებლად. ეს მნიშვნელოვანია, როცა მკურნალობისათვის გამოყენებული ორგანიზმში ინექციის სახით ან პირორალური გზით შეყვანილი სამკურნალო საშუალებები, შთაინთქმება და გროვდება არა მხოლოდ დაზიანებულ, არამედ ჯანმრთელ ქსოვილებში. ე.ი. დადებითი სამკურნალო ზემოქმედებით პათოლოგიურ კერაზე აღმოჩნდება უარყოფითი მოქმედება ჯანმრთელ ქსოვილებზე.

სწორედ საფეიქრო ქიმია შეიძლება წარმოადგენდეს ინტერესს „ჰკვიანი“ ტექსტილის შემუშავებაში. დღეისათვის შექმნილია საფეიქრო მასალები (ხელსახოცები, აპლიკაციები, ემპლასტროები) სამკურნალო ნივთიერების მიწოდებისათვის სხვადასხვა დაავადებების მკურნალობაში (ონკოლოგიაში, რევმატოლოგიაში, ქირურგიაში და სხვ.).

თუ შემუშავებული სამკურნალო შესახვევი მასალები ადრე შეიცავდნენ ცნობილ ფარმაცევტულ სუბსტანციას და ექიმები მათ სთავაზობდნენ კონკრეტული დაავადების სამკურნალოდ, ამ შემთხვევაში ჩვენს წინაშე დაისვა ამოცანა: ვიცით-რა დაავადების სპეციფიკა და მის მსვლელობაში მიმდინარე მოვლენები, შევიმუშაოთ მისი სამკურნალო ახალი მასალები - ანტიოქსიდანტური, იმუნომოდულატორული და ანტიმიკრობული თვისებების მქონე საფენები ექიმებთან ერთად კი - მისი გამოყენების მეთოდოლოგია.

ამრიგად, ჩვენი მიზანია დაავადების სამკურნალო საფენის დამზადება, რომელიც შედგება სამი კომპონენტისაგან: „ტექსტილი - ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერება - ფარმაცევტული სუბსტანცია“ და რომლის სწორი შერჩევა კონკრეტული შემთხვევისათვის - საბოლოო პროდუქტის (სამედიცინო საფენის) მაღალი ხარისხისა და ეფექტურობის საწინდარი გახდება.

**ლიტერატურა**

1. Г. Е. Кричевский. Нано-, био-, химические технологии и производство нового поколения волокон, текстиля и одежды. -М., Известия, 2011, 526 с.
2. Smart textile for medicine and healthcare. Ed.by L. Van Langerhove. Woodhead. Publ.Cambridge, 2007, 312 p.
3. ე. ბუაძე, ი. ხურციღავა, ნ. ფაილოძე, გ. შვანგირაძე. სამედიცინო საფენების წამლისმატარებელი. //ვესტნიკი, კიევის ტექნოლოგიების და დიზაინის ეროვნული უნივერსიტეტი, №3(65), 2012.

**SUMMARY**

**MULTIPURPOSESMART AND INTERACTIVE TEXTILE**

**Pailodze N.O., Buadze E.P., Bochorishvili R.I., Festvenidze T.K. and Kikvidze I.O.**

**Akaki Tsereteli State University, Kutaisi**

The article deals with the issues of creating the smart and interactive textiles. Fabrication of a smart textile with modified properties for medical purposes is discussed. The textile is to be used for production of medical tissues, dressings etc. for treatment of various diseases.

**Keywords:** smart and interactive textiles, medical tissues, modified properties, textiles chemistry.

## ПОИСК НОВЫХ ПУТЕЙ УСВОЕНИЯ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ПРЕПАРАТОВ

Паилодзе Н.О., Буадзе Е.П., Бочоришвили Р.И., Фественидзе Т.К., Киквидзе И.О.

Кутаисский государственный университет им. А. Церетели

Сегодня одним из перспективных и социально значимых направлений, которые занимают ученых, является доставка лекарственных препаратов (ЛП) в организм непосредственно к органам и тканям. Этот интерес вызван, прежде всего, медицинской и экономической выгодой, заключающейся в возможности снизить побочные эффекты от применяемых лекарств (в т.ч. токсичность и аллергизацию пациентов) и уменьшить дозы лекарственных препаратов. В последнее время развитие фармакологической промышленности позволяет сделать вывод, что на сегодняшний момент основные средства направляются не в разработку новых ЛП, а на поиск новых путей их доставки [1]. Сегодня над этими проблемами работают исследователи из многих областей науки: медики, фармацевты, химики, биохимики, биофизики и химики-текстильщики [2].

