

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის  
არჩილ ელიაშვილის სახელობის მართვის სისტემების ინსტიტუტი

# შრომათა კრებული

ARCHIL ELIASHVILI INSTITUTE OF CONTROL SYSTEMS  
OF THE GEORGIAN TECHNICAL UNIVERSITY  
**PROCEEDINGS**

ИНСТИТУТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ИМЕНИ АРЧИЛА ЭЛИАШВИЛИ  
ГРУЗИНСКОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА  
**СБОРНИК ТРУДОВ**

№26, 2022



თბილისი \* Tbilisi \* Тбилиси

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის  
არჩილ ელიაშვილის სახელობის მართვის სისტემების ინსტიტუტი

# შრომათა კრებული

ყოველწლიური რეცენზირებადი და რეფერირებადი სამეცნიერო ჟურნალი  
Annual peer-reviewed scientific journal  
Ежегодный рецензируемый научный журнал

**ARCHIL ELIASHVILI INSTITUTE OF CONTROL SYSTEMS  
OF THE GEORGIAN TECHNICAL UNIVERSITY**

*PROCEEDINGS*

**ИНСТИТУТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ИМЕНИ АРЧИЛА ЭЛИАШВИЛИ  
ГРУЗИНСКОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА**

**СБОРНИК ТРУДОВ**

ნომერი ეძღვნება სსიპ საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის  
დაარსებიდან 100 წლისთავს

The issue is dedicated to the 100<sup>th</sup> anniversary of the foundation of  
the Georgian Technical University

**№26, 2022**

თბილისი \* TBILISI \* ТБИЛИСИ

შრომათა კრებულში ძირითადად დაბეჭდილია ინსტიტუტის თანამშრომელთა მიერ 2022 წელს ჩატარებული სამეცნიერო კვლევების შედეგები და, ასევე, სტატიები სტუდენტთა მონაწილეობით.

შრომები ეხება ინსტიტუტის სამ მთავარ მიმართულებას: მართვის თეორიას, მართვის სისტემებსა და მოწყობილობებს, მათ შორის მართვის პროცესებს ენერგეტიკულ სისტემებში, და ინფორმატიკას.

---

The research results carried out mainly by the institute's scientists through 2022 as well as articles with the participation of students are printed in the proceedings.

The presented papers are related to three basic scientific topics: control theory, development of control systems and devices including control processes in energy systems, and informatics.

---

Настоящий сборник трудов в основном содержит результаты исследований, проведенных научными сотрудниками института в 2022 году и также статьи с участием студентов. Труды отражают три главных научных направления исследований института: теорию управления, разработку систем и устройств управления, в том числе управление в энергетических системах, и информатику.

მთავარი რედაქტორი

პროფ. ნ. ყავლაშვილი (სტუ არჩილ ელიაშვილის სახელობის მართვის სისტემების ინსტიტუტი)

სარედაქციო კოლეგია

სტუ არჩილ ელიაშვილის სახელობის მართვის სისტემების ინსტიტუტი:

თ. მაგრაქველიძე, ტ.მ.დ. (მთ. რედაქტორის მოადგილე)

ბ. შანშიაშვილი, პროფ., ტ.მ.დ. (მთ. რედაქტორის მოადგილე)

ლ. ლორთქიფანიძე, ტ.მ.კ. (მთ. რედაქტორის მოადგილე)

მ. გეგეჭკორი (პასუხისმგებელი მდივანი)

მ. მიქელაძე, აკად. დოქტორი

გ. ჩიკოძე, ფილოლ. მ.დ., ფიზ.მათ.მ.კ.

ა. ჩუტკერაშვილი, აკად. დოქტორი

ნ. მირიანაშვილი, ტ.მ.დ.

დ. ფურცხვანიძე, ტ.მ.კ.

ნ. ჯავაშვილი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი:

ა. ფრანგიშვილი, აკადემიკოსი

ზ. გასიტაშვილი, პროფესორი

ზ. წვერაიძე, პროფესორი

აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

ა. ბარდაველიძე, პროფესორი

იოჰანეს კეპლერის უნივერსიტეტი, ლინცი, ავსტრია

თ. კუცია, პრივატ-დოცენტი, დოქტორი

ინსტიტუტის მისამართი:

0186 თბილისი, ე. მინდელის ქ.#10

ტელ.: (+995 32) 319871

ელ.ფოსტა: [martsistem@gmail.com](mailto:martsistem@gmail.com)

ვებგვერდი: <http://gtu.ge/msi/>

# სარჩევი – Contents – Содержание

## მართვის თეორია – Control Theory – Теория Управления

Identification of one class of closed-loop nonlinear dynamic systems .....	9
B. Shanshiashvili, N. Kavlashvili	
О методах конвертации букмекерских коэффициентов в вероятности .....	18
В. Хуцишвили	
Plants Net Optimal Production Planning Algorithm.....	23
D. Sikharulidze, N.Dadiani	
განრიგთა თეორიის ერთი არადეტერმინირებული ამოცანის შესახებ.....	28
ქ. კუთხაშვილი	
Matlab-ის გარემოში ვექტორული ოპტიმიზაციის ინტერაქტიული მეთოდების შესახებ .....	34
ნ. კილასონია	
ლებეგის ზომის იმ ინვარიანტული გაგრძელებების შესახებ, რომლებიც აკმაყოფილებენ შპილრაინ-მარჩევსკის აქსიომას .....	37
ქ. ომიადე, ნ. დადიანი, დ. ცინცაძე	

## მართვის სისტემები და მოწყობილობები - Control Systems and Devices – Системы и устройства управления

თბომატარებლის პრანდტლის რიცხვის გავლენა თბოგადაცემაზე გლუვ და ხორკლიან ზედაპირებზე სითხის აფსკის ჩამოდინების დროს.....	43
თ. მაგრაქველიძე, გ. გიგინეიშვილი, ა. მიქაშაიძე, ტ. კობერიძე, ხ. ლომიძე	
ორგანზომილებიანი ხორკლიანობის ფარდობითი ბიჯის გავლენა სარევიან აპარატში სითხის არევისათვის საჭირო სიმძლავრეზე.....	49
თ. მაგრაქველიძე, გ. გიგინეიშვილი, ა. მიქაშაიძე, ტ. კობერიძე, ხ. ლომიძე	
საქართველოს ენერგორესურსების მაქსიმალურად ათვისების აუცილებლობისა და ელექტროსადგურების აშენებითა და ფუნქციონირებით გამოწვეული ეკოლოგიური პრობლემების შესახებ.....	55
თ. მაგრაქველიძე, ხ. ლომიძე, მ. ჯანიკაშვილი, ი. არჩვაძე	
ხორკლიან ზედაპირზე ჩამომდინარე სითხის აფსკში თბოგადაცემის ექსპერიმენტული მონაცემების განზოგადების საკითხისათვის.....	62
თ. მაგრაქველიძე, ხ. ლომიძე	
წვეთოვანი ავტომატური მორწყვის სისტემის მოდელის პროგრამული სქემა სარწყავი წყლის შეზღუდული რესურსის პირობებში .....	67
ნ. ყავლაშვილი, ლ. გვარამაძე, პ. სტავრიანიძე, გ. კვიციანი	
IoT ტექნოლოგიის გამოყენებით მიკროპროცესორული სისტემების დისტანციური მართვის გამოკვლევა.....	74
ო. ქართველიშვილი, ლ. გვარამაძე, ვ. ბახტაძე	
თერმობირთვული დანადგარის გაგრილების სისტემის გაანგარიშება .....	80
დ. ფურცხვანიძე, ა. ხარშილაძე	
ენერჯის განახლებადი წყაროების გამოყენების პერსპექტივები ელექტროენერჯის წარმოებაში.....	85
ნ. მირიანაშვილი, ნ. გელიშვილი, ქ. კვიციანი, ვ. ხათაშვილი	

## ინფორმატიკა – Informatics – Информатика

ზმნური მარკერები ქართულ-ინგლისური გრამატიკული ლექსიკონისათვის .....93 გ. ჩიკოიძე, ა. ჩუტკერაშვილი, ნ. ჯავაშვილი	
წინადადებების შაბლონები ავტომატურ დიალოგურ სისტემაში.....99 ლ. ლორთქიფანიძე	
ნათესაობითი ბრუნვის ცალკე მდგომი თანდებულების შესატყვისი აფიქსები ინგლისურ ენაში .....111 ლ. სამსონაძე	
The peculiarities of English passive verb translation .....117 N. Amirezashvili	
ქართული და ინგლისური ზედსართავი სახელების ფლექსიური და დერივაციული ფორმებისთვის საკლასიფიკაციო მახასიათებლების შეპირაპირება .....129 ნ. ამირეზაშვილი	
საძიებო ოპტიმიზაციის ალგორითმის შემუშავება და რეალიზაცია Angular Framework-ის საშუალებით .....136 ა. ბარდაველიძე, გ. კაპანაძე, ხ. ბარდაველიძე	
ჰიპერნაკადების პარალელური შესრულების დროის ანალიზი Open MP-ს პლატფორმის პარადიგმისათვის.....142 თ. ბახტაძე, ი. როდონაია	
Speech-to-Text მონაცემთა ბაზა 112-ში .....151 ნ. დარჩიაშვილი, ა. კობიაშვილი, მ. გეგეჭკორი	
ქართულენოვანი ტექსტების საწყისი დამუშავება.....160 მ. ხაჩიძე, მ. ცინცაძე, მ. არჩუაძე	
მანქანური სწავლება სამედიცინო დიაგნოსტიკაში, როგორც რთული ობიექტების კლასიფიკაციის ამოცანა.....166 დ. ხაჩიძე, პ. ქარჩავა	
სამედიცინო დიაგნოსტიკური მხარდამჭერი სისტემის შემუშავება იშვიათი დაავადებების დიაგნოსტიკის ამოცანის გადასაწყვეტად .....172 მ. მიქელაძე, ვ. რამიევსკი, ნ. ჯალიაბოვა, დ. რამიევსკი, ყ. ფაღავა	
ცოდნის წარმოდგენის მიზნულ-შედეგობრივი ქსელი სამედიცინო დიაგნოსტიკის ამოცანათა გადასაწყვეტად .....177 ვ. რამიევსკი, მ. მიქელაძე, ი. ოკონიანი, დ. რამიევსკი	
სამედიცინო დიაგნოსტიკის სისტემათა ევოლუცია და ცოდნაზე დაფუძნებული დიაგნოსტიკის ინტელექტუალური სისტემები.....182 ვ. რამიევსკი, მ. მიქელაძე, დ. რამიევსკი, ი. ოკონიანი	
ინსექტიციდური პრეპარატების ან სხვა ზემოქმედების საშუალებების ბიოლოგიური ეფექტურობის და სინერგიზმის კომპონენტების გამოთვლების მოდიფიცირებული ფორმულები და მათი გამოყენების მაგალითები.....190 ა. ჭირაქაძე, ნ. ლომიძე, ზ. ბუაჩიძე, ა. გიგინეიშვილი	
კომპიუტერული ამოცანის ამოხსნის ერთი ევრისტიული ალგორითმის შესახებ .....193 ნ. ანანიაშვილი	

სტატიები სტუდენტების მონაწილეობით - Статьи с участием студентов -

Articles with student participation

დინამიკური სისტემების მათემატიკური მოდელების აგების თავისებურებები სისტემების იდენტიფიკაციის მეთოდებით.....201  
ბ. შანშიაშვილი, ბ. ავაზნელი

ბლოკჩეინ ტექნოლოგიისა და 5G -IoT მოწყობილობების ინტეგრაცია.....211  
ქ. მძელური

ყნოსვის გამომხატველ ლექსემათა სემანტიკური ველის დახასიათება .....216  
მ. გორგილაძე

როგორ წვიმს ქართულ ენასა და დიალექტებში.....223  
მ. დოღბაია

ზედსართავ სახელთა კოლოკაციები ქართულში (დიდი; პატარა) .....230  
ზ. ოქროპირიძე

გრძნობის გამომხატველი სიტყვის „სიყვარული“ დახასიათება ლექსიკური ფუნქციების მიხედვით.....236  
ნ. ჯვარიძე

ხსოვნა - Memory - Память

ოთარ ლაბაძე.....243

მართვის თეორია

**CONTROL THEORY**

**ТЕОРИЯ УПРАВЛЕНИЯ**

---

## Identification of one class of closed-loop nonlinear dynamic systems

*Besarion Shanshiashvili, Nugzar Kavlashvili*

*besoshan@hotmail.com, nkavlash@gmail.com*

### Abstract

The Structure and parameter identification problems of the nonlinear systems with feedback of manufacturing processes on the set of continuous block-oriented models, elements of which are Hammerstein and Wiener models with unit feedback are considered. The method of the structure identification in the steady state based on the observation of the system's input and output variables at the input harmonic influences is proposed. The solution of the parameter identification problems, which can be immediately connected with the structure identification problem, is carried out by the method of least squares. The structural and parametric identification algorithms are investigated by means of both, the theoretical analysis and the computer modeling.

### Key words:

*nonlinear system, block-oriented model, identification, structure, parameter*

### 1. Introduction

Closed-loop nonlinear systems are widespread in manufacturing processes, in particular in mining and smelting, chemical, pulp-and-paper industry, ecologies, etc. One class of such systems is defined by the fact, that a part of the initial material remained unprocessed up to the required condition, when passing through to the working part of the object, returns to the entry of this object forming the basis of recirculation stream. Such closed-loop systems with positive feedback are characterized by the maximum raw material utilization and comparatively high efficiency [1]. In such complex nonlinear systems, the steady movement at their output is reached only at the certain values of the parameters of the system and under the change of the input influence within certain limits.

In order to determine the regularity of current processes and for their control in nonlinear systems, the block-oriented models are commonly used consisting of different modifications of the Hammerstein and Wiener models [2] or general models, in particular, the Volterra [3] and Wiener [4] series and the Kolmogorov-Gabor [5, 6] continuous and discrete polynomials.

The circumstance at the construction of models of such closed-loop systems of manufacturing processes is that there is a certain a priori information about the system, that should be taken into consideration. For example, for the mill of ore-dressing plant working with the closed cycle, proceeding from their functioning conditions, there is a certain information about the static characteristic of the system, which can be approximated by a polynomial function of the second degree. As to the system inertance, it is considered in the form of linear dynamic - in particular, aperiodic elements [7]. Therefore, we can use block-oriented models for modeling such nonlinear systems.

At the construction of the system's mathematical model by using the system identification methods it is necessary to solve different problems depending on the a priori information about the system [8]. The construction of the system's adequate model in many respects depends on successfully solving structure and parameter identification problems.

Usually, the model structure is determined based on a priori information or depending on the physical laws of the processes that take place in the system [8]. However, the structure of the model determined this way often has high dimension, and its application is not expedient for the solution of practical problems.

In the following years there were several papers [9-11] in which different aspects of estimation of structure of model by data of system input-output were considered. As for the problem of parameter identification problem, it can be usually solved based on the use of experimental data obtained through experiments conducted in the system.

Due to the functioning peculiarities of closed-loop nonlinear systems and mathematical difficulties at the solution of nonlinear differential equations, which describe processes in the systems, identification problems in such systems are much more complex than the same problems of open nonlinear systems.



In the given work the problems of structure and parameter identification of the closed-loop nonlinear systems at their representation by Hammerstein and Wiener models with unit feedback based on the observation of the system's input and output variables at the input harmonic influences are considered.

The problem of structure identification is coordinated with Zadeh's classical definition of identification, i.e., it is supposed, that classes of models and input signals are given; it is required to develop a criterion identifying the model structure from the class of models. Thus the a priori information is applied to the definition of a class of models, and a posteriori information – for definition of structure of model from this class.

The problem of parameter identification is connected directly to the problem of structural identification using the experimental data, received for solving the problem of structure identification. The offered method allows to determine the first part of parameters – static characteristics in the stationary state, and the second part of parameters – dynamic characteristics in the steady state in the frequency domain on the basis of the method of the least squares.

## 2. Classes of model and input signals

### 2.1. Class of models

Proceeding from the features of systems working with a closed cycle [12], it is conditionally possible to pick out the direct channel and the channel of a feedback. There is a transformation of initial material to the ready product with the direct channel, and there is a movement of a recycle in the system with the channel of a feedback. In practice usually the ready product is transferred to the following cycle of technological process and the initial material and the recycle are measured. The knowledge of mathematical model of the channel of a feedback enables constructions of model for the whole system.

Let's consider the set of the continuous block-oriented models with feedback for presentation of the feedback channel of nonlinear closed-loop systems

$$L = \{s_i | i = 1, 2\}, \tag{1}$$

where  $s_1$  - Hammerstein model with unit feedback,  $s_2$  - Wiener model with unit feedback (fig 3).

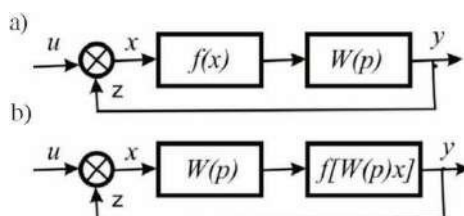


Fig. 3. The block-oriented models with feedback:  
 a) Hammerstein model with unit feedback,  
 b) Wiener model with unit feedback.

Hammerstein model with unit feedback is described by the equations:

$$y(t) = W(p)f[y(t) + u(t)]. \tag{2}$$

On the basis of the a priori information, it is supposed that the nonlinear static element, which is the part of block-oriented models with feedback, is described by the polynomial function of the second degree:

$$f(x) = c_1x + c_2x^2, \tag{3}$$

where  $c_1, c_2$  are constant coefficients and the free member  $c_0$  is absent, since there is no signal on the output of system with feedback at the zero input signal.

The transfer function of the linear dynamic element has the following form:

$$W(p) = \frac{1}{Tp+1}, \tag{4}$$

where  $T$  - time constant,  $p$  designates the differentiation operation:  $p \equiv d/dt$ .

If we consider expressions (3) and (4) in expression (2) after several transformations, we get that the Hammerstein model is described by equations:

$$\dot{x}(t) = -\frac{1-c}{T}x(t) + \frac{c_2}{T}x^2(t) + u(t) + \frac{1}{T}u(t), \quad (5)$$

$$y(t) = x(t) - u(t). \quad (6)$$

For Wiener model with unit feedback:

$$y(t) = W^{-1}(p)f^{-1}[y(t)] - u(t). \quad (7)$$

From (3), we get:

$$f^{-1}(x) = -\beta + \sqrt{\beta^2 + \frac{1}{c_2}x}, \quad (8)$$

where

$$\beta = \frac{c_1}{2c_2}. \quad (9)$$

If we consider (4) and (18) in (7), we get:

$$\dot{v}(t) = -\frac{1}{T}v(t) + \frac{c_2}{T}v^2(t) + \frac{1}{T}u(t) + \frac{1}{T}(\beta - c_2\beta^2), \quad (10)$$

$$y(t) = c_2v^2(t) - c_2\beta^2. \quad (11)$$

Equations (5) and (10) are the ordinary nonlinear differential equations of the first order - Riccati equations.

## 2.2. Class of Input signals

For solving the problem of parameter identification of nonlinear systems it is supposed that the input variable of the system  $u(t)$  is a harmonic function:

$$u(t) = A \sin \omega t. \quad (12)$$

## 3. Mathematical description of output forced oscillations

In order to solve structure and parameter problems it is necessary to solve differential equations (5) and (10) taking into account (12), and also to consider stability conditions of the steady motion at the output of the closed-loop nonlinear systems.

For the nonlinear systems with the closed cycle, it was obtained [7], that the implementation of the following conditions:

$$0 < c_1 < 1, 0 < c_2, \quad (13)$$

and

$$\bar{u} < \frac{1-c_1}{2c_2}, \quad (14)$$

where  $\bar{u}$  - a value of the input signal for some steady state, guarantees the system stability. Therefore, for the Hammerstein and Wiener models it is supposed, that the conditions (13) - (14) are valid.

According to the above mentioned, for the solution of Riccati equations, corresponding to the models, it is possible to use the method of a small parameter and to search for the solution of the equations in the form of the following series:

$$x(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \mu^n x_n(t), \quad (15)$$

where  $\mu$  is small parameter.

### 3.1. Hammerstein model with unit feedback

If considering (12) in equation (5), we get:

$$\dot{x}(t) = -\frac{1-c_1}{T}x(t) + \frac{c_2}{T}x^2(t) + \frac{1}{T}Asin\omega t + Acos\omega t, \quad (16)$$

It follows from conditions (13) and (14) that  $c_2$  is a small parameter and we can assume that:

$$\mu = c_2. \quad (17)$$

The smallness of  $c_2$  ensures rapid convergence of the solution (15). If in the expression (15) members of the second and higher orders small values are not taken into account, we can be limited to two members:

$$x(t) = x_0(t) + c_2x_1(t). \quad (18)$$

If we put (18) in equation (5) and equate coefficients of terms with the same degree of  $c_2$  on the right and left sides of the equation, we get:

$$\dot{x}_0(t) = -\frac{1-c_1}{T}x_0(t) + \frac{1}{T}Asin\omega t + Acos\omega t, \quad (19)$$

$$\dot{x}_1(t) = -\frac{1-c_1}{T}x_1(t) + \frac{c_2}{T}x_0^2(t). \quad (20)$$

Equations (19) and (20) are first-order linear ordinary differential equations. If we solve equation (19) with zero initial condition and consider the obtained solution in equations (20), then by solving it also at zero initial conditions and take into account (5), we get that the output variable of the model the steady state is represented as follows:

$$y(t) = \frac{A^2(1 + \omega^2T^2)}{2(1-c_1)[(1-c_1)^2 + \omega^2T^2]} - Asin\omega t + \frac{A(1 + \omega^2T^2)}{\sqrt{(1-c_1)^2 + \omega^2T^2}}sin(\omega t - \varphi_1) - \frac{c_2A^2}{2[(1-c_1)^2 + \omega^2T^2]\sqrt{(1-c_1)^2 + \omega^2T^2}}cos(2\omega t - \varphi_2). \quad (21)$$

where

$$\varphi_1 = arctg \frac{c_1\omega T}{1-c_1+\omega^2T^2} + arctg \frac{2\omega T}{1-c_1},$$

$$\varphi_2 = 2arctg \frac{c_1\omega T}{1-c_1+\omega^2T^2} + arctg \frac{2\omega T}{1-c_1}.$$

### 3.2. Wiener model with unit feedback

The forced oscillation at the output of the model is defined by the expression:

$$y(t) = \frac{c_2A^2}{2(1 + \omega^2T^2)} - \frac{c_2A^2}{2(1 + \omega^2T^2)}cos(2\omega t - \varphi_3), \quad (22)$$

where

$$\varphi_3 = arctg\omega T.$$

In expression (22) members of the second and higher orders small values are not taken into account.

## 4. Structure identification

The problem of structure identification of closed-loop nonlinear systems was considered earlier on the set of continuous block-oriented models with the feedback at system input periodic influences [13-15]).

In the given work the identification problems of the closed-loop nonlinear systems, for simultaneous estimation of the model structure and dynamic parameters, on the subset of continuous block-oriented models, elements of which are Hammerstein and Wiener models with unit feedback, at the system input harmonic influences are considered.

Analyzing the expressions of the forced oscillation at the output of the Hammerstein and Wiener models and considering that for real systems in overwhelming majority of cases  $T > 1$ , it is possible to determine a choice criterion of the model structure:

- Hammerstein Model with unit feedback - a constant component of the output periodic signal is decreased when the period of the input periodic signal increases;
- Wiener models with unit feedback - a constant component of the input periodic signal is increased when the period of the input periodic signal increases.

The algorithm of the structure identification of nonlinear systems with the closed cycle is as following:

- For the structure identification at the input of investigated system the harmonic influence with the different frequencies should be given and the output steady state functions should be written;
- To determine constant components of the output periodic oscillations using the numerical harmonic analysis;
- To determine model of investigated system from the set (1) using developed criterion of the structure identification.

### 5. Parameter identification

A considerable quantity of scientific works, in which this problem is solved based on different approaches and methods, are devoted to the problem of parameter identification of nonlinear systems.

At the representation of nonlinear systems by the block-oriented models, most of the methods of the parameter identification are developed for opened models [16-18]. In some works [13-14] offered method of parameter identification of nonlinear systems with feedback allows to define a part of parameters – static characteristics in the stationary state, and the second part of parameters – dynamic characteristics in a transitive mode. But when determining the dynamic characteristics, it is necessary to calculate the derivatives based on experimental data related to the acceptance of errors. It is necessary to notice that there are also other approaches [19-21] to identification of nonlinear systems by using feedback.

The majority of block-oriented models with the feedback are nonlinear concerning the parameters and the analytical solution of the parameter identification problem is possible for some low order models.

#### 5.1. Identification of static parameters

For the Hammerstein and Wiener models with unit feedback the connection between the input and output variables in the stationary state is determined by the equation:

$$(1 - c_1)x(t) - c_2x^2(t) = u(t), \quad (23)$$

where the connection between the variables  $x$  and  $y$  is defined by expression:

$$x = y + z. \quad (24)$$

Let's assume that  $u_i, y_i (i=1,2,\dots,n)$  which are the values of system's input and output variables  $u(t)$  and  $y(t)$  are known in the steady state at the moments  $t_i (i=1,2,\dots,n)$ , then according to (10) we get:

$$(1 - c_1)x_i - c_2x_i^2 = u_i (i = 1,2,\dots,n). \quad (25)$$

Static parameters estimates by the least squares method were previously obtained [13-14] using expressions (25):

$$c_1 = 1 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i^4\right)\left(\sum_{i=1}^n u_i x_i\right) + \left(\sum_{i=1}^n x_i^3\right)\left(\sum_{i=1}^n u_i x_i^2\right)}{\left(\sum_{i=1}^n x_i^2\right)\left(\sum_{i=1}^n x_i^4\right) - \left(\sum_{i=1}^n x_i^3\right)^2}, \quad (26)$$

$$c_2 = \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i^2\right)\left(\sum_{i=1}^n u_i x_i^2\right) + \left(\sum_{i=1}^n x_i^3\right)\left(\sum_{i=1}^n u_i x_i\right)}{\left(\sum_{i=1}^n x_i^2\right)\left(\sum_{i=1}^n x_i^4\right) - \left(\sum_{i=1}^n x_i^3\right)^2}. \quad (27)$$

## 5.2. Identification of dynamic parameter

The application of the Fourier approximation [22] for the output periodic signal of the Hammerstein model enables to obtain the estimates of the Fourier coefficients  $\hat{a}/2$ ,  $\hat{a}_k$ ,  $\hat{b}_k$ , ( $k=1,2$ ).

By equating estimate  $\hat{a}/2$  with its theoretical values, we'll get:

$$\frac{\hat{a}}{2} = \frac{A^2(1+\omega^2 T^2)}{2(1-c_1)[(1-c_1)^2 + \omega^2 T^2]}. \quad (28)$$

From (28) we get:

$$\hat{a}[(1-c_1)^3 + (1-c_1)\omega^2 T^2] = A^2 + \omega^2 A^2 T^2. \quad (29)$$

After transformation of expression (29) we get:

$$[A^2 - \hat{a}(1-c_1)]\omega^2 T^2 + A^2 - \hat{a}(1-c_1)^3 = 0. \quad (30)$$

Using the expression (30) at different frequencies  $\omega = \omega_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ), we obtain:

$$[A^2 - \hat{a}_i(1-c_1)]\omega_i^2 T_0 + \varepsilon_i = \hat{a}_i(1-c_1)^3 - A^2, \quad (31)$$

where  $\hat{a}_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) - values of the Fourier coefficient at the frequency  $\omega_i$ ,  $\varepsilon_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) - errors of measurements and approximations, and

$$T_0 = T^2. \quad (32)$$

Let's consider the features for  $T$  parameter estimation by the method of least squares using the expression (31).

The error squared sum is:

$$S = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^n \left\{ A^2 - \hat{a}_{0i}(1-\hat{c}_1)^3 + [A^2 - \hat{a}_{0i}(1-\hat{c}_1)]\omega_i^2 T_0 \right\}^2. \quad (33)$$

If we differentiate (33) by  $T_0$ , we'll obtain:

$$\frac{\partial S}{\partial T_0} = 2 \sum_{i=1}^n \left\{ A^2 - \hat{a}_{0i}(1-\hat{c}_1)^3 + [A^2 - \hat{a}_{0i}(1-\hat{c}_1)]\omega_i^2 T_0 \right\} [A^2 - \hat{a}_{0i}(1-\hat{c}_1)]\omega_i^2. \quad (34)$$

Equating (36) to zero, we'll obtain the following expression for estimating  $\hat{T}_0$ :

$$\sum_{i=1}^n [A^2 - \hat{a}_{0i}(1-\hat{c}_1)]^2 \omega_i^4 \hat{T}_0 = \sum_{i=1}^n [A^2 - \hat{a}_{0i}(1-\hat{c}_1)^3] [\hat{a}_{0i}(1-\hat{c}_1) - A^2] \omega_i^2. \quad (35)$$

If we take into account (32), from the expression (35) we get:

$$\hat{T} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [A^2 - \hat{a}_{0i}(1-\hat{c}_1)^3] [\hat{a}_{0i}(1-\hat{c}_1) - A^2] \omega_i^2}{\sum_{i=1}^n [A^2 - \hat{a}_{0i}(1-\hat{c}_1)^2] \omega_i^4}}. \quad (36)$$

The application of the Fourier approximation for the output periodic signal of the Wiener model enables to obtain the estimates of the Fourier coefficients  $\hat{a}/2$ :

$$\frac{\hat{a}_0}{2} = \frac{c_2 A^2}{2(1+\omega^2 T^2)}. \quad (37)$$

Determining the time constant by the least squares method, we get that the error squared sum for Wiener model is:

$$S = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^n \left( \hat{c}_2 A - \hat{a}_{0i} - \hat{a}_{0i} \omega_i^2 T_0 \right)^2, \quad (38)$$

where  $T_0$  is defined by (32).

If we differentiate (38) by  $T_0$  and equating the received results to zero, we'll obtain the expressions for estimating  $\hat{T}_0$  and from there we get:

$$\hat{T} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left( \hat{a}_{0i} c_2 A - \hat{a}_{0i}^2 \right) \omega_i^2}{\sum_{i=1}^n \hat{a}_{0i} \omega_i^4}}. \quad (39)$$

Estimates  $\hat{T}$  for Hammerstein and Wiener models can be also obtained by using expressions  $\hat{a}_k$ ,  $\hat{h}_k$ , ( $k = 1, 2$ ) and compare the estimates obtained using  $\hat{a}_k$ .

### 6. Accuracy of the received results

To use the algorithms of structure and parameter identification, designed in accordance with the developed identification methods in the manufacturing conditions under noise and disturbances, it is necessary to investigate identification method on accuracy.

The identification methods were investigated by theoretical analysis and computer modelling. The reliability of the received results, at the identification of the closed-loop nonlinear systems of industrial processes conditions in the presence of noise and errors, depends on the measurement accuracy of the systems' input and output signals and on the mathematical processing of the experimental data. When using various schemes of the numerical harmonic analysis, it is recommended to accept that the value of the output signal at the certain time moment is an estimation of the mathematical expectation of the value of the output function at the present time moment.

Besides, as it is known, that used method of the least squares for parameter estimation is noiseless.

The investigation of the algorithms of the parameter identification of nonlinear systems was carried out by means of the computer modelling by using MATLAB.

We used both, the tool of package Simulink-toolbox for the system modelling and tool Symbolic Math Toolbox for the solution of the equations. Computer modeling confirmed the correctness of the results obtained from the theoretical studies and the expediency of using them to solve practical problems.

### 7. Conclusions

The identification problems of closed-loop nonlinear systems get specific forms, proceeding from their functioning peculiarities. When carrying out the experiment in such systems it is necessary to consider the conditions of stability of each movement at the output, since such movements can become steady under certain values of the system static parameters. Besides, when obtaining the expressions of the output variables of the closed nonlinear systems analytically it is necessary to solve nonlinear differential equation that relates to the mathematical difficulties.

The method of structure identification of closed-loop nonlinear systems in the steady state on the subset of continuous block-oriented models with the feedback on the basis of active experiment under input sinusoidal influences is offered in the given work. Analytical expressions of forced oscillations obtained at the system output are used to solve both structure and parameter identification problems.

At parameter identification in the steady state under the determined input influences static parameters are estimated first, followed by dynamic parameters estimation based on the least squares method.

ერთი კლასის ჩაკეტილი არაწრფივი დინამიკური სისტემების იდენტიფიკაცია

ბესარიონ შანშიაშვილი, ნუგზარ ყავლაშვილი

რეზიუმე

განხილულია საწარმოო პროცესების უკუკავშირიანი არაწრფივი სისტემების სტრუქტურული და პარამეტრული იდენტიფიკაციის ამოცანები უწყვეტ ბლოკურად ორიენტირებული მოდელების სიმრავლეზე, რომელს ელემენტებია  $H_3$  ამერშტეინისა და ვინერის მოდელები ერთეულოვანი უკუკავშირით. შემოთავაზებულია სტრუქტურის იდენტიფიკაციის მეთოდი დამყარებულ მდგომარეობაში, რომელიც დაფუძნებულია სისტემის შემავალ და გამომავალ ცვლადებზე დაკვირვებაზე სისტემის შემავალი ჰარმონიული ზემოქმედებისას. პარამეტრის იდენტიფიკაციის ამოცანების გადაწყვეტა, რომელიც შეიძლება უშუალოდ იყოს დაკავშირებული სტრუქტურის იდენტიფიკაციის ამოცანასთან, ხორციელდება უმცირესი კვადრატების მეთოდით. სტრუქტურული და პარამეტრული იდენტიფიკაციის ალგორითმები გამოკვლეულია როგორც თეორიული ანალიზის, ასევე კომპიუტერული მოდელირების საშუალებით.

### **Идентификация одного кламсса замкнутых нелинейных динамических систем**

*Виссарион Шаншиашвили, Нугзар Кавлашвили*

#### **Резюме**

Рассматриваются задачи идентификации структуры и параметров нелинейных систем с обратной связью производственных процессов на множестве непрерывных блочно-ориентированных моделей, элементами которого являются модели Гаммерштейна и Винера с единичной обратной связью. Предложен метод структурной идентификации в установившемся режиме, основанный на наблюдении входных и выходных переменных системы при входных гармонических воздействиях. Решение задачи параметрической идентификации, которую можно непосредственно связать с задачей структурной идентификации, осуществляется методом наименьших квадратов. Исследованы алгоритмы структурной и параметрической идентификации с помощью как теоретического анализа, так и компьютерного моделирования.

#### **ლიტერატურა - References – Литература**

1. Nagiev M.F. Theoretical foundation of recirculation processes. Academy of Sciences of the USSR, Moscow, 1962. (in Russian).
2. Haber R., Keviczky L Identification of nonlinear dynamic systems. In: Preprints of the IV IFAC Symposium on Identification and System Parameter Estimation, part 1. Institute of Control Sciences, Moscow, 1976, pp. 62-112.
3. Volterra V. Theory of functionals and of integral and integro-differential equations. Dover Publ., New York, 1959.
4. Wiener N. Nonlinear problems in random theory. Wiley, New York, 1958.
5. Kolmogorov A. N. Interpolation and extrapolation of stationary random series. Bulletin of the Academy Sciences of USSR, Mathematical series. No. 5, 1941, pp. 3-14.
6. Gabor L, Wilby PL., Woodcook R. A universal nonlinear filter predictor and simulator which optimizes itself by a learning process. In: Proc. of the IE, part B, vol. 108, issue 40, 1961, pp.422-433.
7. Arefiev B.A. Inertial processes optimization. Mashinostroenie, Leningrad, 1969. (in Russian).
8. Eykhoff, P. System identification. Parameter and state estimation. John Wiley and Sons Ltd, London, 1974.
9. Haber R., Unbehauen H. Structure identification of nonlinear dynamic systems – a survey on input/output approaches. Automatica. 26(4), 1990, pp. 651-667.

10. Shanshiashvili B.G. Frequency method for identification of a model structure of nonlinear continuous-time systems. Preprints of the 9 th IFAC/IFORS Symposium on Identification and System Parameter Estimation, vol. 1, Budapest, 1991, pp. 640 – 643.
11. Giri F., Bai E-W. (Eds). Block-oriented nonlinear system identification. Springer, Berlin, 2010.
12. Shanshiashvili B. Features and models of operation of closed-loop nonlinear systems. Archil Eliashvili Institute of control systems of the Georgian Technical University. Proceedings, № 25. Tbilisi. 2021, pp. 9-15.
13. Salukvadze M., Shanshiashvili B. Identification of one class nonlinear Systems with Closed Cycle. Proceedigs of the 18th IFAC World Congress, Milan, 2011, pp. 5627-5632.
14. Salukvadze M., Shanshiashvili B. Identification of nonlinear Continuous Dynamic Systems with Closed Cycle. International Journal of Information Technology & Decision making, vol. 12, no. 2, 2013, pp. 179-199.
15. Prangishvili A., Shanshiashvili B., Tsveraidze Z. Identification of nonlinear dynamic systems with feedback of manufacturing processes. ScienceDirect. IFAC-PapersOnLine, vol. 49, issue 12, 2016, pp. 580-585.
16. Schoukens M., Tiels K. Identification of block-oriented nonlinear systems starting from linear approximations: A survey. Automatica, vol. 85, 2017, pp. 272-292.
17. Giordano G., Sjöberg J. Maximum Likelihood identification of Wiener-Hammerstein system with process noise. IFAC-PapersOnLine, vol. 51, issue 15, 2018, pp. 401-406.
18. Shanshiashvili B., Rigishvili T. Parameter Identification of Block-Oriented Nonlinear Systems in the Frequency Domain. ScienceDirect. IFAC PapersOnLine Volume 53, Issue 2, 2020, pp. 10695–10700.
19. Van Wingerden J.-W., Verhaegen M. Closed-loop subspace identification of Hammerstein-Wiener models. Proc. 48th IEEE Conference on Decision and Control, Sghaihai, 2009, pp. 3637-3642.
20. Han Y., de Callafon R.A. Output Error identification closed loop Hammersten systems, 48th IEEE Conference on Decision and Control and European Control Conference, Orlando, 2011, pp. 5774-5779.
21. Shakib M.F., Toth R., Pogromsky A.Y., Pavlov A., van de Wouw N. State-Space Kernelized Closed-Loop Identification of Nonlinear Systems. Preprints of the 21st IFAC World Congress (Virtual) Berlin, 2020, pp. 1148-1153.
22. Hamming R. W. Numerical methods for scientists and engineers. Dover Publications Inc., New York, 1987.



---

## О методах конвертации букмекерских коэффициентов в вероятности

Виктор Хуцишвили

Email: otariko@yahoo.com

### Резюме

Рассмотрена актуальная проблема трансформации букмекерских коэффициентов в вероятности. Описана история обнаружения различными исследователями трудностей и парадоксов, существовавших в этой области, а также усилий, предпринятых ими на пути создания надёжной и качественной теории перехода от коэффициентов к вероятностям и обратно. При этом некоторое внимание уделено и вопросу авторства созданных теорий. Отмечено и учтено влияние налогообложения на соответствующие формулы и схемы алгоритмов. Сделан обзор приложений теории – как уже разработанных, так и требующих своего развития.

*Ключевые слова: букмекерские коэффициенты, вероятности, odds, Khutsishvili's theory, the power method*

### 1. Введение

Проблема качественного моделирования зависимости между букмекерскими коэффициентами и вероятностями соответствующих событий представляет несомненный интерес для букмекеров и их клиентов. Образно говоря, о пари, заключаемых на спортивные события, можно говорить на двух языках – на языке вероятностей и на языке букмекерских коэффициентов. Неслучайно последние два слова переводятся на английский язык одним коротким словом “odds”, т.е. шансы. Правила заключения пари формулируются в терминах коэффициентов, но глубокий анализ шансов соперников не может обходиться без применения терминов и формул теории вероятностей. Таким образом, разработка надёжной технологии перевода с одного языка на другой является актуальной проблемой. В настоящей статье мы ограничимся проблемой перевода букмекерских коэффициентов на события в вероятности этих событий. Обратная процедура использует те же идеи, хотя и имеются нетривиальные нюансы. Мы сосредоточимся на прямом переводе.

### 2. Постановка задачи

Наша задача формулируется довольно просто: дан коэффициент  $k$ , выставленный букмекером на конкретный исход некоторого случайного события, требуется определить вероятность  $p$  этого исхода. Напомним простое правило расчётов между игроком, делающим ставку и букмекером, принимающим эту ставку. Если игрок угадал исход события, то букмекер возвращает ему сумму ставки, умноженную на  $k$ , если же прогноз игрока оказался неверным, то сумма ставки остаётся у букмекера. Очевидно, что  $k > 1$ , иначе игроку делать ставку не имеет смысла. Очевидно также, что произведение  $kp \leq 1$ , иначе букмекер будет в среднем проигрывать. Действительно, математическое ожидание выплаты букмекера на принятую единичную ставку равно  $pk + (1-p) \times 0$ , и оно не должно превышать сумму этой ставки. Величину  $e = kp$  естественно называть выдачей, соответственно букмекеру от единичной ставки в среднем остаётся сумма, равная  $(1 - e) \geq 0$ . Эту же сумму в среднем проигрывает игрок и возникает вопрос – почему же в таком случае он играет? Дело в том, что у него имеется своя, более высокая оценка вероятности исхода, на который он ставит, и эта оценка величины  $p$  такова, что произведение  $kp$  превышает единицу, т.е. математическое ожидание выигрыша игрока положительно, иначе говоря, выигрывает он, а не букмекер. Впрочем, большая часть игроков не утруждает себя расчётом вероятностей, а элементарно надеется на удачу.

Нам понадобится понятие так называемого честного коэффициента. Это такой коэффициент, при котором математическое ожидание выигрыша букмекера равно нулю. Очевидно, что он равен  $1/p$ . Например, честные коэффициенты на выпадение орла при подбрасывании правильной монеты, шестёрки на симметричном игральном кубике и красного

цвета в рулетке равны, соответственно, 2, 6 и 37/18. В отличие от указанных примеров, значения честных коэффициентов на исходы букмекерских событий известны лишь приблизительно, по той причине, что приближительными являются оценки соответствующих вероятностей. Ввиду прямого влияния точности оценки вероятностей на прибыль букмекеров, последние уделяют этим оценкам очень большое внимание.

После того, как букмекер оценил вероятность, а, следовательно, и честный коэффициент, он выставляет свой коэффициент, меньший честного, т.е. удовлетворяющий условию  $e < 1$ . Например, если теннисист встречается с равным по силе противником, то на его победу выставляется коэффициент, равный  $1.9 < 1/0.5 = 2$ , или около этого. Целью букмекера является получение максимальной прибыли от продажи клиентам надежды на выигрыш, управляющим параметром же является выдача  $e$ . Мы будем предполагать, что букмекер выбирает оптимальное значение этого параметра, т.е. его прибыль должна падать как при увеличении выдачи, так и при её уменьшении. Это предположение основано на чрезвычайно развитой интуиции и максимальной информированности опытного букмекера. В приведённом примере выдача  $e = 1.9 \times 0.5 = 0.95$ , но в нём шансы противников известны. В общем случае из  $k = 1.9$  равенство  $p = 0.5$  не вытекает, т.к. уровень выдачи нам неизвестен – он не обязан быть равным 0.95. Более выпукло проблема видна в случае  $k = 1.5$  для тенниса или же  $k = 1.9$ , но для трёхрезультатного футбольного матча.

В уравнении  $e = kp$  относительно вероятности  $p$  выдача  $e$  является неизвестным параметром и нам ничего не остаётся, как оценивать не только  $p$ , но и  $e$ . Для её решения мы используем дополнительную информацию о коэффициентах на альтернативные исходы события – в теннисе это коэффициент на победу соперника, а в футболе – это коэффициенты на ничью и на поражение избранной нами команды. Мы ограничимся постановкой задачи для трёхрезультатного события – распространение её решения на события с двумя, четырьмя и более взаимоисключающими исходами, составляющими полный комплект, затруднений не представляет.

Итак, исходными данными в нашей задаче является тройка коэффициентов  $k_1$ ,  $k_x$  и  $k_2$ , соответственно на победу, ничью и поражение команды с номером 1 в матче 1 vs 2. На выходе требуется определить соответствующие вероятности  $p_1$ ,  $p_x$  и  $p_2$ , а также выдачи  $e_1$ ,  $e_x$  и  $e_2$ .

### 3. Классическая теория

Трудность поставленной задачи заключается в том, что для определения шести неизвестных мы имеем лишь четыре уравнения – это  $e_i = kp_i$ ,  $i = 1, x, 2$  и  $p_1 + p_x + p_2 = 1$ . Поэтому приходится делать некоторые предположения о поведении неизвестных величин. Классический подход безапелляционно подразумевает выполнение равенств  $e_1 = e_x = e_2 = E = \text{const}$ . В таком случае получаем  $p_i = E/k_i$ , где  $E = 1/(1/k_1 + 1/k_x + 1/k_2)$ . Классическое решение есть первое, что приходит в голову, поэтому оно не имеет конкретного автора. Более того, долгое время даже мысль о каком-либо отличии выдач друг от друга и от  $E$  была неприемлемой и  $E$  по определению считалось выдачей на заданную тройку коэффициентов. Мы не будем перечислять недостатки классической теории, которую мы назвали  $E$ -моделью. Они указаны в работах [1-10]. Всё же следует отметить, что величина  $E$  в определённом смысле является средним значением тройки  $(e_1, e_x, e_2)$  и при написании коэффициентов она служит хорошим ориентиром для букмекера.

### 4. Авторская модель

С 2001 года автор практически занимался букмекерским бизнесом, а к 2008 году им была разработана новая теория перехода коэффициенты-вероятности, избавленная от недостатков классической теории. В переписке [10] он поделился своей теорией с авторами работы [11]. В этой работе букмекеры рассматривались в качестве экспертов по прогнозу исходов спортивных матчей и качество их экспертизы оценивались на основе огромной статистической базы данных. При этом использовались вероятности исходов, полученные по формулам классической теории. Авторы сразу же оценили теоретические преимущества предложенной модели, отказались от классики и все свои расчёты произвели заново, но уже по новым формулам. Результат, опубликованный в [3], показал что показатели всех, без исключения, экспертов улучшились и, таким образом, реальная статистика также подтвердила явное преимущество авторской модели по сравнению с классической. Заинтересованные специалисты познакомились с новой моделью в приложении В той же работы [3] под названием Khutsishvili's theory. Опуская важную мотивационную часть нашей теории, изложенную кратко в [3] и подробно в малодоступных научному сообществу работах автора [1,2], изложим основную идею нашего метода. Она заключается в естественном предположении, что выдача  $e$  зависит от вероятности  $p$  по степенному

закону:  $e(p) = p^{\log(1/H)}$ , где логарифм берётся по основанию 2, а значение  $H$  находится численно из нелинейного уравнения  $\sum_i k_i \cdot 1^{\log(1/2H)} = 1$ , где  $i = 1, x, 2$ . Параметр  $H$  однозначно характеризует искомую степенную функцию через её значение в точке  $p = 1/2$ :  $H = e(1/2)$ .

Необходимо также отметить, что вместе с изложением в [3] нашей теории прекратил своё существование так называемый парадокс favorite-longshot bias [12], имеющий историю с 1949 года [13]. Он заключался в том, что коэффициенты на явных фаворитов завышались, а на явных аутсайдеров, наоборот – занижались. Наша работа показала, что на самом деле никаких завышений и занижений нет – букмекеры действуют оптимальным образом, то есть парадокса не существует. Это был парадокс в рамках классической теории. Резонансная работа [3] имеет свыше 70 цитирований и определённая их часть связана со ссылкой на нашу теорию. Но лишь несколько авторов не поленились указать имя и фамилию автора теории – это сделано в работах [4,14-17]. Среди них необходимо отметить работу австралийских учёных [4], в которой они сделали обзор попыток улучшения классической теории. Это – аддитивный метод [5], мультипликативный метод [4] и метод Шина [6,7], которые авторы заслуженно раскритиковали и предложили свой метод, совпадающий с нашим: “Clarke [8] gives details of this method, used in a commercial application described in [9]. It was also described in Vovk and Zhdanov [3] and attributed to Victor Khutsishvili.” [8] и [9] из приведённой цитаты – это работы Кларка 2016 года и 2007 года, а [3] – это работа Вовка и Жданова 2009 года. По всей видимости, Кларк и автор настоящей статьи разработали одну и ту же теорию независимо друг от друга. Её названия разнятся: наше – это  $H$ -модель [1], Вовка и Жданова – это Khutsishvili’s theory [3], а Кларка – это The Power Method [4]. Статья Кларка с соавторами 2017 года набрала 11 цитирований, статьи же автора [1,2], видимо, труднотупны – тот же Кларк цитирует не их, а [3].

## 5. Налогообложение букмекеров и обобщение теории

Букмекерский бизнес в ряде стран запрещён по причине его “тлетворного” влияния на безвольных граждан, тратящих неадекватные по сравнению со своими доходами суммы на борьбу с законами теории вероятностей и математической статистики. Там же, где он разрешён, пресс налогов на букмекеров и их клиентов постоянно возрастает и неадекватные азартные игроки банкротятся ещё быстрее. Очередным ударом для них было введение налога на оборот букмекеров, что делает нашу теорию неэффективной при вероятностях исходов событий, близких к единице. Действительно, упомянутый вид налога устанавливает для выдачи естественный потолок, меньший единицы, а степенная функция при значениях, близких к единице, этот потолок пробивает. Кроме этого, в условиях налога с оборота у букмекеров имеется возможность легально скрыть свой оборот за счёт стимулирования экспрессов – ставок на несколько независимых исходов. Коэффициент на экспресс может быть равным 500 и выше, но это достигается за счёт сильно уменьшённых значений  $e(p)$  при малых вероятностях, и у букмекеров появляется резерв для объявления бонусов на экспрессы. Итак, пресс налога давит на степенную функцию  $H$ -модели двояким образом: при больших  $p$  – в сторону уменьшения её значений, а при малых  $p$  – в сторону увеличения.

Учитывая вышесказанное, в [2] рамки нашей модели были раздвинуты с помощью следующей модификации функции выдачи:  $e(p) = a + (b-a) \times p^{\log((b-a)/(H-a))}$ . При естественных ограничениях на параметры  $H$ ,  $a$  и  $b$  (одно из них  $0 \leq a < H < b \leq 1$ ) эта функция возрастает по  $p$  и  $e(0) = a$ ,  $e(1/2) = H$ ,  $e(1) = b$ . При отсутствии налога с оборота  $b = 1$ . Реально значение  $a$  должно принадлежать интервалу  $[0, 0.4]$ , значение  $b$  – интервалу  $[0.9, 1]$ , а значение  $H$  – интервалу  $[0.75, 0.99]$ . Параметры  $a$  и  $b$  можно сделать зависящими от  $H$ . С технической стороны для нахождения тройки вероятности и  $H$  по тройке коэффициентов следует уже решать систему из трёх нелинейных и одного линейного уравнения относительно вероятностей и  $H$ , что не является проблемой [2].

## 6. Приложения

Схема применения изложенной теории прозрачна [2]: вначале конвертация данных коэффициентов на основные исходы событий в их вероятности, затем по известным строгим математическим формулам вычисление вероятностей на сопутствующие исходы и, наконец, обратный переход к коэффициентам на эти исходы.

Самое элементарное приложение – это расчёт коэффициентов на двойные и безничейные исходы [2]. Если, к примеру, это  $1x$ , то вначале нужно перейти от коэффициентов на победу 1 и ничью  $x$  к вероятностям  $p_1$  и  $p_x$ , затем вычислить вероятность исхода  $1x$  по простейшей формуле

$p_{1x} = p_1 + p_x$  и, наконец, перейти от  $p_{1x}$  к  $k_{1x}$ . Легко показать, что двойной коэффициент  $1x$ , найденный по данной схеме, оптимален, в отличие от заниженной классической величины  $k_{1x} = k_1 \times k_x / (k_1 + k_x)$ .

Второе приложение – это расчёт коэффициентов на экспрессы. Здесь в среднем звене схемы используется формула вероятности произведения независимых событий. Важным является правильный выбор букмекером параметра  $a$ .

Третье приложение – это расчёт коэффициентов на исходы инновационных виртуальных матчей [18]. В среднем звене вероятность, например, виртуальной ничьи есть сумма произведений вероятностей на победы, ничьи и поражения виртуальных соперников в собственных реальных матчах.

Четвёртое приложение – самое сложное по причине трудоёмких вычислений в среднем звене схемы, которые нужно производить в реальном масштабе времени. Оно же является и самым ценным среди рассмотренных, это – расчёт коэффициентов теннисного матча *in play* [19-20].

Отдельное направление, применяющее нашу теорию, – это алгоритмы прогнозов, использующие экспертов и проходящие апробацию на информации о достижениях букмекеров. Оно разработано в работах [3,14,16,17].

## 7. Заключение

Практическую полезность идей, изложенных в настоящей статье, удостоверяет факт их применения по крайней мере тремя грузинскими и двумя австралийскими [4] букмекерскими конторами.

ბუკმეკერული კოეფიციენტების ალბათობებში კონვერტაციის მეთოდების შესახებ

ვიქტორ ხუციშვილი

რეზიუმე

განხილულია ბუკმეკერული კოეფიციენტების ალბათობებში კონვერტაციის აქტუალური პრობლემა. აღწერილია სხვადასხვა მკვლევარის მიერ ამ დარგში არსებული სიმწელებებისა და პარადოქსების აღმოჩენის, აგრეთვე კოეფიციენტებიდან ალბათობებზე გადასვლა-გადმოსვლის საიმედო და ხარისხიანი თეორიის შექმნის გზაზე გაღებული ძალისხმევების ისტორია. ამასთანავე გარკვეული ყურადღება მიემდგნა შექმნილი თეორიების ავტორობის საკითხსაც. აღნიშნულია და გათვალისწინებული დაბეგვრის ზეგავლენა შესაბამის ფორმულებსა და ალგორითმების სქემებზე. მიმოხილულია თეორიის აპლიკაციები – როგორც უკვე შემუშავებული, ასევე ისეთები, რომლებიც თავის განვითარებას მოითხოვს.

## About methods for converting betting odds into probabilities

*Victor Khutsishvili*

### Summary

The actual problem of the transformation of betting odds into probabilities is considered. The history of the discovery by various researchers of the difficulties and paradoxes that existed in this area, as well as the efforts made by them towards the creation of a reliable and high-quality theory of the transition from coefficients to probabilities and vice versa, is described. At the same time, some attention is paid to the issue of authorship of the created theories. The influence of taxation on the corresponding formulas and schemes of algorithms is noted and taken into account. A review of the applications of the theory, both already developed and requiring further development, is made.

ლიტერატურა – References – Литература

1. Хуцишвили В. Фундаментальное свойство оптимальных букмекерских коэффициентов. Сборник трудов Института Систем Управления Арчила Элиашвили Грузинского Технического Университета. Тбилиси, 2014, № 18, стр. 136-141.
2. Хуцишвили В. Связь между вероятностями событий и коэффициентами букмекеров. Сборник трудов Института Систем Управления Арчила Элиашвили Грузинского Технического Университета. Тбилиси, 2014, № 18, стр. 142-146.
3. Vovk V., Zhdanov F. Prediction with expert advice for the Brier game. *Journal of Machine Learning Research*. London, 2009, vol. 10, pp. 2413-2440.
4. Clarke S., Kovalchik S., Ingram M. Bookmaker's Odds to Allow for Overround. *American Journal of Sports Science*. 2017, 5(6), pp. 45-49. (doi: 10.11648/j.ajss.20170506.12)
5. Viney M., Bedford A., Kondo E. Incorporating overround into in-play Markov Chain models in tennis. 15th International Conference on Gambling & Risk-Taking, Las Vegas, USA, 2013.
6. Shin H. Prices of State Contingent Claims with Insider traders, and the Favorite-Longshot Bias. *The Economic Journal*, 1992, 102, pp. 426-435.
7. Shin H. Measuring the Incidence of Insider Trading in a Market for State-Contingent Claims. *The Economic Journal*, 1993, 103, pp. 1141-1153.
8. Clarke S. Adjusting true odds to allow for vigorish. *Proceedings of the 13th Australasian Conference on Mathematics and Computers in Sport*. Melbourne, 2016, pp. 111-115.
9. Clarke S. Successful applications of statistical modeling to betting markets. In *IMA Sport 2007: First International conference on Mathematics in Sport*. The Institute of Mathematics and its Applications. Salford, United Kingdom, 2007, pp. 35-43.
10. Victor Khutsishvili – Vladimir Vovk. Personal communication. E-mail exchanges (from 27 November 2008), 2009.
11. Vovk V., Zhdanov F. Prediction with expert advice for the Brier game. *Proceedings of the Twenty Fifth International Conference on Machine Learning*. New York, 2008, pp. 1104-1111.
12. Cain M., Law D., Peel D. The favorite-longshot bias, bookmaker margins and insider trading in a variety of betting markets. *Bulletin of Economic Research*, 2003, 55, pp. 263-273.
13. Griffith R. Odds adjustments by American horse-race bettors. *American Journal of Psychology*, 1949, 62, pp. 290-294.
14. Zhdanov F. *Theory and Applications of Competitive Prediction*. Computer Learning Research Centre and Department of Computer Science, Royal Holloway University. London, United Kingdom, 2011, 225 pages.
15. Flowerdew T. *Methods for the Identification and Optimal Exploitation of Profitable Betting Scenarios*. Lancaster University. UK, 2015, 210 pages.
16. Adamskiy D., Bellotti A., Dzhamtyrova R., Kalnishkan Y. Aggregating Algorithm for prediction of packs. *Machine Learning*, London, 2019, 108, pp. 1231-1260.
17. Dzhamtyrova R. *Competitive online algorithms for probabilistic prediction*. Royal Holloway University. London, United Kingdom, 2020, 150 pages.
18. Хуцишвили В., Котолашвили Г. Инновационный рынок виртуальных спортивных поединков и технология мгновенной оценки шансов виртуальных соперников. Труды Грузинский Технический Университет. Автоматизированные системы управления. Тбилиси, 2018, № 2 (26), стр. 256-260.
19. Хуцишвили В. Моделирование букмекерских коэффициентов в процессе теннисного матча. Сб. трудов Международной научной конференции “Информационные и компьютерные технологии, моделирование, управление”, посвящённой 85-летию со дня рождения академика И.В.Прангишвили. Тбилиси, 2015, стр. 477-480.
20. Khutsishvili V. Modeling of In-Play Tennis Odds. *GESJ: Computer Science and Telecommunications*. 2018, №2 (54) pp. 105-110. (<http://gesj.internet-academy.org.ge/download.php?id=3116.pdf>)

---

## Plants Net Optimal Production Planning Algorithm

Dali Sikharulidze, Nugzar Dadiani

dali\_sx@yahoo.com

### Abstract

Research objective is design of the algorithm, taking into account the constraints on raw materials quantity, time and maximal productivity of the plants when optimizing the work of the company, managing the net of different productive capacity plants processing perishable raw materials. In the article for this problem of multicriteria optimization there are considered 4 criteria of optimality: maximal revenue, minimal expenditure of raw materials, economic efficiency and time. In the algorithm Pareto method of reducing multicriteria problem to single criterion problem is used. For selection of weight coefficients the method considered in [3] is suggested. By this method the compromise solutions maximal deviation from optimal values of local criteria is minimized. This method permits to get objective values of weight coefficients without participation of experts.

*Key words:*

*Pareto method; minimization of maximum deviation.*

Optimal production planning, considering such important criteria, as maximal revenue, minimal expenditure of raw materials, economic efficiency and time, is of great importance for company, controlling the net of perishable raw materials processing plants, in order to use efficiently manufacturing resources and facilities and to get maximal profit.

We introduce the following variables: suppose, that the plant produces  $n$  kinds of products with the quantities  $x_1, x_2, \dots, x_n$ ;

$\Omega_j$  -  $j$ -th raw materials reserve,  $j=1,2,\dots,m$ ;

$\omega_{ij}$  -  $j$ -th raw materials outflow capacity for  $i$ -th product manufacture;

$B_i^L, B_i^U$  - correspondingly lower and upper bounds for  $i$ -th product output quantity,  $i = 1, 2, \dots, n$ ;

$T_s^L, T_s^U$  - correspondingly lower and upper bounds for  $s$ -th plant period of duty,  $s = 1, 2, \dots, k$ ;

$\alpha_{si}$  -  $i$ -th product quantity discharged by  $s$ -th plant in the time unit,  $s = 1, 2, \dots, k$ ;

$t_{si}$  - time, spent by  $s$ -th plant for  $i$ -th product manufacture;

$b_{si}$  -  $s$ -th plant cash disbursement for  $i$ -th product manufacture;

$c_i$  -  $i$ -th product unit price;

$C$  - fixed cost;  $T$  - running time of the plants net;

We have the following relations:

$$x_i = \sum_{s=1}^k \alpha_{si} t_{si};$$

$$B_i^L \leq \sum_{s=1}^k \alpha_{si} t_{si} \leq B_i^U;$$

$$\sum_{i=1}^n \omega_{ij} \sum_{s=1}^k \alpha_{si} t_{si} \leq \Omega_j, j = 1, 2, \dots, m;$$

$$T_s^L \leq \sum_{i=1}^n t_{si} \leq T_s^U, s = 1, 2, \dots, k; \sum_{k=1}^s \sum_{i=1}^n t_{si} \leq T$$

All variables, mentioned above are nonnegative. The criteria are:

Revenue:

$$\Phi_1 = \sum_{i=1}^n c_i \sum_{s=1}^k \alpha_{si} t_{si} ;$$

Raw materials minimal consumption(maximal residue):

$$\Phi_2 = \sum_{j=1}^m (\Omega_j - \sum_{i=1}^n \omega_{ij} \sum_{s=1}^k \alpha_{si} t_{si});$$

Economic efficiency:

$$\Phi_3 = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{s=1}^k (c_i - b_{si}) t_{si} \alpha_{si} - C}{\sum_{i=1}^n \sum_{s=1}^k b_{si} t_{si} \alpha_{si} + C} ;$$

Time:

$$\Phi_4 = \sum_{k=1}^s \sum_{i=1}^n t_{si},$$

The third functional is a homographic function, that by well-known [1] transformation reduces to the linear one. Let

$$\rho = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \sum_{s=1}^k b_{si} t_{si} \alpha_{si} + C}$$

and

$$t_{si} \rho = y_{si},$$

The problem in new denotations has the form (the fourth functional is the quantity, opposite the time in order to have the maximization of all criteria):

$$F_1 = \sum_{i=1}^n \sum_{s=1}^k c_i \alpha_{si} y_{si} \rightarrow \max \quad (1)$$

$$F_2 = \sum_{j=1}^m (\Omega_j \rho - \sum_{i=1}^n \sum_{s=1}^k \omega_{ij} \alpha_{sj} y_{sj}) \rightarrow \max \quad (2)$$

$$F_3 = \sum_{i=1}^n \sum_{s=1}^k (c_i - b_{si}) y_{si} \alpha_{si} - C \rho \rightarrow \max \quad (3)$$

$$F_4 = - \sum_{k=1}^s \sum_{i=1}^n y_{si} \rightarrow \max \quad (4)$$

In new denotations the constraints will have the following form:

$$\begin{aligned} \sum_{s=1}^k \alpha_{si} y_{si} - B_i^L \rho &\geq 0; \\ B_i^U \rho - \sum_{s=1}^k \alpha_{si} y_{si} &\geq 0; \\ \Omega_j \rho - \sum_{i=1}^n \sum_{s=1}^k \alpha_{sj} \omega_{ij} y_{si} &\geq 0, j = 1, 2, \dots, m; \\ \sum_{k=1}^s \sum_{i=1}^n y_{si} - T \rho &\leq 0, y_{si} \geq 0, \rho \geq 0; s = 1, 2, \dots, k, i = 1, 2, \dots, n; \\ \sum_{i=1}^n y_{si} - T_s^L \rho &\geq 0; s = 1, 2, \dots, k; \\ T_s^U \rho - \sum_{i=1}^n y_{si} &\geq 0, s = 1, 2, \dots, k; \\ \sum_{k=1}^s \sum_{i=1}^n y_{si} b_{si} + C \rho &= 1; \end{aligned} \quad (5)$$

For solving multicriteria{(1),(2),(3),(4)}-(5) problem we use Pareto's method [2], by which for every functional  $F_l, l = 1, \dots, 4$  in given constraints (5) we solve linear programming problems (1)-(5), (2)-(5), (3)-(5), (4)-(5) and get correspondingly

$F_1^*(F_1^2, F_1^3, F_1^4)$  are the compromise values of remaining functional, corresponding to  $F_1^*$ ,  $F_2^*(F_2^1, F_2^3, F_2^4)$ -the values, corresponding to  $F_2^*$ ,  $F_3^*(F_3^1, F_3^2, F_3^4)$ - the values, corresponding to  $F_3^*$ ,  $F_4^*(F_4^1, F_4^2, F_4^3)$ -the values, corresponding to  $F_4^*$ . After that, the following problem with one criterion is set in the form:

$$F = \sum_{l=1}^4 \frac{\alpha_l F_l}{F_l^*} \rightarrow \max \quad (6)$$

with the constraints (5) .

The numbers  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4 \geq 0, \sum_{l=1}^4 \alpha_l = 1$ , are weight coefficients for partial criteria  $F_l, l=1, \dots, 4$  . Every solution of the problem (6)-(5) for any fixed feasible combination of the coefficients  $\alpha_l, l=1, \dots, 4$ , is Pareto-effective solution and the set of these points is Pareto-set for given problem. As a rule, the coefficients  $\alpha_l, l=1, \dots, 4$  are given by experts, using Saaty's method. But this choice however is subjective. That is why we have chosen the method, providing objective choice [3] .The following inequalities represent the normalized compromise plans deviations  $\partial_l, l = 1, \dots, 4$  from 1 (corresponding functional normalized maximal value).As the goal functions are measured in different measure units, we normalized them, dividing each of them by  $F_l^*$  .

$$\begin{aligned} 0 &\leq 1 - (\alpha_1 + \alpha_2 \frac{F_1^2}{F_2^*} + \alpha_3 \frac{F_1^3}{F_3^*} + \alpha_4 \frac{F_1^4}{F_4^*}) \leq \partial_1 \\ 0 &\leq 1 - (\alpha_1 \frac{F_2^1}{F_1^*} + \alpha_2 + \alpha_3 \frac{F_2^3}{F_3^*} + \alpha_4 \frac{F_2^4}{F_4^*}) \leq \partial_2 \\ 0 &\leq 1 - (\alpha_1 \frac{F_3^1}{F_1^*} + \alpha_2 \frac{F_3^2}{F_2^*} + \alpha_3 + \alpha_4 \frac{F_3^4}{F_4^*}) \leq \partial_3 \\ 0 &\leq 1 - (\alpha_1 \frac{F_4^1}{F_1^*} + \alpha_2 \frac{F_4^2}{F_2^*} + \alpha_3 \frac{F_4^3}{F_3^*} + \alpha_4) \leq \partial_4 \end{aligned} \quad (7)$$

Let

$$\partial = \max \partial_l, l = 1, \dots, 4.$$

Then inequalities (7) will be:

$$\begin{aligned} \alpha_1 + \alpha_2 \frac{F_1^2}{F_2^*} + \alpha_3 \frac{F_1^3}{F_3^*} + \alpha_4 \frac{F_1^4}{F_4^*} + \partial &\geq 1 \\ \alpha_1 \frac{F_2^1}{F_1^*} + \alpha_2 + \alpha_3 \frac{F_2^3}{F_3^*} + \alpha_4 \frac{F_2^4}{F_4^*} + \partial &\geq 1 \\ \alpha_1 \frac{F_3^1}{F_1^*} + \alpha_2 \frac{F_3^2}{F_2^*} + \alpha_3 + \alpha_4 \frac{F_3^4}{F_4^*} + \partial &\geq 1 \\ \alpha_1 \frac{F_4^1}{F_1^*} + \alpha_2 \frac{F_4^2}{F_2^*} + \alpha_3 \frac{F_4^3}{F_3^*} + \alpha_4 + \partial &\geq 1 \end{aligned} \quad (8)$$

Let

$$\chi_{kl} = \frac{F_l^k}{F_k^*}, k = 1, \dots, 4; l = 1, \dots, 4$$

(These coefficients shall be evaluated when solving each of the linear programming problem (1)-(5), (2)-(5),(3)-(5),(4)-(5)).

Then the system (8) takes the form:

$$\begin{aligned} \alpha_1 + \alpha_2 \chi_{21} + \alpha_3 \chi_{31} + \alpha_4 \chi_{41} + \partial &\geq 1 \\ \alpha_1 \chi_{12} + \alpha_2 + \alpha_3 \chi_{32} + \alpha_4 \chi_{42} + \partial &\geq 1 \\ \alpha_1 \chi_{13} + \alpha_2 \chi_{23} + \alpha_3 + \alpha_4 \chi_{43} + \partial &\geq 1 \\ \alpha_1 \chi_{14} + \alpha_2 \chi_{24} + \alpha_3 \chi_{34} + \alpha_4 + \partial &\geq 1 \end{aligned} \quad (9)$$

Now let's solve the linear programming problem



$$U(\alpha, \vartheta) = \vartheta \rightarrow \min$$

with the constraints (9) and (10):

$$\sum_{i=1}^4 \alpha_i = 1, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \vartheta \geq 0. \quad (10)$$

After evaluating these coefficients, the next stage is solving of the linear programming problem (6) with the constraints (5). After simple transformations of the solutions of (6)-(5), we get the compromise solutions of the given problem

$$t_{si} = \frac{y_{si}}{\rho},$$
$$x_i = \sum_{s=1}^k \alpha_{si} t_{si};$$
$$\sum_{i=1}^n \omega_{ij} \sum_{s=1}^k \alpha_{si} t_{si},$$

the last sum is the amount of the  $j$ -th raw materials, used by the  $s$ -th plant for producing of  $i$ -th product, corresponding to the compromise values of  $t_{si}, i = 1, 2, \dots, n; s = 1, 2, \dots, k; j = 1, 2, \dots, m$ .

ალგორითმი საწარმოთა ქსელის ოპტიმალური მუშაობის დასაგეგმად  
დალი სიხარულიძე, ნუგზარ დადიანი  
რეზიუმე

კვლევის საგანია ისეთი ალგორითმის შედგენა, რომელიც საშუალებას მოგვცემს მოვახდინოთ მალფუჭებადი ნედლეულის გადამამუშავებელი კომპანიის სხვადასხვა სიმძლავრის საწარმოთა ქსელის მუშაობის ოპტიმიზაცია. ამასთან, უნდა გათვალისწინებულ იქნას შეზღუდვები ნედლეულზე, დროზე და საწარმოთა სიმძლავრეებზე. სტატიაში ამ მრავალკრიტერიული ოპტიმიზაციის ამოცანისათვის განიხილება 4 კრიტერიუმი: მაქსიმალური შემოსავალი, ნედლეულის მინიმალური დანახარჯი, რენტაბელობა და დრო. ალგორითმში გამოიყენება მრავალკრიტერიული ამოცანის ერთკრიტერიუმიანზე დაყვანის პარეტოს მეთოდი. წონითი კოეფიციენტების გამოსათვლელად გამოყენებული მეთოდი, შემოთავაზებული [3]-ში, რომლის თანახმადაც ხდება ლოკალური კრიტერიუმების ოპტიმალური მნიშვნელობებისგან კომპრომისული ამოხსნების მაქსიმალური გადახრის მინიმიზაცია. ეს მეთოდი საშუალებას იძლევა მივიღოთ წონითი კოეფიციენტების ობიექტური მნიშვნელობები ექსპერტთა მონაწილეობის გარეშე.

**Алгоритм для оптимального планирования работы сети предприятий**

*Дали Сихарулидзе, Нугзар Дадияни*

**Резюме**

Целью исследования является разработка алгоритма, позволяющего оптимизировать работу сети предприятий с различной мощностью, принадлежащей компании по переработке скоропортящегося сырья. При этом должны быть учтены ограничения на сырье, время, мощность предприятий. В статье для этой задачи многокритериальной оптимизации рассмотрены 4 критерия оптимальности: максимальная выручка, минимальные затраты сырья, рентабельность и время. В алгоритме используется метод Парето сведения многокритериальной задачи к однокритериальной. Для выбора весовых коэффициентов используется метод, предложенный в [3], согласно которому

минимизируется максимальное отклонение компромиссных решений от оптимальных значений локальных критериев. Этот метод позволяет получить объективные значения весовых коэффициентов без участия экспертов.

### ლიტერატურა - References - Литература

1. Штойер Р. Многокритериальная оптимизация. Теория, вычисления и приложения. М.: Радио и связь, 1992., 504 с. (пер. с англ. ).
2. Ануфриенко С.Е..Метод Парето решения многокритериальных задач. Метод.указания. Яросл.гос ун-т. Ярославль, 2004.
3. Алферьев Д.А. Оптимизация производственной программы выпуска инновационной продукции промышленного предприятия . Проблемы развития территории. 2017. № 6 (92). С. 83-93

---

განრიგთა თეორიის ერთი არადეტერმინირებული ამოცანის შესახებ

ქეთევან კუთხაშვილი

[kkutkhashvili@yahoo.com](mailto:kkutkhashvili@yahoo.com)

## რეზიუმე

ნაშრომში აგებულია დისკრეტული ოპტიმიზაციის ერთი არადეტერმინირებული ამოცანის, კერძოდ, განრიგთა თეორიის ერთკრიტერიუმიანი ამოცანის მათემატიკური მოდელი განუზღვრელობის პირობებში. ოპტიმალური ამორჩევა ხდება დავალებათა მთლიანი სისტემის დამუშავების საერთო ღირებულების გათვალისწინებით.

საკვანძო სიტყვები:

დისკრეტული; ოპტიმალური; განრიგი; მათემატიკური მოდელი; ალგორითმი.

## შესავალი

რაიმე მიზნის მისაღწევად, ადამიანთა სხვადასხვა სფეროში მოღვაწეობის დროს, ხშირად საჭიროა გადაწყვეტილების მიღება შეზღუდვათა რაიმე სისტემის ფარგლებში, რაც ჩასატარებელ ღონისძიებათა გარკვეული გარემოებებით განისაზღვრება. იმისათვის, რომ უფრო ეკონომიური, დასაბუთებული და სწორი გადაწყვეტილება მივიღოთ, საჭირო ხდება მეცნიერული მეთოდების გამოყენება. ერთ-ერთ ასეთ მეთოდს მათემატიკური მოდელირება წარმოადგენს. მათემატიკური მოდელის აგება რთული პროცესია, რადგან მოდელი ერთი მხრივ ზუსტად უნდა ასახავდეს ფიზიკურ თუ ეკონომიკურ პროცესს და მეორე მხრივ, უნდა იყოს იმგვარი, რომ მისი შესაბამისი ალგორითმი ამოცანის ამოხსნას და შედეგების მიღებას რეალურად შესაძლო დროში იძლეოდეს.

როგორც წესი, ფიზიკური თუ დაგეგმვის ეკონომიკური ამოცანების უმრავლესობა აღიწერება ისეთი მათემატიკური მოდელებით, რომლებიც დისკრეტული ოპტიმიზაციის სფეროს წარმოადგენს, ხოლო მათთვის არაპოლინომიალური ალგორითმების აგება, არცთუ მარტივი საქმეა. ალგორითმის სირთულეს ერთი მხრივ, იმ მონაცემთა მოცულობა, რომელიც საჭიროა ამოცანის გადასაჭრელად, ხოლო მეორე მხრივ ამ მონაცემებზე დადებული შეზღუდვები განსაზღვრავს. ამოცანის ამოსახსნელად დახარჯული მანქანური დროის დამოკიდებულება მონაცემთა მოცულობაზე განისაზღვრება ფუნქციით, რომელიც შეიძლება იყოს პოლინომიალური ან არაპოლინომიალური. ალგორითმის ხარისხის შესაფასებლად სწორედ ეს კრიტერიუმი გამოიყენება. თუმცა შესაძლოა პოლინომიალური ალგორითმიც იყოს არაეფექტური, თუ პოლინომის ხარისხი ძალიან მაღალია. ამიტომ, ინტერესმოკლებული არ არის თუნდაც უკვე არსებული ალგორითმის გაუმჯობესება პოლინომის ხარისხის დაწვევის შემთხვევაში.

დისკრეტული ოპტიმიზაციის ამოცანების ერთ-ერთი მიმართულებაა კალენდარული დაგეგმვის ამოცანების კვლევა. ასეთი ამოცანებისთვის მათემატიკური მოდელის აგების დროს ერთ-ერთ სირთულეს იმ პროცესის შესახებ, რომლის ანალიზსაც ვახდენთ, არასრული ინფორმატიულობა იწვევს. ე.წ. არადეტერმინირებული ამოცანებისთვის მათემატიკური მოდელების აგება და ალგორითმული გადაწყვეტა კიდევ უფრო რთულდება. ნაშრომში სწორედ ერთ-ერთი ასეთი ამოცანა განიხილება.

განხილულია ამოცანა, სადაც დავალებათა შესრულება ხდება უწყვეტი ერთსაფეხურა სისტემით. პროცესორები ნაწილობრივ ურთიერთშეცვლადია. დავალებათა შესრულების თანმიმდევრობა შეზღუდულია ნაწილობითი დალაგების სიმრავლის მიხედვით და დამატებითი რესურსების სიმრავლე შემოსაზღვრულია. დავალებათა სისტემაში მოხვედრის დრო წინასწარ მკაცრად განსაზღვრული არ არის და მოცემულია ინტერვალების სახით. ოპტიმალური ამორჩევა ხდება დავალებათა მთლიანი სისტემის დამუშავების საერთო ღირებულების გათვალისწინებით.

განრიგის ამოცანების კვლევა ძირითადად კომბინატორული მეთოდების საშუალებით ხდებოდა. შემდგომ მრავალი ამოცანისათვის გამოყენებული იყო შტოებისა და საზღვრების მეთოდი. ამ მეთოდის გამოყენებით მიღებული ამონახსნები უფრო ახლოს დგას ზუსტ ამონახსნებთან, მაგრამ მისი გამოყენება ზოგიერთ შემთხვევაში შეუძლებელია. მაგალითად, ამ მეთოდით ზოგადი ამოცანის ამოხსნას მიყვავართ თითქმის სრულ გადარჩევამდე, რაც იმდენად ზრდის ალგორითმის ეფექტურობის ხარისხს, რომ რეალურ დროში და პარამეტრების დიდი რაოდენობის შემთხვევაში მისი გამოყენება აზრს მოკლებულია.

განსაკუთრებული ამოცანების შემთხვევაში შეიძლება გამოყენებულ იქნას სტატისტიკური მოდელირების მეთოდები ან ინტერაქტიული მეთოდი, სადაც გადაწყვეტილების მიმღებ პირს (ექსპერტს) შეეძლება დააკვირდეს, ჩაერიოს და საჭიროების შემთხვევაში რაიმე შეცვალოს. იმ შემთხვევაში კი, როდესაც პარამეტრის მნიშვნელობა ინტერვალის სახით არის მოცემული, შესაძლებელი ხდება ისეთი მოდელის აგება, რომელიც არადეტერმინირებულ სისტემას დეტერმინირებულად გადააქცევს და ასეთ შემთხვევაში დისკრეტული ოპტიმიზაციის მეთოდების გამოყენება არის შესაძლებელი. სტატიაში დასმულია განრიგთა თეორიის ერთ-ერთი არადეტერმინირებული ამოცანა და მისი გადაწყვეტის გზები.

#### ამოცანის დასმა

რესურსების გარკვეული სიმრავლის საშუალებით, რასაც ზოგადად პროცესორებს ვეძახით, უნდა შესრულდეს დავალებათა მოცემული სისტემა, რომელზეც გარკვეული შეზღუდვებია დადებული. საჭიროა დავალებათა შესრულების თანმიმდევრობის დადგენის ეფექტური ალგორითმის აგება, რომელიც ოპტიმალობის რაიმე ზომის მიღწევის საშუალებას მოგვცემს. ოპტიმალობის ზომად სისტემის შექმნაზე გაწეული ფინანსური დანახარჯების მინიმიზაცია განვიხილოთ.

დავალებათა შესრულება შესაძლებელია ერთსაფეხურიანი დეტერმინირებული სისტემის საშუალებით. ერთსაფეხურა სისტემა რამდენიმე მოწყობილობისაგან შედგება, ხოლო სისტემაში მოხვედრილი ყველა დავალება სრულად უნდა იქნას დაკმაყოფილებული. წინასწარ ცნობილია მოწყობილობათა წარმადობა, სისტემაში მოხვედრილი ყველა დავალების დამუშავებისათვის საჭირო დრო. მომსახურების ღირებულება ცვლადი სიდიდეებია და მოიცემა რამდენიმე პარამეტრზე დამოკიდებული ფუნქციების საშუალებით. დავალებათა სისტემაში მოხვედრის დრო ალბათური სიდიდეებია და ცნობილია მათი ცვლილების ინტერვალები.

გარდა ამისა, უნდა სრულდებოდეს შემდეგი პირობები: წინასწარ მოცემულია პერიოდი,  $[0, T]$  ინტერვალი, რომლის განმავლობაშიც სისტემა მთლიანად უნდა იყოს შესრულებული; არ შეიძლება ერთი და იგივე პროცესორზე ერთდროულად ორი ან რამდენიმე დავალება ერთდროულად სრულდებოდეს; დროის ყოველ ინტერვალზე დაკავებულია ყოველი მოწყობილობა, ანუ განიხილება ე.წ. უწყვეტი მოდელი.

ამ ამოცანის მათემატიკური მოდელი შეიძლება შემდეგნაირად ჩამოვაყალიბოთ:

მოცემული გვაქვს პროცესორების სიმრავლე  $P=\{P_1, \dots, P_m\}$ ,  $j=1, \dots, m$ , რომლებიც ერთმანეთისაგან განსხვავდებიან ფუნქციონალური შესაძლებლობებით და სწრაფმოქმედებითაც. მოცემულია  $X=\{\xi_1, \dots, \xi_n\}$  დავალებათა სისტემა, რომლებიც  $[0, T]$  პერიოდში  $P$  პროცესორების საშუალებით უნდა შესრულდეს. თითოეული დავალებისათვის ცნობილია  $[\tau_{ij}]_{i=1, \dots, m, j=1, \dots, n}$  მატრიცა, რომლის  $\tau_{ij}$  ელემენტი  $m$  გვიჩვენებს  $\xi_j$  დავალების  $P_i$  პროცესორზე შესრულების ხანგრძლივობას. ცხადია,  $0 \leq \tau_{ij}(Y) \leq T$ ,  $i=1, \dots, m, j=1, \dots, n$ .

ცნობილია  $\{\omega_{ij}\}_{i=1, \dots, m, j=1, \dots, n}$  მატრიცა, რომლის  $\omega_{ij}(Z)$  ელემენტი გვიჩვენებს  $\xi_j$  დავალების  $R_i$  პროცესორზე შესრულების ფასს.  $Y$  და  $Z$  ვექტორებია, რომლის შემადგენელ პარამეტრების მნიშვნელობაზეა დამოკიდებული  $\tau_{ij}$  და  $\omega_{ij}$  სიდიდეების მნიშვნელობები.

მოცემულია  $\xi_j, j=1, \dots, n$  დავალების სისტემაში მოხვედრის სავარაუდო დრო  $t_i^0 \in [a_i, b_i]$ , სადაც  $a_i$  არის  $i$ -ური დავალების სისტემაში მოხვედრის სავარაუდო მინიმალური დრო, ხოლო  $b_i$  კი  $i$ -ური დავალების სისტემაში მოხვედრის სავარაუდო მაქსიმალური დროა.

საჭიროა აიგოს განრიგი ცხრილის სახით, სადაც თითოეულ  $\xi_j, j=1, \dots, n$  დავალებას შეუსაბამებს  $t_i^0$  რიცხვს, რომელიც გვიჩვენებს  $j$ -ური დავალების დამუშავების დაწყების დროს და  $P_i$  პროცესორს, რომელზეც  $j$ -ური დავალება უნდა იყოს შესრულებული. აღნიშნულ აგებული ასახვა ანუ ცხრილი  $S$ -ით. ყველა ასეთი  $S$  ასახვებიდან, რომლებიც აკმაყოფილებენ ზემოთ ჩამოთვლილ პირობებს, საჭიროა აიგოს ისეთი  $S^*$  ასახვა, რომლისთვისაც სრულდება შემდეგი პირობები:

$$\rho(S^*) = \min_S \rho(S) = \min_S \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \omega_{ij}(Z)(f_{ij}(s) - r_i^0),$$

სადაც  $f_{ij}(S)$  ფუნქცია  $S$  განრიგის მიხედვით  $i$ -ური დავალების  $j$ -ურ პროცესორზე შესრულების დაწყების მომენტს გვიჩვენებს, ხოლო  $r_i^0$  არის  $i$ -ური დავალების სისტემაში მოხვედრის რეალური დრო.  $\rho(S^*)$  ოპტიმალური განრიგის შემთხვევაში სისტემის დამუშავების ღირებულებაა.

დისკრეტული ამოცანების ამოხსნის მეთოდების დამუშავების ძირითადი არსი იმაში მდგომარეობს, რომ ვიპოვოთ სასურველი ამონახსნი ყველა ვარიანტის გადარჩევის გარეშე. ვინაიდან განრიგთა თეორიის ამოცანები, ზოგადად, NP სირთულისაა, ყველა კონკრეტულ შემთხვევაში პოლინომიალური სირთულის ალგორითმის აგება მნიშვნელოვანია. ასევე მნიშვნელოვანია აგებული ალგორითმის ეფექტურობის დადგენა.

აღნიშნული ამოცანისათვის აგებულია  $P$  სირთულის ალგორითმი, რომელიც შტოებისა და საზღვრების, სტატისტიკურ და ინტერვალური მეთოდების კომბინირებულ მეთოდს ეფუძნება.

ალგორითმის აღწერა

ალგორითმი მოიცავს შემდეგ ძირითად ბლოკებს:

1. განშტოების წესი - იგი განსაზღვრავს ძებნის ხის განშტოების სტრატეგიას და პროცესს. მისი ამოცანაა ამოხსნათა სივრცე დაიყოს არათანამკვეთ ქვესიმრავლეებად, რომელთაგან თითოეული მათგანი ან მოიკვეთება, ან ფორმირდება შემდგომ ეტაპზე განსახილველად.
2. ამორჩევის წესი - ამორჩევს ხის წვეროს, რომლიდანაც უნდა დაიწყოს შემდეგი განშტოება.
3. მახასიათებელი ფუნქციის მნიშვნელობის გამოთვლა - ამ გამოთვლილი მნიშვნელობის მიხედვით ხდება ხის შტოს შეფასება და იმ შტოების მოკვეთა, რომლებიც სასურველ ამონახსნს არ შეიცავენ.
4. საექსპერტო შეფასება და წვეროთა დომინირება.
5. ქვედა საზღვრის ფუნქციის აგება და გამოთვლა - რომელიც ყოველ კერძო ამონახსნს მისი ღირებულების ქვედა ფასს შეუსაბამებს.

6. ღირებულების ზედა ზღვრის შემოწმება და კორექცია - ღირებულების ზედა ზღვარი დასაწყისში რომელიმე იმ სრული ფასის ტოლია, რაც წინასწარ მიახლოებით, ან გონივრული მოსაზრებებით არის ცნობილი. ხოლო იმ შემთხვევაში, თუ წინასწარ ასეთი არანაირი მოსაზრება არ არსებობს, მაშინ ის მანქანური უსასრულობის ტოლია.

თავდაპირველად  $X$  სიმრავლიდან ვირჩევთ  $i$ -ური დავალების მიმდევრობას შემთხვევითობის პრინციპით და ვარკვევთ მისი კორექტულობის საკითხს, ანუ გამოვყოფთ შემთხვევით ქვესიმრავლეს და ვარკვევთ, მათი შესრულების მაქსიმალური დრო ნაკლებია თუ არა სისტემის შესრულების დირექტიულ  $T$  დროზე, ასევე ქვესიმრავლეში შემავალი დავალებების ჯამური ღირებულება ხომ არ აჭარბებს მთლიანი სისტემის შესრულებაზე გამოყოფილ ინვესტირების სიდიდეს. თუ ქვესიმრავლე ამ კრიტერიუმებით არაკორექტულია, მაშინ გადაწყვეტილების მიმღები პირი ინტერაქტიულად პროგრამის მიერ იღებს შეტყობინებას და სთავაზობს მონაცემების შეცვლას. თუ გადაწყვეტილების მიმღებ პირს აქვს სურვილი გარკვეული მოსაზრებებიდან გამომდინარე შეცვალოს მონაცემები, მას ამის შესაძლებლობა ეძლევა და ხდება ახალი ქვემიმდევრობის ფორმირება, წინააღმდეგ შემთხვევაში ახალ ქვესიმრავლეს ისევ შემთხვევითობის პრინციპით ირჩევს სისტემა და შემოწმების პროცედურები ხდება ახალი ქვესიმრავლისთვის.

თუ ქვესიმრავლე კორექტული აღმოჩნდება, მაშინ არჩეულ ქვესიმრავლეს განვიხილავთ, როგორც მოცემულ სიმრავლეს და ამ სიმრავლისთვის მუშაობს შტოებისა და საზღვრების მეთოდი. ალგორითმი მუშაობს შემდეგნაირად:

$N$  - მთელი ტიპის ცვლადია, რომელიც შეესაბამება არსებული ვარიანტების რაოდენობას;

$M$  - მთელი ტიპის ცვლადი გვიჩვენებს თითოეული ვარიანტის ამორჩევის შემთხვევაში დავალებათა რაოდენობას;

$K$  - მთელი ტიპის ცვლადი გვიჩვენებს არსებული დამატებითი რესურსების სახეობათა რაოდენობას;

$L$  - მთელი ტიპის ცვლადი გამოსახავს დროითი პერიოდების რაოდენობას, რომლებსაც არის დაყოფილი მთელი დასაგეგმი პერიოდი;

$B_{ij}$  - მთელი ტიპის ორგანზომილებიანი მასივია,  $i=1,2,\dots, n, j=1,2,\dots, m$ . იგი ასახავს ვარიანტებისა და ამ ვარიანტებში შემავალ დავალებათა სიებს;  $igi\ asaxavs\ variantebsa\ da\ am\ variantebSi\ Semava\ ■\ davalebaTa\ siebs$ ;

$A_{ij}$  - მთელი ტიპის ორგანზომილებიანი მასივია,  $i=1,2,\dots, L, j=1,2,\dots, K$ .  $A_{ij}$  გვიჩვენებს  $i$ -ური ზედა ზღვარს, რომელიც შეიძლება გამოყენებულ იქნას  $k$ -ურ პერიოდში;

$C_{ijk}$  - მთელი ტიპის სამგანზომილებიანი მასივია,  $i=1,2,\dots, M, j=1,2,\dots, L, k=1,2,\dots, T$ .  $C_{ijk}$  გვიჩვენებს  $j$ -ური ტიპის რესურსის რაოდენობას, რომელიც საჭიროა  $i$ -ური დავალების შესასრულებლად მისი შესრულებისთვის საჭირო დროის  $k$ -ურ პერიოდში. ამ მასივის მესამე განზომილების სიგრძედ აღებულია მაქსიმალური პერიოდი  $T$ , რადგან შეიძლება არსებობდეს დავალება, რომლის შესრულებაც მოითხოვს მთლიან დასაგეგმ პერიოდს.

$H_i$  - მთელი ტიპის ერთგანზომილებიანი მასივია,  $i=1,2,\dots, M$ ,  $H_i$  სისტემაში მოხვედრის ან  $[0, T]$  პერიოდის განმავლობაში დროის იმ მინიმალურ მომენტს, რომელზე ადრეც არ შეიძლება დაწყებული დავალების შესრულება;

$P_i$  - მთელი ტიპის ერთგანზომილებიანი მასივია,  $i=1,2,\dots, M$ ,  $P_i$  გვიჩვენებს  $i$ -ური ტიპის დავალების შესასრულებლად საჭირო დროის ხანგრძლივობას;

$D_i$  - მთელი ტიპის ერთგანზომილებიანი მასივია,  $i=1,2,\dots, M$ ,  $D_i$  გვიჩვენებს  $i$ -ური ტიპის დავალების დირექტიულ ვადებს. ან  $[0, T]$  პერიოდის განმავლობაში დროის იმ მაქსიმალურ მომენტს, რომელზე გვიან არ შეიძლება დაწყებული იყოს  $i$ -ური დავალების შესრულება. ყველა დავალება არ შეიძლება იყოს დირექტიული. ამიტომ არადირექტიული დავალების შესაბამისი ელემენტი ამ მასივში დასაგეგმი პერიოდის ბოლო მომენტის ტოლია.

პირველ ბლოკში ხდება საწყისი მონაცემების შეტანა, მათი ეკრანზე გამოტანა, რაც ექსპერტის სურვილის შემთხვევაში საჭირო შესწორებების საშუალებას იძლევა.

შემდეგი ბლოკი ორი ნაწილისაგან შედგება: პირველ ნაწილში იმ ვარიანტების ამორჩევა ხდება, რომელთა რეალიზებაც შესაძლებელია დროის თვალსაზრისით. მეორე ნაწილში კი ამ ამორჩეული ვარიანტებიდან კვლავ ხდება გადარჩევა იმ ვარიანტებისა, რომელთა შესასრულებლადაც საჭირო რესურსების რაოდენობა არ აჭარბებს რესურსების გამოყოფილ რაოდენობას. ანუ ამორჩევა ვარიანტები, რომელთა შესრულებაც დროის მოცემულ მომენტში შესაძლებელია რესურსების ხარჯვის თვალსაზრისით. ის ვარიანტები, რომლებიც მოცემულ მომენტში არარეალიზებადია რაიმე თვალსაზრისით, ამოვარდებიან  $B_{ij}$  მასივიდან. ეს პროცედურა შეესაბამება  $X$  სისტემის დაყოფას  $J_i$  ჯგუფებად.

მესამე ბლოკში იმ მონაცემების შემოწმება ხდება, რომელთათვისაც დირექტიული ვადებია მოცემული. იმ  $J_i$  ჯგუფებიდან ან  $B_{ij}$  მასივის იმ სტრიქონებიდან, რომლებიც წინა ბლოკში უკვე იყო გადარჩეული, კვლავ ხდება გადარჩევა. ამ შემთხვევაში გამოწმობთ, რამდენად კორექტულია დანიშვნა დირექტიული ვადების გათვალისწინებით. ყველა არარეალიზებადი ვარიანტის შესახებ ალგორითმი გვატყობინებს და ეკრანზე გამოდის შესაბამისი ინფორმაცია, რაც განსახილველი ვარიანტების კორექტირების საშუალებას იძლევა.

მეოთხე ბლოკში ხდება დარჩენილი კორექტული ვარიანტების დამუშავება და მათთვის განრიგის აგება იტერაციული მეთოდით. ჯერ დამუშავდება ერთი ვარიანტი, შემდეგ შედგება პროცედურა რამდენიმე ბიჯისაგან:

ბიჯი 1. განიხილება არჩეული ვარიანტის პირველი ელემენტი და მისთვის დაითვლება მიზნის ფუნქციის მნიშვნელობა, ეს ფუნქცია დაითვლება ყველა ტიპის რესურსისთვის და ამასთან, დანიშვნა მოხდება ამ ელემენტის სისტემაში მოხვედრისთანავე.  $HT_{jM} = H_{jM}$ . ამავე ბიჯზე ხდება პრიორიტეტული დავალებების დანიშვნა და მათთვის დახარჯული ჯამური რესურსების დათვლა ყველა ტიპის რესურსისათვის.

ბიჯი 2. აღებული დავალებებისათვის დაითვლება რესურსების დანახარჯები მთელი მისი დამუშავების პერიოდის განმავლობაში. ამავე ბიჯზე ხდება რესურსების ხარჯვის შემოწმება.

ბიჯი 3. პირველ რიგში გამოწმობთ, ხომ არ არის განსახილველი ელემენტი ვარიანტის ბოლო ელემენტი. თუ არ არის, მაშინ  $j$  პარამეტრს ერთით ვზრდით და გადავდივართ პირველ ბიჯზე შემდეგი ელემენტისათვის.  $HT_{jM} = HT_{jM+1}$ , ანუ ამ ელემენტის დანიშვნის ვადას ერთი ერთეულით გადავწევთ და გამოწმობთ, ვადა ხომ არ გასცდა დასაგეგმი პერიოდის ინტერვალს. წინააღმდეგ შემთხვევაში მოცემული ელემენტი არარეალიზებადია და ვიხილავთ შემდეგ ვარიანტს, რის შესახებაც ეკრანზე ვიღებთ შეტყობინებას.

ბიჯი 4. ამ ბიჯზე გადავდივართ, როდესაც ყველა დავალება აღმოჩნდება დანიშნული და ვარიანტი რეალიზებადია. ამრიგად, გრაფიკის პირველი ვარიანტი აგებულია და ვითვლით საოპტიმიზაციო ფუნქციონალის გამოთვლას.

ბიჯი 5. თუ ფუნქციონალის მნიშვნელობა წინა მნიშვნელობაზე უკეთესია, ვიმახსოვრებთ არჩეულ ვარიანტს და მის შესაბამის გრაფიკს. შემდეგ გადავდივართ სხვა ვარიანტის განხილვაზე და ყველა ამ ნაბიჯს გავდივართ თავიდან. იმისათვის, რომ დიდი ინფორმაციის შენახვა არ დაგჭირდეს, თითოეული შტოს ფორმირებისას ხდება  $\rho(S_k)$  სიდიდის გამოთვლა და მიღებული სიდიდეების აჯამვა. იმ შემთხვევაში, თუ რომელიმე  $k$ -ური შტოსათვის ეს ჯამი აღმოჩნდება უფრო დიდი, ვიდრე ინვესტირებული სიდიდე ან წინა შემთხვევაში გამოთვლილი ჯამი, მაშინ შესაბამისი შტო მოიკვეთება და გადავდივართ შემდეგი შტოს განხილვაზე. ყველა არაპერსპექტიული შტოების მოკვეთის შემდეგ მივიღებთ ოპტიმალურ ამოხსნამდე.

ბიჯი 6. ამ ბიჯზე გადავდივართ, როდესაც ვარიანტების რაოდენობა ამოიწურება და აღმოჩნდება, რომ აგებული გრაფიკი არის ოპტიმალური.

### On one non-deterministic problem of schedule theory

Ketevan Kutkhashvili

#### Summary

A mathematical model of one non-deterministic problem of discrete optimization, namely, a single-objective problem of scheduling theory, under conditions of uncertainty is constructed in this work. The optimal choice is made taking into account the total cost of processing the entire system of tasks.

### Об одной недетерминированной задаче теории расписаний

Кетеван Кутхашвили

#### Резюме

В работе построена математическая модель одной недетерминированной задачи дискретной оптимизации, а именно однокритериальной задачи теории расписаний, в условиях неопределенности. Оптимальный выбор производится с учетом общей стоимости обработки всей системы задач.

### ლიტერატურა – References – Литература

- 1 Кофман Э.Г. и др. Теория расписаний и вычислительные машины. Введение в детерминированную теорию расписаний. Алгоритмы построения расписаний М.: Наука. 1984.
- 2 Танаев В.С., Гордон В.С., Шафранский Я.М. Теория расписаний. Одностадийные системы. – М.: Наука, 1984.
- 3 კუთხაშვილი ქ., გაბისონია ვ. ალგორითმი განრიგთა თეორიის ერთი ამოცანისათვის ორი კრიტერიუმის გათვალისწინებით. სსიპ არჩილ ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული. თბილისი, გამომცემლობა მოდესტა, 2009წ. გვ. 61.
- 4 გაბისონია ვ., კუთხაშვილი ქ. განრიგთა თეორიის ერთი კერძო ამოცანის შესახებ. სტუ არჩილ ელიაშვილის სახელობის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული. თბილისი, გამომცემლობა „პოლიგრაფია“ 2017წ.
- 5 კუთხაშვილი ქ., გაბისონია ვ. დისკრეტული ოპტიმიზაციის ერთი ამოცანის ალბათური მოდელი. სტუ არჩილ ელიაშვილის სახელობის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული. თბილისი, 2018წ.



---

## Matlab-ის გარემოში ვექტორული ოპტიმიზაციის ინტერაქტიული მეთოდების შესახებ

ნელი კილასონია

[kilasonianeli1@gmail.com](mailto:kilasonianeli1@gmail.com)

### რეზიუმე

სტატიაში განხილულია პროგრამული პაკეტის Matlab შესაძლებლობები ვექტორული ოპტიმიზაციისა და კერძოდ ინტერაქტიულ ვექტორულ ოპტიმიზაციასთან დაკავშირებით. ჩამოთვლილია ვექტორული ოპტიმიზაციის ფუნქციები `fgoalattain`, `gamultiobj`, `fminimax` და განხილულია მათი შესაძლებლობები. ხაზგასმულია, რომ Matlab არ შეიცავს ინტერაქტიულ ფუნქციებს ვექტორული ოპტიმიზაციის ამოცანების ამოხსნისათვის. აღნიშნულია, რომ ჩამოთვლილი ფუნქციები შეიძლება გამოყენებულ იქნას როგორც ნაწილი ინტერაქტიული მეთოდებისა, რომლებიც შესაძლებელია შექმნილი იქნას Matlab-ის დაპროგრამების ენის საშუალებით. მოყვანილია მაგალითი M-ფაილის `voptint`, რომელიც ინტერაქტიულ რეჟიმში ხსნის ვექტორული ოპტიმიზაციის ამოცანას და იყენებს ფუნქციას `fmincon`.

საკვანძო სიტყვები: ვექტორული ოპტიმიზაცია, ინტერაქტიული ალგორითმები, Matlab.

Matlab [1] წარმოადგენს უმძლავრეს პროგრამულ პაკეტს, რომლის შესაძლებლობები მოიცავს დღესდღეობით არსებულ პრაქტიკულად ყველა სამეცნიერო და ტექნიკურ სფეროს. საკმარისია ითქვას, რომ მის შემადგენლობაში შედის 40-ზე მეტი ბიბლიოთეკა და მრავალი დამატებითი გამოყენებითი ფუნქცია, ხოლო თითოეული ამ ბიბლიოთეკის აღწერა შეიცავს 500-იდან 1500 გვერდიან ტექსტს. ამასთან პაკეტის შემადგენლობაში შედის თანამედროვე მაღალი დონის დაპროგრამების ენა, რაც დამატებით საშუალებას იძლევა ახალი პროგრამული პროდუქტების შექმნის, მათი M-ფაილების სახით გაფორმების და ამგვარად Matlab-ის შესაძლებლობების კიდევ მეტად გაზრდისათვის.

ოპტიმიზაციის სფეროსათვის განკუთვნილი შესაძლებლობები Matlab-ში თავმოყრილია ძირითადად Global Optimization Toolbox და Optimization Toolbox-ში [2], თუმცა აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ კერძო შემთხვევებში (ოპტიმიზაცია ფინანსურ სისტემებში, ნეირონული ქსელები, ალბათური მოდელები და სხვ.) ასევე შეიძლება გამოყენებული იქნას საშუალებები, რომლებიც თავმოყრილია Financial Toolbox, Neural Network Toolbox, Statistics Toolbox-ებში.

Optimization Toolbox მოიცავს პროგრამულ უზრუნველყოფას, დაახლოებით 15 ოპერატორს, რომლებიც განკუთვნილია შემდეგი ამოცანებისათვის: არაწრფივი ფუნქციების ოპტიმიზაცია შეზღუდვების გარეშე, უმცირეს კვადრატთა მეთოდი, არაწრფივ განტოლებათა ამოხსნა, წრფივი დაპროგრამება, კვადრატული დაპროგრამება, არაწრფივი ფუნქციების მინიმიზაცია შეზღუდვების პირობებში, მინიმალური მეთოდები და მრავალკრიტერიული ოპტიმიზაცია. მრავალკრიტერიული ოპტიმიზაცია წარმოადგენილია ფუნქციით `fgoalattain`. აღნიშნული ფუნქცია ხსნის მიზნის მიღწევის ამოცანას, მრავალკრიტერიული ოპტიმიზაციის ამოცანის ერთერთ ფორმულირებას, რომელიც ჩამოყალიბებული იქნა გემბისკის მიერ ნაშრომში [3]. Global Optimization Toolbox-ში ვექტორული ოპტიმიზაციის ფუნქცია არის `gamultiobj`. იგი ქმნის პარეტო-ოპტიმალური ამონახსნების სიმრავლეს მრავალგანზომილებიანი მიზნობრივი ფუნქციის მინიმიზაციის გზით. დასაშვებია როგორც წრფივი, ასევე არაწრფივი ტოლობები და უტოლობები, ასევე შეზღუდვებიც, მაგრამ მხოლოდ წრფივი. და ბოლოს, კიდევ ერთი ფუნქცია, რომელიც ასევე განკუთვნილია ვექტორული ოპტიმიზაციის ამოცანის ამოხსნისათვის, არის `fminimax`, რომელიც ახდენს ყველა მიზნობრივი ფუნქციიდან

უდიდესის მინიმიზაციას. დაწვრილებით ჩამოთვლილი ფუნქციების სინტაქსი და სხვა დეტალები განხილულია, მათ შორის, ნაშრომში [4].

ამასთან, ხაზგასასმელია, რომ Matlab-ის გარემოში არ არსებობს ვექტორული ოპტიმიზაციის ამოცანის ამოხსნის ინტერაქტიული ინსტრუმენტი. უნდა აღინიშნოს, რომ ინტერაქტიულმა მიმართულებამ ბოლო ათწლეულის მანძილზე განსაკუთრებული პოპულარობა მოიპოვა, რადგან იგი გადაწყვეტილების მიმღებ პირს საშუალებას აძლევს ადაპტირდეს ამოსახსნელ ამოცანასთან და მიიღოს თავისათვის მაქსიმალურად მისაღები რეზულტატი. ამ თვალსაზრისიდან Matlab-ის გარემოში არსებული შესაბამისი ფუნქციები შეიძლება განხილული იქნას როგორც გარკვეული ბლოკები ინტერაქტიული მეთოდებისთვის. ზემოთ ნახსენები ფუნქციები fgoalattain, gamultiobj, fminimax საშუალებას იძლევა, თუ მათ განვიხილავთ როგორც შესაბამისი ალგორითმის ნაწილს, შევქმნათ ინტერაქტიული მეთოდები Matlab-ის დაპროგრამების ენის გამოყენებით. ამ შემთხვევაში, ცხადია, ალგორითმი იქნება შედგენილი ორი ნაწილისაგან, რომლებსაც შეიძლება პირობითად ვუწოდოთ ამოცანის ამოხსნის ნაწილი და დიალოგური ნაწილი.

აქვე აღვნიშნოთ, რომ ვექტორული ოპტიმიზაციის ამოცანის ამოხსნის ინტერაქტიული მეთოდების M-ფაილების შექმნისას ამოცანის ამოხსნის ნაწილში შესაძლებელია გამოყენებული იქნას არა მხოლოდ ვექტორული ოპტიმიზაციის ზემოთჩამოთვლილი ფუნქციები, არამედ Matlab-ის გარემოში არსებული რომელიმე სხვა ფუნქციაც. განსაკუთრებით მოხერხებულია ამ მხრივ ფუნქცია fmincon, რომელიც არ არის განკუთვნილი საკუთრივ ვექტორული ოპტიმიზაციის ამოცანისათვის, არამედ განსაზღვრულია მრავალგანზომილებიანი ფუნქციის ექსტრემუმის პოვნისათვის შეზღუდვების პირობებში. ამასთან, დიალოგურ ნაწილთან შეთავსების კუთხით იგი საკმაოდ მოქნილი და ეფექტურია, რაც კარგად ჩანს ვექტორული ოპტიმიზაციის ამოცანის ამოხსნისათვის განკუთვნილი ინტერაქტიული M-ფაილის მაგალითზე, რომელიც მოცემულია ნაშრომში [5]. აქ აღწერილი M-ფაილი voptint იყენებს ფუნქციას fmincon ამოცანის ამოხსნის ნაწილში, ხოლო დიალოგური ნაწილი გულისხმობს გადაწყვეტილების მიმღები პირის (გმპ) მიერ მიღებული შედეგების შეფასებას და პროგრამისთვის მოთხოვნილი სახით მიწოდებას, რაც შემდეგ იწვევს საწყისი ამოცანის მოდიფიცირებას და ახალი შედეგების ისევ წარდგენას გმპ-სათვის შესაფასებლად. პროცედურა მთავრდება მაშინ, როდესაც შედეგების გაუმჯობესების რესურსი ამოწურულია, ან როდესაც მიღებული შედეგი გმპ-სათვის არის დამაკმაყოფილებელი.

## On Interactive Methods of Vector-valued Optimization in Matlab Environment

*Neli kilasonia*

### Summary

The article discusses the capabilities of the software package Matlab in relation to vector-valued optimization and in particular to interactive vector-valued optimization. The vector-valued optimization functions fgoalattain, gamultiobj, fminimax are listed and discussed. It is noted that Matlab does not include interactive functions for solving vector-valued optimization problems. It is mentioned that that the listed functions can be used as part of interactive method that can be created through the Matlab programming language. As an example, M-file voptint is provided that solves the vector-valued optimization problem in interactive mode using function fmincon.

## Об интерактивных методах векторной оптимизации в среде Matlab

Нели Киласония

### Резюме

В статье рассматриваются возможности программного пакета Matlab в отношении векторной оптимизации и в частности, интерактивной векторной оптимизации. Приведены функции векторной оптимизации `fgoalattain`, `gamultiobj`, `fminimax` и их возможности. Подчеркнуто, что Matlab не содержит интерактивных функций для решения задач векторной оптимизации. Отмечается, что перечисленные функции могут использоваться в качестве части интерактивных методов, которые могут быть созданы посредством языка программирования Matlab. Приведен пример M-файла `vortint` который решает задачу векторной оптимизации в интерактивном режиме используя функцию `fmincon`.

### ლიტერატურა - References - Литература

1. Matlab Manual. <https://www.mathworks.com/help/matlab/>
2. Dingyü Xue Solving Optimization Problems with MATLAB. In the series De Gruyter STEM, <https://doi.org/10.1515/9783110667011>, 2020.
3. Gembicki F.W., "Vector Optimization for Control with Performance and Parameter Sensitivity Indices" Ph.D. Dissertation, Case Western Reserve Univ., Clivlend, OH, 1974.
4. Гольштейн А. Л. Оптимизация в среде Матлаб. Пермь –Изд-во Перм .нац. политех.ун. 2015. 196 ст.
5. Salukvadze M., Kilasonia N. On an Example of Using M-Programming in Multicriteria Optimization. Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences, 2005, 172, no. 3

---

ლებეგის ზომის იმ ინვარიანტული გაგრძელებების შესახებ,  
რომლებიც აკმაყოფილებენ შპილრაინ-მარჩევსკის აქსიომას

ქეთევან ოძიაძე, ნუგზარ დადიანი, დუდუხანა ცინცაძე

Komiadze@mail.ru, dudutsin@gmail.com, nugzar\_dadiani@yahoo.com

## რეზიუმე

ნაშრომში გამოკვლეულია ლებეგის ზომის იმ ინვარიანტული გაგრძელებების თვისებები, რომლებიც აკმაყოფილებენ შპილრაინ-მარჩევსკის აქსიომას. ნაჩვენებია, რომ ასეთი ზომებისათვის სრულდება ლებეგის თეორემა სიმკვრივის წერტილების შესახებ. დამტკიცებულია შეზღუდული თეორემაც. მიღებული შედეგი მნიშვნელოვანია, რადგან საშუალებას იძლევა პასუხი გაეცეს კითხვას, თუ როგორი სიმრავლეების მიმართ შეიძლება აბსოლუტურად უწყვეტი სიმრავლის ფუნქციის გაწარმოება.

საკვანძო სიტყვები: სიმრავლე, ზომა, ვიტალის სისტემა, სიმკვრივის წერტილი

თანამედროვე ოპტიმალური მართვის თეორიაში ხშირად გამოიყენება არადისკრეტული ზომები. მაგალითად [4]-ში დამუშავებულია მათემატიკური მოდელები ავტოსაგზაო, სარკინიგზო, ტელეკომუნიკაციური ქსელების, გამოსახულებების დამუშავების, ოპტიმალური ირიგაციის ამოცანების გადაწყვეტისათვის. ყველა ამ მეთოდის „ბირთვს“ წარმოადგენს შემავალი მონაცემების როლში ნებისმიერი (არადისკრეტული) ზომების დაშვება, რაც საგრძნობლად ამარტივებს ამონახსნების მიღებას ზოგად შემთხვევებში, როცა ამოცანების პარამეტრები ნებისმიერია.

ზომის თეორია მათემატიკის დარგი მე-19 საუკუნის ბოლოს და მე-20 საუკუნის დასაწყისში გახდა. თანამედროვე ზომის თეორიას საფუძველი ჩაეყარა ემილ ბორელის, ანრი ლებეგის, ნიკოლაი ლუზინის, იოჰან რადონის, კონსტანტინე კარათეოდორისა და მორის ფრეშეს ნაშრომებში.

ზომის თეორიაში სიმრავლეზე განსაზღვრული ზომა წარმოადგენს ამ სიმრავლის რაღაც ტიპის ქვესიმრავლეებისთვის არაუარყოფითი რიცხვების მინიჭების წესს. ეს რიცხვი აღიქმება, როგორც შესაბამისი ქვესიმრავლის ზომა. ამ აზრით, ზომა წარმოადგენს სიგრძის, ფართობის და მოცულობის განზოგადებას. ზომის ერთერთ უმნიშვნელოვანეს მაგალითს წარმოადგენს ევკლიდურ სივრცეებზე განმარტებული ლებეგის ზომა, რომელიც ევკლიდის სივრცის გარკვეული ტიპის სიმრავლეებს შეუსაბამებს გარკვეულ რიცხვებს, ანუ „ზომავს“ მათ. კერძო შემთხვევებში ლებეგის ზომა ემთხვევა ჩვეულებრივ ინტუიციურ ზომას. მაგალითად, ნამდვილ რიცხვთა ღერძის  $[0,1]$  მონაკვეთის ლებეგის ზომა ემთხვევა მის სიგრძეს, 1-ს. თუმცა, ლებეგის ზომა საშუალებას იძლევა დადგინდეს იქნეს ბევრად უფრო რთული სიმრავლეების და ფიგურების ზომები.

განსაკუთრებით აღსანიშნავია ლებეგის მიერ განუსაზღვრელ ინტეგრალის დიფერენცირებასთან დაკავშირებით მიღებული შედეგები, რომლითაც უწყვეტ ფუნქციათა შემთხვევაში ცნობილი დიფერენცირებისა და ინტეგრების ოპერაციების ურთიერთშეზღუდულობის პრინციპი გავრცელდა ინტეგრებად ფუნქციათა ფართო კლასზე. ლებეგის ინტეგრალმა შესაძლებელი გახადა ცოდნის არსებითი გაფართოება ყველა იმ მიმართულებით, სადაც ადრე კვლევის საშუალებად რიმანის ინტეგრალი გამოიყენებოდა. ამის თვალსაჩინო მაგალითია ტრიგონომეტრიული და ორთოგონალური მწკრივების თეორია (ფურიეს ანალიზი).

წინამდებარე ნაშრომში ნაჩვენებია, რომ [3]-ში მოცემული შედეგების განზოგადება შესაძლებელია ზომათა კიდევ უფრო ფართო კლასის შემთხვევაშიც.

მოცემულ სტატიაში ძირითადად ვისარგებლებთ ცნებებით, რომლებიც მოცემულია მაგალითად [1], [2]-სა და [3]-ში. აქ მოვიყვანოთ რამოდენიმე განმარტება, რომელთა ანალიზსაც ეხება წინამდებარე სტატია.

ვთქვათ  $G$  წარმოადგენს ევკლიდეს  $n$ -განზომილებიანი  $E_n$  სივრცის ყველა იზომეტრიულ გარდაქმნათა  $D_n$  ჯგუფის ფიქსირებულ ქვეჯგუფს, რომელიც მოიცავს ყველა პარალელურ გადატანათა  $\pi_n$  ჯგუფში ყველაგან მკვირვ ქვესიმრავლეს.

ვიტყვიით, რომ  $G$ -ზომა  $\mu$  აკმაყოფილებს შპილრაინ-მარჩევსკის აქსიომას, თუ მისი განსაზღვრის არის ყოველი ელემენტი წარმოიდგინება შემდეგი სახით  $(Z \cup Z_1) \setminus Z_2$ , სადაც  $Z$   $E_n$ -ის ნებისმიერი ლებეგის აზრით ზომადი ქვესიმრავლეა, ხოლო  $Z_1$  და  $Z_2$  კი  $E_n$  -ის ისეთი ნაწილები, რომელთათვისაც  $\mu(Z_1) = \mu(Z_2) = 0$ .

ვთქვათ,  $(E, G, f, \mu)$  წარმოადგენს  $G$ -ინვარიანტულ სივრცეს.

ვიტყვიით, რომ  $(E, G, f, \mu)$  სივრცეში მოცემული  $\mu$ -ზომად სიმრავლეთა  $(X_k)_{k \in \mathbb{N}}$  მიმდევრობა ფუნდამენტურია  $x \in E$  წერტილში (ანუ კუმშვადია  $x$  წერტილში), თუ სრულდება შემდეგი თანაფარდობა

$$(\forall k)(k \in \mathbb{N} \Rightarrow x \in X_k), \lim_{k \rightarrow \infty} d(X_k) = 0,$$

სადაც  $d$ -თი აღნიშნულია სიმრავლის დიამეტრი.

ვთქვათ,  $Y$  არის  $E$  სივრცის ნებისმიერი ქვესიმრავლე,  $\mathcal{T}$  -  $\mu$  -ზომად სიმრავლეთა რაიმე ოჯახი. ვიტყვიით, რომ  $\mathcal{T}$  ოჯახი ვიტალის აზრით ფარავს  $Y$  სიმრავლეს, თუ ყოველი  $y \in Y$  წერტილისთვის არსებობს  $\mathcal{T}$  ოჯახის მისკენ კუმშვადი თვლადი ქვეოჯახი.

მკაცრად დადებითი ზომის მქონე  $\mu$ -ზომად სიმრავლეთა ნებისმიერ  $B$  ოჯახს ვუწოდებთ ვიტალის სისტემას  $(E, G, f, \mu)$  სივრცისათვის, თუ ის აკმაყოფილებს შემდეგ პირობებს:

ა)  $(\forall Z) (\forall g) (Z \in B, g \in G \Rightarrow g(Z) \in B)$

ბ)  $(\forall Y) (\forall \varepsilon) (\forall B') (Y \subset E, \mu^*(Y) < +\infty, \varepsilon > 0; B' \subset B$  და  $B'$  ვიტალის აზრით ფარავს  $Y$  სიმრავლეს  $\Rightarrow$  არსებობს  $(Z_k)_{k \in \mathbb{N}} \subset B'$  დიზუნქტური მიმდევრობა, ისეთი, რომ  $\mu^*(Y \setminus \bigcup_{k \in \mathbb{N}} Z_k) < \varepsilon$ .

გ)  $(\forall x)(x \in E \Rightarrow B$  შეიცავს  $x$  წერტილში ფუნდამენტურ თვლად ქვესიმრავლეს).

$y \in E$  წერტილს ეწოდება  $Y \in \mathcal{f}$  სიმრავლის სიმკვირვის წერტილი, მოცემული  $\mathcal{T} \subset \mathcal{f}$  სისტემის მიმართ, თუ ყოველი  $y$  წერტილისაკენ კუმშვადი  $(Y_k)_{k \in \mathbb{N}}$  მიმდევრობისათვის  $\mathcal{T}$ -დან ადგილი აქვს ტოლობას

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \frac{\mu(Y_k \cap Y)}{\mu(Y_k)} = 1.$$

წინამდებარე ნაშრომში გამოკვლეულია ლებეგის ზომის იმ ინვარიანტული გაგრძელებების თვისებები, რომლებიც აკმაყოფილებენ შპილრაინ-მარჩევსკის აქსიომას.

კერძოთ სამართლიანია შემდეგი

თეორემა. ვთქვათ  $\mu$  არის ლებეგის ზომის  $D_n$ -ინვარიანტული გაგრძელება. შემდეგი თვისებები ტოლფასია:

ა)  $\mu$  აკმაყოფილებს შპილრაინ-მარჩევსკის აქსიომას;

ბ)  $E_n$  სივრცის მკაცრად დადებითი ზომის მქონე  $\mu$  -ზომადი სიმრავლეების ნებისმიერი ფუნდამენტური და რეგულარული ოჯახი, რომელთა საზღვრის ზომა ნულის ტოლია, წარმოადგენს  $\mu$  ზომისათვის ვიტალის სისტემას;

გ)  $\mu$  ზომისათვის სრულდება ლებეგის თეორემა სიმკვირვის წერტილების შესახებ.

დამტკიცება: ა)  $\Rightarrow$  ბ)

ვთქვათ  $\mu$  აკმაყოფილებს შპილრაინ-მარჩევსკის აქსიომას.  $B = (B_i)_{i \in \mathbb{I}}$  წარმოადგენს ფუნდამენტურ და რეგულარულ ოჯახს, რომლისთვისაც  $\mu d(B_i) = 0$  და უნდა ვაჩვენოთ, რომ  $\forall Y, Y \in E_n$ -თვის მოიძებნება  $B$  -ს ელემენტთა დიზუნქტური მიმდევრობა  $B_1, B_2, \dots$  ისეთი, რომ  $\mu^*(Y \setminus \bigcup_{i=1}^{\infty} B_i) = 0$ .

თავდაპირველად დავუშვათ, რომ  $Y$  შემოსაზღვრულია,  $\Delta_n$  იყოს  $E_n$  სივრცის ჩაკეტილი პარალელეპიპედი, ისეთი, რომ  $Y \subset \Delta_n$ . ზოგადობის შეუზღუდავად შეგვიძლია ვიგულისხმოდ, რომ  $B$  -ს ყველა ელემენტი ძვეს  $\Delta_n$ -ში.  $B_1$  იყოს ნებისმიერი ელემენტი  $B$  -დან. შესაძლოა ორი შემთხვევა: 1)  $\mu^*(Y \setminus B_1) = 0$ , მაშინ თეორემა დამტკიცებულია. 2)  $\mu^*(Y \setminus B_1) > 0$ . ამ შემთხვევაში  $B_1$  -ით აღვნიშნოთ  $B$ -ს ყველა იმ ელემენტის სიმრავლე, რომლებიც არ გადაიკვეთებიან  $B_2$ -თან (ასეთები არსებობს  $\mu d(B_i) = 0$  პირობის გამო).  $L_1$  იყოს  $B_1$  -ის ელემენტთა დიამეტრების ზუსტი ზედა საზღვარი. ცხადია  $L_1 < d\Delta_n$ .  $B_2$  იყოს  $B_1$  -ის ელემენტი, ისეთი, რომ  $d(B_2) > \frac{L_1}{2}$ .  $B_2$  -ით აღვნიშნოთ  $B_1$  -ის ყველა იმ ელემენტთა სიმრავლე,

რომლებიც არ გადაიკვეთებიან  $B_2$ -თან,  $L_2$  კი იყოს  $B_2$ -ის ელემენტთა დიამეტრების ზუსტი ზედა საზღვარი.  $B_3$  შევარჩიოთ  $B_2$ -დან ისე, რომ  $d(B_3) > \frac{L_2}{2}$ .