Именно текстильная химия может представлять интерес при разработке лечебных материалов на текстильной основе (аппликации), в которые введено лекарство, в случае применения аппликаций местно, при наложении на поврежденную поверхность.

В данной работе предпринята попытка расширить возможности текстильной химии за счет создания новых материалов на текстильной основе для направленной доставки ЛП в организм человека, которые можно использовать при лечении с помощью создания новых тканей. В этом случае текстильному материалу отводится роль «депо», в котором иммобилизован ЛП и из которого он поступает в очаг поражения.

Адресное (таргетное, когда речь идет, например, о химическом взаимодействии функциональных групп лекарства с элементами клетки, а также трансдермальное) и направленное подведение ЛП – наиболее сложный способ доставки, как с точки зрения технологии создания лечебных материалов, так и с точки зрения управления процессом массопереноса ЛП из текстильной или другой полимерной основы через кожу к очагу поражения. Текстильный материал можно рассматривать как «депо», из которого происходит массоперенос ЛП в организм [3], к патологическому очагу по требованиям (с точки зрения выбора лекарства, его концентрации, времени поступления в организм), задаваемым врачами.

Ученые уделяют много внимания вопросам трансдермальной доставки ЛП в организм минуя желудочно-кишечный тракт, избегая воздействия препарата на здоровые ткани и органы [4]. Это важно, когда используемые для лечения лекарственные препараты, вводимые инъекционно или перорально в организм, сорбируются и накапливаются не только в поврежденных, но и здоровых тканях [3].

Сегодня созданы текстильные материалы (салфетки, аппликации, пластыри) для доставки ЛП при лечении различных заболеваний (в онкологии, ревматологии, хирургии и т.д.) [4].

Безусловно, медицинский текстиль не может полностью заменить медикаментозное лечение, но в комплексе с различными терапевтическими методами становится частью комплексного лечения многих болезней, повышая результат лечения.

Лечение с помощью медицинского текстиля, усиленное медикаментозное воздействие за счет лекарств, направленно подводимых к очагу поражения, будет способствовать повышению эффективности лечения.

Осуществление указанных технологий лечения требует, в свою очередь, разработки специальных депо - материалов, в т.ч. на текстильной основе с ЛП, для их направленного подведения к очагу поражения. Разработка технологии получения таких материалов является актуальным вопросом.

Целью работы является создание технологии и на ее основе лечебных текстильных материалов. Для достижения указанной цели необходимо:

- проанализировать способы получения и свойства текстильных материалов, используемых в медицинской практике;

- рассмотреть существующие и предложить новые варианты подведения лекарственных препаратов (ЛП) к очагу поражения с помощью текстильных материалов (ТМ) и полимерных композиций для создания эффективно действующего лечебного материала;

- выбрать текстильный носитель, обеспечивающий доставку иммобилизованного в нем ЛП в нужной концентрации к патологическому очагу;

- проанализировать свойства созданной полимерной композиции и медицинского изделия, получаемого при нанесении композиции на ТМ, и оценить возможность и целесообразность использования ее в качестве носителя ЛП;

- выбрать критерии для оценки эффективности применения выбранных ТМ, полимерных композиций и ЛП;

- создать на основе выбранного текстильного носителя, разработанной композиции и предложенного способа ее нанесения на ТМ ассортимент лечебных материалов на текстильной основе;

- провести испытания создаваемых материалов (технические, клинические и т.д.).

На основании изучения санитарно-гигиенических и физико-механических свойств нетканых и трикотажных полотен, разрешенных для применения в медицинской практике, будут определены состав и вид материалов, которые целесообразно применять для создания лечебных изделий по технологии текстильной печати.

Будет проведено изучение реологических и печатно-технических характеристик природных полимеров, а также их влияние на скорость и полноту массопереноса введенных в них ЛП во внешнюю среду, что позволит научно обосновать выбор полимеров - загустителей для создания лечебных материалов получаемых по технологии текстильной печати.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Человек и лекарство : /тр. VII Рос. нац. конгресса, -Москва 10-14 апр., 2000, 744 с.
2. Кривонос, О.В. Меры по реализации национальной онкологической программы и постановления правительства Российской Федерации по совершенствованию онкологической помощи населению.
3. О. З. В. Кривонос, В. И. Чиссов, В. В. Старинский. Совершенствование медицинской помощи при онкологических заболеваниях, включая актуальные проблемы детской гематологии и онкологии. Национальная онкологическая программа: VII съезд онкологов России: /сб. материалов науч.- практ. конф. с междунар. участием. – М., 2009, Т.1, сс. 3-5.