ამ წესით გამოვითვალოთ  $B_1, B_2, \dots, B_k$  ელემენტები, რომლებსაც წყვილწყვილად საერთო წერტილები არ აქვთ. თუ  $\mu^*(Y \setminus \cup_{k=1}^{\infty} B_k) = 0$  მაშინ მტკიცება დამთავრებულია, ხოლო თუ  $\mu^*(Y \setminus \cup_{k=1}^{\infty} B_k) > 0$ ,  $B_k$ -თი აღვნიშნოთ  $B_{k-1}$ -ში შემავალ იმ ელემენტთა სიმრავლე, რომლებსაც  $B_k$ -თან საერთო წერტილები არა აქვთ.  $L_k$  იყოს  $B_k$ -ს სისტემის ელემენტთა დიამეტრების ზუსტი ზედა საზღვარი. ვთქვათ  $B_{k+1} \in B_k$ ,  $d(B_{k+1}) > \frac{L_k}{2}$ . გავაგრძელოთ ეს

პროცესი უსასრულოდ, მივიღებთ  $B_1, B_2, \dots$  მიმდევრობას, რომლებსაც წყვილ-წყვილად საერთო წერტილები არ აქვთ და ამასთან  $d(B_k) > \frac{L_{k-1}}{2}$ . აღვნიშნოთ  $H = Y \setminus \cup_{k=1}^{\infty} B_k$ , ვაჩვენოთ,

რომ  $\mu^*(H) = 0$ . დავუშვათ საწინააღმდეგო:  $\mu^*(H) > 0$ . აღვნიშნოთ  $I_k$ -თი კუბი, რომლის ცენტრი ემთხვევა  $B_k$ -ს მომცველი უმცირესი  $I_k$  სეგმენტის ცენტრს და დიამეტრი  $d(I_k) = 5d(B_k)$ , რადგან  $\sum_{k=1}^{\infty} |I_k| \leq |\Delta_n|$ , ამიტომ  $\sum_{k=1}^{\infty} |I_k|$  მწკრივი კრებადია და მაშასადამე არსებობს ისეთი ნატურალური რიცხვი  $\nu$ , რომ  $\sum_{k=\nu+1}^{\infty} |I_k| = 5 \sum_{k=\nu+1}^{\infty} |B_k| < \mu^*(H)$ ;

აქედან გამომდინარეობს, რომ  $\mu^*(H \setminus \cup_{k=\nu+1}^{\infty} I_k) > 0$ ,

ამიტომ  $H$  სიმრავლეში არსებობს ისეთი  $x$  წერტილი, რომელიც არ ეკუთვნის არც ერთ  $I_k$  სეგმენტს როცა  $k > \nu$ , გარდა ამისა  $x \notin \cup_{k=1}^{\nu} B_k$ , ამასთან  $\mu(\delta \cup B_k) = 0$ , ამიტომ  $x$  წერტილი

შეიძლება მოვათავსოთ  $B$  სისტემის ისეთი  $B$  ელემენტის შიგნით, რომ  $B \cap (\cup_{k=1}^{\nu} B_k) = \emptyset$ .

დავამტკიცოთ, რომ  $B \cap (\cup_{k=1}^{\nu} B_k) \neq \emptyset$ . დავუშვათ საწინააღმდეგო, რომ  $B$ -ს არა აქვს საერთო წერტილი  $B_1, B_2, \dots$  მიმდევრობის არც ერთ ელემენტთან, მაშინ ყოველი  $k$ -თვის გვექნება  $d(B) \leq L_k < 2d(B_{k+1})$ ,

აქედან  $d(B) \leq 2 \lim_{k \rightarrow \infty} d(B_{k+1}) = 0$ , მაშასადამე  $d(B) = 0$ , რაც შეუძლებელია.

ამრიგად  $B_k$ -ებს შორის არსებობს ერთი მაინც ელემენტი, რომელსაც  $B$ -თან საერთო წერტილი აქვს. ვთქვათ  $k_0$  არის  $k$ -ს უმცირესი მნიშვნელობა, რომლისთვისაც  $B \cap B_{k_0} \neq \emptyset$ . მაშინ  $B \cap B_k = \emptyset$   $k=1, 2, \dots, k_0-1$ -თვის, ამასთან ცხადია  $k_0 > \nu$ . რადგან  $B \in B_{k_0-1}$ , ამიტომ

$$d(B) \leq L_{k_0-1} \quad (1)$$

რაკი  $x \in I_{k_0}$  და  $x \in B$ , ხოლო  $B \cap B_{k_0} \neq \emptyset$ , ამიტომ  $d(B) > 2d(B_{k_0}) > L_{k_0-1}$ , რაც წინააღმდეგობაა (1)-თან. ე.ი.  $\mu^*(H) = 0$ . ამით ა)  $\Rightarrow$  ბ) დამტკიცებულია.

ბ)  $\Rightarrow$  გ)

მოცემულია  $(E, G, f, \mu)$  სივრცე.  $Y \in f$ . რადგან კუბების ოჯახი ვიტალის სისტემას წარმოადგენს, ამიტომ მოიძებნება  $\Delta_1, \Delta_2, \dots$  მიმდევრობა ისეთი, რომ

$$\mu(Y \setminus \cup_{k=1}^{\infty} \Delta_k) = 0 \quad (2)$$

განვიხილოთ  $x \in Y$ , მაშინ თითქმის ყველა  $x$ -თვის (1)-ის თანახმად  $x \in \cup \Delta_k \Rightarrow x \in \Delta_{k_0}$

$$\lim_{d\Delta_x \rightarrow 0} \frac{\mu(\Delta_x \cap Y)}{\mu(\Delta_x)} = \lim_{d\Delta_x \rightarrow 0} \frac{\sum \mu(\Delta_x \cap (\cup_{k=1}^{\infty} \Delta_k))}{\mu(\Delta_x)} = \lim_{d\Delta_x \rightarrow 0} \frac{\mu(\Delta_x \cap \Delta_{k_0})}{\mu(\Delta_x)} = 1$$

ამრიგად,  $Y$ -ის თითქმის თითქმის ყველა წერტილი არის მისი სიმკვრივის წერტილი, ბ)  $\Rightarrow$  გ) დამტკიცებულია.

(გ)  $\Rightarrow$  ა)

$\mu$  ზომისთვის სრულდება თეორემა სიმკვრივის წერტილების შესახებ. უნდა ვაჩვენოთ, რომ  $\mu$  ზომა აკმაყოფილებს შპილრაინ-მარჩევსკის აქსიომას. ავიღოთ  $\mu$  ზომის განსაზღვრის არიდან რაიმე  $X$  სიმრავლე. ზოგადობის შეზღუდვის გარეშე შეგვიძლია ვიფულისხმოთ, რომ  $X$  შემოსაზღვრულია და მთლიანად მოთავსებულია ღია  $K$  პარალელეპიპედში.  $X_1$  -ით აღვნიშნოთ  $X$  სიმრავლის ყველა იმ სიმკვრივის წერტილთა სიმრავლე, რომლებიც ეკუთვნის  $X$ -ს. დაშვების თანახმად  $\mu(X \setminus X_1) = 0$ . ამიტომ საკმარისია დავრწმუნდეთ ლებეგის აზრით ზომადი ისეთი  $Z$  სიმრავლის არსებობაში, რომლისთვისაც  $X_1 \subset Z$  და  $\mu(Z \setminus X_1) = 0$ .

მაშინ გვექნება  $X = (Z \cup (X \setminus X_1)) \setminus (Z \setminus X_1)$ .

ყოველი ნატურალური  $r \geq 1$ -სათვის განვიხილოთ  $n$ -განზომილებიანი კუბების ოჯახი  $(K_i^{(r)})_{i \in I}$ , ცენტრებით  $X$ -ის წერტილებში და რომლისთვისაც ადგილი აქვს თანაფარდობებს:

$$\begin{aligned} & (\forall i)(i \in I \Rightarrow (K_i^{(r)} \subset K)) \\ & (\forall i)(i \in I \Rightarrow \mu(K_i^{(r)}) \geq \frac{1}{r} \mu(K_i)) \end{aligned}$$



ცხადია, ეს ოჯახი  $X_1$ -ს ფარავს ვიტალის აზრით. ე.ი. მოიძებნება წყვილ-წყვილად გადაუკვეთი  $(K_{i_m}^{(r)})_{mgN}$ , კუბების მიმდევრობა, რომელთა გაერთიანებაც ფარავს  $X_1$ , ე.ი.

$$\ln^*(X \setminus \bigcup_{mgN} K_{i_m}^{(r)}) = 0.$$

შემდგომ, დავუშვათ, რომ

$$Z^{(r)} = (X \setminus \bigcup_{mgN} K_{i_m}^{(r)}) \cup (\bigcup_{mgN} K_{i_m}^{(r)}).$$

ადგილი ექნება შემდეგ თანაფარდობებს:

$$Z^{(r)} \in L$$

$$\mu(Z^{(r)} \setminus X_1) \leq \sum_{m=0}^{\infty} \mu(K_{i_m}^{(r)} \setminus X_1) \leq \frac{1}{r} \sum_m \mu(K_{i_m}^{(r)}) \leq \frac{\mu K}{r}$$

აქედან გამომდინარე, საძიებელი  $Z$  სიმრავლის როლში შეიძლება ავიღოთ გადაკვეთა

$$\bigcap_{r \geq 1} Z^{(r)}$$

თეორემა დამტკიცებულია.

About invariant Lebesgue measure expansions satisfying the Spielrein-Marchevsky axiom

Ketevan Omiadze, Nugzar Dadiani, Dudukhan Tsintsadze

#### Summary

In the article the properties of Lebesgue measure invariant extensions that satisfy the Spielrein-Marchevsky axiom are investigated. It is shown that Lebesgue's theorem on density points is valid for such measures. The converse theorem is also proved. The result obtained is important because it allows us to answer the question for what kinds of sets the function of an absolutely continuous set can be produced

#### О инвариантных продолжениях лебеговской меры удовлетворяющих аксиому Шпильрайна-Марчевского

Кетеван Омиадзе, Нугзар Дадиани, Дудухана Цинцадзе

#### Резюме

Исследованы свойства инвариантных продолжений Лебеговской меры заданных в  $n$ -мерном пространстве и удовлетворяющих аксиоме Шпильрайна-Марчевского. Показано выполнение теоремы Лебега о точках плотности. Доказано также обратная теорема.

#### ლიტერატურა – References – Литература

1. Бурбаки Н. - Общая топология. М., 1969.
2. ონიანი გიორგი - ნამდვილი ანალიზის საფუძვლები - ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის გამომცემლობა, 2019.
3. H. Buseman und W. Feller. Differentiation der L-integrale. Fund. Math.,22: 226-256. 1934.
4. Степанов Е.О. – Задачи геометрической теории меры в моделях оптимизации транспортных сетей и потоков-ВАК РФ 05. 13. 2017.

მართვის სისტემები და მოწყობილობები

**CONTROL SYSTEMS AND DEVICES**

**СИСТЕМЫ И УСТРОЙСТВА УПРАВЛЕНИЯ**



---

თბომატარებლის პრანდტლის რიცხვის გავლენა თბოგადაცემაზე გლუვ და ხორკლიან ზედაპირებზე სითხის აფსკის ჩამოდინების დროს

თენგიზ მაგრაქველიძე, გიორგი გიგინეიშვილი, ავქსენტი მიქაშავიძე,

ტარიელ კობერიძე, ხათუნა ლომიძე

[qveli17@yahoo.com](mailto:qveli17@yahoo.com)

## რეზიუმე

სტატიაში წარმოდგენილია ვერტიკალურ მილზე ჩამოდინარე სითხის აფსკში თბოგადაცემის ინტენსიურობაზე ორგანოზომილებიანი ხორკლიანობის გავლენის ექსპერიმენტული გამოკვლევის შედეგები. ექსპერიმენტებში თბომატარებლებად გამოყენებული იყო ქსელის წყალი, დისტილირებული წყალი და ეთილის სპირტი. ცდები ჩატარდა პრანდტლის რიცხვის ( $Pr$ ) დიაპაზონში  $3 \div 20$ , რეინოლდსის რიცხვი ( $Re$ ) იცვლებოდა 100-დან 45000-მდე. გლუვ მილზე ჩატარებული ექსპერიმენტების შედეგები კარგ თანხვედრაშია არსებულ ლიტერატურულ მონაცემებთან.

გამოკვლევის შედეგად დადგენილია, რომ თბოგადამცემ ზედაპირზე ორგანოზომილებიანი ხორკლიანობის შექმნა განაპირობებს თბოგადაცემის ინტენსიურობის მნიშვნელოვან ზრდას. ამასთან, თბოგადაცემის ინტენსიურობის ხარისხი საგრძნობლად იზრდება პრანდტლის რიცხვის ზრდით.

დადგენილია, აგრეთვე, რომ ორგანოზომილებიანი ხორკლიანობა დიდ გავლენას ახდენს რეინოლდსის რიცხვის კრიტიკულ მნიშვნელობაზე –  $Re_{კრ}$ -ზე. ამასთან  $Re_{კრ}$ -ის მნიშვნელობა ხორკლიანი ზედაპირისათვის დიდადაა დამოკიდებული თბომატარებლის პრანდტლის რიცხვზე.

მიღებული შედეგები ცხადყოფენ, რომ ზედაპირის ხორკლიანობის მეთოდის გამოყენება სათანადო თბოგადამცემ დანადგარებში მნიშვნელოვნად გაზრდის მათ ეფექტურობას.

საკვანძო სიტყვები:

ჩამოდინარე აფსკი, თბოგადაცემის ინტენსიფიკაცია, ხორკლიანობა

როგორც განსახილველი პრობლემისადმი ავტორთა მიერ ადრე გამოქვეყნებულ გამოკვლევებში [1-3] იყო აღნიშნული, ზედაპირზე სითხის აფსკის ჩამოდინების პირობებში თბოგადაცემის პროცესს ადგილი აქვს თანამედროვე ტექნიკის დანადგარებში, რაც პრაქტიკულ მნიშვნელობას ანიჭებს აღნიშნული პროცესის საფუძვლიანად შესწავლას.

წინამდებარე გამოკვლევა დაფუძნებულია აკადემიკოს ვ. გომელაურის მიერ მიღებულ ექსპერიმენტულ შედეგებზე, რომლებშიც საფუძვლიანად იყო დადასტურებული არხებში ტურბულენტური დინების დროს თბოგადაცემის საინტენსიფიკაციოდ ხელოვნური ხორკლიანობის მეთოდის გამოყენების ეფექტურობა [4]. ზედაპირზე აფსკის ჩამოდინების პირობებში ზემოთ აღნიშნული მეთოდით თბოგადაცემის ინტენსიფიკაციის პრობლემები შესწავლილი და გამოქვეყნებული იყო წინამდებარე სტატიის ავტორთა მიერ. კერძოდ, გამოკვლეული იყო ზედაპირზე მჭიდროდ განლაგებული წაკვეთილი პირამიდის ფორმის მქონე შვერილების (პირამიდული ხორკლიანობის) გავლენა თბოგადაცემის ინტენსიურობაზე. ამავე გამოკვლევებში შესწავლილი იყო აგრეთვე, ორგანოზომილებიანი და

კომბინირებული ხორკლიანობის (პირამიდული+ორგანოზომილებიანი) ეფექტურობა თბოგადაცემაზე. ამასთან, უნდა აღინიშნოს, რომ ხსენებული გამოკვლევები ჩატარებული იყო რეინოლდსისა (Re) და პრანდტლის (Pr) რიცხვების შეზღუდულ დიაპაზონში. კერძოდ, რეინოლდსის რიცხვი არ აღემატებოდა  $10^4$ , ხოლო პრანდტლის რიცხვი იყო 10-11 ფარგლებში [1-3].

ცხადია, აღნიშნული უგანზომილებო კომპლექსების ფართო დიაპაზონში ცვლილებების გავლენა თბოგადაცემის ინტენსიურობაზე დიდ ინტერესს იმსახურებს. აღნიშნული მიზნის მისაღწევად, ჩვენ მიერ შექმნილი იქნა ექსპერიმენტული დანადგარი, რომელიც დაწვრილებითაა აღწერილი გამოკვლევაში [3]. რადგანაც წინამდებარე სტატიაში წარმოდგენილი ექსპერიმენტული შედეგები მიღებულია განსხვავებულ პირობებში, ჩვენ მიზანშეწონილად მივიჩნიეთ აღნიშნული დანადგარის პრინციპული სქემის წარმოდგენა (ნახაზი 1).

[3] გამოკვლევაში ცდები ჩატარებული იყო ღია კონტურზე თბომატარებლად ქსელის წყლის გამოყენებით. წინამდებარე გამოკვლევაში (20) ვენტილის გადაკეტვით და (18) და (19) ვენტილების გაღებით და (17) გადამრთველი ონკანის საშუალებით ღია კონტური გადაკეთებული იყო ჩაკეტილ კონტურად, რამაც საშუალება მოგვცა ექსპერიმენტები ჩაგვეტარებინა ერთი მხრივ, დისტილირებული წყლის სხვადასხვა ტემპერატურის პირობებში, ხოლო, მეორე მხრივ, თბომატარებლად სხვა სითხის, კერძოდ ეთილის სპირტის გამოყენებით. ყოველივე ეს ექსპერიმენტებში უზრუნველყოფდა რეინოლდსისა და პრანდტლის რიცხვების დიაპაზონის გაზრდას. კერძოდ, წინამდებარე ექსპერიმენტებში რეინოლდსის რიცხვი იცვლებოდა 100-დან 45 000-მდე, ხოლო პრანდტლის რიცხვი 3-დან 20-მდე. ექსპერიმენტების ჩატარებისა და გაზომვების მეთოდიკა დაწვრილებითაა გადმოცემული გამოკვლევაში [3], ამიტომ ამ საკითხებზე აღარ შევჩერდებით. აღვნიშნავთ მხოლოდ იმას, რომ ჩაკეტილ კონტურში თბომატარებლის ტემპერატურის გაზრდა და შენარჩუნება წარმოებდა თერმოსტატის (2) საშუალებით.

ექსპერიმენტული დანადგარის ძირითადი ელემენტი იყო ვერტიკალურად განთავსებული უჟანგავი ფოლადის მილი, დიამეტრით 10 მმ და სიგრძით 200 მმ. გათვალისწინებული იყო, აგრეთვე, ჰიდროდინამიკური სტაბილიზაციის უბანი. ორგანოზომილებიანი ხორკლიანობა შეიქმნა აღნიშნულ მილზე 0,5 მმ დიამეტრის მქონე სპილენძის მავთულის დახვევით. ორგანოზომილებიანი ხორკლიანობის გეომეტრიული პარამეტრები იყო:  $h=0.5$  მმ ;  $s/h=10$ .

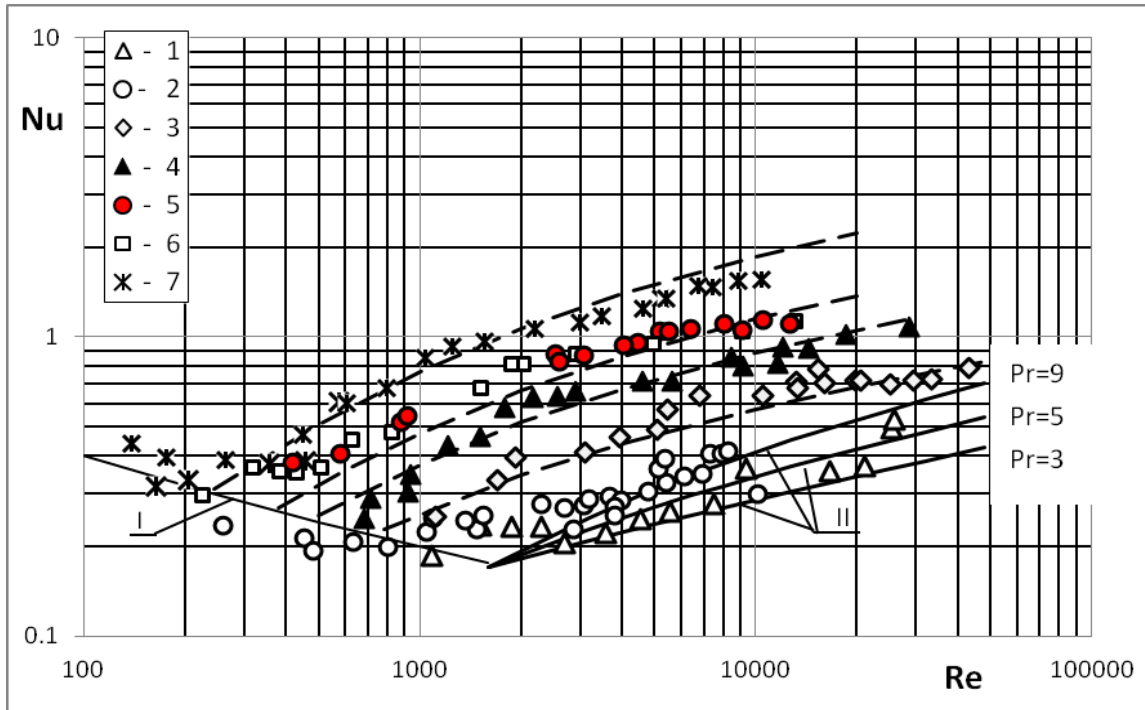
ექსპერიმენტული მონაცემები, ისევე როგორც ადრე გამოქვეყნებულ გამოკვლევებში, დამუშავდა შემდეგი უგანზომილებო სიდიდეების გამოყენებით:

$$Nu = \frac{\alpha}{\lambda} \left(\frac{v^2}{g}\right)^{1/3}, \quad Pr = \frac{\nu}{a}, \quad Re = \frac{4G}{\nu}$$

სადაც,  $\alpha$  არის თბოგაცემის კოეფიციენტი, ვტ/მ<sup>2</sup> °C;  $\lambda$  -სითხის თბოგამტარობის კოეფიციენტი, ვტ/მ °C;  $\nu$  -სითხის სიბლანტის კინემატიკური კოეფიციენტი, მ<sup>2</sup>/წმ;  $g$  - სიმძიმის ძალის აჩქარება, მ/წმ<sup>2</sup>;  $a$  -სითხის ტემპერატურაგამტარობის კოეფიციენტი, მ<sup>2</sup>/წმ;  $G$  -თბოგამცემი ზედაპირის ე.წ. მორწყვის კოეფიციენტი, მ<sup>2</sup>/წმ,  $Nu$  - ნუსელტის რიცხვი;  $Pr$  - პრანდტლის რიცხვი;  $Re$  - რეინოლდსის რიცხვი.



მიღებული ექსპერიმენტული შედეგები, როგორც გლუვი, ისე ორგანოზომილებიანი ხორკლიანობის მქონე ზედაპირებისათვის წარმოდგენილია მე-2 ნახაზზე კოორდინატებში (Nu, Re).



ნახ.2. თბოგაცემის ინტენსიურობის დამოკიდებულება რეინოლდსის რიცხვზე გლუვი ზედაპირები:

1 - გლუვი, Pr=5; 2 - გლუვი, Pr=9;

ორგანოზომილებიანი ხორკლიანობის მქონე ზედაპირები,  $h=0.5\text{მმ}$  ;  $s/h=10$ ;

3 - Pr=3 (ქსელის წყალი); 4 - Pr=6 (ქსელის წყალი); 5 - Pr=9 (ქსელის წყალი).

6 - Pr=9 (წყლის დისტილატი); 7- Pr=20 (სპირტი).

I - ჩჟუნის და სეზანის ფორმულის მიხედვით [4];

II - ლაბუნცოვის ფორმულის მიხედვით [5].

გრაფიკზე ექსპერიმენტული მონაცემები გასაშუალებულია წყვეტილი ხაზებით. მთლიანი ხაზი I შეესაბამება ლიტერატურიდან ცნობილ ფორმულას ლამინარულ-ტალღური რეჟიმისათვის [5], როდესაც  $Re_{კრ} \leq 1600$ , ხოლო, ხაზები II შეესაბამება დ. ლაბუნცოვის ფორმულას აფსკის ტალღურიდან ტურბულენტურ რეჟიმში გარდამავალი ზონისათვის [6]. ორივე ფორმულა სამართლიანია გლუვი ზედაპირებისათვის.

როგორც აღნიშნული გრაფიკიდან ჩანს, ექსპერიმენტული მონაცემები გლუვი ზედაპირებისათვის კარგ თანხვედრაშია ჩჟუნისა და ლაბუნცოვის ფორმულებთან, რაც ჩვენ მიერ შერჩეული მეთოდის სისწორეზე მიუთითებს.

აღნიშნული გრაფიკიდან აგრეთვე ჩანს, რომ ორგანოზომილებიანი ხორკლიანობის შექმნა თბოგაცემის ზედაპირზე განაპირობებს თბოგაცემის ინტენსიურობის მნიშვნელოვან ზრდას. ამასთან, ექსპერიმენტული მონაცემების თანახმად, თბოგადაცემის ინტენსიურობის ხარისხი საგრძნობლად იზრდება პრანდტლის რიცხვის ზრდით.

აღსანიშნავია, აგრეთვე, რომ ორგანოზომილებიანი ხორკლიანობა დიდ გავლენას ახდენს  $Re_{cr}$  -ზე. ამ შემთხვევაში  $Re_{cr}$  -ის მნიშვნელობა დიდადა დამოკიდებული თბომატარებლის პრანდტლის რიცხვზე. ასე მაგალითად, როგორც ნახ.2-დან ჩანს, იმ შემთხვევაში, როდესაც  $Pr=3$ ,  $Re_{cr} \cong 800$ , ხოლო როცა  $Pr=19$ ,  $Re_{cr} \cong 200$ . ეს მონაცემები პრაქტიკულთან ერთად, უაღრესად დიდ თეორიულ ინტერესს იმსახურებს.

მიღებული შედეგები ცხადყოფენ, რომ ზედაპირის ხორკლიანობის მეთოდის გამოყენება სათანადო თბოგადამცემ დანადგარებში მნიშვნელოვნად გაზრდის მათ ეფექტურობას.

### Influence of the Prandtl number on heat transfer at liquid film flows down smooth and rough surfaces

Tengiz Magrakvelidze, Giorgi Gigineishvili, Avksenti Mikashavidze, Tariel Koberidze,  
Khatuna Lomidze

#### Summary

The article presents the results of an experimental study on the effect of two-dimensional roughness on heat transfer when a liquid film flows down a vertical surface. The following coolants were used in the experiments: network water, distilled water and ethyl alcohol.

The experiments were carried out in the range of the Prandtl number ( $Pr$ )  $3 \div 20$ , the Reynolds number varied from 100 to 45000. The experimental results obtained for a smooth surface are in good agreement with the existing literature data.

As a result of the study, it was found that the creation of a two-dimensional roughness on the heat-transfer surface causes a significant increase in the intensity of heat transfer. At the same time, the degree of intensity of heat transfer increases markedly with an increase in the Prandtl number ( $Pr$ ).

It has also been established that the two-dimensional roughness has a great influence on  $Re_{cr}$ . In this case, the value of  $Re_{cr}$  for rough surfaces depends to a large extent on the Prandtl number.

The obtained results indicate that the use of the surface roughness method in the corresponding heat transfer installations will lead to a significant increase in the efficiency of such installations.

### Влияние числа Прандтля на теплопередачу при стекании пленки жидкости по гладкой и шероховатой поверхностях

Тенгиз Магრაқвेलидзе, Гиорги Гигинеишвили, Авксентий Микашавидзе,  
Тариел Коберидзе, Хатуна Ломидзе

#### Резюме

В статье представлены результаты экспериментального исследования по определению влияния двумерной шероховатости на теплопередачу при стекании жидкой пленки по вертикальной поверхности. В экспериментах в качестве теплоносителя использовались: сетевая вода, дистиллированная вода и этиловый спирт. Опыты были проведены в диапазоне числа Прандтля ( $Pr$ )  $3 \div 20$ , число Рейнольдса изменялось от 100 до 45000. Экспериментальные результаты, полученные для гладкой поверхности находятся в хорошем соответствии с существующими литературными данными.

В результате исследования установлено, что создание на теплоотдающей поверхности двумерной шероховатости обуславливает существенное увеличение интенсивности теплопередачи. При этом, степень интенсивности теплопередачи заметно растет с ростом числа Прандтля ( $Pr$ ).

Установлено также, что двумерная шероховатость оказывает большое влияние на  $Re_{кр}$ . При этом, значение  $Re_{кр}$  для шероховатой поверхностей значительной степени зависит от числа Прандтля.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что использование метода шероховатости поверхности в соответствующих теплопередающих установках обусловит значительное повышение эффективности таких установок.

#### ლიტერატურა – References – Литература

1. მაგრაქველიძე თ., მიქაშავიძე ა., ლომიძე ხ., ბანცაძე ნ. თბოგაცემის ინტენსიფიკაცია ვერტიკალურ ზედაპირზე წყლის აფსკის ჩამოდინების დროს. სტუ-ის არჩილ ელიაშვილის სახელობის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული. 2017, N22, გვ. 47-51.
2. მაგრაქველიძე თ., გიგინეიშვილი გ., მიქაშავიძე ა., კობერიძე ტ., ლომიძე ხ. თბოგაცემა გლუვ და ხორკლიან ზედაპირებზე წყლის აფსკის ჩამოდინების დროს. “ენერჯია”. 2019, გვ.35-39.
3. მაგრაქველიძე თ., გიგინეიშვილი გ., მიქაშავიძე ა., კობერიძე ტ., ლომიძე ხ. ზედაპირის ხორკლიანობის ტიპის გავლენა თბოგაცემის ინტენსიფიკაციაზე წყლის აფსკის ჩამოდინების დროს. ა. ელიაშვილის სახელობის მართვის სისტემების ინსტიტუტი. შრომათა კრებული. 2021, N25, გვ.67-73.
4. Gomelaury V. – Influence of two – dimensional artificial roughness on convective heat transfer. Int. J. of Heat and Mass Transfer, v.7, 1964, N6, pp.653-663.
5. K.Chun, R.Seban. Heat transfer to evaporating liquid films. Heat Transfer Ser. S. - 1971. - Т. 93, N4, pp.71-77.
6. Лабунцов Д. А. Теплоотдача при пленочной конденсации чистых паров по вертикальных поверхностях и горизонтальных трубах, Теплоэнергетика. 1957, №2, с.49-51.

“აღნიშნული პროექტი განხორციელდა შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდის ფინანსური ხელშეწყობით (გრანტი FR-19-3034)“.

---

ორგანზომილებიანი ხორკლიანობის ფარდობითი ბიჯის გავლენა სარევიან აპარატში სითხის არევისათვის საჭირო სიმძლავრეზე

თენგიზ მაგრაქველიძე, გიორგი გიგინეიშვილი, ავქსენტი მიქაშავიძე,

ტარიელ კობერიძე, ხათუნა ლომიძე

[qveli17@yahoo.com](mailto:qveli17@yahoo.com)

### რეზიუმე

სტატიაში წარმოდგენილია ექსპერიმენტული მონაცემები, რომელთა თანახმად სითხის არევისათვის საჭირო სიმძლავრეზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს სარევიანი აპარატის კედლის ხორკლიანობა. ამასთან, ნაჩვენებია, რომ, ამ შემთხვევაში, არევისათვის საჭირო სიმძლავრის ზრდა მნიშვნელოვნად ნაკლებია სარევიან აპარატში ამრეკლი ტიხარების გამოყენებით გამოწვეულ არევისათვის საჭირო სიმძლავრის ზრდასთან შედარებით.

დადგენილია, რომ არევისათვის საჭირო სიმძლავრის მაქსიმალურ ზრდას ადგილი აქვს იმ შემთხვევაში, როდესაც ორგანზომილებიანი ხორკლიანობის ელემენტებს შორის ბიჯის ფარდობა ამ ელემენტების სიმაღლესთან –  $s/h=6\div 7$ .  $s/h$ -ის აღნიშნულ მნიშვნელობასთან შედარებით, როგორც ზრდის, ისე შემცირების შემთხვევაში, ხელოვნური ხორკლიანობით გამოწვეული სითხის არევისათვის საჭირო სიმძლავრის ზრდა მცირდება.

ადრე გამოქვეყნებულ შედეგებზე დაყრდნობით ნაჩვენებია, რომ ანალოგიური სურათი გვაქვს თბოგადაცემის შემთხვევაშიც.

გაკეთებულია დასკვნა იმის შესახებ, რომ სარევიან აპარატებში ხორკლიანობის მეთოდის გამოყენება ბევრად უფრო ეფექტურია, ვიდრე ამჟამად არსებული ამრეკლი ტიხარების მეთოდისა.

### საკვანძო სიტყვები:

სარევიანი აპარატი, ხელოვნური ხორკლიანობა, მაბრუნე მომენტი

როგორც ცნობილია, სარევიანი აპარატები ფართოდ გამოიყენება ქიმიური, კვების, გადამუშავების და მრეწველობის სხვა დარგებში [1]. ამასთან, ცნობილია, რომ ხშირად ასეთ აპარატებში ხორციელდება სითხის გადაცემის პროცესი. აქედან გამომდინარე, ცხადია, რომ თბოგადაცემის ინტენსიფიკაცია ასეთ აპარატებში ფრიად აქტუალურია. ამჟამად არსებულ აპარატებში თბოგადაცემის საინტენსიფიკაციოდ ხშირად გამოიყენება ამრეკლი ტიხარები, რაც თბოგადაცემის ინტენსიურობას დაახლოებით 30-40%-ით ზრდის. მაგრამ, ასეთი მეთოდით ინტენსიფიკაცია იწვევს არევისათვის საჭირო სიმძლავრის მნიშვნელოვან ზრდას (დაახლოებით 6-8-ჯერ) [2].

ზემოთქმულიდან გამომდინარე, ცხადია, რომ თბოგადაცემის ინტენსიფიკაციის მიზნით ისეთი საშუალების გამოყენება, რომელიც განაპირობებს თბოგადაცემის ინტენსიურობის მნიშვნელოვან ზრდას სითხის არევისათვის საჭირო სიმძლავრის შედარებით ზომიერი ზრდის პირობებში, ძალზე აქტუალურია. ერთ-ერთ ასეთ საშუალებად ავტორთა მიერ ადრე გამოქვეყნებულ სამუშაოებში მიჩნეულ იქნა ხელოვნური ხორკლიანობის მეთოდი [3,4], რომლის ეფექტურობა არხებში სითხის ტურბულენტური

დინების პირობებშისათვის საფუძვლიანად იყო დასაბუთებული აკადემიკოს ვ. გომელაურის მიერ [5].

[3,4] გამოკვლევებში ავტორთა მიერ პრაქტიკულად პირველად იქნა დადასტურებული ასეთი მეთოდის გამოყენების ეფექტურობა სარევიან აპარატებში თბოგადაცემის საინტენსიფიკაციოდ. ამ გამოკვლევებში დადგინდა იქნა, რომ ხელოვნური ხორკლიანობის მეთოდის გამოყენება სარევიან აპარატებში განაპირობებს თბოგადაცემის ინტენსიურობის მნიშვნელოვან ზრდას (დაახლოებით 2-ჯერ).

ბუნებრივია, გაჩნდა ინტერესი იმის შესახებ, თუ რა გავლენას ახდენს ხელოვნური ხორკლიანობა სარევიან აპარატში სითხის არევისათვის საჭირო სიმძლავრეზე. ამის დასადგენად, ავტორთა მიერ შექმნილ იქნა ექსპერიმენტული დანადგარი, რომელზეც ჩატარებული ექსპერიმენტებით დადგინდა, რომ სარევიანი აპარატის კედელზე შექმნილი ორგანზომილებიანი ხორკლიანობა, გეომეტრიული პარამეტრებით  $h=1.5\text{მმ}$ ,  $s/h=8$ , განაპირობებს არევისათვის საჭირო სიმძლავრის ზრდას დაახლოებით 2-ჯერ [6]. ეს შედეგი მიუთითებს ხელოვნური ხორკლიანობის მეთოდის უპირატესობაზე ამრეკლი ტიხარების მეთოდთან შედარებით.

უნდა აღინიშნოს, რომ [6] გამოკვლევაში ექსპერიმენტები ჩატარდა ორგანზომილებიანი ხორკლიანობის მხოლოდ ზემოთ აღნიშნულ გეომეტრიული პარამეტრების შემთხვევაში. ამიტომ, ცხადია, ინტერესს იმსახურებს აღნიშნული საკითხების შესწავლა ორგანზომილებიანი ხორკლიანობის გეომეტრიული პარამეტრების ფართო დიაპაზონში. ამ პრობლემის შესასწავლად ჩვენ მიერ გამოყენებულ იქნა ექსპერიმენტული დანადგარი, რომელიც დაწვრილებითაა აღწერილი [6] გამოკვლევაში. ექსპერიმენტული დანადგარი წარმოადგენდა ცილინდრულ ჭურჭელს -1, შიდა დიამეტრით 150 მმ და სიმაღლით 190 მმ. ცილინდრული ჭურჭელი ჩასმული იყო ხის კარკასში (ნახ.1).



ნახ.1. ექსპერიმენტული დანადგარი

- 1 - ცილინდრული ჭურჭელი; 2 - სარევი; 3 - საკისრებიანი მექანიზმი,  
4 - სარევის ღერძი, 5 - სარევის ნიჩბები; 6 - სასწორი.



[6] გამოკვლევაში წარმოდგენილი დანადგარისაგან განსხვავებით, ამ გამოკვლევაში გამოყენებული იყო B105AN მარკის სარევი, რომელიც საშუალებას გვაძლევდა ექსპერიმენტები ჩაგვეტარებინა ბრუნთა რიცხვის ფართო დიაპაზონში გაზომვის დიდი სიზუსტის უზრუნველყოფით. გამოკვლევაში გამოყენებული იყო ორნიჩბიანი სარევი დიამეტრით  $d=70$  მმ და ნიჩბების სიმაღლით  $b=70$  მმ. ნიჩბებში გაკეთებული იყო 6 ნახვეტი, დიამეტრით 12მმ (იხ. ნახ.1). ექსპერიმენტული დანადგარის სხვა ძირითადი კვანძები, გაზომვების და ცდების დამუშავების მეთოდიკა ისეთივე იყო, როგორც [6] გამოკვლევაში.

ექსპერიმენტებში მატრუნი მომენტი –  $M$ , ისევე როგორც [6] გამოკვლევაში, განისაზღვრებოდა სითხის არევაზე მოხმარებული ძალის –  $F$  გამრავლებით ჭურჭლის რადიუსზე –  $l$  (მხარზე).

$$M = Fl$$

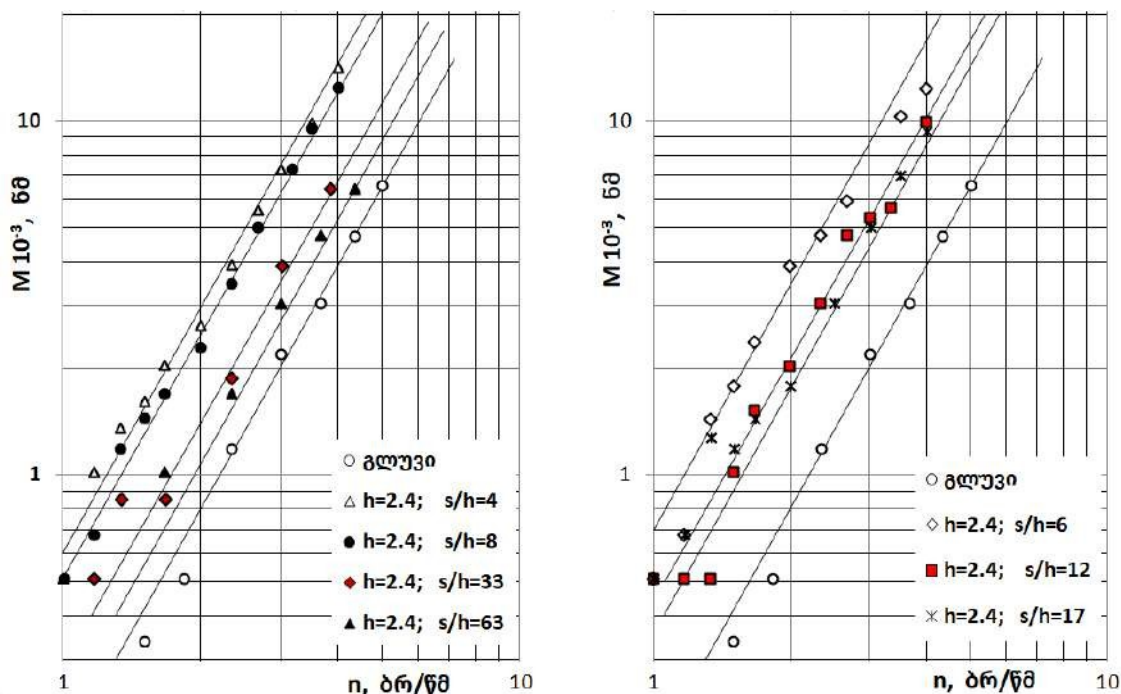
სითხის არევაზე მოხმარებული ძალა –  $F$  განისაზღვრებოდა აწონვის მეთოდით, ხოლო არევისათვის საჭირო სიმძლავრე – ფორმულით:

$$N = \omega M, \text{ ანუ } N = 2\pi n Fl$$

სადაც  $n$  არის სარევის ბრუნთა რიცხვი.

ექსპერიმენტებში მუშა სითხედ გამოყენებული იყო წყალი. ცდები ტარდებოდა როგორც გლუვი, ისე ხორკლიანი ზედაპირებისათვის, სარევის ბრუნთა რიცხვისა და ხორკლიანობის ფარდობითი ბიჯის სხვადასხვა მნიშვნელობისათვის. კერძოდ, ბრუნთა რიცხვი იცვლებოდა  $1 \div 5$  ფარგლებში, გეომეტრიული პარამეტრი  $s/h=1, 2, 4, 6, 8, 12, 17, 33, 63$ .

ერთი სერია ექსპერიმენტებისა ჩატარდა ამრეკლი ტიხარებისათვის. ამ ექსპერიმენტში ამრეკლი ტიხარების სიმაღლე  $h=9$  მმ, ხოლო ტიხარებს შორის ფარდობითი ბიჯი –  $s/h$  იცვლებოდა 4-დან 27-მდე. ექსპერიმენტების შედეგები კოორდინატებში  $M, n$  წარმოდგენილია მე-2 ნახაზზე.

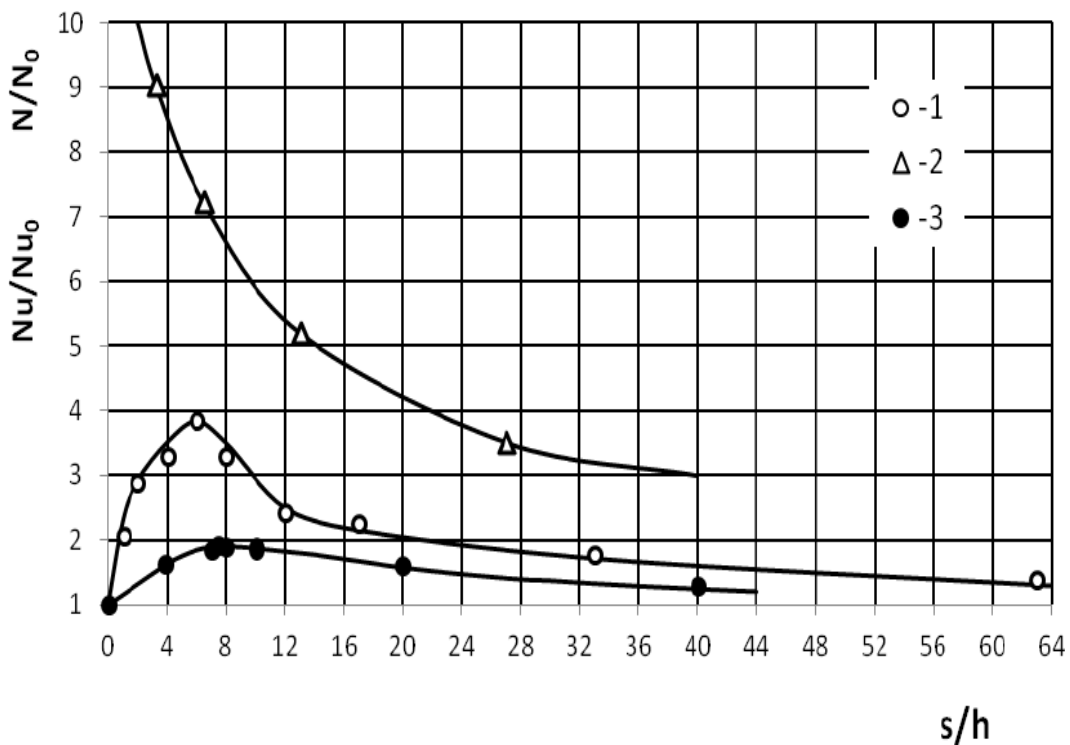


ნახ.2. სარევის მატრუნი მომენტის დამოკიდებულება ბრუნთა რიცხვზე

როგორც მე-2 ნახაზზე წარმოდგენილი გრაფიკებიდან ჩანს, სითხის არევისათვის საჭირო მაბრუნე მომენტი და, შესაბამისად, სიმძლავრე დიდადაა დამოკიდებული ორგანზომილებიანი ხორკლიანობის გეომეტრიულ პარამეტრზე –  $s/h$ .

თვალსაჩინოებისათვის მე-3 ნახაზზე ექსპერიმენტული მონაცემები წარმოდგენილია კოორდინატებში  $N/N_0$ ,  $s/h$ , სადაც  $N$  და  $N_0$  შესაბამისად არის სითხის არევისათვის საჭირო სიმძლავრე ხორკლიანი და გლუვი ზედაპირების მქონე სარევიანი აპარატის შემთხვევაში. აქვე წარმოდგენილია ექსპერიმენტული მონაცემები, რომლებიც მიღებულია სარევიან აპარატში ამრეკლი ტიხარების განთავსების შემთხვევისათვის.

ამავე გრაფიკზე კოორდინატებში  $s/h$ ,  $Nu/Nu_0$  წარმოდგენილია ადრე მიღებული ექსპერიმენტული მონაცემები, რომლებიც ასახავენ ზედაპირის ხორკლიანობის მეთოდით თბოგადაცემის ზრდის დამოკიდებულებას გეომეტრიულ პარამეტრზე –  $s/h$  [4]. აქ  $Nu = \alpha D / \lambda$  – არის ნუსელტის რიცხვი,  $\alpha$  არის თბოგაცემის კოეფიციენტი,  $D$  – სარევიანი აპარატის დიამეტრი,  $\lambda$  – მუშა სითხის თბოგამტარობის კოეფიციენტი.



ნახ.3. არევისათვის საჭირო სიმძლავრისა და თბოგადაცემის ზრდის დამოკიდებულება ხორკლიანობის პარამეტრზე –  $s/h$

1.  $N/N_0$ ,  $h=2.4$  მმ (ხორკლიანობა); 2.  $N/N_0$ ,  $h=9$  მმ (ტიხარები);
3.  $Nu/Nu_0$ ,  $h=0.5$  მმ (ხორკლიანობა) .

მე-3 ნახაზიდან ჩანს, რომ ზედაპირის ხორკლიანობით გამოწვეული არევისათვის საჭირო სიმძლავრის ზრდა მაქსიმუმს აღწევს როცა  $s/h$  -ის მნიშვნელობა არის (6÷7)-ის ფარგლებში. აღნიშნულ მნიშვნელობასთან შედარებით ამ გეომეტრიული პარამეტრის როგორც ზრდა, ისე შემცირება იწვევს სიმძლავრის ზრდის შემცირებას. დაახლოებით ასეთივე სურათს იძლევა თბოგადაცემის ექსპერიმენტული მონაცემები.

მე-3 ნახაზზე წარმოდგენილი გრაფიკიდან თვალნათლივ ჩანს, რომ სარევიან აპარატში ამრეკლი ტიხარების განთავსების შემთხვევაში, სითხის არევისათვის საჭირო სიმძლავრე გაცილებით უფრო მეტად იზრდება, ვიდრე ხორკლიანობის მეთოდის გამოყენების დროს.

უნდა აღინიშნოს, რომ [4] გამოკვლევაში ექსპერიმენტები ტარდებოდა აპარატში განთავსებული რკალისებური ფორმის მქონე გლუვი და ხორკლიანი მილების თბოგადაცემის პირობებში. მიუხედავად ამისა, ვფიქრობთ, მიღებული შედეგების ერთ გრაფიკზე წარმოდგენა თბოგადაცემის ინტენსიფიკაციისა და სითხის არევისათვის საჭირო სიმძლავრის გეომეტრიულ პარამეტრ  $s/h$ -ზე დამოკიდებულების საკმაოდ თვალსაჩინო სურათს იძლევა.

მიღებული შედეგები ცხადყოფენ, რომ ხელოვნური ხორკლიანობის გამოყენების შემთხვევაში თბოგადაცემის მნიშვნელოვანი ინტენსიფიკაციას (დაახლოებით 2-ჯერ) თან სდევს სითხის არევისათვის საჭირო სიმძლავრის 4-ჯერ ზრდა, მაშინ როდესაც აპარატში ამრეკლი ტიხარების განთავსების შემთხვევაში სითხის არევისათვის საჭირო სიმძლავრე იზრდება დაახლოებით 7-ჯერ. ეს აშკარად მიუთითებს ჩვენ მიერ გამოყენებული ხორკლიანობის მეთოდის უპირატესობაზე.

### Influence of the relative Step of two-dimensional roughness on the power required for mixing in the apparatus with a stirrer

Tengiz Magrakvelidze, Giorgi Gigineishvili, Avksenti Mikashavidze, Taniel Koberidze, Khatuna Lomidze

#### Summary

The article presents experimental data, according to which the roughness of the wall of the apparatus with a stirrer has a significant impact on the power required for mixing the liquid. At the same time, it is shown that the increase in power in this case is significantly less than when using reflective baffles.

It has been established that the maximum increase in the power required for mixing occurs when the ratio of the step between the roughness elements to their height -  $s/h = 6 \div 7$ . Compared to this value of  $s/h$ , both in the case of an increase and in the case of a decrease, the increase in power required for mixing the liquid is reduced.

Based on previously published results, it is shown that a similar picture is observed in the case of heat transfer.

It is concluded that the use of the roughness method in apparatuses with a stirrer is much more efficient than the use of reflective baffles.

### Влияние относительного шага двумерной шероховатости на мощность необходимой для перемешивания жидкости в аппарате с мешалкой

Тенгиз Маграквелидзе, Гиорги Гигинеишвили, Авксентий Микашавидзе, Тариел Коберидзе, Хатуна Ломидзе

#### Резюме

В статье представлены экспериментальные данные, согласно которым шероховатость стенки аппарата с мешалкой оказывает существенное влияние на мощность, необходимой для перемешивания жидкости. При этом, показано, что, увеличение мощности в этом случае существенно меньше, чем при использовании отражательных перегородок.

Установлено, что максимальное увеличение мощности, необходимой для перемешивания, имеет место при отношении шага между элементами шероховатости к их высоте -  $s/h = 6 \div 7$ . По сравнению с этим значением  $s/h$  как в случае увеличения, так и в случае уменьшения снижается простота мощности необходимая для перемешивания жидкости.

На основании ранее опубликованных результатов показано, что аналогичная картина наблюдается и в случае теплообмена.

Сделан вывод о том, что использование метода шероховатости в аппаратах с мешалкой намного эффективнее, чем применение отражательных перегородок.

#### ლიტერატურა – References – Литература

1. Брагинский Л., Бегачев В., Барабаш В. Перемешивание в жидких средах. Л. 1984, 336с.
2. Штербачек З., Тауск П. Перемешивание в химической промышленности. Л., Госхимиздат, 1963, 410 с.
3. Magrakvelidze T.Sh., Bantsadze N.O., Lekveishvili N.N. //Influence of Artificial Roughness on Heat Transfer to Turbulent Mixed Liquid in a Pool. Bulletin of the Georgian Academy of Sciences, 1996, N3, pp.397-400.
4. Magrakvelidze T., Bantsadze N., Lekveishvili N., Mikashavidze A., Rusishvili J., Lomidze Kh Influence of Artificial Roughness on Convective and Boiling Heat Transfer in the Rotating Flow. 9th WSEAS International Conference on Heat and Mass Transfer (HMT' 12). Harvard. USA. 2012. pp.53-58.
5. Gomelauri V. Influence of two – dimensional artificial roughness on convective heat transfer. Int. J. of Heat and Mass Transfer, v.7, N6, 1964, pp.653-663.
6. მაგრაქველიძე თ., მიქაშავიძე ა., ზანცაძე ნ., ლომიძე ხ., შენგელაია ც., მანთიძე ი. კედლის ზედაპირის ხაოიანობის გავლენა ცილინდრულ ჭურჭელში სითხის არევისათვის საჭირო სიმძლავრეზე. ა.ელაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტი. შრომათა კრებული. თბილისი. 2015. N19, გვ.49-54.

---

საქართველოს ენერგორესურსების მაქსიმალურად ათვისების აუცილებლობისა და ელექტროსადგურების აშენებითა და ფუნქციონირებით გამოწვეული ეკოლოგიური პრობლემების შესახებ

თენგიზ მაგრაქველიძე, ხათუნა ლომიძე, მანანა ჯანიკაშვილი, ირმა არჩვაძე

[qveli17@yahoo.com](mailto:qveli17@yahoo.com)

## რეზიუმე

სტატიაში გაანალიზებულია ელექტროენერგიით საქართველოს უზრუნველყოფის დღეისათვის არსებული მდგომარეობა. მსოფლიოში შექმნილი ახალი ვითარების ანალიზის საფუძველზე გაკეთებულია დასკვნა იმის შესახებ, რომ ქვეყნის ნორმალური განვითარებისათვის და ელექტროენერგიის იმპორტის რადიკალურად შემცირებისათვის აუცილებელია ელექტროენერგიის გამომუშავების მკვეთრი ზრდა. ამასთან, ქვეყნის ენერგეტიკული უსაფრთხოების უზრუნველსაყოფად მაქსიმალურად უნდა იქნეს გამოყენებული ადგილობრივი, უპირატესად ჰიდროენერგორესურსები. მნიშვნელოვანი როლი უნდა მიენიჭოს, აგრეთვე, მზისა და ქარის ენერგორესურსების ათვისებას.

სათანადო ოპტიმიზაციის ამოცანის ამოხსნის საფუძველზე ნაჩვენებია „ჭკვიანი“ ქსელების პერსპექტიულობა.

გაანალიზებულია, ასევე, ჰიდროელექტროსადგურების მშენებლობისა და ფუნქციონირების შედეგად გამოწვეული ეკოლოგიური პრობლემები. ნაჩვენებია, რომ ეკოლოგიური საკითხების გადაჭრა არ წარმოადგენს გადაუღებავ სიძნელეს. მიუხედავად ამისა, აღნიშნული პრობლემა უნდა გადაიჭრას ზიანისა და სარგებლის თანაფარდობის ოპტიმიზაციით.

საკვანძო სიტყვები:

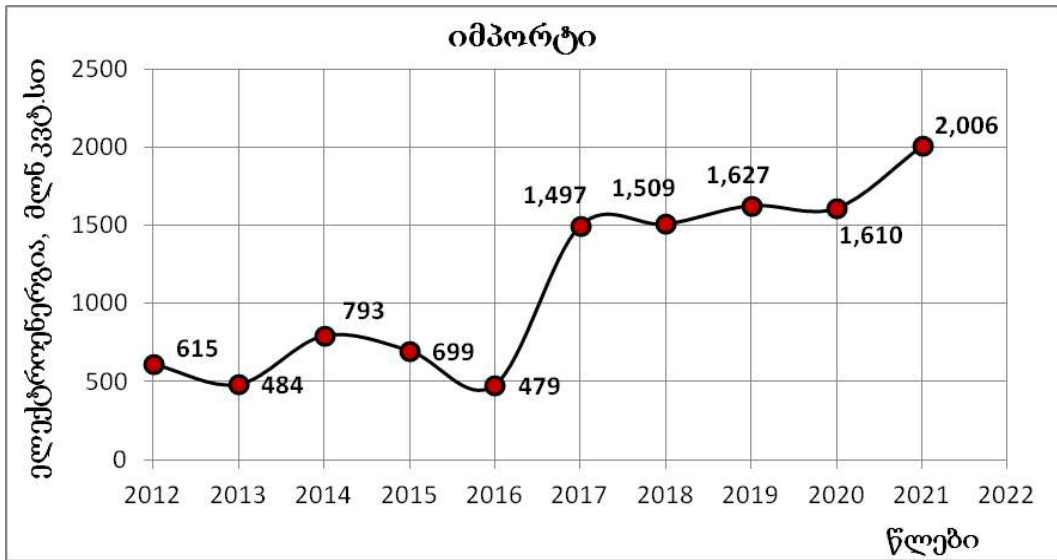
ენერგორესურსები, ელექტროენერგია, ეკოლოგია, „ჭკვიანი“ ქსელები.

როგორც არაერთხელ აღნიშნულა ქვეყნის განვითარების ერთ-ერთ ძირითად საფუძველს წარმოადგენს ენერგეტიკა, კერძოდ, ელექტროენერგეტიკა.

ამჟამად, მსოფლიოში განვითარებული მოვლენების ფონზე, ნათლად გამოჩნდა, რომ აუცილებელია ქვეყნის ელექტროენერგეტიკული სისტემა დაფუძნებული იყოს ადგილობრივი ენერგორესურსების მაქსიმალურად გამოყენებაზე, და, ამის შედეგად, ელექტროენერგიის იმპორტის მნიშვნელოვნად შემცირებაზე.

სტატიაში ძირითადი ყურადღება გამახვილებულია ქვეყნის ელექტროენერგიით უზრუნველყოფისა და ელექტროსადგურების გარემოზე ზემოქმედების საკითხებზე. უნდა აღინიშნოს, რომ ელექტროენერგიის გამომუშავებისა და მოხმარების მხრივ საქართველო მნიშვნელოვნად ჩამორჩება არა მარტო ევროპის განვითარებულ ქვეყნებს, არამედ პოსტსაბჭოთა ქვეყნების უმრავლესობასაც კი. საქსტატის მონაცემებით 2021 წელს საქართველომ მოიხმარა 15,3 მლრდ. კვტ.სთ ელექტროენერგია [1]. ამასთან, ბოლო წლებში ძალზე დიდია ელექტროენერგიის იმპორტის წილი საერთო მოხმარებაში და იგი ზრდის ტენდენციით ხასიათდება, რაც ენერგეტიკული უსაფრთხოების თვალსაზრისით ყოველად გაუმართლებელია.

თვალსაჩინოებისათვის, 1-ლ ნახაზზე წარმოდგენილია ელექტროენერგიის იმპორტის დინამიკა ბოლო 12 წლის განმავლობაში საქსტატის მონაცემების მიხედვით [1].



ნახ.1. ელექტროენერგიის იმპორტი წლების მიხედვით

როგორც წარმოდგენილი გრაფიკიდან ჩანს, ელექტროენერგიის იმპორტმა 2021 წელს გადააჭარბა 2 მლრდ.კვტ.სთ, რაც საერთო მოხმარების 13%-ზე მეტია.

ამასთან, საგანგაშოა ის, რომ ელექტროენერგიის იმპორტი არ არის საკმარისად დივერსიფიცირებული და უდიდესი ნაწილი (60%-ზე მეტი) მოდის რუსეთზე.

ყურადსაღებია ის, რომ ერთ სულ მოსახლეზე წლიურად მოხმარებული ელექტროენერგია 4 000 კვტ.სთ-ის ფარგლებშია, მაშინ როდესაც ევროპის ქვეყნების დიდ უმრავლესობაში ეს მაჩვენებელი 8 – 10 ათას კვტ.სთ/წ აჭარბებს.

ინტერესს იმსახურებს საკითხი იმის შესახებ, თუ როგორი უნდა იყოს ელექტროენერგიის გამომუშავების ზრდის ტემპი, რომ უახლოეს ათწლეულებში მიღწეულ იქნეს თუნდაც დღეს არსებული საშუალო ევროპული დონე. ასეთი გაანგარიშებები, ახალი საწყისი პირობებისათვის, ჩავატარეთ ჩვენ მიერ ადრე შემოთავაზებული ფორმულის მიხედვით [2]:

$$a = \frac{Ak}{N_k} = \frac{A_{k_0}}{N_{k_0}} \frac{(1+0.01 C)^{k-k_0}}{(1+0.01 B)^{k-k_0}}$$

სადაც,  $a$  არის ერთ სულ მოსახლეზე მოსული (ხვედრითი) მოხმარებული ელექტროენერგია, კვტსთ/წ.სული;  $A$  – წლიურად მოხმარებული ელექტროენერგია, კვტსთ/წ.;  $N$  – მოსახლეობის რაოდენობა;  $C$  – მოხმარებული ელექტროენერგიის ზრდა პროცენტებში;  $B$  – მოსახლეობის ზრდა პროცენტებში;  $k$  – საანგარიშო წელი,  $k_0$  – ათვლის საწყისი წელი.

გაანგარიშების შედეგები, მოსახლეობის ოპტიმისტური, ყოველწლიური 1%-იანი მატების და მოხმარებული ელექტროენერგიის 3%, 5% და 7%-იანი მატების პირობებში წარმოდგენილია 1-ლ ცხრილში.

ერთ სულ მოსახლეზე მოსული (ხვედრითი) მოხმარებული ელექტროენერჯის ზრდის დინამიკა

წლები	ხვედრითი მოხმარებული ელექტროენერჯის მატების დინამიკა, ათასი კვტ.სთ/წ.სული		
	3%	5%	7%
2021	4.11	4.11	4.11
2022	4.20	4.27	4.35
2024	4.36	4.62	4.89
2026	4.53	5	5.48
2028	4.71	5.39	6.16
2030	4.9	5.83	6.91
2032	5.1	6.3	7.75
2034	5.3	6.81	8.7
2036	5.52	7.36	9.77
2038	5.74	7.95	11
2040	5.97	8.6	12.3

ცხრილში აღებულია შემდეგი საწყისი მონაცემები: წელი – 2021; მოსახლეობის რაოდენობა – 3.73 მლნ; მოხმარებული ელექტროენერჯია – 15.328 მლრდ კვტსთ [1].

როგორც ცხრილიდან ჩანს, ორი ათეული წლის შემდეგ ელექტროენერჯის მოხმარების დღეს არსებული საშუალო ევროპული დონის მისაღწევად საჭიროა ელექტროენერჯის გამომუშავების არანაკლებ ყოველწლიური 5%-იანი ზრდა. ამასთან, აუცილებელია, რომ ენერგეტიკული უსაფრთხოების საკითხებიდან გამომდინარე, ელექტროენერჯის გამომუშავების ზრდა დაფუძნებულ იქნეს ძირითადად ადგილობრივ ენერგორესურსებზე და მაქსიმალურად იქნეს შემცირებული ელექტროენერჯის იმპორტი.

ცხადია, ერთ სულ მოსახლეზე მოსული წლიურად მოხმარებული ელექტროენერჯის მაჩვენებლის საშუალო ევროპულ დონესთან მიახლოება არ შეიძლება იყოს თვითმიზანი. იგი განპირობებული უნდა იყოს მრეწველობის, ტრანსპორტის, კომუნალური მეურნეობის და სხვა დარგების ელექტროენერჯით უზრუნველყოფის აუცილებლობით.

მოკლედ, განვიხილოთ ასეთი ზრდის აუცილებლობა ტრანსპორტის მაგალითზე. ამასთან დაკავშირებით, თვალსაჩინოა დანიის ტექნიკური უნივერსიტეტის ტრანსპორტის ინსტიტუტის მიერ ჩატარებული გამოკვლევები [3], რომელთა შედეგად აღმოჩნდა, რომ ავტომობილები Citroen C-Zero, Mitsubishi i-MiEV და Peugeot iOn, რეალურ პირობებში, დღე-ღამეში 50 კმ მანძილის გარბენის შემთხვევაში, საშუალოდ მოიხმარენ დაახლოებით 10 კვტ.სთ ელექტროენერჯას. ეს ერთი ავტომობილისათვის წელიწადში შეადგენს 3 650 კვტ.სთ. თუ ვივარაუდებთ, რომ 20-30 წლის შემდეგ საქართველოში ელექტრომობილების რაოდენობამ შეიძლება შეადგინოს 1–1,5 მილიონი, ცხადი ხდება, რომ მართო საავტომობილო

ტრანსპორტზე ელექტროენერჯის წლიური ხარჯი იქნება სულ ცოტა 5-6 მლრდ. კვტ. სთ. ეს დაახლოებით 2-ჯერ მეტია, ვიდრე ნამახვანჰესის სავარაუდო წლიური გამომუშავება.

აქვე ჩნდება ეკოლოგიური თვალსაზრისით მეტისმეტად საინტერესო საკითხი. კერძოდ, რომელი გადაწონის: მაგალითად, ნამახვანჰესით მიყენებული ეკოლოგიური ზარალი თუ ის ზიანი, რომელიც მიადგება გარემოს მილიონზე მეტი შიგაწვის ძრავიანი ავტომობილის მუშაობის შედეგად გამოყოფილი გამონახოლქვი აირებით.

განსაკუთრებულ ყურადღებას იმსახურებს სარკინიგზო ტრანსპორტზე და მილსადენებზე ელექტროენერჯის მოსალოდნელი მოხმარება უახლოეს ათწლეულებში.

ამასთან დაკავშირებით, უნდა აღინიშნოს შემდეგი: როგორც არ უნდა განვითარდეს უკრაინაში მიმდინარე მოვლენები, აშკარაა, რომ მსოფლიო არ დაუშვებს აღმოსავლეთ-დასავლეთის მაგისტრალებით ტვირთებისა და ენერგორესურსების გადაზიდვაზე რუსეთის ჰეგემონიას. აუცილებლად გაჩნდება საკითხი ხსენებული გადაზიდვების დივერსიფიკაციისა. ამ შემთხვევაში აშკარაა, რომ კავკასია და, კერძოდ, საქართველო აღმოჩნდება ტვირთებისა და ენერგორესურსების ერთ-ერთ მნიშვნელოვან გამტარად. ძირითადი დატვირთვა, ცხადია, მოვა რკინიგზაზე და მილსადენებზე, რისთვისაც აუცილებელი იქნება სარკინიგზო და მილსადენების ინფრასტრუქტურის რადიკალურად გაფართოება. ასეთი სცენარის განვითარების შემთხვევაში, ცხადია, მნიშვნელოვნად გაიზრდება რკინიგზაზე და ნავთობისა და გაზის მილსადენებზე ელექტროენერჯის მოხმარება.

ყოველივე ამის გათვალისწინებით, მარტივი გაანგარიშებების საფუძველზე, შეიძლება დავასკვნათ, რომ მარტო ტრანსპორტზე (სავტომობილო და სარკინიგზო) და მილსადენებზე საჭირო წლიური ენერჯია გადააჭარბებს 10-12 მლრდ. კვტ. სთ-ს წელიწადში, რაც პრაქტიკულად დღევანდელი საერთო გამომუშავების დონეს უტოლდება. ამასთან, თუ გავითვალისწინებთ ელექტროენერჯის მოხმარებას მეურნეობის სხვა დარგებშიც, ისეთებში, როგორებიცაა მძიმე მრეწველობა, სოფლის მეურნეობა, კომუნალური მომსახურება, გადამამუშავებელი მრეწველობა და სხვა, სადაც თითოეულ დარგში ელექტროენერჯის მოხმარება მსოფლიო პრაქტიკიდან გამომდინარე ისეთივე რიგის უნდა იყოს როგორც ტრანსპორტში, საქართველოსთვის აუცილებელი იქნება უახლოეს 2-3 ათეულ წელიწადში 40-45 მლრდ. კვტ. სთ ელექტროენერჯის წლიურად გამომუშავება.

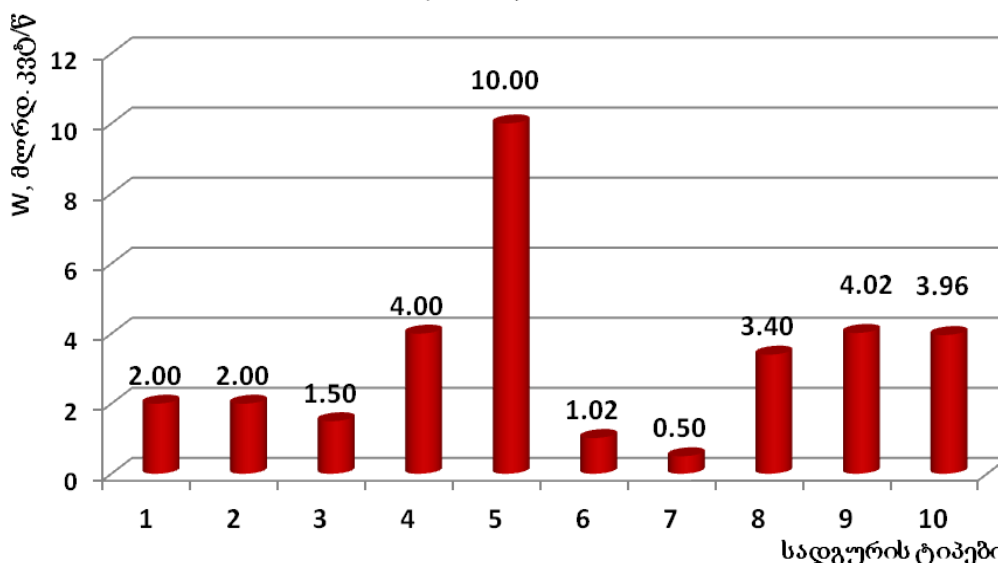
ვინაიდან საქართველოს არ გააჩნია ბუნებრივი აირის და ნავთობის მარაგები, ელექტროენერჯის მისაღებად მაქსიმალური დატვირთვა მოვა ჰიდროენერგო რესურსებზე, რომელიც ათვისებული უნდა იქნეს როგორც მცირე, ისე საშუალო და დიდი წყალსაცავიანი ჰესების მშენებლობით.

ჩვენ მიერ ადრე დამუშავებული იყო საქართველოს ელექტროსადგურების სტრუქტურის მათემატიკური მოდელი, რომლის საფუძველზეც ამოიხსნა აღნიშნული სტრუქტურის ოპტიმიზაციის ამოცანები სხვადასხვა სცენარისათვის [4,5]. ერთ-ერთი ასეთი ამონახსნი ენერგეტიკული უსაფრთხოების საკითხების გათვალისწინებით მოცემულია მე-2 ნახაზზე.

გრაფიკზე W1, W2, W3 – არის მცირე და საშუალო დერეგულირებული ჰესები, W4 – ნაწილობრივ დერეგულირებული ჰესი, W5 – მარეგულირებელი ჰესი, W6 – ქვანახშირზე მომუშავე თესი, W7 – მურანახშირზე მომუშავე თესი, W8 – მზის ელექტროსადგური (ფოტოვოლტაიკი), W9 – ბუნებრივ აირზე მომუშავე თესი (იგულისხმება შაჰდენიზ - თბილისი - ერზრუმის მილსადენით ბუნებრივი აირის გატარების საფასურად მიღებული სათბობი), W10 – ქარის ელექტროსადგური.



### ასაშენებელი სადგურების ენერჯები



ნახ.2.საქართველოში ასაშენებელი ელექტროსადგურების სავარაუდო გამოქმუშავებული ენერჯია

მე-2 ნახაზზე წარმოდგენილი შედეგები მიღებულია ე.წ. „ჭკვიანი“ ქსელების არსებობის პირობებისათვის. უნდა აღინიშნოს, რომ „ჭკვიან“ ქსელებს დიდი უპირატესობა ენიჭება დღეს არსებულ ქსელებთან შედარებით [6].

„ჭკვიანი“ ქსელების არსებობის პირობებში რადიკალურად იცვლება ქვეყანაში მაგენერირებელი ელექტროსადგურების სტრუქტურა. „ჭკვიანი“ ქსელები პრაქტიკულად გამორიცხავს ახალი პიკური ელექტროსადგურების აშენების აუცილებლობას. ამასთან, საჭირო იქნება წყალსაცავიანი ჰესების აშენება რომლებიც იმუშავებენ ბაზისურ რეჟიმში. უნდა აღინიშნოს, რომ ექსპერტების შეფასებით „ჭკვიანი“ ქსელების სისტემა პრაქტიკულად იქნება განხორციელებული უახლოესი ორი ათწლეულის განმავლობაში [7].

მე-2 ნახაზზე წარმოდგენილი შედეგები ადასტურებენ ზემოთ გამოთქმულ მოსაზრებას იმის თაობაზე, რომ საქართველოს ელექტროენერჯით უზრუნველყოფა 40-45 მლრდ.კვტ.სთ/წ დონეზე შესაძლებელია ჰიდროენერგორესურსების მაქსიმალურად ათვისებით, როგორც მცირე, ისე საშუალო და დიდი წყალსაცავიანი ჰესების საშუალებით. ამასთან, მნიშვნელოვანი როლი ენიჭება, ე.წ. არატრადიციული ენერგორესურსების (ქარი, მზე) ათვისებას.

ენერგეტიკა, ცხადია, წარმოადგენს გარემოზე უარყოფითი ზემოქმედების ერთ-ერთ ძირითად წყაროს. ნებისმიერი ტიპის ელექტროსადგურის, ისევე როგორც სხვა დარგების ობიექტების მშენებლობა და ფუნქციონირება დაკავშირებულია ეკოლოგიურ პრობლემებთან.

ჰიდროელექტროსადგურების აშენების შემთხვევაში ძირითადი ეკოლოგიური პრობლემებია: სავარგულების, ტყეების, და ზოგ შემთხვევაში სოფლების დატბორვა; მდინარის კალაპოტის გაუწყლოვნება; წყალსაცავის შევსებისა და დაცლის დროს მიწისძვრის შესაძლო პროვოცირება; ნიადაგის ეროზია; დასავლეთ საქართველოს შემთხვევაში შავ ზღვაში მყარი ნატანების შემცირება.

წყალსაცავის შევსებითა და დაცლით გამოწვეული მიწისძვრის შესაძლო პროვოცირების პრობლემის გადასაჭრელად დაგროვილია სავსაო გამოცდილება და შემუშავებულია სათანადო რეკომენდაციები, რომელთა გათვალისწინება, ვფიქრობთ, ამ მიმართულებით სერიოზულ პრობლემებს თავიდან აგვაცილებს.

როგორც წყალსაცავიანი ჰესების გამოცდილება გვიჩვენებს, ნიადაგის ეროზიის მხრივ, სერიოზული, გადაუჭრელი პრობლემები არ უნდა წარმოიქმნას. თუმცა, დარგის სპეციალისტების მიერ პრობლემის შესწავლა და მუდმივი მონიტორინგი აუცილებელი იქნება.

რამდენადაც ჩვენთვის ცნობილია, არსებობს გამოკვლევები, რომელთა თანახმად, ისეთი მასშტაბის წყალსაცავების აგება, როგორც, მაგალითად, ხუდონჰესის წყალსაცავი იქნება, მიკროკლიმატის მნიშვნელოვან ცვლილებას არ გამოიწვევს. ამასთან ერთად, თუ მხედველობაში მივიღებთ, რომ წყალსაცავიდან სულ რაღაც 100 კილომეტრის მოშორებით არსებობს უზარმაზარი “წყალსაცავი” – შავი ზღვა, მიკროკლიმატის მნიშვნელოვან ცვლილებაზე საუბარი, ვფიქრობთ, არასერიოზულია.

რაც შეეხება შავ ზღვაში მყარი ნატანების შემცირებისა და ამის შედეგად სანაპირო ზოლზე ზღვის შემოტევის პრობლემას, ყველაზე აქტუალურად შეიძლება ჩაითვალოს. სანაპირო ზოლზე ასეთი ზემოქმედების თავიდან ასაცილებლად არსებობს ერთ-ერთი ეფექტური მეთოდი, როგორცაა სატრანსპორტო საშუალებებით მყარი ნატანის ჩატანა და ზღვის სანაპიროზე დაყრა. ეს, რა თქმა უნდა, აძვირებს ჰესში გამომუშავებული ელექტროენერჯის თვითღირებულებას, მაგრამ მისი გამოყენება სრულიად გამართლებულად ითვლება.

ენგურის კასკადზე წყალსაცავების აგების შემთხვევაში ზემოთ აღნიშნული პრობლემა შესუსტებულია, იმის გამო, რომ, ჯერ ერთი, ენგურჰესის წყალსაცავის აშენების შემდეგ პრაქტიკულად გადაიკეტა გზა მყარი ნატანების ჩატანისა შავ ზღვაში და ამ წყალსაცავის ზემოთ ახალი წყალსაცავების აგება საერთო სურათს ვეღარ შეცვლის. გარდა ამისა, როგორც ცნობილია, შავ ზღვაში, ენგურის შესართავთან, სანაპირო ზოლთან ახლოს არის დიდი კანიონი, რომელშიც უკვალოდ იკარგება მყარი ნატანის უდიდესი ნაწილი. ასე რომ, ხუდონის წყალსაცავის აგება ზღვის სანაპიროზე მყარი ნატანის დეფიციტის თვალსაზრისით ახალ პრობლემებს ვეღარ შექმნის.

ყოველივე ზემოთქმულთან ერთად, არ შეიძლება არ აღინიშნოს წყალსაცავების აგების ერთი უთუოდ დადებითი მხარის შესახებ: წყალსაცავების აგება პრაქტიკულად მთლიანად გამორიცხავს წყალდიდობების დროს მდინარის ნაპირებზე გადმოსვლას და სასოფლო-სამეურნეო სავარგულების დატბორვას, რაც უაღრესად მნიშვნელოვანია.

ჩატარებული ანალიზის საფუძველზე შეიძლება დავასკვნათ შემდეგი:

მსოფლიოში განვითარებული მოვლენების ფონზე, აუცილებელია ქვეყნის ელექტროენერჯით მომარაგების მკვეთრი ზრდა. ამასთან, ენერგეტიკული უსაფრთხოების საკითხების გათვალისწინებით, ელექტროენერგეტიკული სისტემა დამყარებული უნდა იყოს ადგილობრივი ენერგორესურსების ათვისებაზე.

განსაკუთრებული ყურადღება უნდა დაეთმოს ე.წ. „ჭკვიანი“ ქსელების კონცეფციას და ეკონომიკისა და ენერგეტიკის ამ მიმართულებით განვითარებას.

ვინაიდან, ადამიანის ყოველგვარი ზემოქმედება გარემოზე, სასიცოცხლო ინტერესების დაკმაყოფილების მიზნით, წარმოშობს ეკოლოგიურ პრობლემებს, რომელთა გადაჭრაც მნიშვნელოვან ამოცანას წარმოადგენს, ასეთი პრობლემების გადაჭრისას საფუძვლიანად უნდა შეფასდეს ზიანისა და სარგებლის თანაფარდობა, ანუ, მოხდეს ოპტიმიზაცია.

## On the need to maximize the use of Georgia's energy resources and environmental problems caused by the construction and operation of power plants

Tengiz Magrakvelidze, Khatuna Lomidze, Manana Janikashvili, Irma Archvadze

### Summary

The article analyzes the current situation in providing Georgia with electroenergy. Based on the analysis of the new situation in the world, it is concluded that for the normal development of the country and a radical reduction in imports, a sharp increase in electroenergy production is necessary.

At the same time, to ensure the energy security of the country, local, mainly hydropower resources should be used to the maximum. An important role should be given to the development of solar and wind energy.

Based on the solution of the corresponding optimization problem, the prospects of "smart" networks are shown.

The environmental problems caused by the construction and operation of hydroelectric power plants are also analyzed. It is shown that the solution of environmental problems is not an insurmountable difficulty. However, this problem must be addressed by optimizing the harm-to-benefit ratio.

## О необходимости максимального использования энергетических ресурсов Грузии и экологических проблемах, вызванных строительством и эксплуатацией электростанций

Тенгиз Маграквелидзе, Хатуна Ломидзе, Манана Джаникашвили, Ирма Арчвадзе

### Резюме

В статье проанализирована текущая ситуация по обеспечению Грузии электроэнергией. На основе анализа новой ситуации в мире делается вывод о том, что для нормального развития страны и радикального сокращения импорта необходимо резкое увеличение производства электроэнергии.

При этом, для обеспечения энергетической безопасности страны, должны быть максимально использованы местные, преимущественно гидроэнергетические ресурсы. Важная роль должна отводиться освоению солнечной и ветровой энергий.

На основе решения соответствующей оптимизационной задачи показана перспективность «умных» сетей.

Проанализированы также экологические проблемы, вызванные строительством и эксплуатацией гидроэлектростанций. Показано, что решение экологических проблем не является непреодолимой трудностью. Тем не менее, эта проблема должна решаться путем оптимизации соотношения ущерб и выгоды.

### ლიტერატურა – References – Литература

1. [ელექტროენერჯის ფაქტიური ბალანსი \(esco.ge\)](http://esco.ge)
2. მაგრაქველიძე თ., ლომიძე ხ., ჯანიკაშვილი მ., არჩვაძე ი. საქართველოს ელექტროენერჯით უზრუნველყოფის ზოგიერთი საკითხის შესახებ. საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენცია. „ენერჯეტიკის თანამედროვე პრობლემები და მათი გადაწყვეტის გზები“. ენერჯია N3. 2019. გვ.190-193.
3. <https://habr.com/ru/post/390361/>
4. მაგრაქველიძე თ., ლომიძე ხ. საქართველოს ელექტროენერჯეტიკული სისტემის ოპტიმალური სტრუქტურის შესახებ ორგანულ სათბობებზე ფასების ზრდის ტენდენციის გათვალისწინებით. სტუ არჩილ ელიაშვილის სახელობის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული. 2005. გვ. 106-110.
5. მაგრაქველიძე თ., ლომიძე ხ., ჯანიკაშვილი მ., არჩვაძე ი. მომავალ ათწლეულებში საქართველოს ელექტროენერჯით დაკმაყოფილების ზოგიერთი საკითხის შესახებ. სტუ-ის არჩილ ელიაშვილის სახელობის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული. 2019. N23, გვ. 53-59.
6. მაგრაქველიძე თ., ლომიძე ხ., ჯანიკაშვილი მ., არჩვაძე ი. „ჰკვიანი“ ქსელები და მაგნერირებელი ელექტროსადგურების სტრუქტურა. არჩილ ელიაშვილის სახელობის მართვის სისტემების ინსტიტუტი. შრომათა კრებული. 2021, N25. გვ. 74-79.
7. Мировая Энергетика – 2050. М. Энергия, 2011г, 360с.

---

ხორკლიან ზედაპირზე ჩამომდინარე სითხის აფსკში თბოგადაცემის  
ექსპერიმენტული მონაცემების განზოგადების საკითხისათვის

თენგიზ მაგრაქველიძე, ხათუნა ლომიძე

[qveli17@yahoo.com](mailto:qveli17@yahoo.com)

რეზიუმე

სტატიაში გაანალიზებულია ვერტიკალურად განთავსებულ ხორკლიან ზედაპირზე ჩამომდინარე სითხის აფსკში თბოგადაცემის ექსპერიმენტული მონაცემების თავისებურებები.

ნაჩვენებია, რომ ორგანზომილებიანი ხორკლიანობის მქონე ზედაპირზე სითხის აფსკის ჩამოდინების დროს თბოგადაცემის ინტენსიურობის მნიშვნელოვან ზრდასთან ერთად, ადგილი აქვს თავისებურებებს, რომლებიც დიდ თეორიულ ინტერესს იმსახურებენ. კერძოდ, ნაჩვენებია, რომ ორგანზომილებიანი ხორკლიანობა დიდ გავლენას ახდენს სითხის აფსკის ჩამოდინების რეჟიმზე.

დ. ლაზუნცოვის ფორმულაზე დაყრდნობით, რომელიც სამართლიანია გლუვი ზედაპირისათვის, მიღებულია ორგანზომილებიანი ხორკლიანობის მქონე ზედაპირზე თბოგადაცემის ინტენსიურობის საანგარიშო ფორმულა. მიღებული ფორმულა ძალზე კარგად ანზოგადებს ექსპერიმენტულ მონაცემებს.

საკვანძო სიტყვები:

ორგანზომილებიანი ხორკლიანობა, სითხის აფსკი, თბოგადაცემა.

ხორკლიან ზედაპირებზე ჩამომდინარე სითხის აფსკში თბოგადაცემის ექსპერიმენტებმა საფუძვლიანად დაგვიდასტურეს ხორკლიანობის მეთოდის ეფექტურობა თბოგადაცემის ინტენსიფიკაციის მისაღწევად [1, 2, 3]. კერძოდ, ამ გამოკვლევების შედეგად დადგენილ იყო, რომ აღნიშნული მეთოდის გამოყენებით შესაძლებელია თბოგადაცემის ინტენსიფიკაცია 3-ჯერ და მეტად, რაც ხორკლიანობის მეთოდის გამოყენების დიდ პრაქტიკულ მნიშვნელობაზე მიუთითებს.

ამასთან ერთად, ექსპერიმენტების დროს გამოვლინდა წყება თავისებურებებისა, რომლებიც უადრესად დიდ თეორიულ ინტერესს იმსახურებენ. ასე მაგალითად, ხელოვნური ხორკლიანობის მქონე ზედაპირზე სითხის აფსკის ჩამოდინების დროს რეინოლდსის რიცხვის კრიტიკული მნიშვნელობა -  $Re_{კრ}$  უფრო ნაკლებია, ვიდრე გლუვ ზედაპირზე ჩამოდინების პირობებში. ამ შემთხვევაში  $Re_{კრ}$ -ის მნიშვნელობა დამოკიდებულია როგორც ხორკლიანობის გეომეტრიულ პარამეტრებზე (ხორკლიანობის ელემენტების სიმაღლეზე -  $h$  და ხორკლიანობის ბიჯის სიმაღლესთან ფარდობაზე -  $s/h$ ), ისე თბომატარებლის პრანდტლის რიცხვზე ( $Pr$ ). ყოველივე ზემოთქმული, ცხადია, თეორიული განსჯის საფუძველს იძლევა.

სითხის აფსკის ჩამოდინება კედელზე შეიძლება მიმდინარეობდეს ფაზური გარდაქმნების (აორთქლება, კონდენსაცია) თანხლებით ან ფაზური გარდაქმნების გარეშე.

ორივე შემთხვევაში თბური ნაკადი, რომელიც გადაეცემა სითხიდან კედელს (ან პირიქით) განისაზღვრება ფორმულით:

$$q = \frac{\lambda}{\delta} |t_s - t_3| \quad (1)$$

მეორე მხრივ, გადაცემული ხვედრითი სითბოს ნაკადი შეიძლება განისაზღვროს ნიუტონის ფორმულით:

$$q = \alpha |t_s - t_f| \quad (2)$$

(1) და (2) ფორმულების შედარებით მივიღებთ, რომ

$$\alpha = \frac{\lambda}{\delta} \quad (3)$$

(1), (2) და (3) ფორმულებში  $q$  არის ხვედრითი თბური ნაკადი, ვტ/მ<sup>2</sup>;  $\lambda$  – სითხის თბოგამტარობის კოეფიციენტი, ვტ/მ °K;  $t_s$  – სითხის აფსკის გარე ზედაპირის ტემპერატურა (ფაზური გარდაქმნის შემთხვევაში  $t_s$  ტოლი იქნება ნაჯერობის ტემპერატურისა –  $t_s$ ),  $t_f$  – კედლის ტემპერატურა, °K;  $\delta$  – ჩამომდინარე სითხის აფსკის სისქე, მ;  $\alpha$  – თბოგადაცემის კოეფიციენტი, ვტ/მ<sup>2</sup> °K.

როგორც (3) ფორმულიდან ჩანს, თბოგადაცემის კოეფიციენტი –  $\alpha$  დამოკიდებულია მხოლოდ სითხის თბოგამტარობის კოეფიციენტზე და სითხის აფსკის სისქეზე და არ არის დამოკიდებული ჩამოდინების პირობებზე, ანუ იმაზე ფაზური გარდაქმნებით მიმდინარეობს ჩამოდინება თუ მის გარეშე. ამასთან, ცხადია, რომ ფაზური გარდაქმნები სრულად განსაზღვრავენ აფსკის სისქეს. ასე, რომ  $\delta$ -ს მოცემული სიდიდისათვის თბოგადაცემის კოეფიციენტი ერთნაირად განისაზღვრება ფაზური გარდაქმნების არსებობისა და არარსებობის პირობებში.

პირველი თეორიული გამოკვლევა კონდენსაციის დროს სითხის აფსკის ლამინარული ჩამოდინების პირობებში თბოგადაცემის შესასწავლად ჩაატარა ვ. ნუსელტმა [4]. მის მიერ მიღებულ ფორმულას აქვს ასეთი სახე:

$$Nu = 1.47 Re^{-0.33} \quad (4)$$

შემდგომში, ფორმულა (4) ჩამოდინების ტალღური ბუნების გათვალისწინებით დაზუსტებულ იქნა პ. კაპიცას მიერ [5]:

$$Nu = 1.38 Re^{-0.28} \quad (5)$$

(4) და (5) ფორმულებში

$$Nu = \frac{\alpha}{\lambda} \left( \frac{v^2}{g} \right)^{1/3}, \text{ ხოლო } Re = \frac{4G}{\rho v}$$

აქ  $v$  არის სითხის სიბლანტის კინემატიკური კოეფიციენტი, მ<sup>2</sup>/წმ;  $g$  – სიმძიმის ძალის აჩქარება, მ/წმ<sup>2</sup>;  $G$  – აფსკში სითხის ხარჯი, მოსული ჩამოდინების ზედაპირის პერიმეტრის ერთეულზე, კგ/მ წმ;  $\rho$  – სითხის სიმკვრივე, კგ/მ<sup>3</sup>.

ფორმულა (5) სამართლიანია როდესაც  $Re \leq Re_{cr} = 1600$ . იმ შემთხვევაში, როდესაც  $Re > Re_{cr} = 1600$  გლუვი ზედაპირებისათვის სამართლიანია დ. ლაზუნცოვის ფორმულა [6,7]:

$$Nu = \frac{C_1 Pr^{0.5} \left( \frac{Re}{Re_{cr}} \right)}{Pr^{0.5} + C_2 \left[ \left( \frac{Re}{Re_{cr}} \right)^{\frac{3}{4}} - 1 \right]} \quad (6)$$

აღსანიშნავია, რომ (6) ფორმულის თანახმად, როდესაც  $Re = Re_{cr} = 1600$ , მაშინ

$$Nu = Nu_{cr} = C_1 \quad (7)$$

ვინაიდან, (5) ფორმულის თანახმად, როდესაც  $Re = 1600$ ,  $Nu = 0,175$ . ცხადია  $C_1 = 0,175$ . გლუვი ზედაპირისათვის ექსპერიმენტული მონაცემების მიხედვით ლაზუნცოვის ფორმულაში  $C_2 = 1,6$ .

როგორც (6) ფორმულიდან ჩანს,  $Re_{cr}$ -ის მნიშვნელობას გადამწყვეტი როლი ენიჭება თბოგადაცემის რეჟიმისა და, შესაბამისად, ინტენსიურობის განსაზღვრის დროს.

როგორც შესავალში იყო აღნიშნული, სწორედ  $Re_{cr}$ -ის მნიშვნელობა ხორკლიან ზედაპირზე სითხის აფსკის ჩამოდინების დროს, დიდადაა დამოკიდებული როგორც ხორკლიანობის გეომეტრიულ პარამეტრებზე, ისე თბომატარებლის პრანტლის რიცხვზე. ზოგადად,

$$Re_{cr} = f(h, s/h, Pr), \quad (8)$$

ასევე რთული იქნება დამოკიდებულება  $C_1$ -სა ხორკლიანობის გეომეტრიულ პარამეტრებსა და პრანდტლის რიცხვზე:

$$Nu_{კრ} = C_1 = f(h, s/h, Pr) , \tag{9}$$

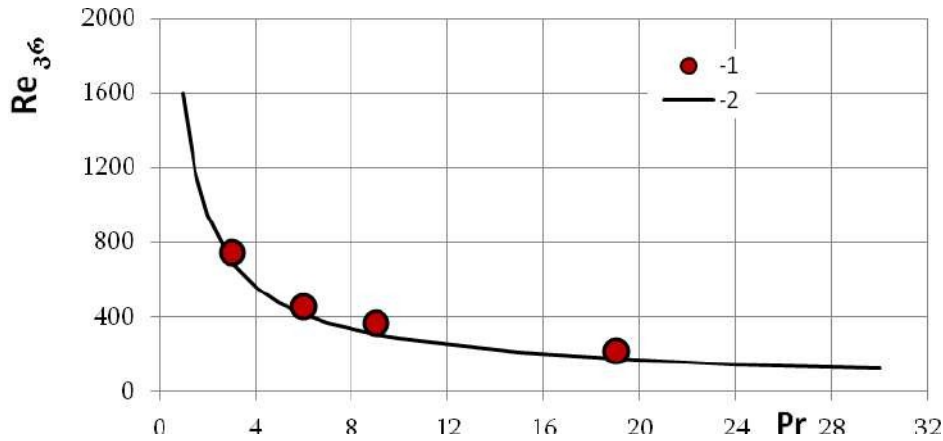
აქედან გამომდინარე, ფორმულა (6) სამართლიანი გახდება ხორკლიანი ზედაპირებისათვის თუ მასში შევიტანთ  $Re_{კრ}$ -ისა და  $Nu_{კრ}$ -ის შესაბამის მნიშვნელობებს და შევარჩევთ  $C_2$  კოეფიციენტს. აშკარაა, რომ ყოველივე ეს დიდ სირთულეს წარმოადგენს და მოითხოვს დიდი მოცულობის ექსპერიმენტების ჩატარებას. ამჟამად ასეთი ექსპერიმენტები მიმდინარეობს და ამ საკითხების დაწვრილებითი ანალიზი წარმოდგენილი იქნება უახლოეს მომავალში. ამჯერად კი წარმოგიდგენთ შედეგებს, რომლებიც მიღებულია ხორკლიანი ზედაპირისათვის, როდესაც  $h=0.5$  მმ;  $s/h=10$ .

ამ ექსპერიმენტების შედეგები აპროქსიმირებულია გამოსახულებებით:

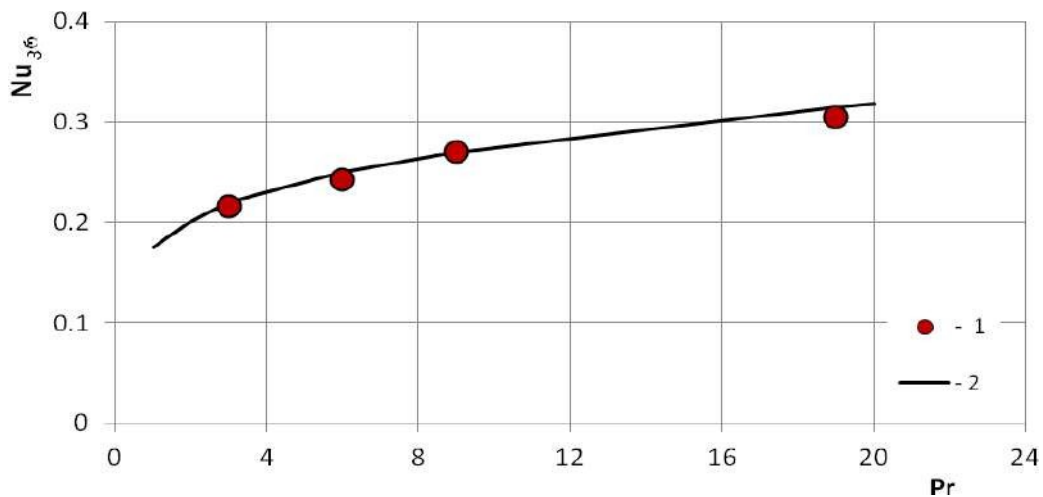
$$Re_{კრ} = 1600/Pr_{0.2}^{0.75} , \tag{10}$$

$$Nu_{კრ} = 0,175 Pr \tag{11}$$

ეს შედეგები წარმოდგენილია 1-ლ და მე-2 ნახაზებზე.



ნახ.1.  $Re_{კრ}$ -ის დამოკიდებულება თბომატარებლის პრანდტლის რიცხვზე  
1 - ექსპერიმენტული მონაცემები; 2 - (10) ფორმულის მიხედვით



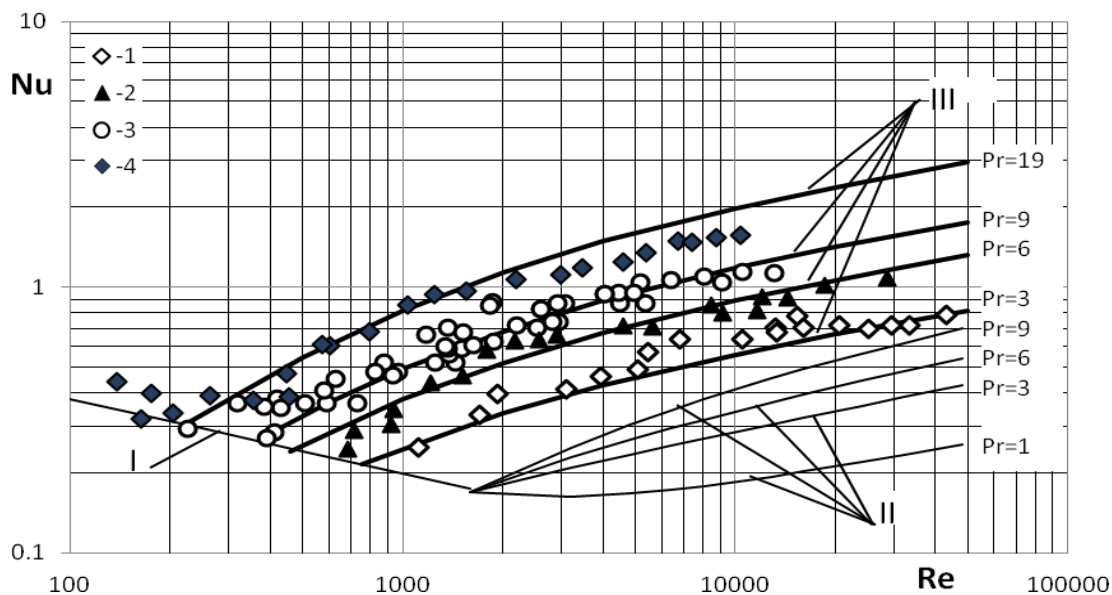
ნახ.2.  $Nu_{კრ}$ -ის დამოკიდებულება თბომატარებლის პრანდტლის რიცხვზე  
1 - ექსპერიმენტული მონაცემები; 2 - (11) ფორმულის მიხედვით

1-ლ და მე-2 ნახაზებზე ექსპერიმენტული წერტილები შეესაბამება [3] გამოკვლევის ექსპერიმენტული მონაცემების გამასაშუალებელი მრუდებისა და (5) ფორმულის შესაბამისი მრუდის გადაკვეთის წერტილებს.

$Re_{gr}$  -ის და  $Nu_{gr}$  -ის მნიშვნელობების შეტანით (6) ფორმულაში და  $C_2$  კოეფიციენტის შერჩევით მივიღებთ

$$Nu = \frac{0.175 Pr^{1.2}(Re/1600)}{Pr^{0.35} + 0.9 [(Re/1600)^{0.8} Pr^{0.5} - 1]} \quad (12)$$

(12) ფორმულის შედარება ჩვენ მიერ მიღებულ ექსპერიმენტულ მონაცემებთან [3] წარმოდგენილია მე-3 ნახაზზე.



ნახ.3. თბოგადაცემის ინტენსიურობის დამოკიდებულება რეინოლდსის რიცხვზე:

ხორკლიანი ზედაპირები,  $h=0.5$ ,  $s/h=10$ .

1 -  $Pr=3$ ; 2 -  $Pr=6$ ; 3 -  $Pr=9$ ; 4 -  $Pr=19$ .

I - ფორმულა (5)-ის მიხედვით; II - ფორმულა (6)-ის მიხედვით;

III - ფორმულა (12)-ის მიხედვით;

როგორც მე-3 ნახაზიდან ჩანს, ფორმულა (12) კარგ თანხვედრაშია ექსპერიმენტულ მონაცემებთან, რაც იმაზე მიუთითებს, რომ ფორმულა (6), სათანადო შესწორებებით, წარმატებით შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ხორკლიანი ზედაპირების შემთხვევაშიც.

ვიმედოვნებთ, რომ შემდგომი ექსპერიმენტები საშუალებას მოგვცემენ მნიშვნელოვნად გავაფართოვოთ (12) ფორმულის გამოყენების დიაპაზონი.

### On the issue of generalization of experimental data for heat transfer into a liquid film flowing down a rough surface

Tengiz Magrakvelidze, Khatuna Lomidze

#### Summary

The article analyzes the features of experimental data on heat transfer into a liquid film flowing down a rough surface.

It is shown that when a liquid film flows down a vertical surface with a two-dimensional roughness, together with a significant increase in the heat transfer intensity, a number of features



take place that deserve theoretical interest. In particular, it is shown that the two-dimensional surface roughness has a strong influence on the film flow regime.

Based on D. Labuntsov's formula, which is valid for a smooth surface, a calculated dependence for a surface with two-dimensional roughness is obtained. The dependence obtained generalizes the experimental data quite well.

К вопросу обобщения экспериментальных данных по теплоотдаче в пленку жидкости стекающую по шероховатой поверхности

Тенгиз Маграквелидзе, Хатуна Ломидзе

Резюме

В статье проанализированы особенности экспериментальных данных по теплоотдаче в пленку жидкости стекающую по шероховатой поверхности.

Показано, что при стекании жидкой пленки по вертикальной поверхности имеющей двумерную шероховатость, вместе со значительным увеличением интенсивности теплоотдачи, имеет место ряд особенностей, которые заслуживают теоретических интересов. В частности, показано, что двумерная шероховатость поверхности оказывает большое влияние на режим стекания пленки.

На основе формулы Д. Лабунцова, которая справедлива для гладкой поверхности получена расчетная зависимость для поверхности с двумерной шероховатостью. Полученная зависимость весьма хорошо обобщает экспериментальные данные.

ლიტერატურა – References – Литература

1. Маграквелидзе Т., Гигинеишвили Г., Микашавидзе А., Коберидзе Т., Ломидзе Х. Интенсификация теплоотдачи при стекании водяной пленки вертикальной трубе. Труды XVI Минского международного форума по тепломассообмену, Минск, 2022, ст. 169-171.
2. Magrakvelidze T., Gigineishvili G., Mikashavidze A., Koberidze T., Lomidze Kh. Intensification of Heat Transfer by the Method of Artificial Roughness at a Water Film Flows down on Vertical Pipe. Proceedings of the 9<sup>th</sup> International Conference on Fluid Flow, Heat and Mass Transfer (FFHMT'22), Niagara Falls, Canada, 2022/ Paper No.160. pp. 160-1 – 160-8.
3. მაგრაქველიძე თ., გიგინეიშვილი გ., მიქაშავიძე ა., კობერიძე ტ., ლომიძე ხ. თბომატარებლის პრანდტლის რიცხვის გავლენა თბოგადაცემაზე გლუვ და ხორკლიან ზედაპირებზე სითხის აფსკის ჩამოდინების დროს. ა. ელიაშვილის სახელობის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული. 2022, N26, გვ. (იბეჭდება).
4. Nusselt W. Die Oberflächenkondensation des Wasserdampfes. "Zeitschrift VDI", 1916, Bd 60, S.541-546, 568-575.
5. Капица П. Волновые течение тонких слоев вязкой жидкости. ЖЭТФ, 1948, т.18, вып.1, с.1-28.
6. Лабунцов Д. А. Теплоотдача при пленочной конденсации чистых паров по вертикальных поверхностях и горизонтальных трубах, Теплоэнергетика. 1957, №2, с.49-51.
7. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. Энергия. Москва. 1973. 320 с.

“აღნიშნული პროექტი განხორციელდა შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდის ფინანსური ხელშეწყობით (გრანტიFR-19-3034)“.



---

## წვეთოვანი ავტომატური მორწყვის სისტემის მოდელის პროგრამული სქემა სარწყავი წყლის შეზღუდული რესურსის პირობებში

ნუგზარ ყავლაშვილი, ლევან გვარამაძე, პანაიოტ სტავრიანიდი, გიორგი კიკნაძე  
nkavlash@gmail.com, l.gvaramadze@yahoo.com

### რეზიუმე

მიმოხილულია წვეთოვანი წყლის მორწყვის არსებული სისტემები. გამოკვეთილია მათი აგების სტრუქტურების თავისებურებები და ის ელემენტური ბაზა, რომელიც გამოიყენება მათი პრაქტიკული რეალიზაციის დროს.

მცირე ზომის ნაკვეთებისათვის (ფართობ  $< 1000$  კვ.მ) რეალიზებული ავტომატური მართვის სისტემისათვის შემოთავაზებულია მართვის კომბინირებული მეთოდი, რომელიც მოიცავს როგორც პირდაპირი მართვის, ასევე უკუკავშირით მართვის ელემენტებს. დასაბუთებულია ასეთი კომბინირებული მიდგომის უპირატესობა.

ნაჩვენებია ასეთი სისტემის მოდელის პროგრამული სქემის რეალიზაცია იმ შემთხვევისათვის, როცა სისტემის სამართი პარამეტრი ფორმირდება ორი ნაწილისაგან: ერთი ნაწილის ფორმირება ხორციელდება ნიადაგის ტენიანობის გაზომვის შედეგად, ხოლო მეორე ნაწილის სისტემაზე მოქმედი აღმშფოთი ზემოქმედების საჭირო კომპენსაციისაგან გამომდინარე.

### საკვანძო სიტყვები

პირდაპირი მართვა, მართვა უკუკავშირით, მართვის მოდელის პროგრამული სქემა.

თანამედროვე სოფლის მეურნეობაში სულ უფრო მეტ დატვირთვას იძენს სარწყავი სისტემების განვითარება და წყლის რესურსის რაციონალური გამოყენების პრობლემები. მორწყვის ერთ-ერთი თანამედროვე ტექნოლოგია არის წვეთოვანი მორწყვა, რომელიც საშუალებას იძლევა წყლის რესურსის რაციონალურ გამოყენებასთან ერთად მოვახდინოთ სასუქის ინგრედიენტების ნიადაგში შეტანა [1]. ამავე დროს, დარგის პროდუქციაზე მოთხოვნების ზრდა ითხოვს ამ პროცესის ეფექტურობის გაზრდას წარმოების ინტესიფიკაციის პირობებში. სწორედ ამ მოთხოვნებმა განაპირობა ავტომატური მართვის ტექნოლოგიის და თანამედროვე მიკროპროცესორული ტექნიკის გამოყენება წვეთოვანი რწყვის სისტემების დაპროექტებასა და რეალიზაციაში [2].

შეიძლება განვიხილოთ ნიადაგის წვეთოვანი დატენიანების რეალიზაციის სამი ძირითადი ვარიანტი: ოპერატორის მიერ პროცესის უშუალოდ ხელით მართვა, მართვა დატენიანების ინტერვალების წინასწარი ავტომატური დაკვეთით და ავტომატური მართვა.

ოპერატორის მიერ ხელით მართვის პროცესი წარმოადგენს ჩვეულებრივ წყლის მიწოდებას წყალგამტარი ქსელით, რომელზეც მიერთებულია საწვეთურები. წყლის მიწოდების პროცესი არხში რეგულირდება ელექტრული სარქველების საშუალებით, რომლებიც იმართება რეალურ დროში ოპერატორის მიერ.

ცნობილია წვეთოვანი მორწყვის ავტომატიზებული გახსნილი მარტივი სისტემები, რომლებშიც მორწყვა ხორციელდება წყლის მიწოდების პერიოდულობის და ხანგრძლივობის წინასწარ დაკვეთით [1]. ასეთ სისტემებში ძირითად შემადგენელ ნაწილს წარმოადგენს ტიპური მოწყობილობები - წყლის მიწოდების ხანგრძლივობის რეგულირების ტაიმერები. ტექნიკური რეალიზაციის თვალსაზრისით შეიძლება განვიხილოთ მექანიკური [3] და

ელექტრონული [4] ტაიმერები, რომლებიც ფუნქციურად უფრო მოქნილი და სრულყოფილია მექანიკურთან შედარებით. წყლის ნაკადის უზრუნველყოფა სისტემაში ხორციელდება ელექტრული სარქველების საშუალებით. აღსანიშნავია, რომ ასეთი ავტომატიზებული სისტემების მუშაობის ეფექტურობა მთლიანად დამოკიდებულია ოპერატორის კვალიფიკაციაზე.

არსებობს წვეთოვანი მორწყვის ავტომატური სისტემები [2, 5], რომლებიც ახორციელებენ მორწყვის პროცესის წარმოებას, ნიადაგის ტენიანობის გაზომვის შედეგად, უშუალოდ მცენარეთა ფესვთა სისტემასთან სიახლოვეს. ამ დროს გამოიყენება ტენიანობის გაზომვის სხვადასხვა ფიზიკურ პრინციპებზე დაფუძნებული გადამწოდები, ყველაზე გავრცელებულია რეზისტორული და ტევადური გადამწოდები. რეზისტორული გადამწოდის გამოყენებისას შეიძლება განხორციელდეს ნიადაგის გამტარობის გაზომვა ცვლადი დენის რეჟიმში მოსარწყავი არეალის სხვადასხვა წერტილებში [5]. ტევადური გადამწოდები საშუალებას გვაძლევს ტენიანობის გაზომვის განაწილებული ვარიანტის განხორციელებას ნაკვეთის გარკვეულ არეალში [6]. ტევადური თხელი აფსკის შემცველი ჰიგრომეტრები გამოიყენება აგრეთვე მორწყვის წვეთოვან სისტემებში დამატებითი ინფორმაციის მისაწოდებლად. კერძოდ, ნალექების (მაგ. წვიმა, თოვლი) ზემოქმედების დასაფიქსირებლად.

ლიტერატურაში განხილული მორწყვის ავტომატიზებული სისტემების აგებისათვის ძირითადად გამოიყენება ცალკეული მიკროპროცესორები (ATmega16, LM3S5T36 [2], 89C51 [7]), ან მათზე დაფუძნებული მიკროპროცესორული სტრუქტურები [8]. რთული ორგანიზაციის სისტემებში შესაძლოა გამოვიყენოთ raspberry [9] ან პერსონალური კომპიუტერებიც, ხოლო ინფორმაციის დისტანციური გადაცემისათვის და მართვისათვის სმარტფონები [7].

სტატიაში განხილული სისტემა წარმოადგენს ტრადიციულ ავტომატური მართვის სისტემას უკუკავშირით, რომლის სამართ პარამეტრს წარმოადგენს ნაკვეთის გრუნტის ტენიანობა. ამასთან, სისტემაზე მოქმედებს მისთვის დამახასიათებელი შემდეგი აღმშფოთი ზემოქმედებები [10]:

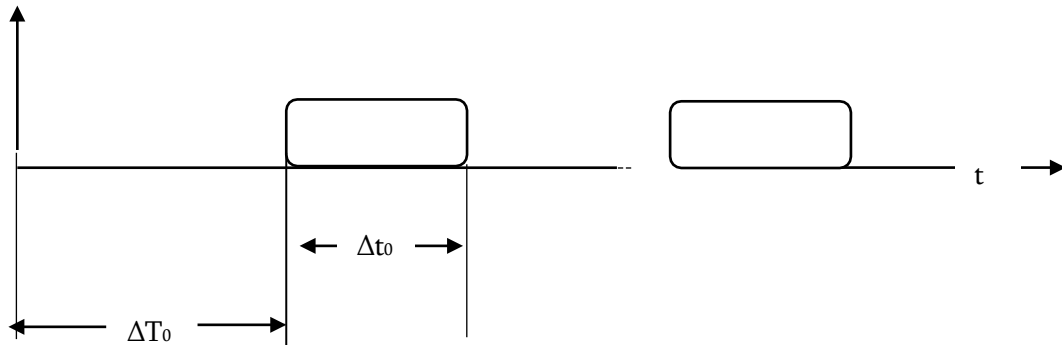
- ქარის არსებობა და მისი სიდიდე;
- ნალექების არსებობა და მისი სიდიდე;
- გარემოს ტემპერატურის და ტენიანობის ცვლილება;
- სარეზერვო წყლის რესურსის ცვლილება.

ჩვენ მიერ განხილული მცირე ზომის ნაკვეთებისათვის დასაშვები სიზუსტით შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ ჩამოთვლილი აღმშფოთი ზემოქმედებები ერთნაირად აისახება სისტემის ყველა შემადგენელ ირიგაციულ არხზე. ინფორმაცია პირველი სამი აღმშფოთი ზემოქმედების შესახებ შეიძლება გაიზომოს და მიეწოდოს სისტემას დამოუკიდებელი არხებით. ამასთანავე, ის აისახება უკუკავშირის სიგნალშიც. თუმცა, ზოგადად ნიადაგის ტენიანობის ცვლილების პროცესის საკმაო ინერციულობის გამო, სისტემის რეაქცია დამოუკიდებლად გაზომილ აღმშფოთი ზემოქმედებების სიგნალზე უფრო ოპერატიულია. ამიტომაც, მისი გამოყენება სისტემაში უფრო რაციონალურია. გარემოს ტემპერატურის და ტენიანობის ცვლილება ნაკლებად დინამიურია, ამიტომაც ამ ინფორმაციის მიწოდება შესაძლებელია უკუკავშირის არხითაც. რაც შეეხება წყლის რესურსის მარაგის სიდიდეს, ის პრაქტიკულად არ აისახება უკუკავშირის სიგნალში და უნდა გაიზომოს დამოუკიდებელი არხით.

აღმშფოთი ზემოქმედების გათვალისწინებისათვის სისტემის ფუნქციონირებისას მისი მართვისათვის გამოიყენება შემდეგი მიდგომა:

წარმოვიდგინოთ განხილული სისტემის ფუნქციონირება აღმშფოთი ზემოქმედების გარეშე სტანდარტული ტემპერატურის 20 C° და 50% ტენიანობის პირობებში. დავუშვათ, რომ

ამ პირობებში მისი ნორმალური ფუნქციონირებისათვის, ე.ი. მცენარეების ნორმალური ვეგეტატიური პროცესის რეალიზაციისათვის, აუცილებელი წყლის მიწოდება რეზერვუარიდან ხორციელდება პერიოდულად ერთმანეთისაგან  $\Delta T_0$  ინტერვალში დაშორებული  $\Delta t_0$  დროის განმავლობაში გაცემული პორციებით (ნახ. 1).



ნახ.1

მაშინ ცხადია, რომ წყლის რაოდენობის მიწოდება ნიადაგის ტენიანობის ცვლილებისათვის შეიძლება ვარეგულიროთ როგორც მიწოდების ციკლის  $\Delta T$  დროის ვარიაციით მუდმივი  $\Delta t$  მიწოდების ინტერვალის შემთხვევაში, ასევე  $\Delta t$  ინტერვალის ცვლილებითაც. აქედან გამომდინარე, სისტემაში შეგვიძლია გავმიჯნოთ მართვის ორი მექანიზმი - საკუთრივ ნიადაგის დატენიანების რეგულირების - განპირობებული ნიადაგის ტენიანობის გაზომვით. ეს პროცესი შეიძლება მივაბათ  $\Delta T$  ინტერვალის სიდიდის ცვლილებას, ხოლო  $\Delta t$  დროის შუალედის ცვლილებით დავაკომპენსიროთ სისტემაზე მოქმედი აღმშფოთი ზემოქმედების გავლენა.

აღმშფოთი ზემოქმედების გავლენის სიდიდის გასათვალისწინებლად მოსახერხებელია გამოვიყენოთ სპეციალური კორექციის  $K$  კოეფიციენტი, რომლითაც შეგვაქვს კორექტირება  $\Delta t$  ინტერვალის სიდიდეში და შესაბამისად ერთ ციკლში ნიადაგზე მიწოდებული წყლის რაოდენობაში

$$\Delta t = K * \Delta t_0$$

$K$  კოეფიციენტის სიდიდე განპირობებულია აღმშფოთი ზემოქმედების ბუნებით. განვიხილოთ მისი დასაშვები მნიშვნელობები სისტემაზე მოქმედი თითოეული ჩამოთვლილი აღმშფოთი ზემოქმედებისათვის ცალ-ცალკე:

ქარის არსებობა. ქარის არსებობა იწვევს ნიადაგის გამოშრობას და ითხოვს წყლის მიწოდების დამატებით რესურსს. შესაბამისად კორექციის კოეფიციენტი  $K_1$  მეტია 1-ზე და მისი ცვლილების დიაპაზონი

$$1 < K_1 < K_{max}$$

სადაც  $K_{max}$  სიდიდე მეტია 1-ზე და დამოკიდებულია ერთის მხრივ ნიადაგის თავისებურებებზე, ხოლო მეორეს მხრივ ნაკვეთში არსებულ ბუნებრივ პირობებზე. მისი განსაზღვრა ხორციელდება ექსპერიმენტულად სისტემის ექსპლუატაციის შედეგად. ის დამოკიდებულია სისტემის არეალში ბუნებრივ პირობებზე, კერძოდ, რამდენად ხშირია და ძლიერია იქ ქარები. ქარის არარსებობის შემთხვევაში  $K_1 = 1$ .

ნალექების არსებობა. ნალექების არსებობა იწვევს ნიადაგის დატენიანების გაზრდას. შედეგად წყლის მიწოდება სისტემიდან უნდა შემცირდეს. შესაბამისად კორექციის კოეფიციენტი  $K$  ნაკლებია 1-ზე

$$K_{min} < K_2 < 1$$

აქ  $K_{min}$  მნიშვნელობა დამოკიდებულია ნალექების ინტენსივობაზე და მის ხანგრძლივობაზე და დგინდება ექსპერიმენტულად სისტემის ექსპლუატაციის შედეგად. ნალექების არარსებობის შემთხვევაში  $K_2 = 1$ .

გარემოს ტემპერატურის და ტენიანობის ცვლილება. გარემოს ტემპერატურის და ტენიანობის ცვლილება მოქმედებს ნიადაგის მიერ ტენის დაკარგვის ინტენსივობაზე. პროცესი დროში ნელად ცვლილია, ამიტომ მისი გათვალისწინებისათვის არ არის აუცილებელი დამატებითი ზემოქმედების არხის აგება, რადგან მისი ზემოქმედება სისტემაზე აისახება უკუკავშირის სიგნალში. ამასთან, მიზნშეწონილია მისი არსებობა ინფორმაციის კონტროლის თვალსაზრისით ტემპერატურის და ტენიანობის ინდიკაციის საშუალებით.

სარეზერვო წყლის რესურსის ცვლილება. სარეზერვო წყლის რესურსის ცვლილება სისტემისათვის მნიშვნელოვანი აღმშფოთი ზემოქმედებაა, რადგანაც განაპირობებს სისტემის საკუთრივ ფუნქციონირების უნარს. ამასთან, ეს ზემოქმედება არ აისახება უკუკავშირის სიგნალში, ე.ი. სისტემა მას ავტომატურად ვერ გაითვალისწინებს. [11] აღწერილია სისტემაში წყლის რესურსის დინამიური კონტროლის სისტემების რამდენიმე ვარიანტი იმ შემთხვევებისათვის, როცა სარეზერვო მოცულობა სწორი გეომეტრიული ფორმისაა (მაგ. ცილინდრული). მაგალითისათვის ავიღოთ შემთხვევა, როცა სისტემაში გამოყენებულია წყლის დონის კონტროლის დისკრეტული სისტემის ვარიანტი. მასში გათვალისწინებულია სარეზერვო რეზერვუარში წყლის დონის განმსაზღვრელი სამი გადამწოდი, განლაგებული რეზერვუარის სიმაღლის ნახევარზე, მეოთხედზე და მერვედზე. შესაბამისად გადამწოდის ჩართვა/გამორთვა მიანიშნებს წყლის მარაგის მიმდინარე მნიშვნელობაზე: ნახევარი, მეოთხედი, მერვედი. გადამწოდების აღნიშნული დისკრედიტულობით განლაგების შემთხვევაში კორექციის კოეფიციენტი იღებს შემდეგ მნიშვნელობებს:

$$K_3 = 1; 0,5; 0,25; 0$$

ქვემოთ მოყვანილ ცხრილ 1-ში მოცემულია  $K_3$  კოეფიციენტის სახასიათო მნიშვნელობები, ბუფერული მოცულობის სხვადასხვა ხარისხით შევსების შემთხვევებში.

ცხრილი 1

წყლის მოცულობა რეზერვუარში			$K_3$
მოცულობა სავსეა			1
მოცულობა ნახევარზე ნაკლებია და მეოთხედზე მეტია			0,5
მოცულობა მეოთხედზე ნაკლებია და მერვედზე მეტია			0,25
მოცულობა მერვედზე ნაკლებია			0

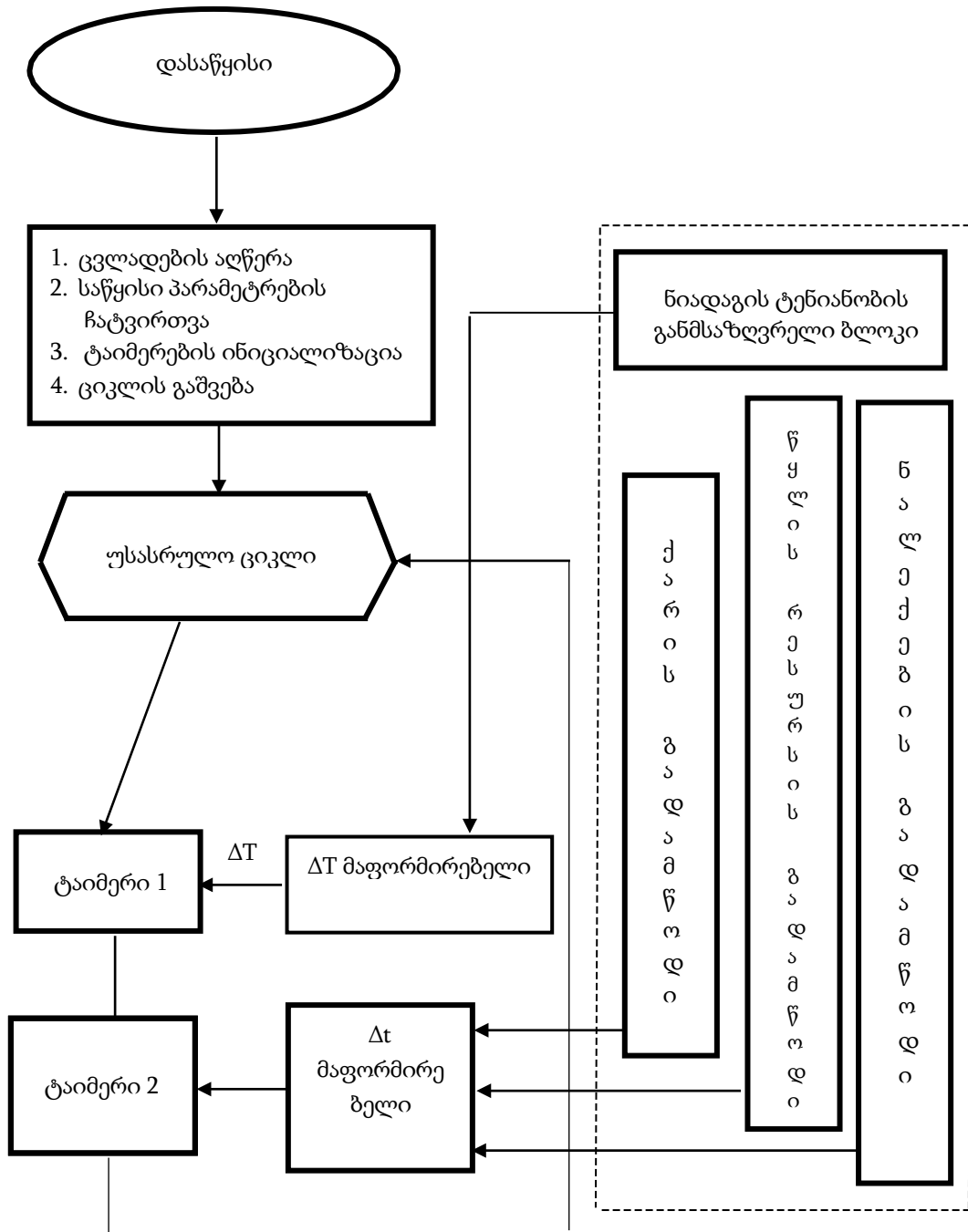
ნახ. 2-ზე მოცემულია წვეთოვანი მორწყვის ავტომატური სისტემის მოდელის პროგრამული სქემა იმ კერძო შემთხვევისათვის, როდესაც სისტემაში რეალიზებულია ერთი არხი.