#### SUMMARY

##### SEARCH FOR NEW WAYS OF ASSIMILATING MEDICINES

**Pailodze N.O., Buadze E.P., Bochorishvili R.I., Festvenidze T.K. and Kikvidze I.O.**

**Akaki Tsereteli State University, Kutaisi**

Based on sanitary-hygienic and physical-mechanical properties of non-woven fabrics and textiles allowed for application in medical practice, compositions and types of materials suitable for fabrication of medical products by textile printing technology are to be determined. To this end, it is necessary to carry out the studies on the rheological and printing-technical characteristics of polymers, as well as on the impact of polymers on the rate and completeness of mass transfer of introduced medical preparations. This will allow us to substantiate scientifically the choice of polymers-thickeners for fabrication of medical fabrics by textile printing technology.

**Keywords:** medical fabrics and textiles, medical preparation, polymer, thickener, textile printing.



მათემატიკოსთა და მექანიკოსთა ეროვნული სამეცნიერო და პედაგოგიური სკოლის თვალსაჩინო წარმომადგენელს, საქართველოს საინჟინრო აკადემიის ნამდვილ წევრს, პროფესორ ნოდარ მახვილაძეს დაბადებიდან 85-ე წელი შეუსრულდა. ბატონი ნოდარი მათემატიკოსთა და მექანიკოსთა იმ პლევადას ეკუთვნის, რომელმაც საყოველთაოდ ცნობილი მეცნიერის, აკადემიკოს ნიკო მუსხელიშვილის მოწაფის, პროფესორ ალექსი გორგიძის

ხელმძღვანელობით განვლო მათემატიკოსთა და მექანიკოსთა წრთობის უმკაცრესი სკოლა და სავსებით ობიექტურად მოიპოვა ნიჭიერი მექანიკოსის მაღალი ავტორიტეტი და საყოველთაო აღიარება.

პროფესორ ნოდარ მახვილაძის სახელთანაა დაკავშირებული საქართველოში „ტექნიკისა და ტექნიკურ მეცნიერებათა ისტორიის“, როგორც უაღრესად მნიშვნელოვანი მეცნიერული მიმართულების დაფუძნება. დაუღალავი შრომის შედეგად მან მათემატიკური მეცნიერების სხვადასხვა დარგში გამოყენებული მრავალი მათემატიკური ტერმინის წარმოშობისა და შინაარსის შესახებ არსებული ინფორმაცია მოიძია, თავი მოუყარა, დაამუშავა და მიაწოდა ფართო საზოგადოებას.

პროფესორი ნოდარ მახვილაძე იუნესკოს გადაწყვეტილებით მეცნიერების ისტორიის საქართველოს საზოგადოების მიერ დაჯილდოვდა საზოგადოების პრემიითა და მედლით – „მეცნიერებაში მიღწეული წარმატებებისათვის“.

*საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის რექტორი ა. ფრანგიშვილი  
საქართველოს საინჟინრო აკადემია  
Georgian Engineering News-ის რედაქცია*



მსოფლიოს აღიარებული ქართული მათემატიკური სკოლის თვალსაჩინო წარმომადგენელს, ფენომენალური ნიჭიერებით სახელგანთქმულ მამულიშვილსა და ერისკაცს, ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა დოქტორს, საქართველოს საინჟინრო აკადემიის საპატიო წევრს, პროფესორ ჯონდო შარიქაძეს დაბადებიდან 85-ე წელი შეუსრულდა.

ბატონი ჯონდოს მიერ განვლილი ცხოვრებისეული გზა, რომელიც ჰიდრო-აეროდინამიკის და მაგნიტური ჰიდროდინამიკის ურთულესი პრობლემების ჭეშმარიტი მკვლევარის მეცნიერული ავტორიტეტითაა დამშვენებული, ქვეყნისა და კაცობრიობისათვის გულმხურვალე სამსახურის ბრწყინვალე მაგალითია. მის სახელთანაა დაკავშირებული საქართველოში მაგნიტურ ჰიდროდინამიკაში მეცნიერული სკოლის დაფუძნება, იმ სკოლისა, რომლის საქმიანობის მასშტაბები დიდი ხანია გასცდა ჩვენი ქვეყნის ფარგლებს და საერთაშორისო მოღვაწეობის ნამდვილ არეალს წარმოადგენს.

*საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის რექტორი ა. ფრანგიშვილი  
საქართველოს საინჟინრო აკადემია  
Georgian Engineering News-ის რედაქცია*

**INDEX 74100**