სურათის მარცხენა მხარეს განთავსებულია სისტემის ძირითადი ნაწილი (ბირთვი), რომელიც აგებულია UNO ARDUINO -ს მიკროკონტროლერის ბაზაზე.  $\Delta T$  მაფორმირებელი განკუთვნილია იმისათვის, რომ ნიადაგის ტენიანობის განმსაზღვრელი ბლოკიდან მიღებული ინფორმაციის საფუძველზე მოხდეს ტაიმერი 1 ხანგრძლივობის უწყვეტი ფორმირება.  $\Delta t$  მაფორმირებელში ხორციელდება აღმშფოთი ზემოქმედების ბლოკებიდან,  $K_i$  კორექციის კოეფიციენტების საფუძველზე, ერთობლივი  $K$  კორექციის კოეფიციენტის ფორმირება და შესაბამისად, ტაიმერი 2 ხანგრძლივობის უწყვეტი ფორმირება:

$$K = K_1 * K_2 * K_3$$

ნახ. 2-ზე მარჯვენა მხარეს განლაგებულია სისტემის ფუნქციონირებისათვის აუცილებელი ინფორმაციის შემკრები იუნიტები, რომლებიც ახორციელებენ სისტემაზე მოქმედი

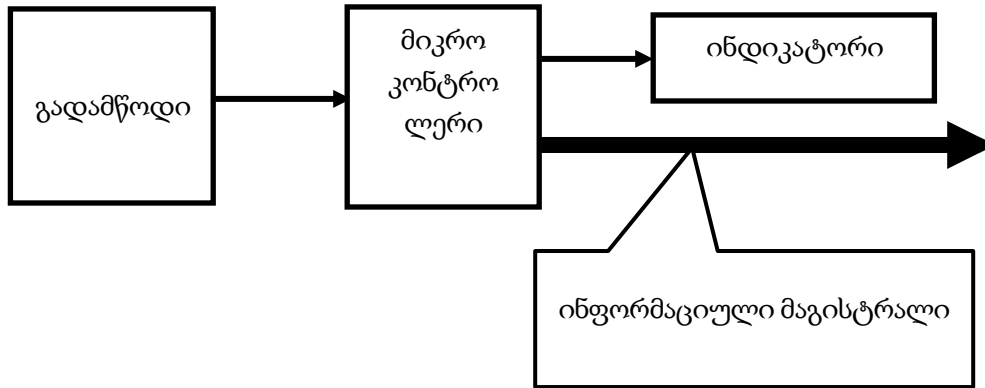
აღმშფოთი ზემოქმედებების სიდიდის გაზომვას. იუნიტები აგებულია ბლოკური პრინციპით. შედეგად, მაქსიმალურად დაცულია სისტემის სტრუქტურის ერთგვაროვნება.



ნახ. 2.

ცალკეული ინფორმაციული ბლოკი ითვალისწინებს შესაბამისი ტიპის გადამწოდებიდან მიღებული ინფორმაციის პირველად დამუშავებას, მის ინდიკაციას და საერთო ინფორმაციული მაგისტრალის მეშვეობით ძირითად გამოთვლით მოდულში

გადაცემას (იხ ნახ. 3). გამოთვლით რესურსად ბლოკში გამოყენებულია ARDUINO-ს ფირმის მიკროკონტროლერი NANO ARDUINO, რომელიც ახორციელებს გადამწოდის მიღებული პირველადი ინფორმაციის დამუშავებას და ინდიკაციას. ინფორმაციის გადაცემა ძირითად ბლოკში ხორციელდება 8 ბიტის პარალელური ინტერფეისით.



ნახ. 3

აღწერილი მიდგომა საშუალებას გვაძლევს შევქმნათ ავტომატური მართვის სისტემის ისეთი აპარატული და პროგრამული სტრუქტურა, რომელიც მისი პრაქტიკული რეალიზაციის შემდეგ გაგვიადვილებს სისტემის თანმიმდევრულ გაწყობის პროცესს. კერძოდ, შესაძლებელია დამოუკიდებლად აიწყოს, გაიწყოს და გამოიცადოს პირველადი ინფორმაციის (აღმზფოთი ზემოქმედების) შემკრები იუნიტები, და მათი პროგრამული უზრუნველყოფისათვის გამოყენებულ იქნეს იდენტური პროგრამული მოდულები. იუნიტის გამოსავალი სიდიდის ინდიკაციის არსებობა საშუალებას მოგვცემს ვაკონტროლოთ სისტემის შრომისუნარიანობა როგორც ცალკეული ბლოკების გაწყობის, ისე სისტემის მთლიანობაში ფუნქციონირების შემთხვევაშიც.

## Software scheme of the automatic drip irrigation system model with limited resource water

Nugzar Kavlashvili, Levan Gvaramadze, Panaiot Stavrianidi, Giorgi Kiknadze

### Summary

Existing drip irrigation systems are considered. The features of their construction and the element base used in their practical implementation are outlined.

For small areas (<1000 m<sup>2</sup>), an automatic control system is proposed and a combined control method is being considered, including both direct control and feedback controls. The advantages of such a combined approach are substantiated.

The implementation of the program scheme of such a system model is shown in the case when the controlled parameter of the system is formed from two parts. The formation of one part is carried out as a result of measuring soil moisture, and the formation of the other part is determined by the need to compensate for the disturbing effect.

Программная схема модели системы капельного автоматического орошения при ограниченном ресурсе воды

ნუგზარ კავლაშვილი, ლევან გვარამაძე, პანაიოტ სტავრიანიძე, გეორგი კიკნაძე

Резюме

Рассмотрены существующие системы капельного орошения. Изложены особенности их построения и элементной базы, использованной при их практической реализации.

Для небольших участков (площадью <1000 кв.м) предлагается автоматическая система управления, и рассматривается комбинированный метод управления, включающий как прямое управление, так и элементы управления с обратной связью. Обоснованы преимущества такого комбинированного подхода.

Показана реализация программной схемы такой модели системы в случае, когда управляемый параметр системы формируется из двух частей. Формирование одной части осуществляется в результате измерения влажности почвы, а формирование другой части, определяется необходимостью компенсации возмущающего воздействия.

ლიტერატურა – References – Литература

1. წვეთოვანი მორწყვა და მისი ძირითადი უპირატესობები. ფერმერთა სკოლა <https://agrokavkaz.ge/fermerta-skola/tsvethovani-mortsqhva-da-misi-dzirithadi-upiratesobebi.html>
2. K. Prathyusha, M. Chaitanya Shuman. Design of embedded systems for the automation of drip irrigation. Department of ECM K.L.University Pradesh India, 2012.
3. <https://gorgia.ge/ka/eleqtrooba/eleqtrosamontajo-mowyobilobebi-da-aqsesuarebi/sxva-eleqtrosamontajo-aqsesuarebi/meqanikuri-taimeri-damiwebit-a.c.k/>
4. <https://avto-poliv.net/statii/title/ustroystvo-sistemy-avtopoliva>
5. И.З. Аширов, В.А. Шахов, С.В. Горячев, А.П. Козловцев, А.А. Сорокин, А.М. Старожуков, Автоматизация управления капельным поливом тепличных культур. ФГБОУ ВО, 2018.
6. Ю.В. Егоров, А.В. Бобков, А.В. Кириченко, Е.Н. Есафова. Свойства и возможности датчиков влажности для управления поливом. Вестник алтайского государственного аграрного университета, 2017, № 1 (147).
7. Tupe Alok R., Gaikwad Apurva A., Kamble Sonali U. Intelligent Drip Irrigation System International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering (IJIRAE), 2015, 2 (2).
8. <https://riptutorial.com/ebook/arduino>
9. <https://magpi.raspberrypi.com/books/handbook-2022>
10. С.А. Андреев. Энерго-ресурсосберегающий способ управления поливом. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», Москва, Российская Федерация, 2017.
11. ბ. ყავლაშვილი, ლ. გვარამაძე, ო. ლაბაძე, პ. სტავრიანიძე, თ. საანიშვილი, ვ. ბახტაძე, გ. კიკნაძე. წვეთოვანი მორწყვის სისტემების ბუფერულ რეზერვუარებში წყლის დინამიკური ცვლილების კონტროლის საშუალებები. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის არჩილ ელიაშვილის სახელობის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული, თბილისი, 2021, № 25, გვ. 56-62.

---

## IoT ტექნოლოგიის გამოყენებით მიკროპროცესორული სისტემების დისტანციური მართვის გამოკვლევა

ოთარ ქართველიშვილი, ლევან გვარამაძე, ვერიკო ბახტაძე

okartvel@gmail.com

### რეზიუმე

კომპიუტერული ტექნოლოგიის თანამედროვე დონე შესაძლებლობას იძლევა მართვის პროცესში ფართოდ იყოს გამოყენებული მიკროკონტროლერის ბაზაზე აგებული სისტემები, რომლებიც სიმცირისა და მაღალი საიმედოობის გამო შეიძლება ჩაშენებული იყოს სამართავ ობიექტში („ჩაშენებული სისტემები“). თითოეული ასეთი სისტემა ემსახურება ერთ ობიექტს. დიდი რაოდენობის სხვადასხვა ტიპის ობიექტის მართვისათვის შესაძლებელია გამოყენებული იყოს გარე მოწყობილობა (მათ შორის მობილური საშუალებაც), რომელიც ასრულებს დისპეტჩერის როლს და ამყარებს უკაბელო კავშირს თითოეულ ობიექტთან, მართვის დირექტივების გადაგზავნის ან მონიტორინგის მიზნით. ამჟამად პოპულარულია უგამტარო კავშირის ორგანიზაცია ცნობილი ტექნოლოგიების გამოყენებით, როგორც არის Bluetooth, Wi-Fi პროტოკოლები, Internet-ი (IoT ტექნოლოგია). განსაკუთრებით ინტერესს იწვევს IoT ტექნოლოგიის გამოყენება მიკროპროცესორული სისტემის მართვის პროცესში, რაც იძლევა დიდ მანძილზე კავშირის განხორციელების შესაძლებლობას მობილური საშუალების გამოყენებით.

წარმოდგენილი ნაშრომი ეხება მიკროპროცესორული სისტემის მობილურ საშუალებებთან კომუნიკაციისა და მრავალწერტილიანი სისტემის ორგანიზაციის შესაძლებლობის კვლევას, რომლის შედეგიც გამოყენებული იქნა მცენარეთა ავტომატური მორწყვის სისტემის პროექტის შექმნის მაგალითზე.

საკვანძო სიტყვები: მიკროკონტროლერი, ავტომატური მორწყვის სისტემა, სენსორი, IoT, WiFi.

### ძირითადი ნაწილი

ა) მორწყვის სისტემის კონცეფცია და პროექტის საწყისი პირობები.

მორწყვის მართვის სისტემის დანიშნულება მდგომარეობს მცენარეთა მორწყვის ინტერვალისა და ხანგრძლივობის უზრუნველყოფაში, რაც დამოკიდებულია მთელ რიგ პარამეტრებზე, როგორცაა: ჰაერის ტემპერატურა, მიწის ტენიანობა, წყლის წნევა მილში, მცენარის ფესვების მდებარეობა ნიადაგში და სხვა. მაგალითად, ჰაერის მაღალი ტემპერატურის და მცირე ტენიანობის შემთხვევაში მორწყვა უნდა განხორციელდეს უფრო მაღალი სიხშირით, ვიდრე დაბალი ტემპერატურის ან მაღალი ტენიანობის შემთხვევაში. წყლის წნევა მილში კი განსაზღვრავს გაფრქვეული წყლის ჭავლის სიჩქარეს, რომელიც თავის მხრივ მოქმედებს მორწყვის ხანგრძლივობაზე, რაც საჭიროა მცენარისთვის გათვალისწინებული წყლის რაოდენობის მიწოდებისათვის.

სხვადასხვა მცენარისათვის აღნიშნული პარამეტრების ზღვრული მნიშვნელობები განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან. თითოეული ტიპის მცენარისათვის პარამეტრების ზღვრული მნიშვნელობები მოცემულია ნორმატიულ მითითებებში [1, 2, 3, 4, 6].

ამჟამად არსებობს მიკროპროცესორის ბაზაზე აწყობილი მცენარეთა მორწყვის ორი სახის სისტემა: წვეთოვანი და ვერული. პირველი მათგანი გამოიყენება ერთი მცენარის ან მცირე ზომის ნაკვეთებზე (მაგალითად, სათბურებში ან სახლის ნაკვეთებზე) ერთი სახეობის მცენარეების მორწყვის დროს.



მეორე ხერხი ითვალისწინებს მორწყვას ე.წ. გამფრქვევების საშუალებით. აღნიშნული ხერხი იწვევს ჩვენს ინტერესს, ვინაიდან იგი შეიძლება გამოყენებული იყოს ნიადაგის დიდი ფართობის მორწყვისათვის, რომელიც დაყოფილია სხვადასხვა სახის მცენარეებიან ნაკვეთებად. ამასთან დაკავშირებით, ჩვენ მიერ დასმული ამოცანა ფორმულირდებოდა შემდეგი სახით: შექმნილიყო მორწყვის სისტემა, რომელშიც ცალკეულ ნაკვეთზე მცენარეთა ტიპების პერიოდული შეცვლის შემთხვევაში, მობილური საშუალებით შეგვესრულებინა მცენარეთა მახასიათებლების ზღვრული მნიშვნელობების შეცვლა და მათი მონიტორინგი თითოეული ქვესისტემის პროგრამაში.

დიდი ფართობის შემთხვევაში ზემოთ ნაჩვენები გარემოება ქმნის გარკვეულ სიმძნელებს.

წარმოდგენილი პროექტი ითვალისწინებს ზემოთ ხსენებული სიმძნელების გადაჭრას მობილური მოწყობილობის გამოყენებით, რომელსაც გადაეცემა მართვის ზოგიერთი ფუნქცია. გარე მოწყობილობა უკავშირდება სხვადასხვა ნაკვეთის მორწყვის ქვესისტემას და ახდენს, მოთხოვნის შემთხვევაში, მათ გადაწყობას და მონიტორინგს.

შემთავაზებული პროექტის მიხედვით გათვალისწინებულია დისტანციური მართვის გამოყენება, რომლის დროსაც მობილური მოწყობილობა უსადენო კავშირით უერთდება მორწყვის ცალკეულ ქვესისტემას.

ბ) პროექტის აპარატურული რეალიზაცია.

სისტემის ბირთვი წარმოადგენს Atmega 328 მიკროპროცესორის პლატფორმას - Arduino uno-ს. მისი არჩევა განპირობებული იყო პროექტისთვის მისაღები მეხსიერების ტევადობით, მდიდარი პერიფერიით და გარე მოწყობილობებთან ინტერფეისების ფართო ნომენკლატურით, რაც სრულად აკმაყოფილებს სისტემის პროექტის მოთხოვნას.

გარე მოწყობილობასთან დასაკავშირებლად გამოყენებულია პლატფორმის 7, 8, 9 და A0 გამომყვანები. კერძოდ, A0 გამომყვანი დაკონფიგურირებულია როგორც გამოსასვლელი, რომელზეც ფორმირდება წყლის სარქველის ჩართვა-გამორთვის სიგნალი, ხოლო 7, 8 და 9 გამომყვანები - როგორც შესასვლელი, რომლებთანაც დაკავშირებულია, შესაბამისად, ჰაერის ტემპერატურის, ტენიანობის და მილში წყლის წნევის სენსორები [5].

წყლის სარქველი წარმოადგენს ერთ-ერთ მნიშვნელოვან ელემენტს. მისი დანიშნულებაა ჩართვის შემთხვევაში მიაწოდოს გამფრქვევს (სპინკლერს) წყლის ჭავლი დროის შესაბამის მომენტში. ვინაიდან, სარქველის ჩართვა-გამორთვა იმართება მიკროკონტროლერიდან, სარქველის კონკრეტული მოდელის არჩევის დროს უზრუნველყოფილი უნდა იყოს მიკროკონტროლერთან მისი შეთავსება ტექნიკური მახასიათებლების გათვალისწინებით. Internet ფორუმში წარმოდგენილი სპეციალისტების აზრით, ჩვენი პროექტისათვის ყველაზე მეტად გამოსადეგია ფირმა Hunter-ის ელექტრო დინამიკური სარქველი PGV100. მისი მახასიათებლები მთლიანად აკმაყოფილებს პროექტის მოთხოვნებს [7, 8].

ნიადაგის ტენიანობის სენსორი განკუთვნილია ნიადაგის ტენიანობის განსაზღვრისათვის. თუ ნიადაგი ტენიანია, მორწყვა არ ხდება, თუ იგი იყო დაგეგმილი. ზედმეტი ტენიანობა იწვევს ნიადაგის დატბორვას, რაც მცენარეთა ფესვებისთვის საზიანოა. ტენიანობის სენსორის არჩევის დროს ყურადღება ექცეოდა შემდეგ პარამეტრებს: სენსორის კვების წყაროს მნიშვნელობა, გამოსასვლელი სიგნალის დიაპაზონი, გაზომვის ცდომილება.

ჩვენ მიერ არჩეული იქნა ტენიანობის სენსორი DFRobot, რომლის პარამეტრები აკმაყოფილებს პროექტის მოთხოვნებს - გამომავალი სიგნალის მნიშვნელობათა დიაპაზონი 0-4,5 ვ, ხოლო გაზომვის ცდომილება სავსებით მისაღებია პროექტისათვის [9].

ვერუსული მორწყვის პროცესისთვის მნიშვნელოვან მახასიათებელს წარმოადგენს გაფრქვეული წყლის რაოდენობა. სხვადასხვა ტიპის მცენარისათვის შესაბამისი ნორმატიული დოზუმენტის მიხედვით განსაზღვრულია მისთვის საჭირო წყლის რაოდენობა. იგი განისაზღვრება გაფრქვევის ინტენსივობით და რადიუსით, რაც თავის მხრივ

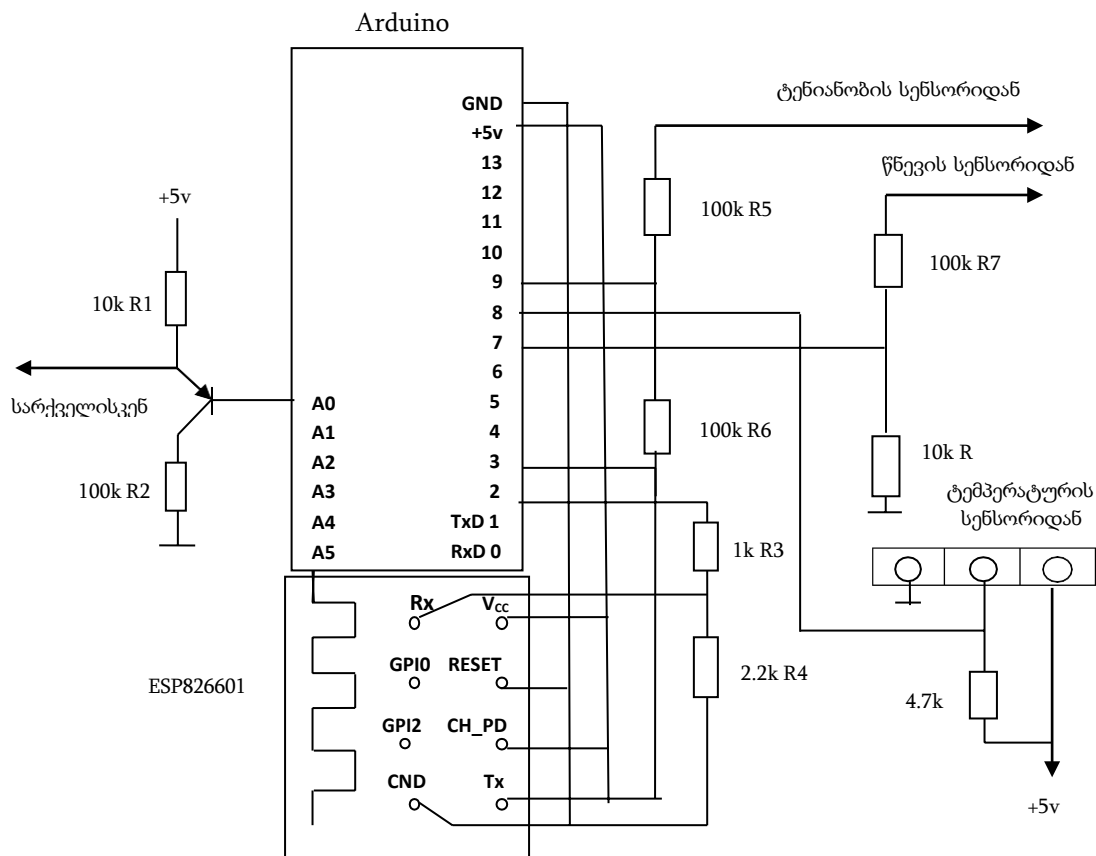
დამოკიდებულია მილში წყლის წნევაზე. წნევის სიდიდე, რომელიც შეიძლება იცვლებოდეს სხვადასხვა მიზეზის გამო, განსაზღვრავს გამოფრქვეული ჭავლის სიჩქარეს და მორწყვის ხანგრძლივობას, რომლის დროს მცენარე მიიღებს მისთვის საჭირო წყლის რაოდენობას.

წყლის წნევა იზომება ბარებში (1 ბარი დაახლოებით 1 ატმოსფეროს ტოლია). წყლის წნევის ცვლილება, რომლის დროსაც სისტემა მუშაობს დამაკმაყოფილებლად, უნდა იყოს 1,5-5 ბარი. ზემოთქმულიდან გამომდინარე, მორწყვის სისტემის დაგეგმარების დროს, გათვალისწინებული უნდა იყოს წყლის წნევის კონტროლი და მორწყვის ხანგრძლივობის განსაზღვრა.

წყლის წნევის გასაზომად გამოიყენება წყლის წნევის სენსორები, რომელთა არჩევა ხდება მათი პარამეტრების მიხედვით. პროექტის მოთხოვნიდან გამომდინარე, წნევის სენსორი ჩვენ ავირჩიეთ შემდეგი მაჩვენებლების მიხედვით: გაზომვის დიაპაზონი (0-5 ბარი), გამომავალი სიგნალის მნიშვნელობა, კვების წყაროს მნიშვნელობა. პროექტისთვის მისაღები აღმოჩნდა WIKA კომპანიის წნევის სენსორი S-10 [10, 11].

ჰაერის ტემპერატურის გაზომვისათვის ჩვენ მიერ არჩეულია Dallas Semikondactor კორპორაციის ტემპერატურის სენსორი DS18B20. იგი წარმოადგენს პროგრამულად მართვად ინტეგრალურ მოდულს. ანალოგური სიგნალების გარდასახვა ხდება მასში ჩაშენებულ აცგ-ში. ინფორმაციის გაცვლა მოდულსა და მიკროპროცესორს შორის სრულდება 1-Wire პროტოკოლის საშუალებით [12, 13].

სურ. 1-ზე წარმოდგენილია მორწყვის სისტემის სტრუქტურული სქემა.



სურ. 1. მორწყვის სისტემის სტრუქტურული სქემა.

გ) სისტემის ფუნქციონირების ალგორითმი.

მორწყვის სისტემის მართვის ფუნქციის შესრულება მდგომარეობს წყლის მილის სარქველის გახსნაში დროის საჭირო პერიოდში გარკვეული ხანგრძლივობით, რომელთა მნიშვნელობები განსაზღვრულია მთელი რიგი პარამეტრებით, როგორცაა: ნიადაგის ტენიანობა, ატმოსფეროს ტემპერატურა, მილში წყლის წნევა.

უპირველეს ყოვლისა უნდა განისაზღვროს მორწყვის ინტერვალი. ყოველი ტიპის მცენარე ხასიათდება მორწყვის გარკვეული ინტერვალით, რომლის მნიშვნელობა მოცემულია არსებულ ნორმატიულ დოკუმენტებში. მორწყვის დაწყების დროის დაფიქსირება ხდება დროის მთვლელის საშუალებით. ჩვენ მიერ გამოყენებულია Arduino IDE კომპილატორის ბიბლიოთეკაში არებული ფუნქცია millis - რეალური დროის პროგრამული ტაიმერი. წინასწარ განისაზღვრება კონკრეტული ტიპის მცენარისათვის განკუთვნილი მორწყვის დროის შუალედი - რომლის ბოლოს სრულდება გარე პარამეტრების ანალიზი.

პირველ რიგში მოწმდება ნიადაგის ტენიანობა. თუ ტენიანობა აღემატება მოცემული მცენარისათვის ზღვრულ მნიშვნელობას  $H_{max}$  (მაგალითად, ჩვენ მიერ აღებული გაზონისათვის 75%) მორწყვა არ ხორციელდება, ვინაიდან ნიადაგი ზედმეტად ტენიანია და მორწყვას არ მოითხოვს.

ნორმალური ტენიანობის შემთხვევაში მოწმდება გარემოს ტემპერატურა. გრილ ამინდში, თუ მისი მნიშვნელობა ნაკლებია მინიმალურ დასაშვებზე  $T_{min}$  (გაზონისათვის -  $10C^{\circ}$ ) მორწყვა არ ხორციელდება. წინააღმდეგ შემთხვევაში კი მორწყვა ხორციელდება. სისტემა აფორმირებს წყლის ვენტილის გაღების სიგნალს. ამასთან, თუ მილში წყლის წნევა არის  $P_{max}$  მაქსიმალური, მორწყვა ხორციელდება წინასწარ აღებული მცენარისთვის განსაზღვრული ხანგრძლივობით, წინააღმდეგ შემთხვევაში მორწყვის ხანგრძლივობა უნდა გაიზარდოს.

სურ. 2-ზე წარმოდგენილია მორწყვის სისტემის ფუნქციონირების ალგორითმის გრაფიკული სქემა.

როგორც ზემოთ იყო ნათქვამი, მცენარეთა სხვადასხვა სახეობისთვის დამახასიათებელია პარამეტრების სხვადასხვა ზღვრული მნიშვნელობა. ამიტომ, მიწის ნაკვეთზე მცენარეთა ტიპის ცვლის შემთხვევაში საჭირო ხდება პროგრამაში შესაბამისი ცვლილებების შეტანა. აღნიშნული მოქმედების გაადვილების მიზნით, ჩვენ მიერ გათვალისწინებულია პროგრამაში ცვლილებების შესრულება მობილური ტელეფონით, უკაბელო კავშირის საშუალებით. ამ მიზნით, ჩვენ მიერ გამოყენებული იყო IoT ტექნოლოგია, რომლის საშუალებით სრულდება დისტანციური კავშირი მობილურ ტელეფონსა და მიკროპროცესორულ სისტემას შორის.

აღნიშნული ტექნოლოგიის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ელემენტია Blynk-ი, რომელიც წარმოადგენს Android ოპერაციული სისტემის დამატებას. მისი საშუალებით ხორციელდება წვდომა ღრუბლოვანი სერვერთან, სადაც მოთავსებულია პერიფერიული მოწყობილობების ბიბლიოთეკა. აღნიშნული ბიბლიოთეკიდან, მობილური ტელეფონის საშუალებით, შეგვიძლია გამოვიძახოთ სხვადასხვა პროგრამის გრაფიკული გამოსახულებების (ვიჯეტი) ანაწყობი და შევქმნათ ახალი პროგრამა. მობილური ეკრანიდან აგრეთვე იგზავნება შეტყობინება სერვერზე მიკროპროცესორული სისტემისაკენ, რომელიც WiFi პროტოკოლის საშუალებით გადაეცემა მიკროპროცესორულ სისტემას (ჩვენ შემთხვევაში Arduino-ს). WiFi პროტოკოლის შესრულებისათვის Arduino-სთან მიერთებულია WiFi მოდული ESP8266.



## Research of remote control of microprocessor systems using IoT technologies

Otar Kartvelishvili, Levan Gvaramadze, Veriko Bakhtadze

### Summary

The aim of the presented paper is to study the possibility of remote control of microprocessor systems using IoT technology. The methodology of the management organization was developed, by which the project of the microprocessor irrigation system of plots containing different types of plants located on a large area was developed.

## Исследование удаленного управления микропроцессорных систем с использованием IoT технологии

Отар Картвелишвили, Леван Гварамадзе, Верико Бахтадзе

### Резюме

Целью представленной работы является исследование возможности удаленного управления микропроцессорными системами с использованием технологии IoT. Разработана методика организации управления, с помощью которой был создан проект микропроцессорной системы орошения участков, содержащих разные виды растений, расположенных на большой площади.

## ლიტერატურა - References - Литература

1. Режимы полива. [www.greencorner-al.ru](http://www.greencorner-al.ru)
2. Полив газона. [www.Greeninfo.ru](http://www.Greeninfo.ru)
3. Нормы полива. [www.Poliv-Montag.ru](http://www.Poliv-Montag.ru)
4. Полив автоматический. [www.Polivmaster.ru](http://www.Polivmaster.ru)
5. ზ. ტაბატაძე, თ. თოდუა. არდუინო. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი, 2019.
6. Веерные разбрызгиватели автополива Hunter. [oborudovanie-dly-avtopoliva.ru](http://oborudovanie-dly-avtopoliva.ru)
7. Клапаны применяемые в системах автополива. [Elit-poliv.ru/klapany](http://Elit-poliv.ru/klapany)
8. Электромагнитные клапаны фирмы Hunter PGV-100MM/Garden.in.ua/...
9. Датчик влажности DFRobot фирмы MoisturSensor/avrobot.ru
10. Датчик давления. Правило выбора датчиков давления. [Kipservis.ru](http://Kipservis.ru)
11. WikaBDSensors&Delta. [Energometrika.ru](http://Energometrika.ru)
12. Микросети 1-Wire. [www.Ab-log.ru](http://www.Ab-log.ru)
13. Подключение датчика температуры DS18B20 к микроконтроллеру. [Sxem.net](http://Sxem.net)
14. ო. ქართველიძევილი. მიკროკონტროლერი ავტომატური მორწყვის სისტემაში. შრომები, მართვის ავტომატიზირებული სისტემები, 2015, № 1(19).
15. Automatic Arduino based plant watering system. [https://www.youtube.com/...](https://www.youtube.com/)
16. Autonomous greenhouse with mobile app. Automatic drip watering/irrigation Arduino DIY. [https://www.youtube.com/...](https://www.youtube.com/)
17. Bluetooth module HC-05 и HC-06 Подключение к Arduino. [https://www.youtube.com/...](https://www.youtube.com/)
18. Full project: Irrigation with Arduino. [https://www.youtube.com/...](https://www.youtube.com/)
19. How to make mart plant monitoring system (ESP 8266). [https://www.youtube.com/...](https://www.youtube.com/)
20. IoT Smart lant Monitoring System/Smart Irrigation. [https://www.youtube.com/...](https://www.youtube.com/)

---

თერმობირთვული დანადგარის გაგრილების სისტემის გაანგარიშება  
დავით ფურცხვანიძე, ალექსანდრე ხარშილაძე  
dpurtshvani@gmail.com

რეზიუმე

მოხდა აქტიურ ზონაში წნევის ვარდნის გამოთვლა, დროსელირების გამოთვლა, აქტიური ზონის არხებში თბოგადამტანის ხარჯის მოცემული განაწილების უზრუნველსაყოფად და თბოგადამტანის „ფაქტობრივი“ ხარჯვის განაწილების საპოვნელად დროსელირების გარეშე ან მისი ნაწილობრივი განხორციელებისას. გარდა ამისა, მოხდა: ჰიდრაულიკური გაანგარიშება, საწყისი ინფორმაციის მოსაპოვებლად თერმობირთვული სინთეზის აგრეგატის სამუშაო პროცესისა და საიმედოობის დადგენისათვის. თბოგადამტანის დინება სინთეზის დანადგარის არხებში აღწერილია ჰიდროდინამიკური მახასიათებლების განტოლებით. მოყვანილია მოძრაობის ერთგვაროვანი განტოლება, ცვლადი ნაკადის სიჩქარის შემთხვევაში. შემოთავაზებულია თერმობირთვული სინთეზის დანადგარის ჰიდრაულიკური გაანგარიშების განტოლებათა სისტემა.

საკვანძო სიტყვები:

მართვადი თერმობირთვული სინთეზი, ჰიდრაულიკური გაგრილების სისტემა, თერმობირთვული სინთეზის აგრეგატის აქტიური ზონა, დროსელირება, სითხის ნაკადის მოძრაობის განტოლება: რეინოლდსის რიცხვი, თბოგადამტანის ენთალპია.

მართვადი თერმობირთვული სინთეზის განსახორციელებელი სისტემა დამუშავების პროცესშია. ამდენად მისი გაგრილების სისტემაც ჯერ კიდევ ბოლომდე არაა დამუშავებული. სამაგიეროდ, კარგადაა დამუშავებული ატომური რეაქტორების გაგრილების სისტემა. ჩვენს მიერ თერმობირთვული სინთეზის (თბს) განსახორციელებელ დანადგარზე მიღებული გვაქვს პატენტი [1]. პატენტში აღწერილი თბს-ის დანადგარის გაგრილების სისტემა დავამუშავეთ ატომური რეაქტორების გაგრილების სისტემის ანალოგიით.

თერმობირთვული სინთეზის აგრეგატის აქტიური ზონის ჰიდრაულიკური გამოთვლების ამოცანებია: აქტიური ზონაში წნევის ვარდნის გამოთვლა, დროსელირების გამოთვლა, აქტიური ზონის არხებში თბოგადამტანის ხარჯის მოცემული განაწილების უზრუნველსაყოფად და თბოგადამტანის „ფაქტობრივი“ ხარჯვის განაწილების საპოვნელად დროსელირების გარეშე ან მისი ნაწილობრივი (არაიდალური ჰიდრაულიკის თვალსაზრისით) განხორციელებისას. გარდა ამისა, ჰიდრაულიკური გაანგარიშება იძლევა საწყის ინფორმაციას თერმობირთვული სინთეზის აგრეგატის სამუშაო პროცესისა და საიმედოობის დასადგენად.

ჩვეულებრივ, ჰიდრაულიკურ გამოთვლებში, აქტიური ზონა განიხილება, როგორც არხების ჯგუფი, რომლებიც პარალელურადაა ჩართული ორ უსასრულოდ დიდ მოცულობას შორის [2]. წნევის ცვლილებები გამანაწილებელ და შემგროვებელ კოლექტორებში ან კამერებში არ არის გათვალისწინებული. აქტიური ზონის ჰიდრაულიკური გაანგარიშების განტოლებების სისტემა ამ შემთხვევაში მოიცავს მხოლოდ არხებში სითხის მოძრაობის განტოლებებს (გამოთვლაში გამოყოფილი ჰიდრაულიკური ზონების რაოდენობის მიხედვით) და მატერიალური ბალანსის განტოლებას.

თუმცა, ზოგად შემთხვევაში, სინთეზის დანადგარის ჰიდრაულიკური სისტემა არ არის მხოლოდ პარალელური არხების ჯგუფი, რომლებიც დაკავშირებულია დიდ მოცულობებს

შორის, არამედ კოლექტორული სისტემაა. თერმობირთვული სისტემის დანადგარში, თბოგადამტანის ხარჯის განაწილება არხების გასწვრივ შეიძლება დამოკიდებული იყოს წნევის ცვლილებებზე კოლექტორების სიგრძის გასწვრივ ან (კამერების) რადიუსზე და ამასთან დაკავშირებულმა ცდომილებებმა არხების გასწვრივ თბოგადამტანის ხარჯის არხების მიხედვით განაწილებაში შეიძლება გამოიწვიოს ძალიან არასასურველი შედეგები. წნევის ცვლილება  $\Delta p(x)$  კოლექტორებში გამოითვლება ბერნულის განტოლების მიხედვით [3, 4]. რომელიც არ ითვალისწინებს განლევის ან თხევადი მასების დამატების უმნიშვნელოვანეს ეფექტს. ასეთი გამოთვლა ხშირად იწვევს მნიშვნელოვან შეცდომებს კოლექტორებში წნევის ცვლილებასას [5] და არხებში თბოგადამტანის ხარჯების განაწილებაში.

როდესაც სითხე მიედინება კოლექტორებში, მასის ხარჯი სიგრძის გასწვრივ იცვლება  $G=G(x)$ . კავშირი ხარჯის, გადინების ინტენსიობასა და წნევის ცვლილებას შორის ასეთ ნაკადებში აღიწერება ცვლადი მასის სითხის მოძრაობის განტოლებით. განვიხილოთ იგი შეუკუმშვადი სითხის სტაციონარული ნაკადისთვის, მასური ძალების გათვალისწინების გარეშე.

როგორც ცნობილია [5], მოძრაობის მკაცრი ორგანზომილებიანი განტოლება, რომელიც გამოხატავს მოძრაობის რაოდენობის ცვლილებისა და მოქმედი ძალების იმპულსის

$$\text{ტოლობას (პროექციით X ღერძზე)} \quad \rho u = \frac{\partial u}{\partial x} + \rho v \frac{\partial u}{\partial r} = - \frac{\partial p}{\partial x} + (\text{div}T)_x \quad (1)$$

სადაც T მხები დამახულობის ტენზორია, გავამრავლოთ u -ზე, დავამატოთ იგი უწყვეტობის განტოლებასთან და გავანტეგრალიოთ კვეთაზე შემდეგი სასაზღვრო პირობებით: კოლექტორის ზედაპირზე მხები ძაბვა ტოლია  $\tau_0$ , განივი სიჩქარე  $v = V_0$ , გრძივი სიჩქარე  $U = 0$ . მიღებული განტოლება მარტივი ალგებრული გარდაქმნების შემდეგ და აღნიშვნების შემოღებით საშუალო სიჩქარისთვის  $\omega(x) = \frac{G}{\rho F}$ ; იმპულსის ნაკადის კოეფიციენტისათვის  $\beta(x) = \frac{1}{\omega^2} \frac{1}{F} \int u^2 dF$  და ხახუნის კოეფიციენტისათვის  $\xi(x) = \frac{8\tau_0}{\rho \omega^2}$  დაიყვანება მოძრაობის ერთგვაროვან განტოლებამდე, ცვლადი ნაკადის სიჩქარით [5, 6]:

$$\frac{dp}{\rho} + \beta \omega d\omega + \omega^2 d\beta + \beta \omega^2 \frac{dG}{G} + \xi \frac{\omega^2}{2} \cdot \frac{dx}{D} = 0 \quad (2)$$

განტოლება (2) განსხვავდება ჩვეულებრივი ბერნულის განტოლებისგან არა მხოლოდ  $\beta$  ცვლადი კოეფიციენტით, არამედ, რაც მთავარია, დამატებითი წევრით (ბოლოსწინა წევრი), რომელიც ითვალისწინებს ნაკადის მოძრაობის რაოდენობის ცვლილებას გადინების ან შემოდინების გამო. განტოლება (2) არაგანზომილებიანი ფორმით ( $\beta = \text{const}$ ) ასე ჩაიწერება:

$$\bar{p} + \beta (4\bar{G} d\bar{G} - 2\bar{G} d \ln \bar{p}) + \xi \frac{L}{D} \bar{p} = 0 \quad (3)$$

აქ  $\bar{p} = \frac{p}{\rho \omega_0^2/2}$ ;  $\bar{G} = \frac{G}{G_0}$ ;  $\bar{\rho} = \frac{\rho}{\rho_0}$ ;  $\bar{F} = \frac{F}{F_0}$ ;  $\bar{x} = \frac{x}{L}$ , სადაც L - კოლექტორის სიგრძეა.

თბოგადამტანის დინება სინთეზის დანადგარის არხებში აღწერილია ჰიდროდინამიკური მახასიათებლების განტოლებით (1), რომელიც შეიძლება დაიწეროს ასე:

$$f [(p_1 - p_2); dG_2/dx; Q'_k] = 0, \quad (4)$$

სადაც  $Q'_k$  - კოლექტორის სიგრძის ერთეულზე მოსული არხების თერმული სიმძლავრეა.

ჰიდრავლიკური წინაღობები კოლექტორიდან არხში შესასვლელისა და არხიდან კოლექტორში გასასვლელის განტოლებაში (4) განისაზღვრებიან წინაღობების ლოკალური კოეფიციენტებით  $\xi_{გაგ}$  და  $\xi_{გაბ}$ , რომლებიც ზოგად შემთხვევაში დამოკიდებულია არხში რეინოლდსის რიცხვზე და სიჩქარეების თანაფარდობაზე არხსა და კოლექტორში. ეს უკანასკნელი დამოკიდებულება საჭიროა იქნას გამოკვლეული და გათვალისწინებული ჰიდრავლიკური გაანგარიშებისას [7].

თბოგადამტანის მთლიანი ხარჯი და პარამეტრები შესასვლელზე, მთლიანი თერმული სიმძლავრე და თერმოგამოყოფის განაწილება, აგრეთვე კოლექტორებისა და არხების კონსტრუქციული მონაცემები, რომლებიც აუცილებელია აქტიურ ზონაში თბოგადამტანის ნაკადის განტოლებათა სისტემის ამოსახსნელად როგორც წესი ცნობილია.

თერმობირთვული სინთეზის დანადგარის ჰიდრავლიკური გაანგარიშების განტოლებათა სისტემას აქვს შემდეგი სახე:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dp_1}{dx} - \beta_1 (1 - G_1)^2 \frac{dG_1}{dx} + \xi_1 \frac{L}{D_1} (1 - G_1)^2 &= 0; \\ \rho_2 (F_{20}/F_{10})^2 \frac{dp_2}{dx} + 2\beta_2 (2G_2 \frac{dG_2}{dx} - \frac{G_2^2}{\rho_2} \frac{d\rho_2}{dx}) + \xi_2 \frac{L}{D_2} G_2^2 &= 0; \\ f[(p_1 - p_2); dG_2/dx; Q'_k] &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

$$\frac{d\bar{i}}{dx} = \frac{1}{G_2} (\bar{i} - \bar{i}_k) \frac{dG_2}{dx};$$

$$\rho_2 = \rho_2(\bar{i}_2; p_2).$$

აქ  $\bar{i}_2 = i_2/i_{10}$ ;  $\bar{i}_k = i_k/i_{10}$ , სადაც  $i_{10}$  და  $i_k$  - არის თბოგადამტანის ენთალპია გამანაწილებელ კოლექტორში და არხებიდან გამოსასვლელში, შესაბამისად. ამ შემთხვევაში, სასაზღვრო

პირობები შემდეგია: როდესაც  $x = 0$  მნიშვნელობები  $p_2 = 0$ ;  $G_2 = 0$ ;  $i_2 = 1 + \frac{Q_x}{G_0 i_{10} (dG_2/dx)}$ , ხოლო  $x = 1$  -სთვის  $G_2 = 1$ .

თუ დაგროვების კოლექტორში წნევის ცვლილება შეიძლება უგულვებელყოფილი იქნას (მაგალითად, როდესაც ორთქლისა და წყლის ნარევი შედის დოლ-სეპარატორში), სისტემა (5) მარტივდება:

$$\frac{dp_1}{dx} + 4\beta_1 G_1 \frac{dG_1}{dx} - \xi_1 \frac{L}{D_1} G_1^2 = 0;$$

$$f[(p_1 - p_2); dG_2/dx; Q'_k] = 0 \quad (5a)$$

ამ შემთხვევაში სასაზღვრო პირობები ასეთია:  $x = 0$ -ზე  $G_1 = 1$ , ხოლო  $x = 1$ -ზე  $G_1 = 0$ . განტოლება (3) მიუთითებს გათბობის საშუალების ნაკადის სიჩქარის განაწილების შესაძლებლობას მოცემული კანონის მიხედვით არხების ჩახშობის გარეშე. ზოგიერთ შემთხვევაში, ამის მიღწევა შესაძლებელია პროფილირებული კოლექტორების გამოყენებით (სიგრძის გასწვრივ ცვლადი ნაკადის ფართობით). ჩვენ ვიანგარიშებთ გამანაწილებელი კოლექტორის დიამეტრს  $D(x)$  გამაგრებლის ნაკადის სიჩქარის ერთგვაროვანი განაწილების მდგომარეობიდან ( $dG/dx = 1$ ) და მუდმივი წნევა შეგროვების პალატაში.

შემდეგ  $d p/dx = 0$  და (3) განტოლებიდან  $\xi = \text{const}$  ვიღებთ 
$$\frac{dD}{dx} = \frac{D}{x} - K \quad (6),$$



აქ  $D = \frac{d(x)}{d_0}$ , სადაც  $d_0$  არის გამანაწილებელი კოლექტორის დიამეტრი შესასვლელთან;  $K = \frac{\xi}{4\beta} \cdot \frac{L}{d_0}$ .

ამრიგად, ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, შესაძლებელია შემდეგი დასკვნების გამოტანა: 1. თერმობირთვული სინთეზის ინსტალაციის ბირთვის ჰიდრავლიკური გაანგარიშებისას იმ შემთხვევაში, როდესაც გამანაწილებელ და შემგროვებელ კოლექტორებს (კამერებს) აქვთ მცირე დინების განივი კვეთები, აუცილებელია გავითვალისწინოთ წნევის ცვლილება კოლექტორის (კამერის) სიგრძის (რადიუსის) გასწვრივ. ეს ცვლილება აღწერილია ცვლადი მასის სითხის მოძრაობის განტოლებით. არხებში წნევის ვარდნის გაანგარიშებისას შეიძლება საჭირო გახდეს არხის შესასვლელის ლოკალური წინააღმდეგობის კოეფიციენტის დამოკიდებულების გათვალისწინება არხის შესასვლელთან და გამანაწილებელ კოლექტორში სიჩქარის თანაფარდობაზე (მსგავსი გათვალისწინებაა საჭირო ადგილობრივი წინააღმდეგობისთვის არხის გამოსასვლელიზე); 2. კოლექტორების (პალატების) ნაკადის არეალის პროფილირება ზოგიერთ შემთხვევაში საშუალებას გაძლევთ გადაანაწილოთ გამაგრილებლის ნაკადის სიჩქარე დატენვის გარეშე.

## Calculation of the cooling system of a thermonuclear installation

David Purtskhvanidze, Alexander Kharshiladze

### Summary

The calculation of the pressure drop in the core of the thermonuclear fusion plant, the calculation of throttling, was carried out to ensure a given distribution of the cost of heat transfer in the channels of the core and to find the "actual" distribution of the cost of heat transfer without throttling or its partial implementation.

In addition, a hydraulic calculation was performed to obtain initial information in order to determine the operation and reliability of the thermonuclear installation. The coolant flow in the channels of the synthesis block is described by the hydrodynamic characteristic equation. A homogeneous equation of motion is given for the case of a variable flow rate. A system of equations for the hydraulic calculation of a thermonuclear fusion facility is proposed.

## Расчет системы охлаждения термоядерной установки

Давид Пурцхванидзе, Александре Харшиладзе

### Резюме

Произведен расчет перепада давления в активной зоне установки термоядерного синтеза, расчет дросселирования, выполнен для обеспечения заданного распределения стоимости теплообмена в каналах активной зоны и нахождения «фактического» распределения стоимости теплопередачи без дросселирования или его частичной реализации. Кроме того, был выполнен гидравлический расчет для получения исходной информации с целью определения работы и надежности термоядерной установки. Течение теплоносителя в каналах блока синтеза описывается уравнением

гидродинамической характеристики. Приведено однородное уравнение движения для случая переменного расхода. Предложена система уравнений для гидравлического расчета установки термоядерного синтеза.

ლიტერატურა - References - Литература

1. დ. ფურცხვანიძე. პროტონ-ლითიუმის სინთეზის მოწყობილობა. პატენტი: GEP 20207181 B; AP 2020 15152 71 81 A
2. А. Я. Крамеров, Я. В. Шевелев. Инженерные расчеты ядерных реакторов. Атомиздат, М., 1964.
3. Котельные установки. Т. II (Под. общ. ред. Э. И. Ромма). Госэнергоиздат, М. – Л., 1964.
4. М. А. Стырикович, К. Я. Катковская, Е. П. Серов. Парогенераторы электростанций. „Энергия“, М., 1966.
5. Г. Л. Петров. Гидравлика переменной массы. Харьковск, ун-та, 1964.
6. И. С. Коченов. Теория подобия и её применение в теплотехнике. Труды МИИТ, вып. 139, М., 1961, стр. 158.
- 7, И. Е. Идельчик. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. Госэнергоиздат, М. – Л., 1961.

---

ენერჯის განახლებადი წყაროების გამოყენების პერსპექტივები ელექტროენერჯის წარმოებაში

ნოდარ მირიანაშვილი, ნოდარ გგელიშვილი, ქეთევან კვირიკაშვილი,

ვენერა ხათაშვილი

[nmirianash@gmail.com](mailto:nmirianash@gmail.com)

## რეზიუმე

სტატიაში გაანალიზებულია საქართველოში ელექტროენერჯის წარმოებაში განახლებადი ენერჯის წყაროების გამოყენების არსებული დონე.

საქართველოში ენერჯოეფექტურობის ეროვნული სამოქმედო გეგმით გათვალისწინებულია სხვადასხვა ღონისძიებათა ჩატარება ელექტროენერჯის მოხმარების შესამცირებლად. ნაჩვენებია, რომ სტატიაში ჩამოთვლილი, განსახორციელებელი ღონისძიებების გათვალისწინების მიუხედავად, ელექტროენერჯის საპროგნოზო მოხმარება წელიწადში საშუალოდ მაინც გაიზრდება 3,5-4,0%-ით.

საკვანძო სიტყვები: განახლებადი ენერჯის წყარო, მზის ენერჯია, ქარის ენერჯია, ჰიდროენერჯია, გეოთერმული ენერჯია, თბოელექტროსადგური

ელექტროენერჯის წარმოებაში განახლებადი ენერჯის წყაროების გამოყენების არსებული დონე ასეთია: ჰიდროელექტროსადგურების დადგმული სიმძლავრე შეადგენს ქვეყნის ენერჯოსისტემაში არსებული ყველა ტიპის ელექტროსადგურების ჯამური დადგმული სიმძლავრის 75%-ს, ხოლო ჰესების მიერ გამომუშავებული ელექტროენერჯის წილი კი - მთლიანად ქვეყანაში წარმოებული ელექტროენერჯის 80%-ს. 2017 წელს ექსპლუატაციაში მიღებულ იქნა 20,7 მგვტ სიმძლავრის გორის ქარის ელექტროსადგური.

2014 წელს ქვეყანაში ელექტროენერჯის წარმოება აღემატებოდა არსებულ მოთხოვნას, ე.ი. ელექტროენერჯის ბალანსი იყო პროფიციტური. 2030 წელს ელექტროენერჯის მიწოდება გაუტოლდება 20,5 ტერავატს-ს, ხოლო მოთხოვნა - 16,7 ტერავატს-ს. 2020 წლის ბოლომდე განახლებადი ენერჯის წყაროების ასათვისებლად განხორციელდა დაახლოებით 850 მლნ ევროს ინვესტიცია. 2030 წლისათვის განახლებადი ენერჯის წყაროების ათვისებაში მოსალოდნელია განხორციელდეს დაახლოებით 3,4 მილიარდი ევროს ინვესტიცია. ნავარაუდებია, რომ ქვეყანაში არსებული ყველა თბოელექტროსადგური გამოყენებული იქნება ადგილობრივი მოთხოვნების დასაკმაყოფილებლად. 2030 წლისათვის საქართველოში განახლებადი ენერჯის წყაროების მიერ გამომუშავებული ელექტროენერჯია დააკმაყოფილებს ქვეყანაში მოხმარებული ელექტროენერჯის (გარდა ტრანსპორტის სექტორისა) 80-83%-ს [1, 2, 3, 4].

ელექტროენერჯის საპროგნოზო მოხმარება 2022-2030 წლებში ენერჯოეფექტურობის ღონისძიებათა გათვალისწინებით მოყვანილია ცხრილში 1.

ცხრილი 1

ელექტროენერჯის საპროგნოზო მოხმარება (ათასი გვტ.სთ)

დასახელება	წლები				
	2022	2024	2026	2028	2030
საბოლოო ენერჯომოხმარება	12,5	13,4	14,2	15,2	16,5
საბოლოო ენერჯომოხმარება ენერჯოეფექტურობის ღონისძიებათა გათვალისწინებით	11,9	12,4	13,1	13,9	15,0

თბოელექტროსადგურებიდან ელექტროენერჯის მიწოდების საპროგნოზო მონაცემები მოყვანილია ცხრილში 2.

ცხრილი 2

თბოელექტროსადგურებიდან ელექტროენერჯის მიწოდების საპროგნოზო მონაცემები

დასახელება	წლები				
	2022	2024	2026	2028	2030
თბოელექტროსადგურების მოსალოდნელი დადგმული სიმძლავრე, მგვტ	1050	1050	1450	1450	1450
თბოელექტროსადგურების მიერ ელექტროენერჯის გამომუშავება, გვტ.სთ	2570	2750	2900	3125	3300

საქართველოს ეროვნული ენერჯოეფექტურობის სამოქმედო გეგმაში (NEEAP) გათვალისწინებულია სხვადასხვა ღონისძიება ელექტროენერჯის მოხმარების შესამცირებლად:

- ენერჯოეფექტურობის ღონისძიებათა გატარება ყოფაცხოვრებაში (ნათურები, მოწყობილობები, ტექნიკა);

- ენერჯოეფექტურობის ღონისძიებათა გატარება მრეწველობაში;

- ენერჯოეფექტურობის ღონისძიებათა გატარება გარე განათებაში.

ზემოთ ჩამოთვლილ ღონისძიებათა გათვალისწინების მიუხედავად, ელექტროენერჯის საპროგნოზო მოხმარება წელიწადში საშუალოდ მაინც გაიზრდება დაახლოებით 3,5-4,0%-ით [1, 2, 3].

ჰიდროელექტროსადგურების ექსპლუატაციაში მიღებისა და ელექტროენერჯის წარმოების გაზრდის მონაცემები 2025 წლისათვის და შემდგომი პერიოდისათვის მოყვანილია ცხრილში 3 [1,4].

ცხრილი 3

ჰიდროელექტროსადგურებიდან ელექტროენერჯის მიწოდების საპროგნოზო მონაცემები

პროექტის სტატუსი	პროექტების რაოდენობა	დადგმული სიმძლავრე, მგვტ	გამომუშავებული ელექტროენერჯია, გვტ.სთ/წელი	ინვესტიცია, მლნ. ევრო	ექსპლუატაციაში მიღების ალბათობა, %
NEEAP-ის ღონისძიება E-2; პოლიტიკა და ინვესტიციები ჰესების რეაბილიტაციისათვის	-	131,0	218,1	97,0	-
ჰესები მშენებლობის ეტაპზე, რომელთაც გაფორმებული აქვთ მემორანდუმი	19	734,4	2912,6	1583,0	100
ჰესები, რომლებზეც ინვესტორს გამოხატული აქვს დაინტერესება და ტექნიკურ-ეკონომიკური კვლევა დასრულებულია	13	1035,0	2823,1	1140,0	50
ჰესები წინასწარი ტექნიკურ-ეკონომიკური კვლევის ეტაპზე	98	2489,9	11149,8	3604,0	25
ჯამი	130	4390,3	17103,6	6424,0	-

ქარის ელექტროსადგურების ექსპლუატაციაში მიღებისა და ელექტროენერჯის წარმოების გაზრდის მონაცემები 2023 წლისათვის და შემდგომი პერიოდისათვის მოყვანილია ცხრილში 4.

ცხრილი 4

ქარის ელექტროსადგურები

პროექტის სტატუსი	პროექტების რაოდენობა	დადგმული სიმძლავრე, მგვტ	გამომუშავებული ელექტროენერჯია, გვტ.სთ/წელი	ინვესტიცია, მლნ. ევრო	ექსპლუატაციაში მიღების ალბათობა, %
დაგეგმილი	18	1157	4503	1727	10-30

მზის ფოტოელექტრული გარდამქმნელების გამოყენებით (PV სისტემა) დაგეგმილია სოფ. უდაბნოში მზის საპილოტე ელექტროსადგურის აგება. მზის ელექტროსადგურების ექსპლუატაციაში მიღებისა და ელექტროენერჯის წარმოების გაზრდის მონაცემები 2020 წლის შემდგომი პერიოდისათვის მოყვანილია ცხრილში 5 [1, 3, 4].

ცხრილი 5

მზის ელექტროსადგურები

პროექტის სტატუსი	პროექტების რაოდენობა	დადგმული სიმძლავრე, მგვტ	გამომუშავე- ბული ელექტროე- ნერგია, გვტ.სთ/წელი	ინვესტიცია, მლნ. ევრო	ექსპლუატაცია ში მიღების ალობათობა, %
დაგეგმილი	11	505	675	422	ეფასე-ბითი - 20

2025 წლისათვის გარდაბანში იგეგმება ბიოგაზის 3 მგვტ-იანი სადგურის ექსპლუატაციაში მიღება, წელიწადში 24,0 გვტ.სთ ენერჯის გამომუშავებით, ექსპლუატაციაში მიღების შეფასებითი ალბათობა 50%-ია.

განახლებადი ენერჯის ეროვნული სამოქმედო გეგმის (გეესგ) პოლიტიკის ღონისძიებათა სავარაუდო ხარჯები და შედეგები 2020 წლისა და შემდგომი პერიოდისათვის ასე გამოიყურება (ცხრილი 6).

ცხრილი 6

გეესგ-ს პოლიტიკის ღონისძიებათა სავარაუდო ხარჯები და შედეგები (2020 წ და შემდგომი პერიოდი)

№	ღონისძიება	განახლებადი ენერჯის მოსალოდნელი მოხმარება, ათასი ტნე	მოსალოდნელი ხარჯი, მლნ ევრო
1.	მზის წყალგამაცხელებლების სტიმულირება	5,2	1,4
2.	ელექტრომობილების სტიმულირება	14,7	3,4
3.	ჰიდროელექტროენერჯის წარმოების მხარდაჭერა	516,9	984,8
4.	ქარის ელექტროენერჯის წარმოების მხარდაჭერა	25,2	70,5
5.	მზის ელექტროენერჯის წარმოების მხარდაჭერა	0,7	4,9
6.	გეოთერმული სითბოს წარმოების მხარდაჭერა	61,6	არ არის განგარიშებული

ამრიგად, თუ გავითვალისწინებთ, რომ ამჟამად საქართველო წელიწადში მოიხმარს დაახლოებით 4,5-5,0 მლნ ტნე ენერჯიას როგორც თბური ისე ელექტრული სახით, გეესგ-ით დასახულ ღონისძიებათა განხორციელების შემთხვევაში განახლებადი ენერჯის წილი (დაახლოებით 0,62 მლნ ტნე) გაიზრდება და გაუტოლდება მთლიანად მოხმარებული

ენერჯის 10%-ს, რისთვისაც 2030 წლამდე დაიხარჯება დაახლოებით 1,0-1,1 მლრდ ევრო [1, 4].

დასკვნა: 1. მომავალში საქართველოს ეკონომიკის დაჩქარებული განვითარების ინტერესები მოითხოვს, რომ ენერჯეტიკული ბალანსის შემდგომი სრულყოფა მოხდეს უპირატესად ადგილობრივი რესურსების გამოყენების გაზრდის გზით. ენერჯეტიკული ბალანსის სრულყოფის თვალსაზრისით დიდი როლი უნდა შეასრულოს ენერჯოეფექტურობის როლის წინა პლანზე წამოწევამ. აუცილებელია ენერჯის განახლებადი წყაროების ფართო მასშტაბით ათვისება, რათა ამ უკანასკნელმა მნიშვნელოვანი ადგილი დაიჭიროს საქართველოს ენერჯეტიკულ ბალანსში.

2. ენერჯეტიკული უსაფრთხოების ამაღლების თვალსაზრისით დიდი პერსპექტივა აქვს ქვეყნის ეკონომიკაში ენერჯის ადგილობრივი არატრადიციული სახეების (ქარი, მზე, თერმული წყლები) ფართოდ გამოყენებას. განისაზღვრა, რომ უახლოესი პერსპექტივისათვის საქართველოში მზის ენერჯის გამოყენებით შესაძლებელი იქნება ყოველწლიურად დაიზოგოს დაახლოებით 40-50 ათასი ტონა პირობითი სათბობი.

ენერჯოეფექტურობის გამოუყენებელი ტექნოლოგიური პოტენციალი ქვეყნის მთლიანი ენერჯომომარაგების დაახლოებით ერთი მეოთხედის ტოლია. ამდენად იგი შეიძლება თამამად ჩაითვალოს ახალ ენერჯეტიკულ რესურსად.

3. საქართველოსა და ევროკავშირის შორის დადებული ასოცირების შესახებ შეთანხმების საფუძველზე დამუშავებულ საქართველოს ენერჯოეფექტურობის სამოქმედო გეგმით გათვალისწინებულია ენერჯოეფექტურობის ღონისძიებების გატარება ყოფაცხოვრებაში, მრეწველობაში და გარე განათებაში. კვლევის შედეგად დადგინდა, რომ ზემოთ ჩამოთვლილი ღონისძიებების გათვალისწინების მიუხედავად ელექტროენერჯის საპროგნოზო მოხმარება წელიწადში საშუალოდ მაინც გაიზრდება დაახლოებით 3,5-4,0%-ით.

## Using Perspectives of Power Renewal Sources in Electric Power Producing

Nodar Mirianashvili, Nodar Gdzlishvili, Ketevan Kvirikashvili, Venera Khatashvili

### Summary

In the article the current level of using of renewable energy sources in electricity generation is analyzed.

In Georgia, the national energy efficiency action plan provides for the implementation of various measures to reduce electricity consumption. It is shown that, despite the listed measures being implemented in the article, the forecasts for the annual use of electricity will increase by an average of 3.5-4.0%.

Использование перспектив источников возобновляемой энергии в производство  
электроэнергии

ნოდარ მირიანაშვილი, ნოდარ გძელიშვილი, კეთევან კვირიკაშვილი,  
ვენერა ხათაშვილი

Резюме

В статье анализируется существующий уровень использования возобновляемых источников энергии в производстве электроэнергии.

В Грузии в национальном действующем плане энергоэффективности предусмотрено проведение различных мероприятий по сокращению потребления электроэнергии. Показано, что, несмотря на предусмотренные перечисленные реализуемые мероприятия в статье, прогнозы годового использования электроэнергии повысились в среднем на 3,5-4,0%.

ლიტერატურა – References – Литература

1. გ. აბულაშვილი, მ. გაიშაკი, ს. ლანდაუ, ნ. სუმბაძე. განახლებადი ენერჯის ეროვნული სამოქმედო გეგმის შემუშავების საშუალებით განახლებადი ენერჯის შესახებ ცოდნისა და შესაძლებლობების განვითარება საქართველოში. ენერჯოეფექტურობის ცენტრი. თბილისი, 2014 წ.
2. საქართველოს კანონი. "განახლებადი წყაროებიდან ენერჯის წარმოებისა და გამოყენების წახალისების შესახებ". დოკუმენტი №5652.  
[matscne.gov.ge/ka/document/view/4737753?publication=1](https://matscne.gov.ge/ka/document/view/4737753?publication=1)
3. საქსტატი. საქართველოს ენერჯეტიკული ბალანსი 2020.  
[geostat.ge/media/42213/Publication-of-Energy-Balanse\\_2020\\_GEO.pdf](https://geostat.ge/media/42213/Publication-of-Energy-Balanse_2020_GEO.pdf)
4. T. Patarkacishvili, N. Mirianashvili. Prospects and Challenges of Alternative Renewable Energy Resources Development in Georgia. Journal of Earth and Environmental Sciences Research, Research. SRC, JEESR-192pp.1-6.



ინფორმატიკა

**INFORMATICS**

**ИНФОРМАТИКА**

---

## ზმნური მარკერები ქართულ-ინგლისური გრამატიკული ლექსიკონისათვის

გიორგი ჩიკოიძე, ანა ჩუტკერაშვილი, ნინო ჯავაშვილი

gogichikoidze@yahoo.com, annachutkerashvili@gmail.com, ninojavashvili@yahoo.com

### რეზიუმე

ელექტრონული გრამატიკული ლექსიკონების როლი ძალიან მნიშვნელოვანია დიდი მოცულობის ტექსტური კორპუსების ანოტირებისთვის. ასეთი ლექსიკონების ერთ-ერთი ამოცანაა სალექსიკონო ერთეულისთვის სწორი მორფოლოგიური და სინტაქსური მახასიათებლების მინიჭება, რაც აუცილებელია გრამატიკულად გამართული ფრაზების ასაგებად. ამ ტიპის ლექსიკონი, ტექსტების ანოტირების გარდა, გამოიყენება თარგმნის, ენის სწავლებისა და დიალოგური სისტემების მართვის პროცესისათვის.

სტატიაში განხილულია ქართულ-ინგლისური გრამატიკული ლექსიკონისთვის ქართული ზმნური ფორმების საკლასიფიკაციო მახასიათებლებისთვის სათანადო ინგლისური მახასიათებლების მოძებნა/მისადაგება. ნიმუშად წარმოდგენილია ორი ქართული ზმნური ფორმა ინგლისური თარგმანით და შესაბამისი მარკერებით.

### საკვანძო სიტყვები:

გრამატიკული ლექსიკონი, საკლასიფიკაციო მახასიათებლები, ზმნური მარკერები, ტეგები

ინგლისურ-ქართული გრამატიკული ლექსიკონის კომპაილერის გამართულად მუშაობისთვის ერთ-ერთი აუცილებელი მოთხოვნაა სალექსიკონო ერთეულებისთვის სწორად შერჩეული საკლასიფიკაციო მახასიათებლები, რომლებიც უზრუნველყოფენ გრამატიკულად გამართული ფრაზების აგებას, ტექსტური კორპუსების ანოტირებას, თარგმანს, ენის სწავლებას, სიტყვის ფლექსიურ და დერივაციულ ფორმაწარმოებას და ა.შ.

გრამატიკული მახასიათებლები გამოიყენება ქართულ-ინგლისური გრამატიკული ლექსიკონის კომპილირების სისტემის შესამუშავებლად, რომელიც ხორციელდება შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდის მიერ დაფინანსებული პროექტით<sup>1</sup>. პროექტის მიზანია ქართულ-ინგლისური გრამატიკული ლექსიკონის კომპილირების სისტემის შემუშავება, რომელიც სიტყვის როგორც ფორმაწარმოების, ისე სიტყვაწარმოების სრულად აღწერის საშუალებას იძლევა. ლექსიკური ფორმები შედგენილი უნდა იყოს ლემისგან და მორფოლოგიური ტეგების მწკრივისგან. ჩვენი ერთ-ერთი ამოცანაა ქართული ზმნური ფორმების საკლასიფიკაციო მახასიათებლებისთვის/მარკერებისთვის სათანადო ინგლისური მახასიათებლების მისადაგება ან, თუ ასეთი არ მოიძებნა, ახლის შექმნა.

ზოგადად, მახასიათებლები (მორფოსინტაქტიკური, სინტაქსური, სემანტიკური და ა.შ.) შედგება სხვადასხვა ინფორმაციის მატარებელი ტეგებისგან/სიმბოლოებისგან, რომლებიც ემსახურება ტექსტის იდენტიფიცირება-კატეგორიზაციას. კორპუსის ანოტირების ტიპურ შემთხვევაში მორფოსინტაქტიკური ანოტაციის (მას ასევე გრამატიკულ ტეგირებასაც უწოდებენ) საშუალებით იარლიყი ან ტეგი დაკავშირებულია ტექსტში თითოეული სიტყვის ტოკენთან მისი გრამატიკული კლასიფიკაციის აღსანიშნად. ანოტირების მარტივი მაგალითია ტექსტის ტეგირება მეტყველების ნაწილების ან გრამატიკული კატეგორიების მიხედვით, სადაც თითოეულ სიტყვასთან მითითებულია ინფორმაცია მეტყველების

---

<sup>1</sup> ქართულ-ინგლისური გრამატიკული ლექსიკონის კომპაილერი (FR-21-3509)

ნაწილის შესახებ (სახელი, ზმნა, ზედსართავი სახელი და ა.შ.), მეორე შემთხვევაში კი გრამატიკული კატეგორიის (ბრუნვა, პირი, რიცხვი, გვარი და ა.შ.) ანოტირების შედეგად შესაძლებელია ტექსტზე ნებისმიერი ტიპის ანალიტიკური ინფორმაციის მიღება [2].

#### ქართული ზმნური მარკერები

ზმნური მარკერების ჩამოსაყალიბებლად აუცილებელია მათთვის ძირითადი საკლასიფიკაციო პრინციპების შემუშავება. ქართული ენის აგლუტინაციურობის გამო, ტრადიციული გრამატიკული მახასიათებლების გვერდით, აუცილებელია ყველა ანომალიური ფონეტიკური ცვლილებებისათვის ახალი ნიშნების დაფიქსირება. ასევე, უნდა შედგეს ერთგვაროვანი მახასიათებლების მქონე ზმნების სიები. ამ ყველაფრის გათვალისწინებით, სტატიის ავტორთა მონაწილეობით შემუშავებულია ქართული ზმნური მახასიათებლები რუსთაველის ფონდით დაფინანსებული პროექტისთვის<sup>2</sup>, სადაც მაქსიმალურადაა წარმოდგენილი სიტყვის სრული გრამატიკული მახასიათებლები (მორფოლოგიური, სემანტიკური) და პარადიგმის ყველა ფორმა. ანოტირებული კორპუსი მოიცავს ოთარ ჭილაძის ექვსივე რომანის ტექსტს. მახასიათებლებში პირველი ტეგი ყოველთვის მეტყველების ნაწილს აღნიშნავს (ჩვენ შემთხვევაში ზმნას), ხოლო დანარჩენი – ზმნისთვის დამახასიათებელ გრამატიკულ კატეგორიებს: მწკრივი, რიცხვი, სუბიექტური და ობიექტური პირები და ა.შ. მორფოლოგიური მარკერები ქართულში ძირითადად წარმოდგენილია ზმნის სუბიექტ-ობიექტის პირის, რიცხვისა და მწკრივის აღმნიშვნელი ტეგებით. სულ 13 ზმნური ტეგია (მორფოლოგიური).

მაგალითად, მარკერი V Prs Subj Sg 3 ObjD Sg 3 აღნიშნავს, რომ სიტყვა, რომელსაც ეს მარკერი ახლავს, არის ზმნა, აწმყოს მწკრივი, მხოლოდითი რიცხვის მესამე პირის სუბიექტი, მხ. რიცხვის მესამე პირის პირდაპირი ობიექტი.

მარკერი V Aor Subj Sg 1 ObjD Sg 3 კი აღნიშნავს წყვეტილის მწკრივის ზმნას, რომლის სუბიექტიც არის I პირი მხოლოდით რიცხვში და პირდაპირი ობიექტი - III პირი მხ. რიცხვში.

ქართული ზმნის ფორმების სიუხვემ განაპირობა მარკერების სიუხვეც. ჯერჯერობით შექმნილია 80ნ „უნიკალური მარკერი“. თითოეული მარკერი გულისხმობს ერთნაირი მახასიათებლების მქონე ზმნათა რიგს.

#### ინგლისური ზმნური მარკერები

მორფოსინტაქტიკური ანოტაციის სფეროში არსებობს გარკვეული სახის საერთაშორისო სტანდარტები. ამ მხრივ ბევრი სამუშაოა ჩატარებული და მორფოსინტაქტიკური ტეგირება უკვე მრავალი ენისთვის არსებობს. მეორე მხრივ, მკაცრი სტანდარტიზაცია დიდ სიფრთხილეს მოითხოვს, რადგან ზოგჯერ ენა, თავისი სპეციფიკაციიდან გამომდინარე, მოითხოვს კონკრეტული მახასიათებლების გაფართოებას.

ფართოდ გავრცელებული კოდირების საერთაშორისო სტანდარტებიდან, ძირითადად, ვეერდნობით EAGLES სტანდარტს – EAGLES (Expert Advisory Group on Language Engineering Standards) [1]. ამ სტანდარტის დაწვრილებითი აღწერა და ქართულზე მორგებული დამატებითი და საერთო სპეციფიკური მახასიათებლები/მნიშვნელობები მოცემულია ნაშრომში [2].

ასევე, ვიყენებთ Oxford English part-of-speech Tagset-ს [3] (ტეგები აღნიშნავს მეტყველების ნაწილებს და ზოგჯერ ტოკენის გრამატიკულ კატეგორიებსაც, მაგალითად, ბრუნვას, რიცხვს, პირს და ა.შ.) და ინგლისურ ტეგსეტებს [4].

ინგლისურ მარკერებში, როგორც წესი, ძირითადი ზმნების ტეგებს (VV) განასხვავებენ მოდალური და დამხმარე ზმნების აღმნიშვნელი ტეგებისგან (V).

ქართული ზმნის ფორმების მრავალფეროვნების გამო, ინგლისურ მარკერებში საჭირო გახდა ტეგების დამატება/გაფართოება, განსაკუთრებით მწკრივის კატეგორიის

<sup>2</sup> ქართული ენის კორპუსის სრული (მორფოლოგიური, სინტაქსური, სემანტიკური) ანოტირების სისტემა (FR/463/4-105/12) 2013-2016.

გამო. მაგალითებში გამოყენებული ინგლისური ტეგები შესაბამისი განმარტებებით მოცემულია სტატიის ბოლოს.

დასამუშავებელი მასალა

გრამატიკული მახასიათებლების შესაბამისობის დადგენისთვის ძალზე ხელსაყრელია ორენოვანი პარალელური ტექსტური კორპუსები.

ქართული მასალისთვის გამოყენებულია ოთარ ჭილაძის ტექსტური კორპუსი [5], რომლის ანოტირების შედეგად უკვე შექმნილია ქართული მარკერები.

სათანადო ინგლისური მარკერების დასადგენად კი გამოყენებულია ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის „ლექსიკოგრაფიულ ცენტრში“ შექმნილი ინგლისურ-ქართული პარალელური კორპუსი [6]. კორპუსს სამეცნიერო ტექსტების ქვეკორპუსის გარდა, აქვს მხატვრული ლიტერატურის ქვეკორპუსიც, სადაც შესულია ბრიტანელი ქართველოლოგის დონალდ რეიფილდის მიერ თარგმნილი ოთარ ჭილაძის ორი რომანი („აველუმი“, „გზაზე ერთი კაცი მიდიოდა“). შესადარებელი მასალისთვის ქართული და ინგლისური წინადადებები აღებულია მხოლოდ ამ ორი რომანიდან.

მაგალითები:

ვმუშაობ – I work

მარკერი	
V Prs Subj Sg 1	ბევრს ვმუშაობ, დამთქნარების დროც არა მაქვს.
VVS1	I work a lot, I don't even get time to yawn.

ინგლისურ თარგმანში ზმნა ვმუშაობ, გადასულია შესაბამისი ზმნური ძირის მარტივი აწმყოს დროის, მხოლოდითი რიცხვის პირველი პირის ფორმით, რაც სრულ შესაბამისობაშია ზმნის ქართულ ფორმასთან.

ვმუშაობ – I'm working

მარკერი	
V Prs Subj Sg 1	ახლა აზერბაიჯანელ დირიჟორთან ვმუშაობ
VVS1G	Now I'm working with an Azerbaijani conductor.

ამ მაგალითში ვმუშაობ ზმნა ინგლისურ ვარიანტში მოცემულია ზმნის აწმყო განგრძობითი ფორმით. სიახლეს არ წარმოადგენს, რომ ქართული ზმნის აწმყოს ფორმებს ინგლისურ ენაში აწმყოს ორი განსხვავებული ზმნის ფორმა შეესაბამება. ამ შემთხვევაში გადამწყვეტ როლს, ცხადია, კონტექსტი და გარკვეული ზმნიზედები თამაშობენ.

ვმუშაობ – I'm supposed to be working

მარკერი	
V Prs Subj Sg 1	თითქოს ვმუშაობ, მაგრამ ფული მაინც არა მაქვს.
VVS1PIG	I'm supposed to be working, but I still have no money.

ინგლისურ თარგმანში ვმუშაობ ზმნა გადმოცემულია აწმყო განგრძობითი დროის ინფინიტივის ფორმით, რაც განპირობებულია თითქოს ნაწილაკის არსებობით ფრაზაში.

ლაპარაკობენ – ∅

მარკერი	
V Prs PL 3	ნათქვამია, მკვდარზე ან არ ლაპარაკობენ, ან კარგს ამბობენო.
∅	The saying is, nothing about the dead except good things.

თარგმანში ინგლისური ზმნური ფორმა ელიფსურია, ჩავარდნილია მოდალური ზმნის პასივი must be said და აზრობრივად არის მოცემული ფრაზაში. იგულისხმება nothing (must be said) about the dead except good things. ეს იმით არის გამოწვეული, რომ ზმნა ლაპარაკობენ,

ამ შემთხვევაში, ქართული გამონათქვამის ნაწილია, რომელიც ცნობილი ბერძნული ფრაზიდან (τὸν τεθνῆκότα μὴ κακοιογεῖν) მომდინარეობს და შემოსულია როგორც ქართულში, ისე არაერთ ენაში, მათ შორის, ინგლისურშიც (Of the dead, [say] nothing but good). შესაბამისად, მთარგმნელი ფრაზის ინგლისურ ანალოგიას იყენებს.

ლაპარაკობენ – (she and Dania) talked

მარკერი	
V Prs PL 3	თურმე, ისა და დანია სადამოობით ქუჩაში რომ სეირნობენ, სულ აველუმზე ლაპარაკობენ.
VVP3D	As if she and Dania took a stroll down the street and talked about nothing but Avelum.

აწმყოს ფორმა ლაპარაკობენ ინგლისურ თარგმანში ნამყოფ დროის ფორმით არის გადატანილი. ამის მიზეზი, როგორც ზემოთ უკვე აღვნიშნეთ, განპირობებულია კონტექსტით ან გარკვეული სიტყვაფორმებით. ამ შემთხვევაში ფუნქციური დატვირთვა აქვს ნაწილად თურმე-ს, რომელიც იმ მოვლენის აღწერისას გამოიყენება, რასაც მოლაპარაკე არ შესწრება. ასეთ შემთხვევებს ინგლისურ ენაში ირიბი თქმის კონსტრუქცია შეესაბამება. ირიბ კონსტრუქციაში კი, ზმნები ინგლისურ ენაში ნამყოფ დროის ფორმით გადმოიცემა.

ლაპარაკობენ – (human beings) speak

მარკერი	
V Prs PL 3	ხანდახან რა ადამიანურად ლაპარაკობენ ადამიანები.
VVP3	How humanely human beings sometimes speak.

ამ მაგალითში ლაპარაკობენ ზმნა აწმყოს შესაბამისი ფორმით არის მოცემული ინგლისურ თარგმანში.

ლაპარაკობენ – they speak

მარკერი	
V Prs PL 3	ჩვენი ბატონიშვილები რახანია ან რუსულად ლაპარაკობენ, ან ფრანგულად, ან ესპანურად, ან ინგლისურად, ქართულად კი ვერა.
VVP3BN VVP3	Our crown princes have spoken Russian, French, Spanish or English for ages, but they couldn't speak Georgian.

მოცემულ მაგალითში ლაპარაკობენ ზმნა ორჯერ არის მოცემული. პირველ შემთხვევაში სრული სახით, მეორედ კი ელიფსურად. ქართულისგან განსხვავებით, ინგლისურ თარგმანში ზმნური ფორმა ორივე შემთხვევაში სრულად არის წარმოდგენილი, იმ განსხვავებით, რომ პირველ ვარიანტში გამოყენებულია აწმყოს სრული ფორმა, მეორე, ელიფსური ფორმის შესაბამისად კი, „არასრული“ ინფინიტივის (bare infinitive) ფორმით.

ლაპარაკობენ – (The boys) talk

მარკერი	
V Prs PL 3	ერთმანეთში კი მხოლოდ „ამერიკულად“ ლაპარაკობენ.
VVP3	The boys talk "American" to each other.

ინგლისურ თარგმანში ზმნა მოცემულია ზმნის მარტივი აწმყოს დროის ფორმით, რაც საკმაოდ ხშირი და ბუნებრივია აწმყოს ფორმების თარგმნისას.

ლაპარაკობენ – everyone is talking

მარკერი	
V Prs PL 3	მაგრამ, ყველანი მინც ხმამაღლა და ჩქარ-ჩქარა ლაპარაკობენ.
VVS3G	But everyone is talking very loud and very fast.

მოცემულ მაგალითში ლაპარაკობენ ზმნა ინგლისურ თარგმანში გადასულია ზმნის აწმყო განგრძობითი ფორმით, განსხვავებით წინა მაგალითისგან. ამ შემთხვევაში განგრძობითი დროის ფორმით თარგმანი კონტექსტით არის განპირობებული.

დასკვნა

უნდა აღინიშნოს, რომ ნებისმიერი მხატვრული თარგმანი დიდწილად სუბიექტურია და დამოკიდებულია უშუალოდ მთარგმნელზე. ზემოთ მოყვანილი მაგალითებიდან ნათლად ჩანს, რომ ერთი ზმნა სხვადასხვა კონსტრუქციითა და სხვადასხვა ძირითად არის გადმოცემული, რაც ბუნებრივი მოვლენაა და ახასიათებს მთარგმნელობით პროცესს. სხვა თარგმანის შემთხვევაში, მაგალითებში მოცემული კონსტრუქციები შეიძლება სრულიად სხვა ფორმით შეგვხვდეს, რაც, ცხადია, არ იქნება გასაკვირი.

ამრიგად, სტატიაში მოცემული ორი ზმნის მაგალითზე ნაჩვენებია, რომ თარგმანში ზმნები სხვადასხვა ფორმით არის გადმოცემული. კერძოდ, განხილულია აწმყოს მწკრივის I პირის მხოლოდითი რიცხვის ქართული ზმნა ვმუშაობ და III პირის მრავლობითი რიცხვის ზმნა ლაპარაკობენ. მათი მარკერები ასე გამოიყურება:

ვმუშაობ                    V Prs Subj Sg 1 – VVS1; VVS1G; VVS1PIG  
 ლაპარაკობენ        V Prs PL 3            – ∅; VVP3D; VVP3; VVP3BN; VVP3G; VVS3G.

ინგლისურ თარგმანში ერთ ქართულ მარკერს რამდენიმე ინგლისური მარკერი შეესაბამება, რაც ხელს შეუწყობს სათარგმნ ენაზე ტექსტში გრამატიკულად სწორი ფრაზების აგებას.

გრამატიკულ მარკერებში/მახასიათებლებში გამოყენებული ტეგების სია:

ქართული ტეგები	ინგლისური ტეგები
V – ზმნა	VV – ძირითადი ზმნა
Subj – სუბიექტი	S1 – მხ. რიცხვი, I პირი
Sg 1 – მხ. რიცხვი, I პირი	P3 – მრ. რიცხვი, III პირი
PL 3 – მრ. რიცხვი, III პირი	B – ძირითადი ზმნა
Prs – აწმყოს მწკრივი	G – -ing ფორმა
	P – დამხმარე ზმნა
	D – წარსული დრო
	N – მიმღეობა
	I – ინფინიტივი

## Verb markers for Georgian-English grammar dictionary

George Chikoidze, Anna Chutkerashvili, Nino Javashvili

### Summary

Electronic grammar dictionaries are rather important for annotating large text corpora. They serve to assign the correct morphological and syntactic markers to the lexical unit in order

to construct grammatically correct phrases. That kind of dictionaries, in addition to annotating texts, are used in translation, language teaching and in the process of managing dialogue systems.

The ways of searching as well as correspondence of appropriate English markers to the classification markers of Georgian verb forms for the Georgian-English grammatical dictionary are considered in the paper. Various alternatives of the English translation for one Georgian verb form with appropriate markers are presented and analyzed.

### Глагольные маркеры для грузино-английского грамматического словаря

*Георгий Чикоидзе, Анна Чуткeraшвили, Нино Джавашвили*

#### Резюме

Для аннотирования больших текстовых корпусов роль электронных грамматических словарей очень важна. Одной из задач таких словарей является присвоение лексической единице правильных морфологических и синтаксических признаков, что необходимо для построения грамматически правильных словосочетаний. Этот тип словаря, помимо аннотирования текстов, используется для перевода, обучения языку и процесса управления диалоговыми системами.

Для грузино-английского грамматического словаря, в статье рассматривается поиск/сочетание классификационных характеристик грузинских глагольных форм, соответствующим английским характеристикам. В качестве образца представлены две грузинские глагольные формы с английским переводом с соответствующими маркерами..

#### ლიტერატურა – References – Литература

1. Expert Advisory Group on Language Engineering Standards (EAGLES)  
<http://www.ilc.cnr.it/EAGLES/home.html>
2. ჯავაშვილი ნ., ლორთქიფანიძე ლ. საერთაშორისო სტანდარტი EAGLES ქართული ტექსტური კორპუსის ანოტირებისთვის. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის არჩილ ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული N17, თბილისი, 2013, გვ.118-130. [https://gtu.ge/msi/Files/Pdf/Publications/jurnali\\_2013.pdf](https://gtu.ge/msi/Files/Pdf/Publications/jurnali_2013.pdf)
3. Oxford English corpus tagset: <https://www.sketchengine.eu/oxford-english-corpus-tagset/>
4. English Tagset: <https://docs.sslmit.unibo.it/doku.php?id=corpora:tagsets:english>
5. ოთარ ჭილაძის ტექსტების კორპუსი <http://geocorpora.gtu.ge/#/corpus>
6. ინგლისურ-ქართული პარალელური კორპუსი <https://corp.dict.ge/>

ნაშრომი განხორციელდა შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდის მხარდაჭერით (გრანტი FR-21-3509)

წინადადებების შაბლონები ავტომატურ დიალოგურ სისტემაში

ლიანა ლორთქიფანიძე

[lordkipanidze@yahoo.com](mailto:lordkipanidze@yahoo.com)

რეზიუმე

დიალოგი არის ინფორმაციის გაცვლის ერთ-ერთი საშუალება. ავტომატური დიალოგური სისტემები იქმნება ბუნებრივენოვანი საკომუნიკაციო მოდელების მსგავსად, იმ განსხვავებით, რომ მასში კომუნიკატორის როლი ავტომატს აკისრია. მომხმარებლის მიერ შეყვანილ შეტყობინებაზე სისტემას უნდა ჰქონდეს დამოუკიდებელი, მაგრამ შეზღუდული არჩევანი და სწორი რეაგირების უნარი. რაც განპირობებულია ტექსტიდან ინფორმაციის მოპოვების პროცესით.

ნაშრომში ჩვენ შევხებით წესებზე დაფუძნებულ სისტემებს ვიწრო თემატური დარგით შემოფარგლული ავტომატური დიალოგისთვის და ინფორმაციის მოპოვების სისრულის ასამაღლებლად გამოვიყენებთ ენობრივი შაბლონების ავტომატური აგების მეთოდს გარკვეული საგნობრივი სფეროს მოუნიშნავი ტექსტებისთვის.

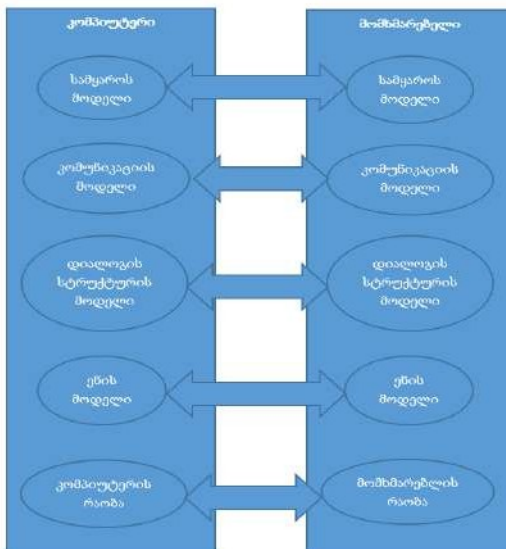
აგრეთვე განვიხილავთ დიალოგის მოდელს და ტექსტის დამუშავებას წინადადებების შაბლონების საფუძველზე.

საკვანძო სიტყვები

ავტომატური დიალოგური სისტემა, ბუნებრივი ენის ავტომატური დამუშავება, საკომუნიკაციო მოდელი, ენობრივი შაბლონები, ინფორმაციის მოპოვება

1. ადამიანსა და კომპიუტერს შორის კომუნიკაციის მოდელი

ბუნებრივენოვანი დიალოგური სისტემა წარმოადგენს ადამიანსა და კომპიუტერს შორის კომუნიკაციის მოდელის ნაწილს (იხ. სურ. 1), რომელშიც შედის კომპიუტერულ და მომხმარებლის წარმოდგენაში ასახული: სამყაროს მოდელი; კომუნიკაციის მოდელი; დიალოგის სტრუქტურის მოდელი; ენის მოდელი და თვით კომპიუტერის და მომხმარებლის რაობისა და შესაძლებლობების მოდელი.

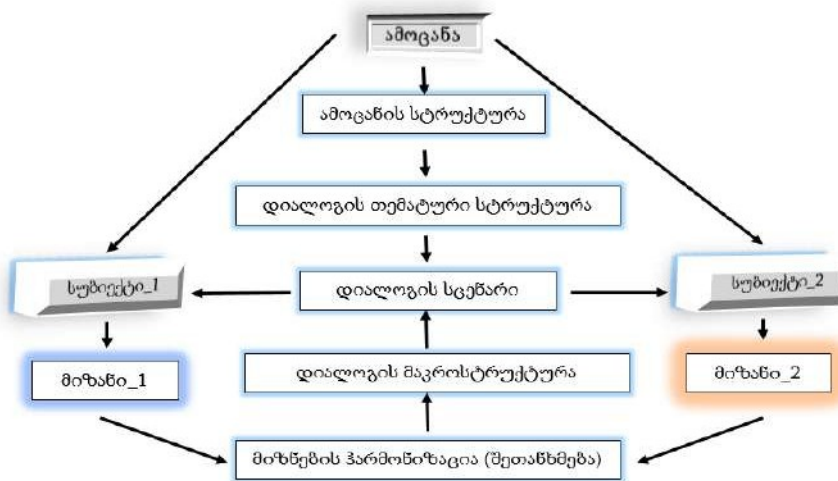


სურ. 1 ადამიანისა და კომპიუტერის კომუნიკაციის ფუნქციონალური მოდელი.



როგორც სურათიდან ჩანს, საკომუნიკაციო მოდელი შეიცავს ინფორმაციას კომუნიკაციის ორი მონაწილის შესახებ - სისტემისა და ამ სისტემის მომხმარებლის. უფრო მეტიც, კომუნიკაციის ორივე წევრი მოიცავს აღნიშნული ხუთი მოდელიდან თითოეულს, რომლებიც ინტელექტუალური ინტერფეისის განხორციელებისას შეიძლება წარმოდგენილი იყოს ცოდნის წარმოდგენის ენაზე. კერძოდ, მიმდებარე სამყაროს მოდელირებისთვის აუცილებელია ცოდნის ბაზის შემუშავება შესაბამისი საგნის სფეროსთვის. მომხმარებლის მოდელის შესაქმნელად საჭიროა დეტალურად განვიხილოთ მომხმარებლის მახასიათებლების ნაკრები, რომლებიც მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული კომუნიკაციის პროცესში. ეს ძალზე მნიშვნელოვანია ეგრეთ წოდებული ადაპტური ინტერფეისებისა და ინტელექტუალური დასწავლადი სისტემების განვითარებაში [1].

კომუნიკაცია არ არის მხოლოდ ერთი მონაწილიდან მეორეზე ინფორმაციის გადაცემის პროცესი, არამედ მოქმედებაა, რომელშიც მონაწილეები ახორციელებენ თავიანთ მიზნებს. ამავდროულად, კომუნიკაციის მიზნები განსაზღვრავს დიალოგის ზოგად სტრუქტურას (მაკროსტრუქტურა), რომელიც არ არის დამოკიდებული მონაწილეთა მიერ გადასაწყვეტ კონკრეტულ ამოცანაზე.



სურ. 2. დიალოგის სტრუქტურის ფორმირება

დიალოგური მეტყველებისათვის დამახასიათებელია რეპლიკების მჭიდრო შინაარსობრივი კავშირი, რაც ყველაზე ხშირად კითხვა-პასუხის ფორმით გადმოიცემა. დიალოგური მეტყველება ხშირად არ არის სრული, რადგან მოსაუბრისათვის სიტუაცია ნაცნობია და ცოდნაც საერთოა. დიალოგური მეტყველების უსრულობა შეიძლება შეივსოს ინტონაციით, ჟესტებითა და მიმიკებით.

მეორე მხრივ, კომუნიკაციის მონაწილეთა მიერ გადასაწყვეტი კონკრეტული ამოცანის სტრუქტურა მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს დიალოგის აგებულებაზე და განსაზღვრავს მის თემატურ სტრუქტურას. ასე რომ, დიალოგის სტრუქტურის განხილვისას, მხედველობაში უნდა იქნას მიღებული როგორც მაკროსტრუქტურა, ასევე დიალოგის თემატური შემადგენლობა (ნახ. 2).

## 2. დიალოგის სტრუქტურის ფორმირება

დიალოგში შედეგის მისაღწევად აუცილებელია მონაწილეების მიზნების გარშემო შეთანხმების მიღწევა. თუმცა თავად დიალოგის მიზნები შეიძლება განსხვავებული იყოს მისი თითოეული წევრისთვის.

დიალოგის მაკროსტრუქტურა დამოკიდებულია მრავალ ფაქტორზე: სტილისტურ, ემოციურ, სემანტიკურ და ა.შ. [2]. თუმცა, კომპიუტერული საკომუნიკაციო სისტემების შემუშავების პროცესში, დასაშვებია ბევრი მათგანის უგულებელყოფა.

დიალოგის განსახორციელებლად შეიძლება გამოვიდეთ იმ დაშვებიდან, რომ დიალოგის საერთო სტრუქტურა ძირითადად მისი მონაწილეების მიზნების ფუნქციაა. ამასთანავე თუ დავუშვებთ მონაწილეთა შეთანხმებულ ურთიერთქმედებას, შესაძლებელია მონაწილეთა მიზნების ასე აღწერა:

- მიზნები დასახულია შეთანხმებულად, დიალოგის მოწვევით და მოწვევის მიღებით. ამავდროულად დიალოგში „მოწვევა“ და „მიღება“ შეიძლება ცალსახად არ იყოს გამოხატული;

- მიზნები ცნობილია დიალოგის მონაწილეებისთვის. თითოეულმა მათგანმა იცის მეორის მიზნები და განმარტავს მის განცხადებებს ამ მიზნებთან დაკავშირებით;

- თითოეული მონაწილის მიზანი ავსებს მისი პარტნიორის მიზანს. მაგალითად, დიალოგი-შესყიდვა (მყიდველი/გამყიდველი), დიალოგი-დახმარება (დახმარება/დახმარების მიღება), დიალოგი-ხელმძღვანელობა (უფროსი/დაქვემდებარებული) და ა. შ.

მიზნების წყვილი, რომელიც განსაზღვრავს დიალოგის ტიპს, შეიძლება ხასიათდებოდეს კომუნიკაციის მონაწილეთათვის საერთო ცოდნის გარკვეული ნაკრებით. ეს ცოდნა განსაზღვრავს კომუნიკაციის შემდეგ ასპექტებს [2]:

- 1) როგორ იწყება, მიედინება და მთავრდება დიალოგი;
- 2) რა მოთხოვნებს უყენებს მოცემული დიალოგი მონაწილეებს;
- 3) რა ინფორმაციის გადაცემაა შესაძლებელი მოცემული ტიპის დიალოგში;
- 4) რა ვითარებაში მთავრდება დიალოგი წარმატებით (ანუ ასრულებს იმ ფუნქციებს, რისთვისაც იყო დაწყებული) და როგორ იქნება გამოხატული ეს მონაწილეთა ქცევაში.

დიალოგის განხორციელების პროცესი შეგვიძლია დავყოთ ფაზებად [2]:

- მიზნების დასახვა;
- მიზნების ძიება (სწრაფვა მიზნებისკენ);
- მიზნების მიღწევა/მიზნების უარყოფა.

მიზნების დასახვის ფაზა მოიცავს შემდეგ ეტაპებს და საფეხურებს [2]:

1. მოწვევა დიალოგზე:

- დიალოგის ტიპის განსაზღვრა;
- მოწვევის ინტერესების მითითება;
- მონაწილეთა და დიალოგის თემის განსაზღვრა.

ადამიანთა მოწვევა საკომუნიკაციოდ შეიძლება განხორციელდეს სხვადასხვა გზით, ხშირად ლაკონიურად და ბუნდოვნადაც კი.

2. მოწვევის მიღება (უარი)

- მადლიერება მოწვევისთვის;
- დიალოგის ტიპისა და თემის ამოცნობა;
- დიალოგში მონაწილეობაზე თანხმობა (ანუ შემოთავაზებული მიზნების განხორციელება).

მოწვევის მიღება ხშირად შეიძლება გამოხატული იყოს ირიბად, მაგალითად, შემოთავაზებული მიზნების განხორციელებით. მოწვევის მიღების ალტერნატივა არის მოწვევაზე უარის თქმა, მოლაპარაკება ან მოწვევის იგნორირება.

ზემოთ განხილული იყო ადამიანებს შორის დიალოგის ძირითადი მახასიათებლები. ახლა განვიხილოთ მომხმარებლის და კომპიუტერული სისტემის დიალოგის ძირითადი ასპექტები .

პიროვნების დიალოგი ინტელექტუალურ სისტემასთან ნიშნავს ინფორმაციის (მესიჯების) ინტერაქტიურ გაცვლას წინასწარ განსაზღვრულ ენაზე გარკვეული ფორმით გარკვეული მიზნების მისაღწევად ადამიანის საქმიანობის კონკრეტულ საგნობრივ სფეროში [3].

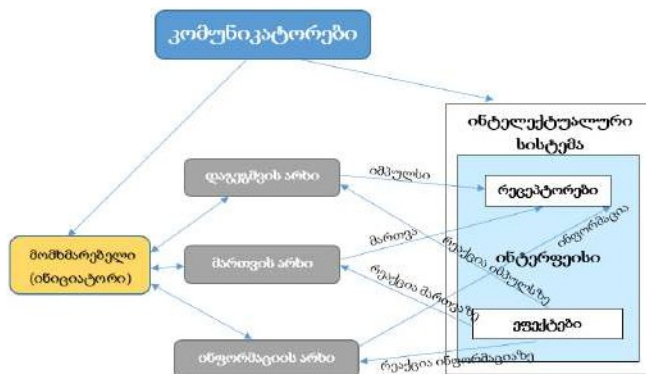
თანამედროვე კომპიუტერულ სისტემებთან დიალოგის ძირითადი პრინციპია მომხმარებლის მიერ შეყვანილი შეტყობინების დამოუკიდებელი, მაგრამ შეზღუდული არჩევანი (რაც უმეტეს შემთხვევაში წარმოადგენს ერთგვარ საკონტროლო ბრძანებას) და სისტემის დიდწილად განსაზღვრული რეაქცია. ამ შემთხვევაში დიალოგი ემსახურება პრობლემების გადაჭრის მეთოდს, სადაც მომხმარებელი არის დიალოგის ინიციატორი და იცის დავალება, ხოლო სისტემა, რომელიც ძირითადად დიალოგში პასიური თანამოსაუბრეა, გამოიყენება მისი ქვეამოცანების გადასაჭრელად.

მოდელირებისას დიალოგი ხშირად წარმოდგენილია როგორც რთული კონსტრუქცია, რომლის კომპონენტებია დიალოგის საფეხურები, რომლებიც შედგება წყვილისაგან:

<მოქმედება> - <პასუხი>

დიალოგის, როგორც კონსტრუქციის, სტრუქტურული იდეა შეიძლება განიხილებოდეს სამ დონეზე [3]:

- კონცეპტუალური;
- ლოგიკური;
- ფიზიკური.



სურ. 3. დიალოგის კონცეპტუალური წარმოდგენა (კომუნიკატორი )

დიალოგის კონცეპტუალური დონის წარმოდგენა შესაძლებელია გადამცემი მექანიზმებით - კომუნიკატორებით, მათი შინაგანი სტრუქტურებით და ურთიერთქმედების ტიპებით. ასე რომ, დიალოგისთვის, რომელშიც მხოლოდ ერთი კომუნიკატორია ინიციატორი, კონცეპტუალური დიაგრამა ისე გამოიყურება, როგორც ნაჩვენებია სურ. 3. ვინაიდან ინიციატორი არის მომხმარებელი, „იმპულსი“ მომხმარებლისგან მოდის დავეგმვის არხის მეშვეობით ინტელექტუალურ სისტემაში, გადაჰყავს ის „აღზნებულ მდგომარეობაში“, რის შესახებაც მომხმარებელს აცნობებს საინფორმაციო არხის მეშვეობით. გარდა ამისა, შეტყობინება შედის სისტემაში საინფორმაციო არხის საშუალებით და მისი აღქმის აუცილებლობა მითითებულია მართვის არხის საშუალებით, რის შესახებაც სისტემა, აღქმის შემდეგ, აცნობებს მომხმარებელს საინფორმაციო არხის საშუალებით. ურთიერთქმედებისას, როგორც მომხმარებელი, ასევე სისტემა იყენებს საკუთარ ცოდნას და ახდენს მის ქმედებებად გარდაქმნას.

#### 4. ბუნებრივენოვანი ინტერფეისის ლექსიკა და გრამატიკა

დიალოგურ სისტემებში მომხმარებლის ბუნებრივ-ენოვანი ინტერფეისისთვის შესაძლებელია ენის შეზღუდული ლექსიკისა და გრამატიკის გამოყენება. ამავე დროს არ ხდება კითხვა-პასუხის სისტემის ფუნქციონალურობისა და მწარმოებლურობის სერიოზული გაუარესება.

შეზღუდული ბუნებრივი ენა არის ბუნებრივი ენის ქვეჯგუფი, რომელშიც ტექსტი აღიქმება ბუნებრივი ენაზე მოსაუბრის მიერ დამატებითი ძალისხმევით გარეშე.

ტექსტების შედგენისთვის არ არის საჭირო ენის შეზღუდული ვერსიის სწავლა. ამ ენას აქვს ლექსიკისა და გრამატიკის შემცირებული ნაკრები, რაც ამცირებს დიალოგურ სისტემაში ბუნებრივ-ენოვანი ელემენტების ანალიზის დროს, ასევე არიდებს გაურკვეველობას ლინგვისტურ დონეზე [4].

ფიზიკურ დონეზე, დიალოგი არის დიალოგის მხარდაჭერის სხვადასხვა ხელსაწყოების ფუნქციონირების ალგორითმებისა და პროცესების აღწერა:

- აპარატურა;
- პროგრამული უზრუნველყოფა;
- ინფორმაცია.

განვითარების დონე და თანამედროვე პროგრამული უზრუნველყოფის მრავალფეროვნება შესაძლებელს ხდის გამოვყოთ კომპიუტერულ სისტემასთან დიალოგის განხორციელების სხვადასხვა ვარიანტები [3]:

• ბრძანებები. ამ ტიპის დიალოგი ხასიათდება მომხმარებლისა და სისტემას შორის პირდაპირი ინსტრუქციების გაცვლით. ეს გულისხმობს შეტყობინებების ცალსახა ინტერპრეტაციას და დიალოგის პარტნიორებს შორის არჩევანის ნაკლებობას. ბრძანებების მაგალითებია: სისტემის მხრიდან - "დააჭირე Enter კლავიშს", "დააინსტალირე სამუშაო დისკი" და ა.შ.; მომხმარებლის მხრივ - "Print screen contents", "Help" და ა.შ. ამ ბრძანებების უმეტესობა თანამედროვე GUI სისტემებში განხორციელებულია ინსტრუმენტთა ზოლების დილაკების სახით. სისტემებში, რომლებიც არ უზრუნველყოფენ გრაფიკულ ინტერფეისს, ამ ტიპის დიალოგის განხორციელება საკმაოდ გავრცელებულია.

• მენიუ. ამ ტიპის დიალოგის დროს მომხმარებელს სთავაზობენ არჩევანს რამდენიმე ალტერნატივიდან, რომელთაგან თითოეული ინტერპრეტირებულია ცალსახად. ერთ დროს ბრძანების მენიუს გამოჩენა იყო დიდი მიღწევა პროგრამული აპლიკაციის ინტერფეისების დანერგვაში და შესაძლებელი გახდა კომპიუტერის მომხმარებელთა წრის მნიშვნელოვნად გაფართოება.

• მოთხოვნა. დიალოგში მოთხოვნის ფორმით, მისი მონაწილეები ერთმანეთისგან ითხოვენ გარკვეულ ქმედებებს, რომლებიც დაკავშირებულია შეტყობინებების შეყვანასთან, რომლებიც იქნება ინტერპრეტირებული გარკვეული გზით.

მოთხოვნის მაგალითები:

სისტემიდან - "პაროლი?", "შეიყვანეთ ტექსტი", "მიუთითეთ თარიღი!";  
მომხმარებლისგან - "დრო?" (ტაიმერის მნიშვნელობების ჩვენება) და ა.შ.

ბრძანებებისგან განსხვავებით, მოთხოვნა ყოველთვის მოიცავს მოთხოვნილი ინფორმაციის ძიებას, დამუშავებას და ჩვენებას.

• მოთხოვნა სინტაქსით. დიალოგის ტიპი წინას მსგავსია, მაგრამ მოთხოვნა განსაზღვრავს სინტაქსურ შეზღუდვებს სისტემაში შესატან შეტყობინებაზე. სინტაქსით მოთხოვნა ყოველთვის გულისხმობს შეტყობინების შეყვანის/გამოყვანის ფორმატის მკაცრ დაცვას. მაგალითად: "შეიყვანეთ თარიღი DD/MM/YY".

• კითხვარი. ამ ტიპის დიალოგის დროს სისტემა მომხმარებელს სთხოვს შეავსოს შეყვანის ფორმა, რომელსაც ის ეუბნება მას. არსებითად, შეყვანის ფორმა არის მოთხოვნების თანმიმდევრობა, მოთხოვნები სინტაქსით ან მენიუებით, რომლებზეც თქვენ უნდა გასცეთ პასუხი ან თავისუფალი ფორმით (შესაძლოა ბუნებრივ ენაზეც კი), ან სინტაქსური შეზღუდვით, ან წინასწარ განსაზღვრული ფორმით (მათ შორის პასუხების ფორმა YES/NO სახით). თანამედროვე კომპიუტერულ სისტემებში გრაფიკული ფანჯრის ინტერფეისით, კითხვარი განხორციელებულია სპეციალური დიალოგური ფანჯრების სახით.

• დიალოგი შეზღუდულ ბუნებრივ ენაზე. კიდევ ერთხელ უნდა აღინიშნოს, რომ სისტემასთან დიალოგი ბუნებრივ ენაზე ყოველთვის გულისხმობს ლექსიკის, სინტაქსისა და სემანტიკის შეზღუდვას.

5. ტექსტებიდან ინფორმაციის ამოღების ზოგადი ამოცანა (Information Retrieval) მოსაპოვებელი ინფორმაციის ტიპების მიხედვით ტექსტებიდან ინფორმაციის ამოღების ზოგადი ამოცანა მოიცავს შემდეგ ძირითად ამოცანებს:

- არსებით სახელთა ერთეულების (named entities) ამოცნობა და ამოღება: ა.პ. ჩეხოვი, ნიჟნი თაგილი, PKO "კარტოგრაფია" და სხვ.;

- ობიექტების დამახასიათებელი ნიშნების - თვისებების (attributes) შერჩევა და მათ შორის სემანტიკური მიმართებების (relations) გამოყოფა: პიროვნების დაბადების თარიღები, მიმართება „მუშაობს ...“ და ა.შ.;

- ფაქტებისა და იმ მოვლენების(events) მოპოვება, რომლებიც მოიცავენ რამდენიმე პარამეტრს (ატრიბუტებს), მაგალითად, "გემის დაღუპვის" მოვლენა ატრიბუტებით თარიღი, დრო, ადგილი და ა.შ.).

ტექსტებიდან ინფორმაციის ამოცნობისა და ამოღების პრობლემების გადასაჭრელად გამოიყენება ორი ძირითადი მიდგომა: წესებზე დაფუძნებული (rule-based), ანუ ინჟინრული და მანქანური სწავლების საფუძველზე. აღსანიშნავია, რომ სულ უფრო მეტი ჰიბრიდული მეთოდი ჩნდება, რომლებიც ითვალისწინებენ ორივე მიდგომის უპირატესობას.

საინჟინრო მიდგომა ეფუძნება იმ ფაქტს, რომ მოპოვებული ინფორმაცია გამოიყენება გარკვეული ენობრივი კონსტრუქციების ფარგლებში. მაგალითად, ქალაქის სახელი იწერება დიდი ასოებით და ხშირად წინ უძღვის სიტყვები ქალაქი, ქალ. ან ქ. ასეთი ენობრივი ინფორმაცია, ჩვეულებრივ, ხელით არის აღწერილი ცნობადი კონსტრუქციების ფორმალური შაბლონებისა და მათი დამუშავების წესების სახით. შემდეგ IE (Information Extraction) სისტემის მიერ გაანალიზებულ ტექსტზე ვრცელდება წესები: მასში იძებნება შაბლონებით აღწერილი ფრაგმენტები, საიდანაც ამოღებულია საჭირო ინფორმაცია. მაგალითად, წესის მიხედვით,

თუ სიტყვას - ქალაქი, საკურორტო ქალაქი, ქალაქი მუზეუმი, გმირი ქალაქი, ქალ.

ან ქ. მოჰყვება მთავრული ასო,

მაშინ ამოიღოთ ეს სიტყვა, როგორც ქალაქის სახელი.

ტექსტიდან ... რუსეთის იმპერიაში გაჩნდა ქალაქი პიატიგორსკი ... გაირკვევა ქალაქის სახელი: პიატიგორსკი.

როგორც მანქანური დასწავლის მიდგომის ნაწილი, გამოიყენება ზედამხედველური დასწავლის მეთოდები (supervised), არაზედამხედველური დასწავლის მეთოდები (unsupervised), ნაწილობრივ ზედამხედველური დასწავლის მეთოდები (bootstrapping).

ყველაზე ხშირად გამოიყენება ზედამხედველური დასწავლა, რომელიც გულისხმობს მათემატიკური და პროგრამული მოდელის აგებას, რომელსაც შეუძლია განასხვავოს სასურველი მონაცემები ყველა დანარჩენისგან. ასეთი მანქანების კლასიფიკატორის აგება (ანუ მოდელის გაწაფვა/გაწვრთნა) ხდება ხელით მონიშნულ სპეციალურ ტექსტურ კორპუსზე (საწვრთნელ ნიმუშზე), რომელშიც შესაბამისი ჭდეები/იარლიყები ენიჭებათ მნიშვნელოვან ობიექტებს, მათ ატრიბუტებს, მიმართებებს და ფაქტებს. იარლიყები დაშიფრავენ ფუნქციებს ამ მონაცემების ამოსაცნობად. ზემოაღნიშნული მაგალითისთვის, ქალაქის სახელის ამოსაღებად, ნიშნები შეიძლება იყოს: სიტყვის პირველი ასოს რეგისტრი (ზედა), მის წინ მდგარი კონკრეტული სიტყვები (ქალაქი, საკურორტო ქალაქი, ქალაქი მუზეუმი, გმირი ქალაქი, ქალ. ან ქ.), ასევე მის შემდეგ მდგარი სიტყვები (მრავალ-სიტყვიანი სახელების იდენტიფიცირებისთვის, როგორცაა ნიჟნი თაგილი).

სინამდვილეში, მოდელის გაწვრთნა მოიცავს ტრენინგის ნიმუშში შეტანილი კონკრეტული მონაცემების საფუძველზე ზოგადი შაბლონებისა და დამოკიდებულებების იდენტიფიცირებას, რომლებიც თან ახლავს რეალურ მონაცემებს. ტრენინგის შემდეგ, მიღებული კლასიფიკატორი გამოიყენება ტექსტებზე და თითოეული ამოღებული სიტყვა ან ფრაზა შეიძლება ასოცირებული იყოს იმის ალბათობასთან, არიან ისინი სასურველი მონაცემები, თუ არა.

ინფორმაციის მოპოვების სისტემები, რომლებიც იყენებენ საინჟინრო მიდგომას, ეყრდნობა ენობრივ შაბლონებს და წესებს, ასევე ლექსიკურ რესურსებს.

ლინგვისტური შაბლონი არის ენის კონსტრუქციის ფორმალური აღწერა (ნიმუში), რომელიც უნდა მოიძებნოს ტექსტში საჭირო ინფორმაციის მოსაპოვებლად. შაბლონები შეიძლება დაიწეროს როგორც რეგულარული გამოსახულებები (ისინი ჩაშენებულია მრავალ პროგრამირების ენაში, ასევე IE ინსტრუმენტის სისტემებში). მაგალითად, შაბლონი

[A-Z]\.[A-Z]\. ([A-Z][a-z]\*), სადაც [A-Z] არის დიდი ასო, \. - წერტილი, ([A-Z] [a-z] \*) - სიტყვა დიდი ასოებით, საშუალებას მოგცემთ ამოიციოთ ნ.ვ. უშაკოვი ფორმის კონსტრუქციები დასამუშავებელ ტექსტში; და შაბლონი

([A-Z][a-z]\*) [A-Z]\.[A-Z]\. ხელს შეუწყობს ისეთი ფრაგმენტების იდენტიფიცირებას, როგორცაა უშაკოვი ნ.ვ.

ენობრივი წესები ჩვეულებრივ შედგება ორი ნაწილისაგან. წესის მარცხენა ნაწილი (IF ნაწილი) შეიცავს სასურველი ენის კონსტრუქციის შაბლონს (ნიმუშს), ხოლო მარჯვენა ნაწილი (TO ნაწილი), თავის მხრივ, აღწერს მოქმედებებს, რომლებიც უნდა შესრულდეს, მაგალითად, ამოვიღოთ მისი შემადგენელი ელემენტები (სიტყვები), მივანიჭოთ მათ გარკვეული კატეგორია და ა.შ. მაგალითად:

IF - თუ შეგვხვდა [A-Z]\.[A-Z]\. ([A-Z][a-z]\*) ან ([A-Z][a-z]\*) [A-I]\.[A-Z]\.,

TO - მაშინ ამოვიღოთ ეს ფრაგმენტი და მივანიჭოთ მას პიროვნების სახელის კატეგორია

ეს წესი (სხვადასხვა სისტემაში ის შეიძლება დაიწეროს სხვადასხვა სინტაქსით) საშუალებას გაძლევთ ამოვიღოთ პიროვნების სახელი ა.ს. პუშკინი წინადადებიდან ა.ს. პუშკინი დიდად აფასებდა და ამყობდა თავისი საგვარეულოთი.

## 6. ტექსტიდან ინფორმაციის მოპოვების პროცესი

ზოგადად, ტექსტიდან ინფორმაციის მოპოვების პროცესი, შაბლონებისა და წესების მიხედვით, მოიცავს ტექსტის დამუშავების რამდენიმე ეტაპს.

ჯერ ტარდება ტექსტის გრაფომეტრიული ანალიზი, რომლის დროსაც ირჩევა ტოკენები (სიმბოლოების თანმიმდევრობა გამყოფიდან გამყოფამდე) და ტექსტი იყოფა წინადადებებად. ტოკენები კლასიფიცირდება როგორც: ბუნებრივენოვანი სიტყვები (შესახებ, პეტროვის შესახებ), სასვენი ნიშნები (!, -), ასო-ციფრული კომპლექსები (VAZ-21106, 05/10/2003) და ა.შ. სხვადასხვა ტიპის ნიშნების ამოცნობა ხდება, როგორც წესი, რეგულარული გამოსახულებების საფუძველზე. ანალოგიურად, ლექსიკონის რესურსების დამატებითი გამოყენებით (გვარების ლექსიკონები, კვირის დღეების სიები და თვეები და ა. და ა.შ.), შესაძლებელია ამ კატეგორიის ერთეულების ამოღება უკვე გრაფომეტრიული ანალიზის ეტაპზე და ზოგიერთი გრაფომეტრიული ანალიზატორი მათ განასხვავებს ტოკენების ტიპებად. მაგალითად, გრაფომეტრიული ანალიზატორი, რომელიც არის AOT პროექტის ნაწილი [5], საშუალებას იძლევა ამოვიციოთ პიროვნების სრული სახელები, მთელი რიცხვები, ფაილის სახელები და ელ.ფოსტის მისამართები.

ტექსტის დამუშავების შემდეგი ეტაპია მორფოლოგიური ანალიზი. ზოგადად, მისი მუშაობის შედეგად, ტექსტის თითოეულ სიტყვა-ფორმას ენიჭება საწყისი ფორმა (ლემა), მეტყველების ნაწილი და მორფოლოგიური ნიშნების მნიშვნელობა: სქესი, რიცხვი, დრო და ა.შ. ამ ეტაპის შემდეგ უკვე შესაძლებელია არსებით სახელთა ერთეულების ამოღება შაბლონების მიხედვით, რომლებშიც მითითებულია სიტყვების მეტყველების ნაწილი და მათი მორფოლოგიური მახასიათებლები. მაგალითად, შაბლონი

N<film> PERS NAME სადაც N<film> აღნიშნავს არსებით სახელს - ფილმს - ნებისმიერი ფორმით (N - არსებითი სახელი), PERS არის პიროვნების სახელის შაბლონი,

ხოლო NAME არის ფილმის სათაურის შაბლონი, რეჟისორის სახელის და მის მიერ გადაღებული ფილმის სათაურის ამოცნობის საშუალებას იძლევა წინადადებებიდან:

ონლაინ კინოში ანდრეი ზვიაგინცევის ახალი ფილმია წარმოდგენილი "სიმულვილი".

მან დაიწყო კარიერა რედაქტორისა და რეჟისორის ასისტენტად, მათ შორის სემ რაიმის საკულტო ფილმში „ავბედითი მკვდრები“.

ეს თარგი ასევე შეიძლება გამოყენებულ იქნას, როგორც სხვა ენობრივი შაბლონების ნაწილი, ბინარული მიმართების ამოსაღებად „იყო დირექტორი“.

კიდევ ერთი შაბლონი

PERS<case=name> მუშაობს ORG-ში<case=sentence> სადაც PERS<case=name> არის პიროვნების სახელის თარგი სახელობით ბრუნვაში, "works in" არის ტესტის ფრაგმენტი გარკვეული სიტყვებით, ORG<case=წინადადება > არის ორგანიზაციის სახელის შაბლონი წინადადებაში, რომელიც საშუალებას მოგვცემთ ამოიცნოთ წინადადებიდან

პეტროვი ა.ვ. მუშაობს სს "აქტივი" მიმართებაში "მუშაობა", რომელიც აკავშირებს პიროვნების სახელს (პეტროვი ა.ვ.) და ორგანიზაციის სახელს (სს "აქტივი"). გაითვალისწინეთ, რომ ეს თარგი არ იმუშავებს სიტუაციებისთვის, როდესაც ზმნა მუშაობა გამოიყენება წარსულ დროში (პეტროვი ა.ვ. მუშაობდა ...), მაგრამ მრავალი ინსტრუმენტული სისტემების შაბლონები საშუალებას იძლევა გავითვალისწინოთ ასეთი შემთხვევებიც.

ტექსტის დამუშავების კიდევ ერთი ეტაპია სინტაქსური ანალიზი, რომლის დროსაც, ზოგად შემთხვევაში, ვლინდება სიტყვების სინტაქსური კავშირები და შენდება წინადადების სინტაქსური სტრუქტურა (სინტაქსური ხე). ეს ეტაპი საკმაოდ რთულია და რესურსების ინტენსიურ დანახარჯს მოითხოვს, ამიტომ ბევრ IE სისტემაში ტარდება მხოლოდ ნაწილობრივი ანალიზი, რომელშიც ამოიცნობა მხოლოდ გარკვეული სინტაქსური კონსტრუქციები, ძირითადად გრამატიკულად დაკავშირებული ფრაზები. ასეთი კონსტრუქციების გასათვალისწინებლად შაბლონებში იწერება სიტყვების მორფოლოგიური მახასიათებლების ურთიერთშეთანხმების პირობები (მინიჭება).

მაგალითად, სამუშაოს სათაურის იდენტიფიცირებისთვის, შეგიძლიათ გამოიყენოთ წესი შემდეგი ფორმით:

IF PERS V<become, tense=past> NP<case=Instrumental>,  
PERS=V,

TO ამოიღეთ NP, კატეგორიის მინიჭებით ვაკანსიის სათაურზე.

აქ V<to be, tense=past> არის ზმნა (V - Verb) to be წარსულ დროში (ნებისმიერი რიცხვისა და პირის), NP არის სახელური ფრაზა (NP — Noun Phrase), სტრუქტურა (შაბლონი) რომელიც ცალკეა მითითებული (ისევე როგორც PERS-ისთვის), PERS=V აღნიშნავს გრამატიკულ შეთანხმებას, ე.ი. რომ რიცხვი და სქესი PERS-ისთვის იგივეა, რაც რიცხვი და სქესი ზმნისთვის.

დავუშვათ, NG აღწერილია შემდეგი ალტერნატივებით:

N | A N (A=N) | A A N (A=A=N) | N N<case=beget> |

N N<case=Genitive> "და" N<case=Genitive> სადაც A არის ზედსართავი სახელი (ზედსართავი), N არის არსებითი სახელი, ხოლო ტოლობის ნიშანი ნიშნავს შეთანხმებას. შემდეგ ზემოთ მოცემული წესი წინადადებებში

სერგეი შოიგუ გახდა თავდაცვის მინისტრი.

მარგარეტ ტეტჩერი გახდა განათლებისა და მეცნიერების მინისტრი.

თავდაცვის მინისტრი და განათლებისა და მეცნიერების მინისტრი იქნება ამოცნობილი და ამოღებული, როგორც სამუშაოს სახელების ფრაზები.

## 7. ლინგვისტური შაბლონები

ლინგვისტურ შაბლონებში შეიძლება შევიდეს:

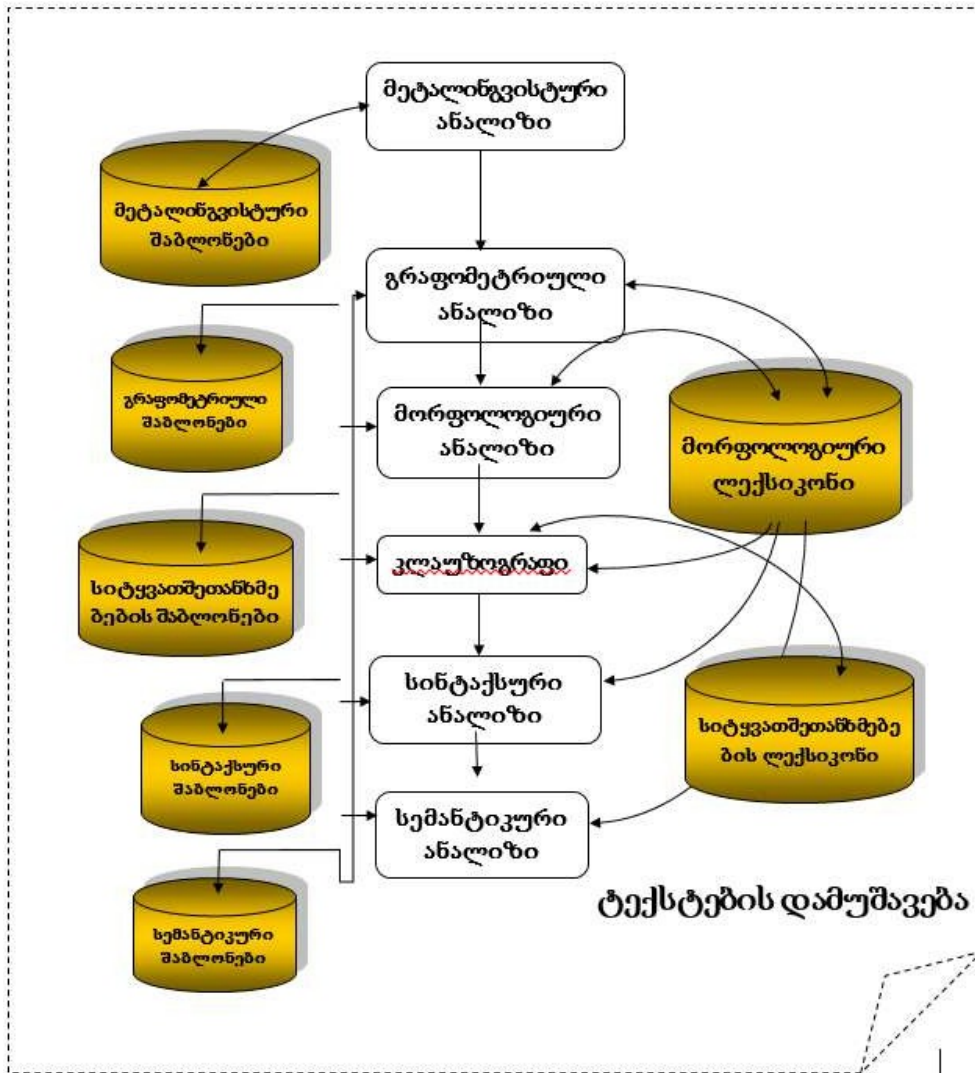


· ინფორმაცია შაბლონის კონსტრუქციის სტრუქტურისა და შემადგენლობის შესახებ: კონკრეტული სიტყვების ერთეულები (მუშაობს, -ში), სიტყვების მართლწერის თავისებურებები (ასობის რეგისტრი, რიცხვების არსებობა და ა.შ.);

· მორფოლოგიური ინფორმაცია კონსტრუქციის შემადგენელი ცალკეული სიტყვების შესახებ (სქესი, რიცხვი, ბრუნვა და სხვ.);

· სინტაქსური თვისებები: სიტყვების გრამატიკული შეთანხმება ფრაზებში (ზედსართავი სახელი და არსებითი სახელი, ქვემდებარე და შემასმენელი და სხვ.).

IE სისტემებისთვის შაბლონები და მათი ამოკრეფის წესები შედგენილია ექსპერტი ლინგვისტების (ან კვლევის სფეროს ექსპერტების) მიერ კონკრეტული, როგორც წესი, ვიწრო თემატური დარგის ტექსტებზე, რაც შესაძლებელს ხდის მათი მოპოვების საკმარისად მაღალი სიზუსტის მიღწევას. შაბლონებისა და წესების ჩასაწერად, ჩვეულებრივ, გამოიყენება სპეციალური ფორმალური ენები და შედეგად მიღებული წესები ხილული და გასაგებია, რაც შედარებით მარტივს ხდის შეცდომების გამოსწორებას, რომლებიც გავლენას ახდენენ სისტემის მუშაობის ხარისხზე. ამავდროულად, უფრო ფართო თემატური დარგის ტექსტებისთვის, შაბლონები ძალიან მრავალრიცხოვანი და რთული ხდება ექსპერტებისთვისაც კი. შაბლონების სრული ნაკრების შექმნა, რომელიც მოიცავს სასურველ ენობრივ კონსტრუქციებს, საკმაოდ



სურ. 4. ტექსტების დამუშავება



შრომატევადია, ზოგჯერ ძალიან რთულია ყველა სახის წესის გათვალისწინება მნიშვნელოვანი ობიექტებისა და სხვადასხვა ენობრივი კონსტრუქციებისთვის, რომლებიც გამოხატავენ გარკვეულ ურთიერთკავშირს/მოვლენას. ეს განსაკუთრებით ეხება ენებს, რომლებსაც აქვთ მდიდარი მორფოლოგია და შედარებით თავისუფალი სიტყვათა წყობა, როგორცაა რუსული ენა. შედეგად, ინფორმაციის მოპოვების სისრულის მაჩვენებლები არც თუ ისე მაღალია.

ამგვარად, წესებზე დაფუძნებული სისტემები კარგად გამოიყენება ვიწრო თემატურ დარგებში, მნიშვნელოვანი ობიექტების დასახელების მკაფიო წესებით და მცირე მრავალფეროვნების სასურველი ენობრივი კონსტრუქციებით. ასეთ სისტემებში ინფორმაციის მოპოვების სიზუსტე ჩვეულებრივ უფრო მაღალია, ვიდრე სისრულე. აღსანიშნავია, რომ სხვა საგნის ტექსტებზე გადასვლისას აუცილებელია შაბლონების ახალი ნაკრების შექმნა და გამოყენებული ლექსიკის შემადგენლობის კორექტირება.

საინჟინრო მიდგომის ფარგლებში ინფორმაციის მოპოვების სისრულის ასამაღლებლად გამოიყენება ენობრივი შაბლონების ავტომატური აგების მეთოდები გარკვეული საგნობრივი სფეროს მოუნიშნავი ტექსტებისთვის.

დღესდღეობით ავტომატური აგების ყველაზე გავრცელებული მიდგომა მრავალგზისი მიდგომა (bootstrapping), რომელიც ეხება ნაწილობრივი ზედამხედველობითი დასწავლის მეთოდებს და აღწერილია [6]-ში. შაბლონების აგების კლასიკური იტერატიული მეთოდებია DIPRE მეთოდი [7] და Snowball მეთოდი [8], მსგავსი მეთოდები გამოიყენება [10,11]-ში.

ყველაზე ცნობილია Snowball მეთოდი [8], რომელიც ეფუძნებოდა ადრინდელი DIPRE მეთოდის ძირითად იდეას, რომელიც აგებს შაბლონებს ატრიბუტებისა და ურთიერთმიმართებების ამოსაღებად, მაგალითად, კომპანიების ადგილმდებარეობის დასადგენად. მეთოდის ძირითადი ნაბიჯები შემდეგია.

1. ბინარული მიმართების მაგალითების, ე.ი. ამ მიმართებებთან დაკავშირებული კონკრეტული სახელური ერთეულების წყვილების, ნაკრების შედგენა, მაგალითად, წყვილი (კომპანია, სათავო ოფისის ადგილმდებარეობა):

(Microsoft, Redmond).

2. ტექსტების მოცემულ კოლექციაში შედგენილი წყვილების ძებნა და მათი ამოიღება იმ კონტექსტებთან ერთად, რომლებშიც ისინი გვხვდება.

3. აღმოჩენილი კონტექსტების სინტაქსური ანალიზი.

4. ახალი შაბლონების გენერირება კონტექსტების მიხედვით და მათი დახმარებით არსებულის ნაკრების შევსება.

5. ინფორმაციის მოპოვება შაბლონების განახლებული ნაკრების გამოყენებით და წყვილების ახალი ნაპოვნი მაგალითების დამატება გამოყენებულ კომპლექტში.

6. 2-5 ნაბიჯების თანმიმდევრულად გამეორება მაგალითების ახალი წყვილის ამოღებისას (პროცესი ჩერდება, როდესაც ახალი შაბლონები აღარ გამოჩნდება).

განხილული მეთოდის გამოყენება შესაძლებელია შაბლონების/მაგალითების თავდაპირველი ნაკრების გარეშეც (თუ არ არის ექსპერტი, რომელიც შექმნის მათ), ამ შემთხვევაში ის მიეკუთვნება (open information extraction) ღია ინფორმაციის მოპოვების ამოცანას [11].

Sentence templates in an automatic dialog system

Liana Lortkipanidze

Summary

Dialogue is one of the means of information exchange. Automatic dialogue systems are created like natural language communication models, with the difference that the role of the communicator is assigned to a machine.

The system should have a message entered by the user independent but limited choice and ability to respond appropriately, which is due to the process of extracting information from the text.

In the paper, we will deal with rule-based systems for automatic dialogue limited to a narrow thematic field, and to increase the completeness of information retrieval, we will use the method of automatic construction of linguistic templates for unmarked texts of a certain subject area.

We will as well consider the dialogue model and text processing based on sentence patterns.

### Шаблоны предложений в автоматической диалоговой системе

Лиана Лорткипанидзе

#### Резюме

Диалог является одним из средств обмена информацией. Автоматические диалоговые системы создаются по аналогии с моделями общения на естественном языке, с той разницей, что роль коммуникатора отводится машине.

Система должна иметь сообщение, введенное пользователем, с независимым, но ограниченным выбором и возможностью адекватного ответа, что обусловлено процессом извлечения информации из текста.

В работе мы будем иметь дело с системами автоматического диалога, ограниченного узкой тематической областью, на основе правил, а для повышения полноты поиска информации воспользуемся методом автоматического построения языковых шаблонов для немаркированных текстов определенной предметной области. Мы также рассмотрим диалоговую модель и обработку текста на основе шаблонов предложений.

#### ლიტერატურა – References – Литература

1. Голенков В. В., Интеллектуальные обучающие системы и виртуальные учебные организации / В. В. Голенков [и др.] ; под ред. В. В. Голенкова, В. Б. Тарасова. – Минск : БГУИР, 2001. – 488 с.
2. Попов Э. В. Искусственный интеллект. В 3 кн. Кн. 1 : Системы общения и экспертные системы : справ. / под ред. Э. В. Попова. – М. : Радио и связь, 1990
3. Филиппович, Ю. Н. Организация взаимодействия человека с техническими средствами АСУ. В 7 кн. Кн. 2 : Языковые средства диалога человека с ЭВМ : практ. пособие / Ю. Н. Филиппович, Е. В. Родионов, Г. А. Черкасова ; под ред. В. Н. Четверикова. – М. : Высш. шк., 1990. – 159 с.
4. Deshpande A.K., Devale P.R. Natural language query processing using probabilistic context free grammar. Intern. Journ. of Advances in Engineering & Technology. 2012, vol. 3, no. 2, pp. 568–573.
5. Воронцов К. В. Аддитивная регуляризация тематических моделей коллекций текстовых документов // Доклады РАН. — 2014. — Т. 456, № 3. — С. 268–271
6. Chuang J., Gupta S., Manning C., Heer J. Topic model diagnostics: Assessing domain relevance via topical alignment // Proceedings of the 30th International Conference on Machine Learning (ICML-13) / Ed. by S. Dasgupta, D. Mcallester. — Vol. 28. — JMLR Workshop and Conference Proceedings, 2013. — Pp. 612–620

7. Павлов А. С., Добров Б. В. Метод обнаружения массово порожденных неестественных текстов на основе анализа тематической структуры // Вычислительные методы и программирование: новые вычислительные технологии. — 2011. — Т. 12. — С. 58–72
8. Воронцов К. В., Потапенко А. А. Регуляризация вероятностных тематических моделей для повышения интерпретируемости и определения числа тем // Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии: По материалам ежегодной Международной конференции «Диалог» (Бекасово, 4–8 июня 2014 г.). — Вып. 13 (20). — М: Изд-во РГГУ, 2014. — С. 676–687
9. Chemudugunta C., Smyth P., Steyvers M. Modeling general and specific aspects of documents with a probabilistic topic model // Advances in Neural Information Processing Systems. — Vol. 19. — MIT Press, 2007. — Pp. 241–248
10. Eisenstein J., Ahmed A., Xing E. P. Sparse additive generative models of text // ICML'11. — 2011. — Pp. 1041–1048
11. Дударенко М. А. Регуляризация многоязычных тематических моделей // Вычислительные методы и программирование. — 2015. — Т. 16. — С. 26–38

ნაშრომი განხორციელდა შოთა რუსთაველის საქართველოს  
ეროვნული სამეცნიერო ფონდის მხარდაჭერით (გრანტი FR-21-3509)

---

ნათესაობითი ბრუნვის ცალკე მდგომი თანდებულების შესატყვისი აფიქსები  
ინგლისურ ენაში  
ლიანა სამსონაძე  
liasams@yahoo.com

## რეზიუმე

ქართულ-ინგლისური გრამატიკული ლექსიკონის კომპაილერის შექმნისათვის წარმოებული კვლევების ერთ-ერთი თემაა ქართული თანდებულებისა და ინგლისური აფიქსების შესაბამისობის დადგენა.

აფიქსებს მეტად მნიშვნელოვანი ფუნქცია აკისრია. მათი მეშვეობით განისაზღვრება მდებარეობა, მიმართულება, დანიშნულება, მსგავსება, მიმართება და სხვა. ქართულში თანდებულები მხოლოდ სახელებს დაერთვის ამა თუ იმ ბრუნვაში. თანდებულები ორი სახისაა: ერთმარცვლიანები – უშუალოდ სახელთან მდგომები და ერთზემეტმარცვლიანები – ცალკე მდგომები.

ნაშრომში განხილულია რამდენიმე ქართული ცალკე მდგომი თანდებულისა და ინგლისური აფიქსების შესაბამისობის მაგალითები.

საკვანძო სიტყვები: თანდებულები, აფიქსები, მარკერები

გრამატიკა ცალკეული კომპონენტების ერთობლივ გამონათქვამად შექმნას ემსახურება, განსაკუთრებით მდიდარი აფიქსაციის მქონე ენებში.[1] ქართული და ინგლისური აფიქსების შესაბამისობის დადგენა მნიშვნელოვანია და ძალიან საყურადღებოა ლექსიკონების შედგენისას.

თანდებულები ჰქვია დამოუკიდებელი მნიშვნელობის უქონელ სიტყვას ან ბგერათა კომპლექსს, რომელიც დაერთვის სახელის ამა თუ იმ ბრუნვის ფორმას, რომ აღნიშნოს მდებარეობა, მიმართულება, დანიშნულება, მსგავსება ან სხვა რაიმე დამოკიდებულება დასახელებულ საგანთან.[2]

ქართული თანდებულების შესაბამისი ინგლისური აფიქსების პოვნა ბევრ ფაქტორზეა დამოკიდებული. ხან, ეს სემანტიკით განისაზღვრება, ხან რომელიმე გამონათქვამში ერთი ენის მოქნილობა, მეორე ენაში განსხვავებულ წყობას და, შესაბამისად, გარკვეულ აფიქსაციას მოითხოვს.

ქართულში თანდებულები მხოლოდ სახელებს დაერთვის ამა თუ იმ ბრუნვაში, თუმცა იგივენიერად და იგივე ბრუნვებში დაერთვის მასდარსაც და მიმღეობასაც. გარდა ცნობილი თანდებულებისა, ხშირად თანდებულებად გამოიყენება ზმნიზედები, დამხმარე სიტყვები და სხვ.

ქართულში თანდებულები ორგვარია: ერთმარცვლიანები – უშუალოდ სახელთან მდგომები და ერთზემეტმარცვლიანები – ცალკე მდგომები.

ამჯერად განვიხილეთ მხოლოდ ცალკე მდგომი ქართული თანდებულები (გამო, გარდა, მიერ, შესახებ, შემდეგ, მიხედვით, განმავლობაში) და მათი შესაბამისი ინგლისური აფიქსები და გამოთქმები.

საილუსტრაციოდ, მაგალითები ამოღებულია პარალელური კორპუსის მასალებიდან [4] ზოგიერთი ინგლისური აფიქსის შესაბამისობის დასაზუსტებლად, საჭიროდ ჩავთვალეთ, იგივე წინადადების მეორე ვარიანტის ჩვენება, სადაც ზოგი ქართული თანდებულის მნიშვნელობა შეცვლილი იქნებოდა სინონიმური გამოთქმით.

1. გამო თანდ.(იხმარება ნათესაობით ბრუნვაში დასმულ სახელთან) მიზეზით, თვის .... [3]

გამო [GAMO] —> due to, at, for, because, by, as  
due to

თავისუფალი გრაფიკის გამდ როცა მინდა, მაშინ ვისვენებ.

Due to the free working regime, I have a break whenever I want.

ოპერაციის გამდ უმუშევარი გახდა.

Due to the operation he became unemployed.

at

მეორე წამს კიდევ უფრო ძლიერი ბრაზით აღივსო ღალატის გამდ.

The next was the more violent with anger at her deceit.

მომენტს, როცა მზის ჩასვლის გამდ ყველა ადგილობრივი მოხუცი გიჟდება.

When all the old folks get crazy at sunset.

for

ღირსეული მოღვაწეობის გამდ ალექსანდრე მეფეს ხალხმა „დიდი“ შეარქვა.

For his honourable activity King Aleksandre was surnamed "Great".

ასე კი ორი მოსაზრების გამდ იქცეოდა.

He did so for two reasons.

because

ალბათ, სიბნელის გამდ იყო, რომ ვერ მიხვდა, სად იმყოფებოდა.

Perhaps because it was dark, he didn't recognise where he was at all.

by

ასეთი პაციენტები არ იღებენ ავადმყოფობის გამდ თავსმობვეულ სოციალურ შეზღუდვებს.

These patients do not accept the social restrictions imposed by the illness.

as

სამწუხაროდ, დაფინანსების შეწყვეტის გამდ ჯგუფის მუშაობა შეფერხდა.

Regrettably, as the funding was cut off, the work of the team was hindered.

2. გარდა (თანდ. გარეშე, გამოკლებით, ჩაუთვლელად, თვინიერ)[3]

გარდა[ GARDA] —> Besides, Apart from, except, Furthermore, Moreover, Also, Likewise

Besides

მსგავსებების გარდა არსებობს განსხვავებებიც.

Besides the resemblances, there are differences.

გარდა კავკასიის იბერიისა, არსებობდა პირენეს იბერია და მოიხსენიება ბრიტანეთის იბერები.

Besides Caucasian Iberia, there was that of the Iberian Peninsula, and reference is made to the Iberians of Britian;

apart from

ქალებს გარდა იქაურმა ჩიტებმაც კი ჩააგდეს საგონებელში ჩემი მსახური:

Apart from the women, the local birds threw my servant into confusion.

გარდა მოჭიქული საღვინე ჯამებისა, არის დადასტურებული სადა საღვინე ჭურჭელიც.

Apart from glazed wine bowls, plain wine vessels are attested in abundance.

except

ა) თითქმის ყველას ჩამოვშორდი, გარდა ორისა.

ბ) თითქმის ყველას ჩამოვშორდი, ორის გამოკლებით

I distanced myself virtually from everybody, except two people;

ასეთი პოტენციური შესაძლებლობა, გარდა ანაკლიისა, არ გააჩნია საქართველოს სხვა ნავსადგურს.

No other port of Georgia has such a potential except Anaklia.

ხშირად, წინადადების დასაწყისში გამოიყენება შესიტყვება „გარდა ამისა“, რომელიც სინონიმურად ასახავს მსგავსი მნიშვნელობის ცნებებს – აგრეთვე, ამასთანავე, უფრო მეტიც... მათ ინგლისურში შეესაბამება Moreover, furthermore, Also, Likewise. მაგალითად:

ა) გარდა ამისა, ჰოსპიტალიზაციის შემთხვევათა სიხშირეზე მრავალი ცვალებადი ფაქტორი ზემოქმედებს.

ბ) უფრო მეტიც, ჰოსპიტალიზაციის შემთხვევათა სიხშირეზე მრავალი ცვალებადი ფაქტორი ზემოქმედებს.

Moreover, hospital admission rates are influenced by many variables.

ა) გარდა ამისა, მარცვლეულის მოხმარება მცირდება.

ბ) შემდგომად, მარცვლეულის მოხმარება მცირდება.

Further, grain consumption is increasing.

ა) გარდა ამისა, დადგენილებაში გათვალისწინებული უნდა იყოს.

ბ) უფრო მეტიც, დადგენილებაში გათვალისწინებული უნდა იყოს.

The resolution should furthermore stipulate.

ა) გარდა ამისა, პოლიტიკურმა მოვლენებმა შეიძლება გავლენა იქონიოს კონკრეტული ვალუტის სტაბილურობაზე.

ბ) აგრეთვე, პოლიტიკურმა მოვლენებმა შეიძლება გავლენა იქონიოს კონკრეტული ვალუტის სტაბილურობაზე.

Also, political events can affect the stability of a particular currency.

ა) გარდა ამისა, მას არაერთხელ მოუსმენია მშობლების მოსაზრება, რომლებიც დაჟინებით ამტკიცებდნენ, რომ ....

ბ) ასევე, მას არაერთხელ მოუსმენია მშობლების მოსაზრება, რომლებიც დაჟინებით ამტკიცებდნენ, რომ ....

Likewise, she heard from a parent group who argued persuasively that ...

3. მიხედვით ზმნს. რისამე გათვალისწინებით; რისამე კვალობაზე; რისამე შესაბამისად.[3]

მიხედვით[MIXEDVIT] —> of, by, according to  
of

შემუშავებულია ქართული სიტყვების სპეციალური კლასიფიკაცია გარკვეული ნიშნების მიხედვით.

A special classification of Georgian words is elaborated with the aid of the basic signs.

by

ონომასიოლოგია და ტიპოლოგია (ბასკური ენის მონაცემების მიხედვით).

Onomasiology and tipology (as exemplified by the Basque language).

according to

დავით აღმაშენებლის ისტორიკოსის მიხედვით, ისინი ორმოცი ათასი იყვნენ.

According to David the Builder's historian, there were 40,000 of them.

ამ რომანის მიხედვით, ალექსანდრეს ლაშქრობა იწყება იერუსალიმიდან.

According to the Romance, the march of Alexander begins from Jerusalem.

აქაც შეიძლება ზმნიზედების თანდებულებად გამოყენება – „შესაბამისად“, „თანახმად“, ინგლისურად კი იგივე According to იქნებოდა.

4. მიერ თანდებული; (მოითხოვს ნათესაობით ბრუნვას და წინამავალ სახელთან ერთად უპასუხებს კითხვაზე: ვის მიერ?)[3]

მიერ [Mier] —> by, of

by

წმინდანთა მიერ ცხოველთა დამორჩილება წილნაყარია პირველყოფილ სამოთხის ჰარმონიულობასთან.

Subjugation of animals by saints is linked to the harmony of the paradise.

of

ამ სტატიაში ჩვენ შევეხებით ვაჟას მედრ სიკვდილის გააზრების მხოლოდ ერთ ასპექტს, კონკრეტული ლექსის სივრცეში.

In this article we will only deal with one aspect of analyzing death in the lyrics of Vazha Pshavela, in one specific poem.

5. შესახებ დამხმარე სიტყვა - მოითხოვს სახელისაგან ნათესაობით ბრუნვას, - თაობაზე..[3]

შესახებ [Shesaxeb] → about, of, on  
about

პირველ ყოვლისა, ორიოდ სიტყვა ავტორის შესახებ.

First a few words about the author.

აქ ვხვდებით მსჯელობას ფშავ-ხევსურული „სიმღერების“ შესახებ.

He talks about Pshav-Khevsurian "songs".

on

ბერლინში ფერადის სწავლის შესახებ (სწავლაზე) ჩვენ შეგვიძლია მხოლოდ მოკრძალებული წარმოდგენა შევიქმნათ.

We can only have a general opinion on Peradze's studies in Berlin.

ჩაფიქრებული განაგრძობს ბუტბუტს ბრძოლის შესახებ. (ბრძოლაზე)

He broods, musing on the struggle.

6. შემდეგ ზმნს. მერე, ბოლოს, დაბოლოს, შემდგომ, უკანასკნელ, უკან [3]

შემდეგ [SHEMDEG ] → after, next, Following, later, In

„შემდეგ“ სხვადასხვა სემანტიკა აქვს:

- შეიძლება ასახავდეს ფიზიკურად რაღაცის/ვიღაცის შემდეგ არსებობას – მე თქვენს შემდეგ ვდგავარ. ეგ არაფერს ნიშნავს.

I'm next after you. That doesn't mean a thing.

- შეიძლება აღნიშნავდეს დროს —

საღამოობით, ცხრა საათის შემდეგ.

"In the evening, after nine".

სამი საათის შემდეგ მდაბალ რევერანსში დაიხარა და წამოვიდა.

After three hours, she curtseyed profoundly and left.

in

ორი დღის შემდეგ ლოზანაში მივდიოდით.

In two days we were moving to Lausanne.

late

აღნიშნული თარგმანი რამდენიმე წლის შემდეგ თბილისშიც გამოიცა.

A year later his translation was issued in Tbilisi too.(...გვიან)

ერთი წლის შემდეგ სხვა გერმანელი - არტურ ლაისტი იწყებს რუსთაველის პოემის თარგმნას.

A year later another German, Arthur Leist, began to translate Rustaveli.

- „შემდეგ“ შეიძლება აღნიშნავდეს, რაიმე მოვლენის მომდევნო შედეგს  
after

ნაშრომის ძირითადი ნაკლი მხოლოდ მისი წაკითხვის შემდეგ აღმოვაჩინე.

I discovered the principal shortcoming of the book only after I read it.

ამის შემდეგ შეხვდა იგი რომაელთა მხედართმთავარს.

After this she met the Roman commander.

following

იგი ელისაბედ I-ის გარდაცვალების შემდეგ, 1603 წელს, გაათავისუფლა ახალგამეფებულმა ჯეიმს I-მა.

Following the death of Elizabeth I, he was released by the newly acceded James I.

next

ამ ურთიერთობების ცენტრში საკუთრივ შაჰის შემდეგ და მის გვერდით ალავერდი ხანი იდგა.

In these relations the central figure next to the Shah and beside him was Allahverdi Khan.

- შეიძლება გულისხმობდეს ჩამონათვალს–  
after

დაუშვებელია ასეთი შესწორებების შეტანა შემდეგი შემთხვევების შემდეგ:

No such amendment shall be permitted after any of the following events:

7. განმავლობაში ზმნს. (ჩვეულებისამებრ – თანდებულის ფუნქციით; დროის რაიმე მონაკვეთში, გარკვეულ ხანში. დროთა განმავლობაში თანდათან, დროის გასვლის შემდეგ)[3]

განმავლობაში[ Ganmavlobashi] —> during, for, of, in,  
during

პირველი ელექტრული გაღიზიანების შემდეგ მაიმუნი არ მიდიოდა ამ საკვებ ყუთთან 5 – 17 დღის განმავლობაში, მეორე გაღიზიანების შემდეგ - 12 – 69 დღის, ხოლო მესამე გაღიზიანების შემდეგ - 83 დღის განმავლობაში.

After the first electrical stimulation the monkeys manifested fear of the injuring feeder during 5 – 17 days, after the second stimulation during 12 – 69 days and the third 83 days.

for

მანამდე კი, ექვსი გრძელი კვირის განმავლობაში, მასთან ცხოვრება უნდა მესწავლა.

Meanwhile, we'd have to put up with him for six long weeks.

ორი დღის განმავლობაში ხმა არ გაუცია.

For two days our conversations came to a sudden halt.

of

პრობლემები, რომლებიც ქართული ლექსმცოდნეობის მკვლევართა ნაშრომებში დამუშავდა სამი საუკუნის განმავლობაში, მრავალმხრივია:

The issues treated in the works of Georgian researchers in versification in the course of three centuries are multifaceted: (მანძილზე)

in

იმჯგელეთ იმის შესახებ, თუ რა სახის მუშახელი დასჭირდება თქვენს ფირმას მომდევნო ათწლეულის განმავლობაში.

Discuss the employment needs your firm will have in the next decade.

პიკასო რომ მოკვდა, ჟურნალში ამოვიკითხე, რომ მთელი ცხოვრების განმავლობაში (ცხოვრების მანძილზე) ოთხი ათასი შედეგური შეუქმნია და გავიფიქრე: „მე ხომ მაგდენს დღეში შევქმნი“.

When Picasso died I read in a magazine that he had made four thousand masterpieces in his lifetime and I thought: "Gee, I could do that in a day."

მივხვდი, ძალიან განერვიულდა, რადგან ბოლო საათის განმავლობაში პირველად გაჩუმდა.

I guess she was upset because it was her first pause in an hour.

ამოსავალი სალექსიკონო ერთეულის ლექსიკური ფორმები შედგენილი უნდა იყოს ლემისაგან, შესაბამისი მეტყველების ნაწილის მარკერისაგან (ამ შემთხვევაში სახელი- N), ხოლო დანარჩენი უნდა იყოს ლექსიკური ქვეკატეგორიების მარკერები, რომელთა რიცხვში მოიაზრება თანდებულები და აფიქსები შესაბამისი ბრუნვების დასახელებით.

ქართული თანდებულებისა და ინგლისური აფიქსების შესაბამისობის დადგენა, ქართულ-ინგლისური გრამატიკული ლექსიკონის კომპაილერის შექმნისათვის წარმოებული კვლევების ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი საკითხია.



## Corresponding Affixes to Separate Postpositions of Genetive case in English

L. Samsonadze

### Summary

One of the important issues for the creation of the Georgian-English grammatical dictionary compiler is to determine the correspondence between Georgian and English affixes.

Postpositions have a rather important function. Location, direction, destination, similarity, relation, etc. are determined through them. In Georgian, postpositions are attached only to names in one or another case. There are of two types of postpositions: monosyllabic - placed directly next to the noun and polysyllabic - placed separately.

The paper discusses examples of the correspondence between several Georgian separate postpositions and English affixes.

## Соответствие грузинских независимо стоящих аффиксов родительного падежа с английскими аффиксами

Л. Самсонадзе

### Резюме

Одним из важных вопросов исследования, проведенного для создания компилятора грузино-английского грамматического словаря, является определение соответствия между грузинскими аффиксами и английскими аффиксами.

Аффиксы выполняют очень важную функцию. Через них определяются местонахождение, направление, назначение, подобие, отношение и другие. В грузинском языке аффиксы присоединяются только к именам в том или ином падеже. Грузинские аффиксы бывают двух видов: односложные – стоящие непосредственно рядом с существительным и многосложные – стоящие отдельно.

В работе рассматриваются примеры соответствия нескольких грузинских отдельно стоящих аффиксов и аффиксов английского языка.

### ლიტერატურა – References – Литература

1. ჩიკოიძე გ. წინადადების სტრუქტურის განმსაზღვრელი ერთეულების სემანტიკა. გამომცემლობა “უნივერსალი”, ISBN 978-9941-22-673-1, თბილისი, 2015 წ., 532 გვ.
2. შანიძე ა. ქართული ენის გრამატიკა I.1955
3. <http://ena.ge/explanatory-online>
4. პარალელური კორპუსი <https://corp.dict.ge/>
5. <http://geocorpora.gtu.ge/#/corpus>
6. ნეიმანი ა., ქართულ სინონიმთა ლექსიკონი, 1978.
7. <http://www.ilc.cnr.it/EAGLES/home.html>.

ნაშრომი განხორციელდა შოთა რუსთაველის საქართველოს  
ეროვნული სამეცნიერო ფონდის მხარდაჭერით (გრანტი FR-21-3509)

---

## The peculiarities of English passive verb translation

Nino Amirezashvili

ninomaskh@yahoo.com

### Abstract

In the article, we tried to discuss the problems encountered while translating English passive verbs into Georgian and which should be taken into account during automatic translation.

The issue is discussed on examples taken from the Georgian-English corpus corp.dict.ge

As can be seen from the discussed examples, in addition to the correspondence of the tense forms, the correspondence of the voice is also violated during translation. English passive constructions are often translated into Georgian by active verb forms, because in specific cases the Georgian passive forms are artificial.

In the Georgian translation, we often do not have the corresponding English passive forms. Instead of singular, we have plural form and at the same time, the agent - the executor of the action in the sentence is missing, unknown.

### Key words:

Passive voice, composite predicate, grammatical categories

The study of translation problems is one of the major issues in modern linguistics. Nowadays, translation from English into Georgian, and vice versa, from Georgian into English became very active. Consequently, issues related to this process have become the subject of special research. Present achievements in modern linguistics have shown that perfect, adequate translation can only be achieved by considering the interaction of vocabulary and grammar. Grammar, as a set of rules, plays very important role in connecting words and constructing sentences correctly.

The problem of considering grammatical forms and meanings in translation is less studied and researched. More attention is paid to lexical inaccuracies and inconsistencies. As for the role of grammar in translation, it is almost neglected.

According to the linguistic theory of translation, the author's style is also manifested in the selection of specific grammatical forms. The translator has to solve various grammatical issues.

Since the grammatical systems of different languages do not match, it may be impossible to convey a certain grammatical form accurately. Sometimes a translator is forced to look for correspondences at another level of the translation language to compensate for the difference between the grammars of the two languages.

According to Van Valin's theory [1], a verb represents the core of the upper "layer" of the sentence structure (core - "middle", central construction). According to V. Vinogradov [2], the verb is "the most complex and capacious part of speech." One of the important grammatical categories for verbs is the voice.

In grammar, the voice, sometimes called a diathesis, describes the relationship between an action / state expressed by a verb and its arguments (subject, object). When the subject is an agent, the executor of the action, the verb is of the active voice; and when the subject is the patient, the target of the action, or it experiences the action itself, the verb is of the passive voice.

Thus, in the grammatical category of voice, we mean various grammatical means needed to express the relationship between a transitive verb and its subject-object [3].

Active voice: He built a little tent of dead wood and the fire was safely alight. - *xmeli nafotebisagan paçaçina karavi aaşena da cecxli mşvidad moedo šeşas.*

She was so proud of the Wigmore Hall, it was as if she had designed it herself. - *uigmor-holit iseti amayi çanda, titqos tviton aaşena.*

Passive voice: Malory Towers was built round a large oblong space, called the Court. - *melori taueris koşkebi aşenebuli iyo uzarmazari mindvfiş irgvliş, romelsac korts eżaxdnen.*

The upper church of Shiomgvime was built on the orders of David the Builder. - *davit aymaşeneblis br.żanebit iqna agebuli şiomyvimiş zemo eklesia.*

In English an intransitive verb has no passive forms. Sentence - She seemed very unhappy, we could not turn into a passive form. From a semantic point of view, we can indicate the following cases of the passive verb using:

1. The executor of the action is not known, or not significant, or understandable from context;

She said: "It was stolen last night at a discotheque". - *man mipasuxa: "guşin diskotekaze mompares".*

2. The main thing is the action and not its executor;

At these gatherings, only those persons were invited who enjoyed the confidence and whose services were needed by them. - *am şexvedrebze mxolod imat içvevdnen, vişac endobodnen da viş daxmarebac şçirdebodat.*

3. Something uncomfortable happened and we do not want to blame anyone.

The party was spoiled – *çveuleba çaişala.*

Passive forms are often used in newspaper articles, announcements, instructions, advertising texts, news, or in texts where the action is the main one and the executors are completely strangers or insignificant. Such forms are rarely found in spoken language.

Formally, in the opposition 'active voice - passive voice' the verb of the passive voice is a marked member. The passive is be (is/was/have been etc.) + the past participle (done, cleaned, seen etc.)" of the main verb.

We do not have passive forms in the future continuous, present perfect continuous, past perfect continuous, and future perfect continuous tense forms.

On the other hand, the combination of the verb "to be" with the past participle does not always express the passive form. It may indicate the noun part of the composite predicate. For example:

The window was opened - cannot be considered as a passive form.

But some linguists like Barkhudarov and Stelling [4] think that such sentences are passive and do not have the corresponding active forms.

Sometimes you can use get instead of be in the passive:

There was a fight at the party but nobody got hurt – *çveulebaze çxubi iyo, magram aravin daşavda.*

You can use get to say that something happens to somebody or something, especially if this is unplanned or unexpected: Our dog got run over by a car.

You can use get only when things happen or change. For example, you cannot use get in these sentences: Nothing was known about him, he was a mystery man.

But expressions such as: get dressed, get divorced, get married are not passive. Get passives are mostly less used in formal conversations and even in informal English. It often reflects an unfavorable attitude towards action.

In this article, we discuss the problems that can appear when translating English passive verbs into Georgian which should be considered while machine translation. The examples have been extracted from the Georgian-English corpus (corp.dict.ge) which is available to us.

Present simple

Just as a slate is cleaned with a rag so that new words can be written on it.

rogorc dafas gadaçmenden xolme čvrit, rata zed axali sityva daçeron. (gadaçmenden - I series future, active voice)

Vivian's translation is done in a peculiar style.

vivienis targmani shesrulebulia tavisebur stilshi. (shesrulebulia - the noun part of the composite predicate, auxiliary verb in present).

Unlike the round hall of the first floor, the hall on the third floor is done in mellow colors.

meore sartulis mrgvali vestibulisagan gansxvavebit, meotxe sartulis vestibuli ufro naz ferebshia gadaçyvetili. (ferebshia gadaçyvetili. - the noun part of the composite predicate, auxiliary verb in present).

And when that part of the work is done, I'm ready to start on the tumor.

da rodesac samushaos naçili damtavrebulia, mžad var, simsivneze gadavide. (damtavrebulia - the noun part of the composite predicate, auxiliary verb in present).

In the English plays the main plot line is built on the story of the principal pair of lovers of the MPS – Nestan and Taniel.

inglisur piesebshi žiritadi siužeturi xazi vefxistyaosnis umtavresi sheyvarebuli çyvilis nestanisa da tarielis ambis qarqazea agebuli. (qarqazea agebuli - the noun part of the composite predicate, auxiliary verb in present).

The condition for the solution of the problem of moments is proved and its algorithm is built.

mtkicdeba momentta problemis amoxsnadobis piroba, ris safužvelzec shedgenilia algoritmi. (shedgenilia - the noun part of the composite predicate, auxiliary verb in present).

This reasoning is built on a misunderstanding.

es msželoba gaugebrobazea agebuli. (gaugebrobazea agebuli.- the noun part of the composite predicate, auxiliary verb in present).

The crystal is built of the polymer chain.

kristali agebulia polimeruli žačvebisagan. (agebulia - the noun part of the composite predicate, auxiliary verb in present).

The one-point set consisting of this function is not effectively closed.

am funqciisagan shemdgari ertelementiani simravle ar aris efeqturad çaketili. (aris çaketili - the noun part of the composite predicate, auxiliary verb in present).

The process outlined in this Strategic Planning Guide is built around this model.

mocemul strategiuli dagegmvis saxelmžyvaneloshi zogadad ayaçerili procesi am models efužneba. (efužneba – present).

This window is cleaned every day.

es fanžara yoveldye içmindeba. (içmindeba. – present).

From the examples it can be seen that the English forms of the present simple have been translated into Georgian as: future (gadaçmenden), noun part of the compound predicate (shesrulebulia), present (efužneba).

As for the opposite process, Ak. Shanidze mentions that to the Georgian present forms correspond three English tenses: present continuous, future simple and present simple (5). The same can be said about passive forms, e.g.

The film is being shown now (Present continuous) – films açveneben axla;

Tomorrow the film will be shown (Future simple) - films xval açveneben;

The film is shown every day (Present simple) - films yoveldye açveneben.

As can be seen from the discussed examples, in addition to the correspondence of the tense forms, the correspondence of the voice is also violated during translation. In the Georgian translation, we often do not have the corresponding English passive forms: gadaçmenden, açveneben - are verbs of active voice.

Present continuous

The Georgian translation is being published along with the original.

teqsti qveyndeba qartuli targmanit originaltan ertad. (qveyndeba - present)

In recent years much attention is being paid to research into scientific style.

uқанашnel Žlebši didi yuradyeba etmoba sxvadasxva samecniero literaturis stilis šesžavlas. (etmoba - present)

An age of relative food abundance is being replaced by one of scarcity, he argues.

sağvebis šedarebiti siuxvis epoqas šezjudulobis epoqa cvlis, amtқicebs igi. (cvlis - present, active voice)

Brown explains that more and more farmland is being used for factories, houses, and roads.

brauni ganmartavs, rom sul ufro meti sasoflo-sameurneo savargulebi gamoiyeneba qarxnebis, saxlebisa da gzatқecilebistvis. (gamoiyeneba - present)

The journal Martlmsajulebis Matsne ("Herald of Justice") is being published.

gamodis žurnali “martlmsažulebis macne“. (gamodis - present)

This is being done for several purposes.

es ramdenime miznit ketdeba. (ketdeba - present)

The identity of the criminals (i.e. killers) is being established.

xorcieldeba današaulis čamden pirta (moқled, mқvlelta) vinaobis dadgena. (xorcieldeba - present)

As we can see, to the English present continuous forms correspond the Georgian I series present tense forms.

Present perfect

The energy distribution in continuous spectrum has been investigated.

napovnia energiis absoluturi ganažileba užyvet speqtrši. (napovnia - composite predicate, present)

Existence of inverse linear dependence between the values under study has been ascertained.

dadgenilia mat šoris žrfivi қavširis arseboba. (dadgenilia - composite predicate, present)

A translator has been constructed for this language.

am enisatvis šeqmnilia translator. (šeqmnilia - composite predicate, present)

The feasibility of determining barium in permanganate solutions by the chromatic method has been established.

dadgenilia bariumis permanganatis xsnarebši bariumis qromatuli metodit gansazyvris šesažlebloba. (dadgenilia - composite predicate, present)

The effect of various emulgators on the process of obtaining stable aqueous dispersions from polyethylene has been studied.

šesžavlilia polietilenidan mdgradi žyaldispersiebis miyebis procesze sxvadasxva emulgatorebis gavlena. (šesžavlilia - composite predicate, present)

One of the stages of the algorithm has been theoretically investigated.

teoriulad gamokvleulia am algoritmis ert-erti etapi. (gamokvleulia - composite predicate, present)

Catechol localization in the tea plant leaf has been studied by histochemical methods.

histoqimiuri metodebit šesžavlilia katexinebis loqalizacia čais fotolši. (šesžavlilia - composite predicate, present)

A program for the design of reinforced aches and shells, based on a four-parameter scheme of fracture, has been developed.

damušavebulia armirebuli tayebisa da garsebis saangarišo programa ngrevis otxparametriani sqemis safužvelze. (damušavebulia - composite predicate, present)

In addition to glycerin a small quantity of butanediol 1, 2 has been found in the alcohol fraction.

spirtebis fraqciaši, glicerinis garda, aymočenilia butandiol 1,2-is mcire raodenoba. (aymočenilia - composite predicate, present)

The room looks nice. It has been cleaned.

otaxi lamazad gamoiyureba. is gažmendila. (gažmendila – III seriis I resultative).

From the examples, it can be seen that the present perfect forms of the English verbs have been translated into Georgian as the I resultative of the III series, and a composite predicate, with the auxiliary verb in present of the I series.

Past simple

A compound curve of eight harmonics was built in order to verify the scheme.

sqemis šesamožmeblad rva harmoniķisagan šedgenil iqna rtuli mrudi. (šedgenil iqna - composite predicate, aorist)

The upper church of Shiomgvime was built on the orders of David the Builder.

davit aymašeneblis bržanebit iqna agebuli šiomyvimis zemo. (agebuli iqna - composite predicate, aorist)

The church in Saorbisi, adorned with beautiful ornaments, was built during the same period.

amave periodšia ašenebuli mšvenieri čuqurtmebit šemķuli eķlesia saorbisši. (aris ašenebuli - composite predicate, present)

Malory Towers was built round a large oblong space, called the Court.

melori tauersis košķebi ašenebuli iyo uzarmazari mindvris irgvliv, romelsac ķorts ežaxdnen. (ašenebuli iyo - composite predicate, aorist)

It tried its best, but the instrument was built so that it couldn't prophesy fine weather any harder than it did without breaking itself.

tavi ar dauzogavs, magram xelsaჴო ise iyო moჴyobili, saჴualebas ar aჴlevda, amaze ufro daჴinebit ganečvrita ჴargi amindi. (iyო moჴyobili - composite predicate, aorist)

The Emerald City was built a great many years ago.

zurmuxt-qalaqi mრავლი ჴlis ჴin aigo. (aigo - aorist)

All this was done to facilitate regular movement around the country.

es yvelaferi ჴeufერxebeli mimosvlistvis ketdeboda. (ketdeboda - imperfect)

No matter how much we criticize the Soviet period, much was done to restore and strengthen viticulture.

sabčota periodჴi, rac ar unda vaჴkritიჴot, saჴmaod bevri ram gaketda mevenaxeobis aysadgenad da gasaჴliereblad. (gaketda - aorist)

This was done in a few days.

es ramdenime dyeჴi iqna ჴesrulebuli. (iqna ჴesrulebuli - composite predicate, aorist)

It was done, it was finished.

morča, dasrulda. (morča, dasrulda - aorist)

In a few seconds it was done.

es dauyovnebliv ჴeasrules. (ჴeasrules – aorist, active voice)

The forms of the English past simple tense have been translated into Georgian as: forms of aorist and imperfect and as a composite predicate, with the auxiliary verb in present of the I series and aorist of the II series.

#### Past continuous

To be sure, the way for such research was being gradually laid in Georgian scholarship.

ra tqma unda, amgvari ჴvleva-ჴiebisatvis safuჴveli qartul mecnierebaჴi tandatanobit mzaddeboda. (mzaddeboda - imperfect)

In this period, reform was under way in Byzantine hymnography and a new melodic style was being introduced, which is associated with the name of John Kukulzel.

am periodჴi bizantiur himnografiaჴi mimdinareobda reforma da mჴvidrdeboda axali melodiuri stili, rac ioane ჴuჴuzelis saxels dauჴavჴirda. (mჴvidrdeboda- imperfect)

I realised I was being laughed at and my face was burning.

mivxvdi, rom me damcinodnen da cecxli momeჴida. (damcinodnen- imperfect, active voice)

By 1984, BA was earning record profits, and its privatization was being planned for 1987.

1984 ჴlistvis BA reჴordul mogebas yebulobda da misi privatizeba 1987 ჴlistvis igegmeboda. (igegmeboda - imperfect)

The way was being paved in Georgia for the development of logic in a new, European way.

mzaddeboda niadagi saqartveloჴi logიჴis axali, evropuli gzit ganvitarebisatvis. (mzaddeboda- imperfect)

Tariel – like Arbaces of the English play - was being reared as prince from his childhood.

tarieli msgavsad inglisuri piesis arbasesisa, dabadebidanve uflis3ulad izrdeboda. (izrdeboda- imperfect)

Russia was being defeated in the war, her troops leaving the Caucasus.

ruseti omši marcxdeboda, misma žarebma datoves kavkasia. (marcxdeboda- imperfect)

Wherever you looked, fires were lit, everywhere medicine was being boiled up.

saitac ar unda gagexedat, yvelgan cecxli ento, yvelgan 3amali ixaršeboda. (ixaršeboda- imperfect)

She did feel that she was being asked to understand something, something that upset her elder sister badly.

erts ki gr3nobda, rayacis mixvedras txoulobdnen misgan, rayacis, rasac misi ufrosi da ase aeforiaqebina. (txoulobdnen - imperfect, active voice)

As if she sensed that she was being deceived and being deprived of her only child.

titqos guli ugr3nobda, atyuebdnen, samudamod artmevdnen ertadert švils. (atyuebdnen- imperfect, active voice)

The English past continuous forms have been translated into Georgian as: forms of imperfect, sometimes the voice is active (damcinodnen, txoulobdnen, atyuebdnen).

Past perfect

The noble Khan was told that the work had been completed and that the tomb awaited his arrival.

didebul xans au3yes, rom yvelaferi dasrulda da aqldama mis mibr3anebas elodeboda. (dasrulda - aorist)

It is not excluded that the hymn had been translated from some other language.

ar aris gamoricxuli galoba targmnili iyos romelime enidan. (targmnili iyos - composite predicate, II conjunctive)

However, no original philosophic work had been written before Ioane Petritsi.

tumca originaluri filosofiuri našromi ioane petri3amde ar da3erila. (da3erilia - composite predicate, present)

The Great Lectionary of Jerusalem had been edited by M. Tarchnishvili.

ierusalimis didi leqcionari 1959-1960 3lebši gamoemuli iyo m. tarxnišvilis mier. (gamoemuli iyo - composite predicate, aorist)

They bring up better alternatives to what had been proposed to them.

isini i3levian imaze uketes alternativebs, rac mat šestavazes. (šestavazes - aorist, active voice)

The letters had been gathered against the Amadzons.

es ukanasqnelni ki ama3onebis 3inaaymdeg iyvnen iq šekrebilni. (iyvnen šekrebilni - composite predicate, imperfect)

Our return home had been decided for May;

maisši uqve gada3yvetili iyo čveni uqan dabruneba. (gada3yvetili iyo - composite predicate, aorist)

Most hymns contained in the Iadgari had been translated from Greek.



masši dacul sagalobelta udidesi našili beršnulidanaa natargmni. (aris natargmni - composite predicate, present)

The city had been seized from the Greeks by the Muslims who held it for 14 years.

qalaqi beršnebs muslimebma šartves da 14 šeli flobdnen mas. (šartves - aorist, active voice)

When the dogs had been chased out, several boys were stationed at the doors with sticks to stop them coming in again.

Šaylebi rom garekes, ramdenime biči qarebze daayenes žoxit, rom ayar šemosuliyvnen. (garekes - aorist, active voice)

The forms of the English past perfect tense have been translated into Georgian as: forms of aorist sometimes of active voice and as a composite predicate with the auxiliary verb in present and imperfect of the I series and aorist and conjunctive of the II series.

Future simple

My sojourn here for this period of time will be given official status at the Ministry of Foreign Affairs in Moscow.

čemi aq yofna da amdenxans darčena oficialurad gaformdeba moškovši sagareo saqmeta saminstroši. (gaformdeba - future)

The findings of the study will be taken into consideration in assessing the effects of the introduction of the species in question tbilis pirobebši introducirebuli merqniani lianebis zrdis bioekologiuri taviseburebani gatvalisšinebuli iqneba mati introduciis šedegebis dasadgenad. (gatvalisšinebuli iqneba - composite predicate, future)

The reason for calling them Magians and pagans will be discussed below.

xolo imas, tu ris gamo ižodebian dampyroblebi mogvebad da šarmartebad, mogvianebit ganvixilavt. (ganvixilavt - future, active voice)

Plotinus' views on the Soul are slightly different and will be discussed below.

plotinis šexedulebebi sulis šesaxeb odnav gansxvavebulia da ganxiluli iqneba qvemot. (ganxiluli iqneba - composite predicate, future)

Interest will be accrued according to the daily balances on the account.

saprocento sargebeli dagericxebat yoveli dyis bolos angariše arsebuli naštis gatvalisšinebit. (dagericxebat - myofadi)

Accounts with no balance and transaction records for a full year will be automatically closed.

erti šlis ganmavlobaši naštis da tranzaqciebis ararsebobis šemtxvevaši, šemnaveli anabari avtomaturad ixureba. (ixureba - present)

Which cases will be covered by Payment Protection Insurance?

ra šemtxvevebs aginazyarebt saqredito šenatanis dazyveva? (aginazyarebt - future)

The money will be used to rent a truck and some garden equipment.

fuli satvirto manqanisa da mebayeobisatvis sačiro možyobilobis dasaqiraveblad iqneba gamoyenebuli. (iqneba gamoyenebuli - composite predicate, future)

U.S. consumers will be hurt by higher prices of products using steel;

amerikel momxmareblebs daazaralebs im saqonlis fasebis gazrda, romelta dasamzadebladac foladi gamoiyeneba; (daazaralebs - future)

It will be returned to you with the registration numbers.

igi saregistracio nomrebtan ertad dagibrundebat. (dagibrundebat - future)

The forms of the English future simple tense have been translated into Georgian as: forms of future sometimes of active voice and as a composite predicate with the auxiliary verb in future of the I series.

Future perfect

Tomorrow morning I shall find my way to Coombe Tracey, and if I can see this Mrs. Laura Lyons, of equivocal reputation, a long step will have been made.

xval dilit ḡumb-tresiḡi gavemgzavrebi, da tu movaxerxe am metad saečvo reputaciis qalis, misis laionsis naxva, amit bevrad ḡaviḡevt ḡin. (ḡaviḡevt - future)

The letter will have been written by 5 o'clock

ḡerili 5 saatistvis daḡerili iqneba. (daḡerili iqneba - composite predicate, auxiliary verb in future of the I series)

The forms of the English future perfect tense have been translated into Georgian as: forms of future and as a composite predicate with the auxiliary verb in future.

Future in the past simple

It seems hard to imagine that Georgian society would be astonished.

titqos ḡneli iyo imis ḡarmodgena, rom qartveli sazogadoeba gaocdeboda. (gaocdeboda - conditional)

The neighborhood of the Colchians and Amazons would be known to Arrian from other historical sources as well.

ḡolxebisa da amazonta mezobloba arianesatvis sxva saistorio ḡyaroebidanac iqneboda cnobili. (iqneboda cnobili - composite predicate, conditional)

I believe that the lexeme “Amazon-[i]” is of Kartvelian origin and in it the prepositional “m” consonant would be rather lost in the Greek-speaking world.

migvačnia, rom leqsema „amazon-[i]“ tavis ḡarmoḡobit qartveluria da masḡi ḡinapoziciuri „m“ tanxmovani ufro berḡnulenovan samyaroḡi daiḡargeboda. (daiḡargeboda - conditional)

What additional employees would be needed?

ra profilis damatebiti muḡaḡebi dagčirdebodat aset ḡemtxvevaḡi? (dagčirdebodat - conditional)

He said that the letter would be written the next day

man tqva, rom ḡerili daiḡereboda momdevno dyes – (daiḡereboda – conditional)

The forms of the English future in the past simple tense have been translated into Georgian as: forms of conditional and as a composite predicate with the auxiliary verb in conditional.

Future in the past perfect

For instance, had we broken our heads open, we would have been told:

magalitat, tavi rom gagvetexa, gvetyodnen: (gvetyodnen - conditional)

It is difficult to believe that the Kipchaks and French Crusaders would have been entrusted with this most important military operation.

ḡnelad dasaḡerebelia yivčayebisatvis da frangi ḡvarosnebisatvis miendot davit aymaḡeneblis mier siymiseulad čafiqrebuli es didmniḡvnelovani samxedro operacia. (miendot - II resultative)

If a Georgian had flayed a merchant alive then, nobody would have said a thing and nobody would have been surprised.

im dros rom qartvels vačari otxši amoeyo, vin ras etyoda, da an vis gaukvirdeboda? (gaukvirdeboda - conditional)

If Phrixos had died a little earlier, nobody would have been surprised and they might even have shrugged and thought nothing of it.

frigse cota ufro adre rom momkvdariyo, aravis gaukvirdeboda, erti piroba yvelam xeli čaiqnia kidec. (gaukvitdeboda - conditional)

He said that the letter would have been written by 5 o'clock.

man tqva, rom ჯერილი 5 საათისთვის დაჯერილი იქნებოდა. (დაჯერილი იქნებოდა – composite predicate, auxiliary verb in conditional)

The forms of the English future in the past perfect tense have been translated into Georgian as: forms of conditional, II resultative and as a composite predicate with the auxiliary verb in conditional.

Based on the comparison of the forms, it is established that in accordance with the perfect of some European languages, resultative is used in Georgian [6]. As can be seen from the examples, the English present perfect is expressed in Georgian with the I resultative, and the past perfect – with the II resultative. At the same time, the forms produced by the principle of the perfect - I have written...- of European languages entered Georgian through ancient Greek and a similar production of the perfect appeared: dačერილი maqvs - damičeria; gagonili maqvs – gamigonia; nanaxi maqvs – minaxavs. Such types of passives are referred to as descriptive (periphrastic) forms, where the conjugation verb is presented as the participle and the production of the screeve is assigned to the auxiliary verb. In the examples we discussed, future perfect and future in the past perfect in Georgian are expressed in such forms. The use of descriptive passive in modern Georgian is gradually expanding.

Very often English passive constructions are translated into Georgian with active verb forms, because the Georgian passive form becomes artificial. For example: Nick was sent to London last week. If we translate this sentence in the passive form, we will get an artificial construction that is uncharacteristic for Georgian: niki gagzavnili iqna londonši gasul kviras

This sentence is better to translate like this: niki gaagzavnes londonši gasul kviras.

Also: Hockey is played in winter – hokeis zamtarši tamašoben (and not hokei zamtarši itamašeba). This bone will be given to my dog tomorrow – čem ჯაჲს ამ ჯვალს xval miscemen (and not čem ჯაჲს ეს ჯვალს xval miecema). Similar examples are:

I was told – me miambes,

I was shown – me mačvenes,

He was brought – is moiyvanes,

We were asked – čven gvkitxes,

We were answered – čven gvipasuxes,

We were sent – čven gagvagzavnes,

They were given – mat misces,

He was helped – mas daexmarnen,

She was suggested – mas určies,

He was forgotten – is daavičydat,

She was remembered – is gaixsenes,

We were invited - čven migvičvies,

We were corrected – čven gagviščores,

He was cured – mas umkurnales,

He was called – mas dauᲗaxes.

When translating such type of English passive constructions into Georgian language, as we can see, the grammatical form of the verb changes completely:

1. Georgian verb is active;
2. Instead of singular, we have plural form;
3. The agent - the executor of the action in the sentence is missing, unknown.

In the article, we tried to discuss the problems encountered when translating English passive verbs into Georgian which should be taken into account during automatic translation.

### ინგლისური პასიური ზმნის თარგმანის თავისებურებები

ნ. ამირეზაშვილი

რეზიუმე

სტატიაში შევეცადეთ განგვეხილა ის პრობლემები, რომლებიც გვხვდება ინგლისური პასიური ზმნების ქართულად თარგმნისას და რომლებიც გასათვალისწინებელია ავტომატური თარგმნისას.

საკითხი განხილულია მაგალითებზე, რომლებიც ამოღებულია ქართულ-ინგლისური კორპუსიდან corp.dict.ge.

როგორც განხილული მაგალითებიდან ჩანს, გარდა დროის ფორმების შესაბამისობისა, თარგმნისას ირღვევა გვარის შესაბამისობაც. ხშირად ინგლისური პასიური კონსტრუქციები ქართულად თარგმნისას აქტიური ზმნის ფორმებით ითარგმნება, რადგან კონკრეტულ შემთხვევებში ქართული პასიური ფორმა ხელოვნური გამოდის.

ამავე დროს, ქართულში მხოლოდითი რიცხვის ნაცვლად გვაქვს მრავლობითის ფორმა და წინადადებას აკლია აგენტი - მოქმედების შემსრულებელი რჩება უცნობი.

### Особенности перевода английского пассивного глагола

Н. Амirezашвили

Резюме

В статье мы попытались обсудить проблемы, возникающие при переводе английских пассивных глаголов на грузинский язык и которые следует учитывать при автоматическом переводе.

Вопрос обсуждается на примерах, взятых из грузино-английского корпуса corp.dict.ge.

Как видно из рассмотренных примеров, помимо соответствия форм времени, при переводе нарушается и соответствие залога. Английские пассивные конструкции часто

переводятся на грузинский активными глагольными формами, потому что в определенных случаях грузинские пассивные формы являются искусственными.

В грузинском переводе мы часто не имеем соответствующих английских пассивных форм. Вместо единственного числа мы имеем форму множественного числа и в то же время действующее лицо - исполнитель действия в предложении отсутствует, неизвестно.

#### ლიტერატურა – References – Литература

1. Van Valin et al. 1997. Co-author: R. J. La Polla. Syntax. Structure, Meaning and Function. Cambridge University Press.
2. Виноградов В. В. Русский язык. Грамматическое учение о слове. — М.: Учпедгиз, 1947
3. Iofik L.L., Chakhoyan L.P., Pospelova A.G. Readings in the theory of English grammar. - L., 1981. - p. 5-40.
4. პარალელური კორპუსი <https://corp.dict.ge/>
5. <http://geocorpora.gtu.ge/#/corpus>
6. ა. შანიძე ქართული ენის გრამატიკა. 1955

This work was supported by Shota Rustaveli National Science Foundation of Georgia (SRNSFG) under the grant FR-21-3509).

---

ქართული და ინგლისური ზედსართავი სახელების ფლექსიური და დერივაციული ფორმებისთვის საკლასიფიკაციო მახასიათებლების შეპირაპირება.

ნინო ამირეზაშვილი

[ninomaskh@yahoo.com](mailto:ninomaskh@yahoo.com)

## რეზიუმე

სტატიაში განხილულია ქართული ზედსართავი სახელებისათვის დამახასიათებელი გრამატიკული კატეგორიები და მათი მახასიათებლები, ნაჩვენებია ინგლისურისგან განსხვავებით, რა კატეგორიების მატარებელია ქართულის ფორმები და ინგლისურში არ არსებობის შემთხვევაში, რითი ხდება თარგმნისას ასეთი ფორმების კომპენსაცია.

ნაშრომში გამოყენებული საკლასიფიკაციო მახასიათებლები და მათი შესაბამისი მარკერები ეყრდნობა კოდირების საერთაშორისო სტანდარტს EAGLES (Expert Advisory Group on Language Engineering Standarts).

განხილული მაგალითები ამოღებულია ჩვენთვის ხელმისაწვდომ ქართულ-ინგლისური კორპუსიდან (corp.dict.ge).

## საკვანძო სიტყვები

შედარებითი ხარისხები, დერივატები, მარკერები

თანამედროვე ენათმეცნიერების ერთ-ერთ ძირითად საკითხს წარმოადგენს თარგმანთან დაკავშირებული პრობლემების შესწავლა. აქტიური გახდა ინგლისური ენიდან ქართულ, და პირიქით, ქართულიდან ინგლისურ ენაზე თარგმანი. შესაბამისად, ამ პროცესთან დაკავშირებული საკითხები განსაკუთრებული კვლევის ობიექტად გადაიქცა.

თარგმნისას გრამატიკული ფორმებისა და მნიშვნელობების გათვალისწინების პრობლემა ნაკლებად არის შესწავლილი და გამოკვლეული. უფრო მეტი ყურადღება ექცევა ლექსიკურ უზუსტობებს და შეუსაბამობებს. რაც შეეხება თარგმანში გრამატიკის როლს, თითქმის უყურადღებოდ არის დარჩენილი. თანამედროვე ლინგვისტიკის მიღწევებმა დაგვანახა, რომ სრულყოფილი, ადექვატური თარგმნის მიღწევა მხოლოდ ლექსიკისა და გრამატიკის ურთიერთმოქმედების გათვალისწინებითაა შესაძლებელი. გრამატიკა, როგორც წესების კრებული, სიტყვების ერთმანეთთან დასაკავშირებლად და წინადადებების სწორად ასაგებად ძალზე მნიშვნელოვან როლს თამაშობს.

თარგმნის პროცესი მოითხოვს ორივე ენის – ამოსავალი ენის და თარგმანის ენის კანონების ცოდნას და მათ ურთიერთშეფარდებით გაგებას. რამდენადაც განსხვავებული ენების გრამატიკული სისტემები ერთმანეთს არ ემთხვევა, გარკვეული გრამატიკული ფორმის ზუსტი გადმოცემა შეიძლება შეუძლებელი გახდეს. ზოგჯერ მთარგმნელი იძულებულია შესაბამისობა ეძებოს თარგმანის ენის სხვა დონეზე, რათა მოახდინოს ორი ენის გრამატიკებს შორის განსხვავების კომპენსაცია.

ნაშრომში გამოყენებული საკლასიფიკაციო მახასიათებლები და მათი შესაბამისი მარკერები ეყრდნობა კოდირების საერთაშორისო სტანდარტს EAGLES (Expert Advisory Group on Language Engineering Standarts) [1]. ეს სტანდარტი ლინგვისტური კვლევებისა და ტექნიკური პროგრამის ფარგლებში ევროპული კომისიის ინიციატივით, რომლის მიზანია სტანდარტების წარმოდგენა უზარმაზარი ტექსტური რესურსებისთვის, როგორცაა მაგალითად, კომპიუტერული ლექსიკონები, ტექსტური და სამეტყველო კორპუსები. მოცემულ სტატიაში განხილულია ქართული ზედსართავი სახელებისათვის დამახასიათებელი გრამატიკული კატეგორიები და მათი მახასიათებლები, ნაჩვენებია

ინგლისურისგან განსხვავებით, რა კატეგორიების მატარებელია ქართულის ფორმები და ინგლისურში არ არსებობის შემთხვევაში, რითი ხდება თარგმნისას ასეთი ფორმების კომპენსაცია.

„ზედსართავი ჰქვია ისეთ სიტყვას, რომელიც არსებითი სახელის რაიმე ნიშანს ასახელებს.“[2]

ზედსართავ სახელს ქართულში გრამატიკული კატეგორიებიდან გააჩნია რიცხვისა და ბრუნვის კატეგორია (მწვანეები, შავებმა და ა.შ.).

ზედსართავი შეიძლება იყოს ვითარებითი და მიმართებითი.

ვითარებითა პირველადი ზედსართავი სახელი: დიდი, თეთრი მწარე, გრძელი და ა.შ.

მიმართებითა ზედსართავი, თუ საგნის ნიშანი, რომელსაც ის გამოხატავს, სხვა საგანთან მიმართებით არის ნაგულისხმევი: ხავსიანი, უქუდო, მხეცური, გუშინდელი და ა.შ.

ვითარებითი ზედსართავ სახელს ქართულში გააჩნია შედარებითი ხარისხები: ამოსავალი ფორმა დადებითი (დიდი), შედარებით მასზე მეტი - უფროობითი (უდიდესი) და მასზე ნაკლები - ოდნაობითი (მოდიდო). უფროობითის და ოდნაობითის ფორმებს თავ-თავისი მაწარმოებლები აქვს: უ--ეს და მო--ო.

ზედსართავი სახელების ფლექსიური და დერივატიული ფორმებისთვის გამოყოფილია საკლასიფიკაციო მახასიათებლები და მათი შესაბამისი მარკერები:

- ზედსართავი სახელი A - წითელი;
- რიცხვი მხოლობითი Sg - წითელი;
- რიცხვი მრავლობითი Pl - წითლები;
- ბრუნვა სახელობითი Nom - წითელი;
- ბრუნვა მოთხრობითი Erg - წითელმა;
- ბრუნვა მიცემითი Dat - წითელს;
- ბრუნვა ნათესაობითი Gen - წითლის;
- ბრუნვა მოქმედებითი Inst - წითლით;
- ბრუნვა ვითარებითი Ad - წითლად;
- ბრუნვა წოდებითი Voc - წითელო;
- ვითარებითი Bas - დიდი, ლამაზი, მაღალი;
- მიმართებითი (მაწარმოები) Derivative Der - უძლური, სიმბოლური, ჭუჭყიანი;
- ოდნაობითი Inferior Inf - მოწითელო, მოგრძო, მოდიდო;
- უფროობითი Sup - უდიდესი, უშავესი, უმწარესი;
- ქონების Possessive Pos - ხავსიანი, ცხენიანი, დანიანი;
- უქონლობის Non-possessive Npos - უკაცო, უქუდო, უგუნური;
- უარყოფითი Negative Neg - არაზუსტი, არაფორმალური, არაადამიანური.

განსხვავებული სურათი გვაქვს ინგლისურში. აქ არ გვაქვს ბრუნვები. აქაც გვაქვს ზედსართავისათვის სამი ძირითადი ფორმა, მხოლოდ განსხვავებული ხასიათის:

დადებითი (the positive Degree – long), მეტი თვისების აღსანიშნავად აქ გვაქვს ორი ფორმა შედარებითი (the Comparative Degree - longer) და აღმატებითი (the Superlative Degree-longest).

ინგლისურშიც გვაქვს სუფიქსებით ნაწარმოები დერივატიული ზედსართავები [3]:

- suffix (-y) - healthy, holy, leafy, heavy, shady
- suffix (-al) - traditional, local, natural, logical, economical, critical
- suffix (-ful) - hopeful, stressful, beautiful, meaningful, useful, helpful.
- suffix (-less) - hopeless, useless, meaningless, careless
- suffix (-ar) - popular, similar,
- suffix (-ary) - literary, ...
- suffix (-ic) - climatic,...
- suffix (-ish) - childish,...
- suffix (-ous) - marvelous,...
- suffix (-ent) - convenient, ...
- suffix (-ive) - active, ....
- suffix (-en) - wooden, ...

suffix (-ed) - learned, tired,....

suffix (-ing) - interesting, ...

suffix (-ly) - friendly, ugly,

გამოყოფილია ინგლისური ზედსართავის საკლასიფიკაციო მახასიათებლების შესაბამისი მარკერები:

დადებითი positive Pos – long

შედარებითი comparative Com – longer

აღმატებითი superlative Sup – the longest

დერივაციული derivative Der - reddish

ვნახოთ თითოეული ტიპის ქართული ზედსართავი სახელი თუ როგორ ითარგმნა ინგლისურად. განხილული მაგალითები ამოღებულია ჩვენთვის ხელმისაწვდომ ქართულ-ინგლისური კორპუსიდან (corp.dict.ge).

ითარგმნელი ასევე მნიშვნელოვნად მიიჩნევს ფერთა სიმბოლიკას - შავი, წითელი და თეთრი, რომლებიც ქართულ ზღაპრებში ხან მთების, ხან კლდეების, ხან რაშების შეფერილობაა. (ვითარებითი ზედსართავები, მხოლოდითი რიცხვი, სახელობითი ბრუნვა - A Bas Sg Nom)

The translator highlights the symbolism of colors - black, red and white - as most important colors of mountains, cliffs and horses in Georgian folktales. (A Pos).

შორს, ლაჟვარდისფერ ბურუსში, წითელმა კრამიტმა გაიჭიატა. (ვითარებითი ზედსართავი, მხოლოდითი რიცხვი, მოთხრობითი ბრუნვა - A Bas Sg Erg)

Far off, in the blue and rosy mist, the red roof tiles glimmered. (A Pos).

ირგვლივ საზარელი მოჩვენებები დაძრწოდნენ, დაშლიდნოდნენ, წითელ თვალებს აბრიალებდნენ, ჩურჩულებდნენ, ფაჩუნობდნენ, კიოდნენ და ხარხარებდნენ. (ვითარებითი ზედსართავი, მხოლოდითი რიცხვი, მიცემითი ბრუნვა - A Bas Sg Dat).

Horrific ghosts prowled all round, rustled in the undergrowth, flashed their red eyes, whispered, clattered about, wailing and guffawing. (A Pos).

ჯანმრთელ ახალშობილ ბავშვთა წითელი სისხლის საშუალო მაჩვენებლები საქართველოში. (ვითარებითი ზედსართავი, მხოლოდითი რიცხვი, ნათესაობითი ბრუნვა - A Bas Sg Gen)

The average indices of red blood cell count in healthy neonates in Georgia. (A Pos).

წითელი ფერთაა მითითებული ინტერნეტში წიგნის შეძენის მსურველთათვის. (ვითარებითი ზედსართავი, მხოლოდითი რიცხვი, მოქმედებითი ბრუნვა - A Bas Sg Inst)

- this is a reminder in red letters in the Internet for those who wish to buy the book. (A Pos).

როგორც მაგალითებიდან ჩანს, ქართული ვითარებითი ზედსართავის ყველა ბრუნვის ფორმას თარგმანში ინგლისურის მხოლოდ ერთი გრამატიკული ფორმა შეესაბამა, რაც შეეხება ინგლისურში of და in თანდებულებს, ისინი შესაბამის არსებით სახელებთან არიან დაკავშირებული. (of blood, in letters)

განვიხილოთ ვითარებითი ზედსართავი სახელის შედარებითი ხარისხის ფორმების შემცველი მაგალითები:

ლესლის დატოვებულ ბურბუმელასა და ნახერხის ბილიკებს ახლა ლამაზი, მოვარდისფრო ნაფეხურები გადაეხლართა. მოვარდისფრო (ვითარებითი ზედსართავი, ოდნაობითი, მხოლოდითი რიცხვი, სახელობითი ბრუნვა - A Bas Inf Sg Nom)

Leslie's trails of sawdust and shaving through the house were now interwoven with a striking pattern of pink footprints. (A Pos).

როდესაც ამოვიდა აბაზანაში მოვარდისფრო წყალი იდგა ხოლო ფეხიდან შრატში გახსნილი ვარდისფერი სისხლის ნაკადი მოსდიოდა. მოვარდისფრო (ვითარებითი ზედსართავი, ოდნაობითი, მხოლოდითი რიცხვი, სახელობითი ბრუნვა - A Bas Inf Sg Nom)

When he climbed out of the tub the water was a pale pink and the holes in his leg were still leaking a pale blood dilute with serum. (A Pos).



აღმოჩნდა, რომ ვარდისფერი, ლიმონისფერი, აგურისფერი, ლურჯი, იისფერი, მომწვანო, მოვარდისფრო - იისფერი, მოცისფრო - იისფერი, მოყვითალო - იისფერი ფლუორესცენციის მქონე უფერული ნივთიერებების შემცველობის მიხედვით ფოთლები, სხვადასხვა წლოვანების ქერქი და მერქანი განსხვავდება ერთმანეთისაგან.

The leaves, uneven – aged bark and wood proved to differ from each other as to their content of colourless substances with rose, lemon – yellow, brick – yellow, dark – blue, violet, greenish, rose – violet, bluish – violet, yellow – violet fluorescence.

მომწვანო (ვითარებითი ზედსართავი, ოდნაობითი, მხოლოდითი რიცხვი, სახელობითი ბრუნვა - A Bas Inf Sg Nom) – greenish (A Der)

მოვარდისფრო (ვითარებითი ზედსართავი, ოდნაობითი, მხოლოდითი რიცხვი, სახელობითი ბრუნვა - A Bas Inf Sg Nom) – rose (A Pos)

მოცისფრო (ვითარებითი ზედსართავი, ოდნაობითი, მხოლოდითი რიცხვი, სახელობითი ბრუნვა - A Bas Inf Sg Nom) – bluish (A Der)

მოყვითალო (ვითარებითი ზედსართავი, ოდნაობითი, მხოლოდითი რიცხვი, სახელობითი ბრუნვა - A Bas Inf Sg Nom) – yellow (A Pos)

როგორც მაგალითებიდან ჩანს, სიტყვა „მოვარდისფრო“ სამნაირად ითარგმნა: rose, pink და pale pink. საინტერესოა ინგლისური ფორმები: greenish, bluish, რომლებიც ნაწარმოებია დადებით (positive Degree) ფორმაზე -ish სუფიქსის დართვით. (-ish is added to adjectives to form adjectives which indicate that someone or something has a quality to a small extent. oldish; reddish; sweetish [2]).

რაც შეეხება ქართულის უფროობითის ფორმებს, მათ ინგლისურის Superlative-ის ფორმები შეესაბამება. ინგლისური Superlative-ის ფორმები იწარმოება დადებითის ფორმაზე -est სუფიქსის დართვით (long – the longest), თუ სიტყვა ერთ ან ორმარცვლიანია, ხოლო თუ უფრო გრძელია, მაშინ ემატება most (the most interesting).

განვიხილოთ მაგალითები:

გალაკტიონ ტაბიძე (1891-1959) უდიდესი ქართველი ლირიკოსია. (ვითარებითი ზედსართავი, უფროობითი, მხოლოდითი რიცხვი, სახელობითი ბრუნვა - A Bas Sup Sg Nom)

Galaktion Tabidze (1891-1959) is the greatest Georgian lyricist. (A Sup)

ახლა კი ლიპ-ლიპი მისი ძალი იყო და მასზე ჯავრი იმით იყარა, რომ იგი უგრძესი თოკის ბოლოს გამოაბა. (ვითარებითი ზედსართავი, უფროობითი, მხოლოდითი რიცხვი, ნათესაობითი ბრუნვა - A Bas Sup Sg Gen)

But now Lip-lip was his dog, and he proceeded to wreak his vengeance on him by putting him at the end of the longest rope. (A Sup)

იგი კიროსის ერთ-ერთი თანამებრძოლის უერთგულესი მეუღლეა, რომელიც ომში გამირულად დაღუპული მეუღლის ცხედარზე თავს იკლავს. (მიმართებითი ზედსართავი, უფროობითი, მხოლოდითი რიცხვი, სახელობითი ბრუნვა - A Der Sup Sg Nom)

She is the most devoted wife of one of Cyrus' comrades-in-arms, committing suicide over the body of her husband who dies a hero's death in battle. (A Sup)

რაც შეეხება მიმართებით ზედსართავ სახელებს, ძირითადად იწარმოება არსებითი სახელებიდან სუფიქსების დართვით. როგორც ვთქვით, ისინი შედარებით ხარისხის ფორმებს არ აწარმოებს. ზოგიერთი მაწარმოებელი სუფიქსი მაგ., -იანი, შეიძლება დაერთოს უამრავი რაოდენობის არსებითებს, ამიტომ ლექსიკონებში ხშირად ასეთი ზედსართავების მხოლოდ ნაწილია შეტანილი. ასეთი ტიპის ზედსართავის მნიშვნელობა თუ არ არის ლექსიკონში შეტანილი, ხშირად მანქანური თარგმნის დროს, ვდებულობთ აბსურდულ თარგმანს. მაგ., ცხენიანი კაცი Google translate-მა თარგმნა, როგორც horse man - ცხენის კაცი. გამართულ ინგლისურ თარგმანებში მიმართებითი ზედსართავები უმეტესად თანდებულების დართვით, ზოგჯერ კი მთელი წინადადებით ითარგმნება და მხოლოდ ერთი სიტყვით არ შემოიფარგლება. სწორედ ამიტომ, თარგმანის გაუმჯობესების მიზნით, დავამატეთ ქონების, უქონლობის და უარყოფითი მიმართებითი ზედსართავის მარკერები (Pos. Npos, Neg).

მიმართებითი ზედსართავის მაგალითებია:

რატომ სწორედ ანტიკური ეპოქის? (მიმართებითი, მხოლოებითი რიცხვი, ნათესაობითი ბრუნვა - A Der Sg Gen)

Why precisely of the classical period? (A Der)

ამას მოწმობს ახალი წელთაღრიცხვის V საუკუნეში შედგენილი ანონიმური ისტორიული წყარო „პონტუს პერიპლუსი“. (მიმართებითი, მხოლოებითი რიცხვი, სახელობითი ბრუნვა - A Der Sg Nom)

It was evidenced by a 5th cent. A.D. anonymous historical source Pontus Periplus. (A Der)

ინგლისურში არსებითი სახელი, რომელიც მეორე არსებითი სახელის წინ იხმარება გვევლინება ზედსართავი სახელის როლში, ანუ განმარტავს მის მომდევნო სახელს. მაგ., garden vegetables - ბაღის ბოსტნეული, ხოლო a vegetable garden - ბოსტნეულის ბაღი. მზგავსი მაგალითია:

ადამიანური განვითარებისეული მიდგომა. (მიმართებითი, მხოლოებითი რიცხვი, ნათესაობითი ბრუნვა - A Der Sg Gen)

Human development approach.

ქონების გამომხატველი მიმართებითი ზედსართავი სახელების თარგმნის მაგალითებია:

ჯიმ, შენ ბალნიანი მკლავები და მკერდი გაქვს?(მიმართებითი, ქონების, მხოლოებითი რიცხვი, სახელობითი ბრუნვა - A Der Pos Sg Nom)

Have you got hairy arms and a hairy breast, Jim? (A Der)

მხოლოდ ის დაინახა, როგორ აუღ-ჩაუდიოდა გულმკერდი სუნთქვისას, ოხვრას რომ წაგავდა, ბეჭდიანი ხელი კი ბალახში ეგდო, თითქოს უნდა რაღაც დამალოს – ისეთი ძვირფასი ან ისეთი მტკივნეული, რომ მასზე ლაპარაკიც არ უნდაო. (მიმართებითი, ქონების, მხოლოებითი რიცხვი, სახელობითი ბრუნვა - A Der Pos Sg Nom)

She only saw his chest rise and fall, with a long breath that might have been a sigh, and the hand that wore the ring nestled down into the grass, as if to hide something too precious or too tender to be spoken of. (თარგმანი მთელი ფრაზით არის გადმოცემული)

აქვე, შორიხლო, ერთ სახლში ვიღაც საწყალი, ჩვილბავშვიანი ქალია. (მიმართებითი, ქონების, მხოლოებითი რიცხვი, სახელობითი ბრუნვა - A Der Pos Sg Nom)

Not far away from here lies a poor woman with a little newborn baby. (preposition “with” + Noun)

რაც შეეხება შედეგების კონტროლს, აქ მედისონი უფრო იმედიანი გახლდათ. (მიმართებითი, ქონების, მხოლოებითი რიცხვი, სახელობითი ბრუნვა - A Der Pos Sg Nom)

As for the outcome, Madison was more hopeful of the control thereof. (A Der)

აჭარის ხელისუფალთა მხრიდან მოწადინების სრული არარსებობა, უზრუნველყოთ ამ რაიონში აზრიანი დემოკრატიული არჩევნების ჩასატარებლად საკმარისი პირობები, კვლავაც რჩებოდა შემფოთების საგნად. (მიმართებითი, ქონების, მხოლოებითი რიცხვი, ნათესაობითი ბრუნვა - A Der Pos Sg Gen)

The complete lack of commitment by the authorities of Adjara to guarantee sufficient conditions for the conduct of a meaningful democratic election in that area remained a concern. (A Der)

ქონების გამომხატველი ზედსართავები, რომლებიც ქართულში ერთსიტყვიანია, ინგლისურში ხშირად მთელი წინადადებით ითარგმნება, ზოგჯერ დაერთვის თანდებული with და ზოგჯერ კი -ful სუფიქსით ნაწარმოები ფორმებით გადმოიცემა.

ბეჭდიანი - the hand that wore the ring (ხელი, რომელიც ბეჭედს ატარებდა)

ბავშვიანი ქალი - woman with a baby

იმედიანი - hopeful

აზრიანი - meaningful

უქონლობის გამომხატველი მიმართებითი ზედსართავი სახელების თარგმნის მაგალითებია:

გათენდებოდა თუ არა, უქუდო, ფეხშიშველა გავრბოდი მწყემსებისაკენ და დაღამებამდე იქა ვრჩებოდი. (მიმართებითი, უქონლობის, მხოლოდითი რიცხვი, სახელობითი ბრუნვა - A Der Npos Sg Nom)

As soon as dawn broke, wearing neither hat nor shoes, I would run off to the shepherds and stay there until nightfall. (ფრაზა - არ ატარებდა ქუდს)

სტრაბონს არც „უკაცვლ“ საზოგადოებისა და არც ქალთა მეომრობისა არ სჯერა! (მიმართებითი, უქონლობის, მხოლოდითი რიცხვი, ნათესაობითი ბრუნვა - A Der Npos Sg Gen)

Trabo does not believe either in "manless" society, or the women- warriors! (A Der)

უქონლობის გამომხატველი მიმართებითი ზედსართავი სახელები ხშირად -less სუფიქსით ნაწარმოები ფორმებით გადმოიცემა.

საერთოდ, ჯვაროსანთა მდგომარეობა უიმედო ხდებოდა. (მიმართებითი, უქონლობის, მხოლოდითი რიცხვი, სახელობითი ბრუნვა - A Der Npos Sg Nom)

In general, the situation of the crusaders was becoming hopeless (A Der)

მდინარის წყალი ამ უსარგებლო ძღვენს ატრიალებდა, აქუჩებდა, როგორც გამოცდილი ნაგაზი ფარას და მერე გაშლილი ზღვისკენ მიაქროლებდა. (მიმართებითი, უქონლობის, მხოლოდითი რიცხვი, ნათესაობითი ბრუნვა - A Der Npos Sg Gen)

The river water was swirling this useless offering, herding it as an experienced sheepdog herds a flock, and then rushing it off to the open sea. (A Der)

უარყოფითის გამომხატველი მიმართებითი ზედსართავი სახელების თარგმნის მაგალითებია:

ჩანაცვლებების არარეალისტური მოდელის შერჩევამ შეიძლება მიგვიყვანოს არაზუსტი ხის აგებამდე. (მიმართებითი, უარყოფითი, მხოლოდითი რიცხვი, ნათესაობითი ბრუნვა - A Der Neg Sg Gen)

Choosing an unrealistic substitution model may lead to an incorrect tree. (A Der)

არაზუსტი ცნობები მოხვდნენ საზღვარგარეთაც. (მიმართებითი, უარყოფითი, მხოლოდითი რიცხვი, სახელობითი ბრუნვა - A Der Neg Sg Nom)

Wrong information found its way abroad as well. (A Pos)

საკონტაქტო ძაბვები ზოლის არათანაბარი მოჭიმვისას წიბოზე გლინვის დროს. (მიმართებითი, უარყოფითი, მხოლოდითი რიცხვი, ნათესაობითი ბრუნვა - A Der Neg Sg Gen)

Contact stressed during an unequal draught of the strip in edging passes. (A Der)

მისი გულისათვის ფრანსუაზამ სწორედ არაბუნებრივ, გაუმართლებელი ნაბიჯი უნდა გადადგას. (მიმართებითი, უარყოფითი, მხოლოდითი რიცხვი, სახელობითი ბრუნვა - A Der Neg Sg Nom)

For his sake Françoise has to take an unnatural and unjustified step. (A Der)

მაგალითებიდან ჩანს, რომ ქართულის პრეფიქსი არა- ინგლისურში un- პრეფიქსით გამოიხატა.

განხილული მაგალითებიდან შეიძლება დავასკვნათ:

1. ქართული ვითარებითი ზედსართავის ყველა ბრუნვის ფორმას თარგმანში ინგლისურის მხოლოდ ერთი გრამატიკული ფორმა შეესაბამა, ზოგჯერ თანდებულების დამატებით;

2. ქართული ოდნაობითის ფორმები (მომწვანო) ინგლისურში ხშირად -ish სუფიქსის დართვით იწარმოება (greenish);

3. ინგლისურში არსებითი სახელი, რომელიც მეორე არსებითი სახელის წინ იხმარება გვევლინება ზედსართავი სახელის როლში, ანუ განმარტავს მის მომდევნო სახელს.

4. ქონების გამომხატველი ზედსართავები, რომლებიც ქართულში ერთსიტყვიანია, ინგლისურში ხშირად მთელი წინადადებით ითარგმნება, ზოგჯერ დაერთვის თანდებულებს with და ზოგჯერ კი -ful სუფიქსით ნაწარმოები ფორმებით გადმოიცემა.

5. უქონლობის გამომხატველი მიმართებითი ზედსართავი სახელები ხშირად -less სუფიქსით ნაწარმოები ფორმებით გადმოიცემა.

6. ქართულის პრეფიქსი არა- ინგლისურში un- პრეფიქსით გადმოიცა.

Comparison of classification features for inflectional and derivational forms of Georgian and English adjectives

N. Amirezashvili

In the article grammatical categories typical for Georgian adjectives and their characteristics have been discussed. It is shown the categories which are carried by the Georgian adjectives and, if they are not present in English, how such forms are compensated during translation.

The classification characteristics used in the paper and their corresponding markers are based on the international coding standard EAGLES (Expert Advisory Group on Language Engineering Standards).

The discussed examples are taken from the Georgian-English corpus available to us (corp.dict.ge).

Сравнение классификационных признаков флективных и словообразовательных форм грузинских и английских прилагательных.

Н. Амirezашвили

**Резюме**

В статье рассматриваются грамматические категории типичные для грузинских прилагательных. Показано, какие категории несут грузинские прилагательные и, если они отсутствуют в английском языке, как такие формы компенсируются при переводе.

Классификационные характеристики, используемые в статье, и соответствующие им маркеры основаны на международном стандарте кодирования EAGLES (Экспертная консультативная группа по стандартам языковой инженерии).

Обсуждаемые примеры взяты из доступного нам грузино-английского корп уса (corp.dict.ge).

ლიტერატურა – References – Литература

1. <http://www.ilc.cnr.it/EAGLES/home.html>.
2. აკ.შანიძე, ქართული ენის გრამატიკის საფუძვლები, თბილისი 1973, გვ. 39;
3. Collins English Dictionary;

ნაშრომი განხორციელდა შოთა რუსთაველის საქართველოს  
ეროვნული სამეცნიერო ფონდის მხარდაჭერით  
(გრანტი FR-21-3509)

---

## საძიებო ოპტიმიზაციის ალგორითმის შემუშავება და რეალიზაცია Angular Framework-ის საშუალებით

ავთანდილ ბარდაველიძე, გიორგი კაპანაძე, ხათუნა ბარდაველიძე

bardaveli54@mail.ru, giorgi.kapanadze@atsu.edu.ge, kh.bardavelidze@gmail.com

### რეზიუმე

ნაშრომი ეხება საძიებო ოპტიმიზაციის ალგორითმის შემუშავებას და მის ინტეგრაციას ინტერნეტ ბრაუზერებში. კერძოდ, წარმოდგენილია საძიებო ოპტიმიზაციის ეფექტური ალგორითმი, რომელიც რეალიზებულია კლიენტის მხარეს Angular Framework ტექნოლოგიის გამოყენებით. განხილულია პროგრამული კოდის მუშაობის ძირითადი პრინციპი. ნაჩვენებია ინტერნეტ სივრცეში ვებგვერდის ძიების შედეგი შემუშავებული პროგრამული კოდის მეშვეობით. კვლევის შედეგად მიღებული ალგორითმი და მისი რეალიზაცია მომხმარებლისთვის ძეზნის პროცესს ხდის ეფექტურს და მოქნილს, რაც გამოიხატება იმაში, რომ ხშირად ძიებადი ფრაზები ავტომატურად იქნება შეთავაზებული.

საკვანძო სიტყვები: საძიებო ოპტიმიზაცია, ალგორითმი, კლიენტის მხარე, ბრაუზერი.

საძიებო სისტემის ოპტიმიზაცია (SEO) არის პროცესი, რისი საშუალებითაც ჩვენს მიერ შექმნილი ვებგვერდი ხდება მეტად ხილვადი ინტერნეტ სივრცეში. რამოდენიმე წლის წინ SEO არც ისე პოპულარული იყო, ხოლო დღეს, როდესაც ტექნოლოგიები ვითარდება და ხდება ბიზნეს კონკურენცია, აუცილებელია ჩვენი ბიზნესი საძიებო სისტემებში იყოს ადვილად ძეზნადი სხვადასხვა სიტყვების კომბინაციით.

ინტერნეტ მომხმარებლები საძიებო სისტემაში კრეფენ ტექსტს, წინადადებებს და რაც პირველი შეხედებათ სწორედ ამ გვერდს ენდობიან. მისი საშუალებით შეგვიძლია თვალყური ვადევნოთ ჩვენს მიერ შექმნილ ვებგვერდს, ვნახოთ თუ ვინ ესტუმრა ჩვენს საიტს, თუ რა პროდუქციაზე ხდებოდა მოთხოვნა, რა პროდუქცია იყო მეტად პოპულარული ძიებაში და სხვა. ამის შემდეგ, შეგვიძლია გავაკეთოთ სტატისტიკა SEO-ზე დაკვირვებით და გადავანაწილოთ ბიზნეს ლოგიკა შესაბამის პროდუქციაზე, ასევე თვალი ვადევნოთ ჩვენი ბიზნესის ზრდას. რაც მეტად გაიზარდა SEO-ს აქტუალობა, მით მეტად აუცილებელი გახდა ჩვენს მიერ შექმნილი ვებგვერდის სწორი ოპტიმიზაცია და ტაქტიკა, თუ როგორ უნდა იყოს განლაგებული ძირითადი სიტყვები ჩვენს პროგრამულ კოდში. რამოდენიმე წლის წინ დიდი კონკურენცია იყო სხვადასხვა საძიებო სისტემაში, თუმცა დღესდღეისობით აქტუალურია საძიებო სისტემა Google. შესაბამისად ჩვენი მიზანია, რომ სწორედ აქ იყოს მეტად ძეზნადი ჩვენი ვებგვერდი.

SEO-ს შექმნის პირველ ეტაპზე, წესები სწრაფი და თავისუფალი იყო, თუმცა შემდეგ ჰაკერების მიერ მოხდა მათთვის ხელსაყრელი საკვანძო სიტყვებისა და მისამართების ჩაყრა საძიებო სისტემაში. Google-მა დაინახა შესაძლებლობა, გაეკეთებინა ისეთი რამ, რაც სხვა საძიებო სისტემებში არ იყო. მან დაიწყო მუშაობა ალგორითმის განახლებებზე. მას შემდეგ დღემდე, ასობით ალგორითმის ცვლილება განხორციელდა და SEO სწრაფად განვითარდა, რის გამოც მარკეტოლოგები აიძულეს მონახონ ალტერნატიული სტრატეგიები. SEO-ს ისტორია გვასწავლის, რომ SEO-ს მომავლისთვის მომზადების საუკეთესო გზა არის ალგორითმის შექმნა, ეს უნდა იყოს ეთიკური ოპტიმიზაციის ტექნიკის გამოყენება და შინაარსის გამოქვეყნება, რომელიც რეალურ ინფორმაციას ფლობს ვებგვერდის ვიზიტორებისთვის.

კვლევის მიზანია გამოვიყენოთ ზემოთ აღნიშნული მეთოდოლოგია და დავნერგოთ სიახლე, რომელიც ხშირად ძიებად მონაცემებს შეინახავს ბრაუზერის შიდა მეხსიერებაში და

ბრაუზერში შესვლის შემდეგ აკრებილი სიმბოლოების შესაბამისად მომხმარებელს შესთავაზებს მისთვის სასურველ ვებრესურსს. ანალიზის საფუძველზე დავადგინეთ, თუ როგორ მეგობრობს Google საძიებო სისტემა SEO-ს პრინციპებთან. შესაბამისად Javascript პროგრამული ენის გამოჩენის შემდეგ ამ ენაზე დაწერილი კოდი შესაძლებელია შეიცავდეს SEO-ს სწორ სტრატეგიას, რადგან Javascript-ი იყენებს სწორედ Google V8 ძრავს. V8 არის ღია კოდის JavaScript ძრავა, რომელიც შემუშავებულია Chromium Project-ის, შემდგომში Google Chrome-ის მიერ, ამიტომ ამ ენაზე დაწერილი სწორი კოდი ადვილად გასაგები უნდა იყოს ბრაუზერისთვის, რაც შემდგომში დაგვეხმარება SEO-ს ოპტიმიზაციაში.

დღესდღეობით არსებობს მრავალი Framework პლათფორმა და ბიბლიოთეკა, რომელიც დეველოპერს ეხმარება ააგოს უფრო რთული აპლიკაცია მეტად სწრაფად და მარტივად, ვიდრე ადრე, როგორებიცაა React, Angular, JQuery და სხვა [1-4]. ეს ყველაფერი 100%-ით შექმნილია Javascript-ზე. დეველოპერები სანამ ზემოთ ხსენებულ Framework-ებს გამოიყენებენ, აუცილებელია მათ სიღრმისეულად იცოდნენ Javascript-ი, ე.ი. აღნიშნული Framework-ებით დაწერილი კოდი ძალიან ახლოს არის SEO-ს პრინციპებთან.

SEO-ს გამოყენება ნაშრომში შეგვიძლია სხვადასხვანაირად. აღნიშნული Framework-ები გვთავაზობენ შესაბამის ბიბლიოთეკებს. მაგალითად, Angular-ი გვთავაზობს Angular Universal-ს, რომელიც ქმნის ჩვენს ვებგვერდს 89%-ით ძიებადს [5]. მას აქვს გარკვეული უპირატესობა, მაგალითად ის, რომ არის ძალიან ადვილად დაყენებადი და მუშაობს შემდეგი პრინციპით: კოდის გარკვეული ნაწილი მუშაობს სერვერის მხარეს და გარკვეული ნაწილი კლიენტის მხარეს. თუმცა, ეს მაჩვენებელი არ არის დამაკმაყოფილებელი და ხშირად აუცილებელია ვებგვერდი იყოს 100%-ით ძიებადი. ასეთ დროს გვიწევს, როგორც Angular Universal ბიბლიოთეკის დაყენება, ასევე კოდის ისე გადაკეთება, რომ მისმა უმეტესმა ნაწილმა იმუშაოს სერვერის მხარეს, რაც კოდს ხდის მარტივად წაკითხვადს საძიებო სისტემისათვის და შესაბამისად მარტივდება ვებგვერდის ძიება.

პროექტის შექმნის შემდეგ იქმნება ვებგვერდის ინდექსი, რომელსაც ქმნიან ე.წ. ბოტები და აწოდებენ საძიებო სისტემას, რომელიც იკვლევს ხშირად აკრებილ სიმბოლოების ინდექსს და გამოთვლითი ალგორითმებით გვიჩვენებს ჩვენს ვებგვერდს საძიებო სისტემაში.

ხშირად დეველოპერები მიმართავენ ვებგვერდის შექმნის მარტივ გზას WordPress საშუალებით, როდესაც არ არის აუცილებელი პროგრამული ენის კარგი ცოდნა და მათ ძირითად უწევთ გამზადებული დიზაინის და კონტენტის შეცვლა. თუმცა აქაც აუცილებელი ხდება SEO-ს გამოყენება და ასეთ დროს მათ ეხმარებათ Platinum SEO Pack Plugin-ი, რომელიც ავტომატურად აგენერირებს Meta თაგებს, რაც უზრუნველყოფს კონტენტის ინდექსირების პროცესის გამარტივებას საძიებო სისტემებისთვის [4-7].

ასევე არსებობს არაკეთილსინდისიერი გზები SEO-ს მაღალი ძიების მისაღწევად, რომლის დროსაც ხდება ყალბი ვებგვერდების გამოყენება, ძირითადი სიტყვებით მანიპულირება, ცარიელი კონტენტის შექმნა, რამაც შესაძლებელია დროებით გამოიწვიოს კარგი შედეგი, თუმცა შემდეგ საბოლოოდ დაკარგოთ თქვენი ვებგვერდი და ბიზნესიც. კეთილსინდისიერი გზებით დადებითი შედეგის მისაღწევად დიდი შრომაა საჭირო, ასეთ დროს ჩვენ უნდა გამოვიყენოთ ზემოთ ხსენებული გზები, რომლებიც არ გვპირდება ჩვენი ვებგვერდის 100% ძიების გარანტიას ან უნდა შევქმნათ შესაბამისი ალგორითმი.

ნაშრომში ამოცანის გადაჭრა ხდება Angular Framework-ზე ალგორითმის რეალიზებით, რომლის საშუალებითაც მომხმარებელისთვის ძიების პროცესი გახდება ეფექტური და მოქნილი, რაც გამოიხატება იმაში, რომ ალგორითმის ფუნქციონალის მიხედვით, ხშირად ძიებადი ფრაზები ავტომატურად იქნება შეთავაზებული.

Angular-ი გამოიყენება დიდი პროექტების შესაქმნელად, რომელიც შექმნილი არის თვით Google დეველოპერების მიერ, რაც SEO-ს გამოყენებაში თავიდანვე გვეხმარება, რადგან მას უკვე

აქვს ინტეგრირებული Google-ის არქიტექტურა. ამის შემდეგ ჩვენ შეგვიძლია შემოვიტანოთ Angular Universal-ი შესაბამისი ბრძანებით Visual Studio-ში: `ng add @nguniversal/express-engine`, რომლის შემდეგ ვიყენებთ ბრძანებას `npm run dev:ssr` და ვებგვერდის რენდერინგი ხდება სერვერის მხარეს, რასაც ბრაუზერი იმახსოვრებს და შემდეგი შესვლის დროს ბრაუზერში ავტომატურად გვთავაზობს ამ საიტს, თუმცა ის ძირითადი სიტყვები და კონტენტი ბოლომდე ძიებადი მაინც არ გახდება, ამისათვის საჭიროა ამოცანის გადაჭრა ალგორითმის შემოტანით.

ალგორითმის ძირითადი იდეა მდგომარეობს შემდეგში: ხშირად ძიებადი ფრაზები შევინახოთ ბრაუზერის შიდა მეხსიერებაში და მომხმარებლის ბრაუზერში შესვლის შემდეგ, მომხმარებელს შევთავაზოთ მისთვის საინტერესო ვებგვერდი.

ალგორითმის ეტაპები:

ეტაპი 1. მოვახდინოთ ბრაუზერის საძიებო ველში კლავიატურიდან აკრებილი სიმბოლოების ან სიმბოლოების ნაკრების ძებნა ბრაუზერის შიდა მეხსიერებაში.

ეტაპი 2. ბრაუზერის შიდა მეხსიერებაში პირველი ეტაპის შედეგად მოძიებული ფრაზები შევინახოთ მისთვის სპეციალურად შექმნილ მასივში Hash ცხრილის ობიექტის სახით.

ეტაპი 3. მეორე ეტაპზე განსაზღვრული მასივის საშუალებით ვიპოვოთ ყველაზე ხშირად ძიებადი საძიებო ფრაზები და გადავწეროთ ისინი ახალ მასივში, თუ ასეთი ფრაზები არ მეორდება ან არ არსებობს ახალ მასივში.

ეტაპი 4. მესამე ეტაპზე განსაზღვრული მასივი, რომელშიც მოცემულია ხშირად ძიებადი ფრაზები, რომლებიც არ მეორდება ან არ არის ბრაუზერის შიდა მეხსიერებაში - შევინახოთ ბრაუზერის შიდა მეხსიერებაში, იგივე localStorage-ში.

ეტაპი 5. ბრაუზერში ინახება ხშირად ძიებადი ფრაზა და შესაძლებელია მოვახდინოთ საძიებო ფრაზების შესაბამისი შედეგის გამოტანა.

პროგრამული კოდის რეალიზაცია მდგომარეობს შემდეგში:

1) `(keyup)="applyFilter()"`

2) `public applyFilter(): void {`

```
    if (this.searchKey=="") { // თუ პარამეტრი იქნება ცარიელი ფუნქცია წამოიღებს იგივე მონაცემებს
        this.getDataAfterFilter() // მონაცემების წამოღება ფილტრამდე }
    else { // წინააღმდეგ შემთხვევაში ფუნქციას გადაეცემა პარამეტრის მნიშვნელობა, რომელიც
```

API-ის გამოყენებით დამუშავდება სერვერის მხარეს და თუ იქნება შესაბამისი მნიშვნელობის ელემენტი დაგვიბრუნებს მნიშვნელობას ობიექტის სახით

```
        this.api.methodSearch({ FullName: this.searchKey }).subscribe((res) => {
            console.log("result", res) // შემდეგ ეს მნიშვნელობები უნდა შევინახოთ ცვლადში
            let id = res.id; // მნიშვნელობები უნდა მუშაობდეს ერთიან კონტექსტში
            let name = res.name })
    }
```

```
    }
}
Public ElementData = new array[];
this.ElementData.push({id:this.id, name:this.name});
```

3) `let NewArray = [];`

`ElementData.forEach((el, i) => { // ზემოთ მოცემული მასივის ელემენტებს და ინდექსებს გადავყვებით`

`ElementData.forEach((element, index) => { // გავატანთ არგუმენტად ისევ ელემენტს და ინდექსს`

```
        if (i === index) return null;
```

```

    if (element.name === el.name) { //თუ ელემენტის სახელი ემთხვევა არგუმენტის სახელს და
ახალ მასივში არ არის შესაბამისი ელემენტი ვსვამთ ახალ ელემენტს
        if (!NewArrays.includes(el)) NewArray.push(el);
    }
});
});
console.log("NewArray", NewArray) }

```

4) localStorage.setItem("NewArray ", JSON.stringify(array);

5) ngOnInit(): void {var SavedArray = localStorage.getItem(' NewArray'); }

უკვე გვაქვს მოცემული ხშირად მიეხადი ფრაზები, რომლის გამოტანაც შეგვიძლია HTML-ში <div>

```

<ng-container *ngFor="let item of SavedArray;"> //ngFor გამოიყენება მასივიდან ობიექტის
წასაკითხად
    <span>{{item.name}}</span>
</ng-container>
</div>

```

უკვე გვაქვს მომხმარებლის მიერ ხშირად მიეხადი ფრაზები, თუ რას ეძებს მომხმარებელი ბრაუზერში და ამის შემდეგ შეგვიძლია ხშირად აკრებილ ფრაზებს იმპორტირება გავუკეთოთ პროექტში Meta Tag-ის საშუალებით, რომელიც მენეჯმენტს უკეთებს ძირითად HTML კოდს და Title-ს, რაც დინამიურად ჩატვირთავს კონტენტს:

```
import { Meta, Title } from '@angular/platform-browser';
```

შემდეგ ძირითად App კომპონენტში ვქმნით seo.service.ts ფაილს, რომელშიც ვაკეთებთ SEO-ს მენეჯმენტს:

კონსტრუქტორში შექმნილია სერვისის აღწერა:

```

constructor(private seoservice: SeoService) {
    this.seoservice.setTags({
        title: 'Title', // იქმნება სათაური მიეხადისათვის
        titleSuffix: '- Title', // იქმნება სათაურის სუფიქსი
        description: 'description', // აღწერა
        keywords: 'Angular, React, Javascript, C++ , C# // ძირითადი სიტყვები, რომელიც გამოიყენება
მიეხადის დროს
    });
}

```

კოდის გაშვების შემდეგ ძირითად კომპონენტში ინიციალიზაციაზე მოხდება სათაურის შექმნა, რომლის მიეხადის დროს მოხდება კონტენტის განახლება და ჩაიტვირთება შესაბამისი გვერდი.

```

ngOnInit() {
    this.title.setTitle('კეთილი იყოს თქვენი შემოსვლა ჩვენს ვებგვერდზე!');
    this.meta.updateTag({
        name: 'description',
        content: 'კეთილი იყოს თქვენი შემოსვლა ჩვენს ვებგვერდზე! });

```

ძირითად კლასში აღწერთ ჩვენი ვებგვერდის მისამართს, რომელიც ადვილად მიეხადი უნდა იყოს მომხმარებლის მიერ: baseUrl: string = 'https://www.example.com/'

ასევე ვამატებთ, თუ რა უნდა იყოს მიეხადი:

```

this.meta.addTags([
    {name: 'daescription', content: 'როგორ მუშაობს SEO'},
    {name: 'author', content: 'გიორგი კაპანაძე'},

```



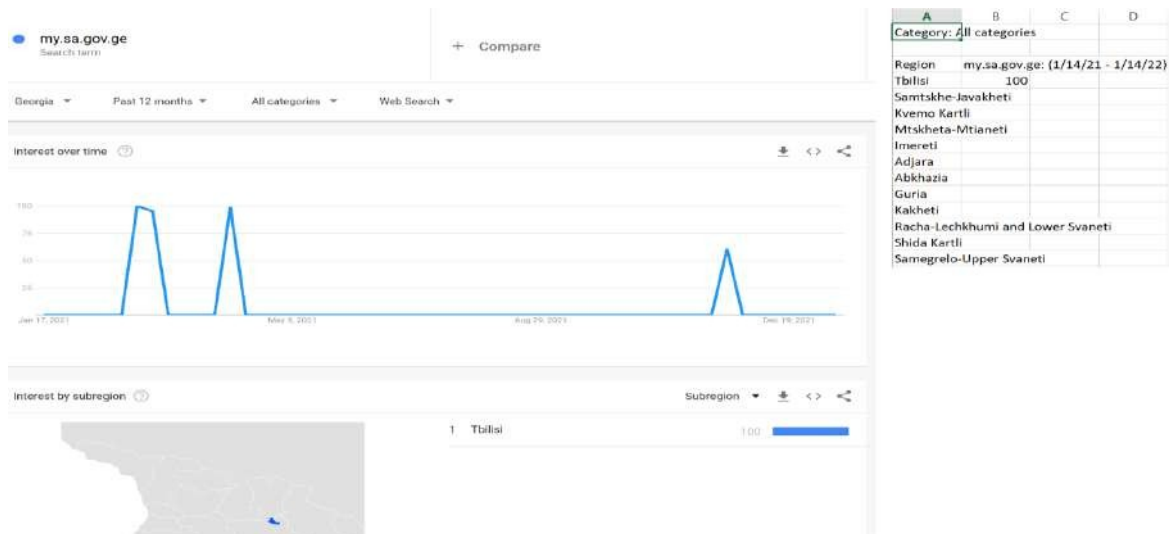
```
{name: 'keywords', content: 'ძირითადი, სიტყვების, ჩამონათვალი'}
});
```

ვაკეთებთ, თუ რა უნდა მოიძებნოს და ჩაიტვირთოს.

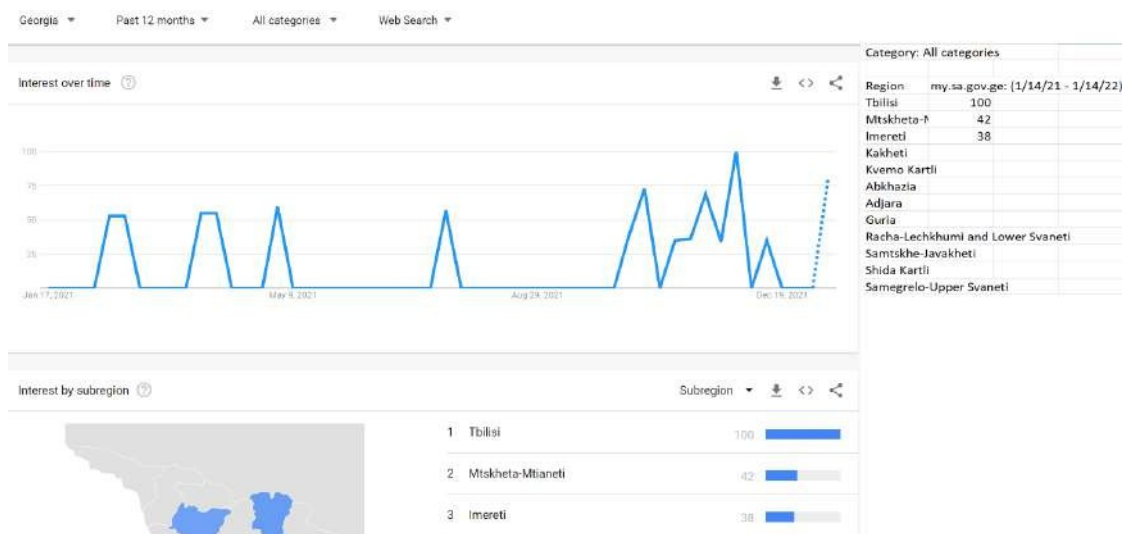
```
this.meta.updateTag({ name: 'description', content: "How Works Seo - updated" });
```

პროგრამული კოდის მუშაობის ძირითადი პრინციპი შემდეგია: პირველ ბიჯზე გამოვყოთ ის სიტყვები, სათაურები და აღწერები, რომელიც უნდა იყოს დაყენებული ძებნის დროს, შემდეგ ბიჯზე კი ხდება შესაბამისი კონტენტის ჩატვირთვა ბრაუზერში.

მივიღეთ, ბიბლიოთეკით შექმნილი SEO, Angular Universal-ის დახმარებით, ასევე ხელით შევქმენით ძებნის მექანიზმი. შედეგების გამოსახატად გამოყენებულია Google -ის მიერ ვებგვერდის ძებნის სტატისტიკა, ნახ. 1 და ნახ. 2- ზე წარმოდგენილია სხვაობა, თუ როგორი ძიებადი იყო ჩვენი ვებგვერდი ინტერნეტ სივრცეში და როგორ შეიცვალა მისი ძიება, ჩვენს მიერ დამატებული პროგრამული კოდის მეშვეობით.



ნახ. 1 ვებგვერდის ძებნის სტატისტიკა ინტერნეტ სივრცეში



ნახ. 2 ვებგვერდის ძებნის სტატისტიკა დამატებული პროგრამული კოდის შემდეგ

ნაშრომში გაანალიზებულია არსებული ვებტექნოლოგიით, როგორცაა Angular Universal-ი, სხვადასხვა მიდგომა საძიებო სისტემის დანერგვაში. კვლევის შედეგად მივიღეთ საძიებო ოპტიმიზაციის ალგორითმი, რომლის რეალიზაცია და ინტეგრაცია ინტერნეტ ბრაუზერში მოხდა Angular Framework-ის გამოყენებით, რომლის მეშვეობითაც ვგებულობთ მომხმარებლის მიერ ხშირად აკრებულ ფრაზებს და ბრაუზერში შესვლის შემდეგ ვთავაზობთ შესაბამის ვებგვერდს, ხოლო ვებგვერდზე შესვლის შემდეგ შესაბამის პროდუქციას.

## **Development and realization of search optimization algorithm using angular framework**

*Avtandil Bardavelidze, Giorgi Kapanadze, Khatuna Bardavelidze*

### **Summary**

The article is devoted to the development of the search optimization algorithm and its integration into internet browsers. In particular, an effective search optimization algorithm is presented, which is implemented on the client side using Angular Framework technology. The basic working principle of the program code is discussed. The result of a web page search on the internet is displayed by means of the developed program code. The algorithm obtained as a result of the research and its implementation make the search process efficient and flexible for the user, which is expressed in the fact that frequently searched phrases will be offered automatically.

## **Разработка и реализация алгоритма поисковой оптимизации с использованием angular framework**

*Автандил Бардавелидзе, Гиорги Капанадзе, Хатуна Бардавелидзе*

### **Резюме**

Статья посвящена разработке алгоритма поисковой оптимизации и его интеграции в интернет-браузеры. В частности, представлен эффективный алгоритм поисковой оптимизации, реализованный на стороне клиента с использованием технологии Angular Framework. Обсуждается основной принцип работы программного кода. Результат поиска веб-страницы в интернет-пространстве отображается посредством разработанного программного кода. Алгоритм, полученный в результате исследования и его реализация делает процесс поиска эффективным и гибким для пользователя, что выражается в том, что часто искомые фразы будут предлагаться автоматически.

## **ლიტერატურა – References – Литература**

1. Jerri L. Ledford. SEO: Search engine optimization bible (Vol. 584), Wiley, 2009, 507 pg.
2. Gudivada V. N. Understanding search-engine optimization. Computer, 2015, 48(10), 43-52.
3. Grappone J., Couzin G. Search Engine Optimization (SEO): An Hour a Day, John Wiley & Sons, 2011, 432 pg.
4. Veglis A., Giomelakis D. Search engine optimization. Future Internet 2020, 12(1), 6.
5. Jain A. The role and importance of search engine and search engine optimization. International Journal of emerging trends & technology in computer science, 2013, 2(3), pg.99-102.
6. Saks E. JavaScript Frameworks: Angular vs React vs Vue, Haaga-Helia, University of Applied Sciences, 2019, 43 pg.
7. Wilson P., SEO Fundamentals: <https://app.pluralsight.com/course-player?clipId=96470f2c-2b96-40ae-83a9-027e6fdf8618> (გადამოწმებულია 14.07.2022)

---

ჰიპერნაკადების პარალელური შესრულების დროის ანალიზი Open MP-ს  
პლატფორმის პარადიგმისათვის  
თენგიზ ბახტაძე, ირაკლი როდონაია  
[t.bakhtadze@gtu.ge](mailto:t.bakhtadze@gtu.ge); [i.rodonaia@gtu.ge](mailto:i.rodonaia@gtu.ge)

რეზიუმე

მოცემულ ნაშრომში განხილულია პარალელური დაპროგრამების კონცეფცია Open Mp-ის გარემოსათვის და მისი გამოყენება. გაანალიზებულია მრავალბირთვიანი არქიტექტურების სქემები. დადგენილია პირდაპირი კავშირი ლოგიკურ პროცესორებსა და ჰიპერნაკადურ ტექნოლოგიას შორის. დამუშავებულია და მოყვანილი 2 პროგრამა C++ -ზე Visual Studio(MS) 19 -ის Open Mp(Open Multi-Processing)-ს გარემოში ჰიპერნაკადების პარალელური შესრულების დროის ანალიზისათვის. მოყვანილია გამოთვლის შედეგები და მათი ანალიზი.

საკვანძო სიტყვები:

ჰიპერ ნაკადები, პარალელური დაპროგრამება, C++, Open MP.

პარალელური დაპროგრამება[1-5], ეს არის მრავალი რესურსის, ამ შემთხვევაში, პროცესორის(ბირთვის) გამოყენება პრობლემის გადასაჭრელად. ამ ტიპის დაპროგრამება იღებს პრობლემას, ანაწილებს მას მცირე ნაბიჯების სერიად, აწვდის ინსტრუქციებს და პროცესორები(მათ შორის ლოგიკური და ბირთვები) ასრულებენ გადაწყვეტილებებს ერთდროულად. ეს არის ასევე დაპროგრამების ფორმა, რომელიც გთავაზობთ იგივე შედეგებს, როგორც კონკურენტული დაპროგრამება, მაგრამ ნაკლებ დროში და მეტი ეფექტურობით. ბევრი კომპიუტერი, როგორცაა ლეპტოპები და პერსონალური დესკტოპები, იყენებს ამ დაპროგრამებას თავის აპარატურაში, რათა უზრუნველყოს ამოცანების სწრაფად დასრულება ფონურ რეჟიმში. ოპერაციული სისტემა პარალელური დაპროგრამების დიდ და კლასიკურ მაგალითს წარმოადგენს.

Visual C++ გთავაზობს შემდეგ ტექნოლოგიებს, რომლებიც ხელს გვიწყობს შევქმნათ მრავალნაკადიანი და პარალელური პროგრამები, რომლებიც ისარგებლებენ მრავალი ბირთვით და გამოიყენებენ GPU(Graphics processing unit)-ს ზოგადი დანიშნულების პროგრამირებისთვის.

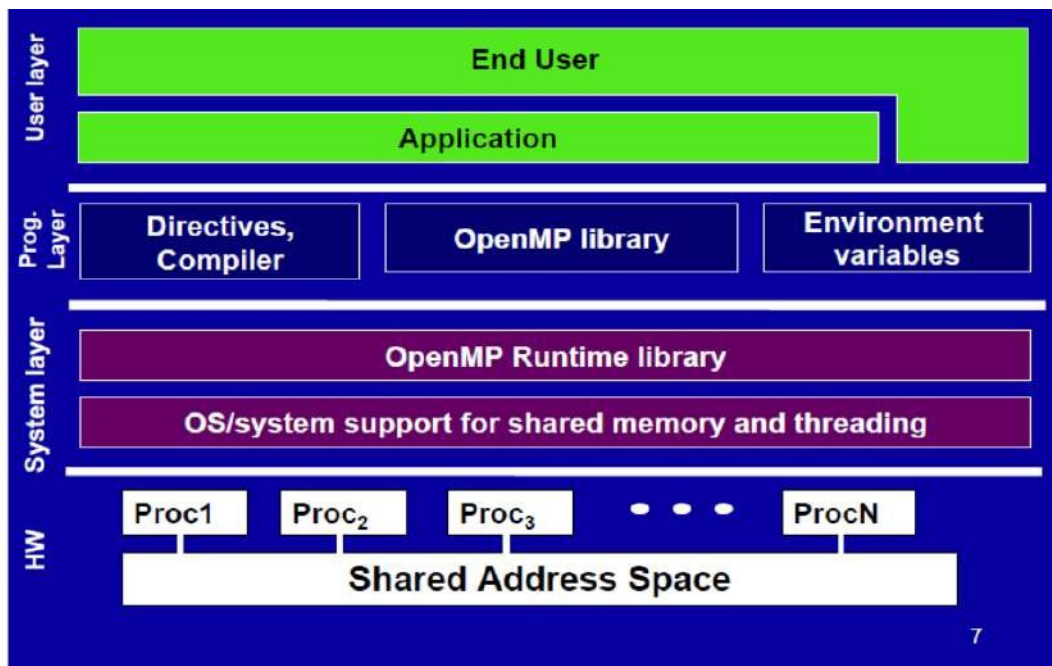
- I. ავტოპარალელიზაცია და ავტოვექტორიზაცია. კომპილირების ოპტიმიზაცია, რომელიც აჩქარებს კოდს.
- II. პარალელური შესრულების გარემო. კონკურენტული გაშვების დრო. კლასები, რომლებიც ამარტივებს პროგრამების დაწერას, რომლებიც იყენებენ მონაცემთა პარალელიზმს ან ამოცანების პარალელიზმს.
- III. C++ დაჩქარებული მასიური პარალელიზმი(AMP). კლასები, რომლებიც საშუალებას იძლევა გამოიყენონ თანამედროვე გრაფიკული პროცესორები ზოგადი დანიშნულების პროგრამირებისთვის.

IV. OpenMP C და C++ აპლიკაციის პროგრამის ინტერფეისი იძლევა საშუალებას დაწეროთ აპლიკაციები, რომლებიც ეფექტურად იყენებენ მრავალ პროცესორს. Visual C მხარს უჭერს OpenMP 4.0

ზემოჩამოთვლილი ტექნოლოგიებიდან ჩვენს კვლევაში ვიყენებთ მხოლოდ მეოთხე ვარიანტს. შევჩერდით OpenMP-ზე სამი მთავარი მიზეზის გამო:

1. არ თხოვლობს C++-ის ახალი კლასების შესწავლას;
2. აქვს მხარდაჭერა MS VS-ში;
3. პროგრამის პარალელურად გადაკეთებისათვის საკმარისია ჩავრთოთ კომპილატორის სათანადო რეჟიმი(ოფცია) და არსებულ პროგრამის ტექსტს დავამატოთ OpenMP-ს საჭირო დირექტივები.

ქვემოთ მოყვანილია OpenMP-ზოგადი სტრუქტურა.



ნახ. 1.

ნახ.1 ზე მოყვანილი სქემიდან იკვეთება 4 დონე ზემოდან ქვემოთ:

1. მომხმარებლის(ანუ ჩვენი)
2. პროგრამული
3. სისტემური
4. აპარატურული

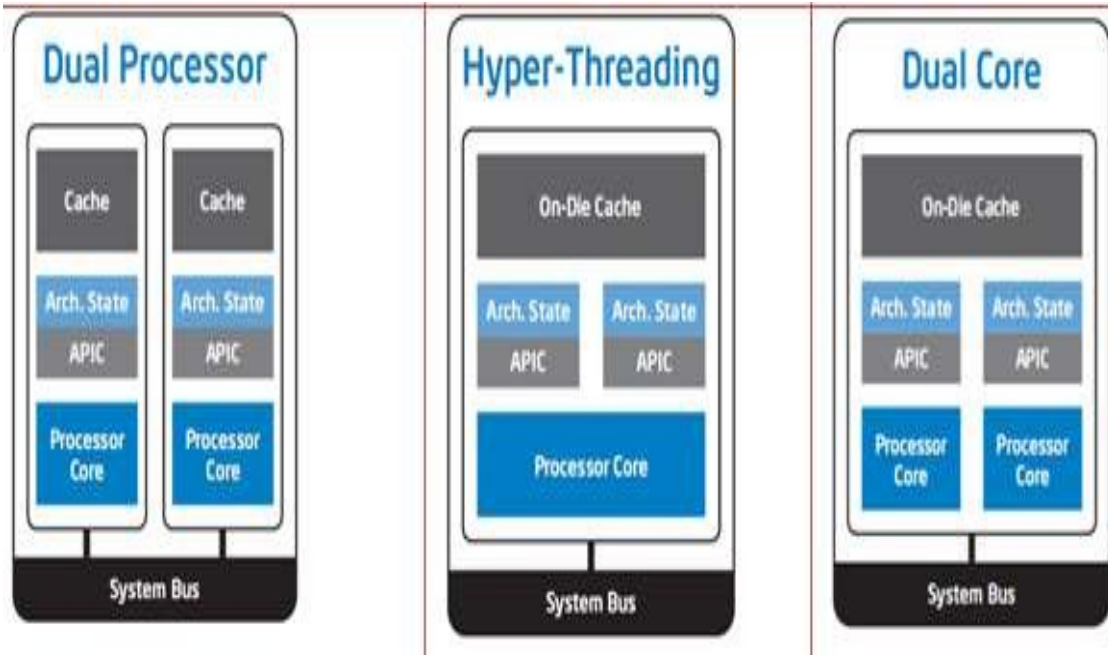
თავის მხვრივ ჰორიზონტალურად: მომხმარებლის დონე გულისხმობს ბოლო კლიენტს და შესაბამის აპლიკაციას(მაგალითა MS VS). პროგრამული დონე შედგება: კომპილატორის დირექტივებისაგან, Open MP-ს ბიბლიოთეკისაგან, და გარემოცვის

ცვლადებისაგან. სისტემური დონე შედგება Open MP-ს ბიბლიოთეკების სისტემური ნაწილისგან და ოპერაციული სისტემის იმ კომპონენტებისგან, რომლებიც უზრუნველყოფენ მრავალნაკადიანობას და მეხსიერების საზიარო გამოყენებას. აპარატურული ნაწილი შედგება პროცესორის ბირთვებისგან (ზოგიერთ სისტემებში ბირთვი თავის მხრივ ლოგიკური პროცესორებისგან) და საზიარო მეხსიერებისგან.

კვლევა ჩატარებულია „ლეფთოპ“ HP 250 I5 G3 -თვის. კომპიუტერის ბირთვების რაოდენობის გასარკვევად გამოყენებულია ღიალაკების კომბინაცია Win+R და ბრძანება msinfo32. კომპიუტერის პარამეტრების ჩამონათვლის მე-10 სტრიქონში: Processor Intel(R) Core(TM) i5-4210U CPU @ 1.70GHz, 2401 Mhz, 2 Core(s), 4 Logical Processor(s). ანუ კომპიუტერში გვაქვს 4 ლოგიკური პროცესორი.

ანუ ამ შემთხვევაში ერთდროულად 4 პარალელური ნაკადი შეიძლება სრულდებოდეს. ლოგიკური პროცესორი Windows-ის მიერ აღიქმება, როგორც პროცესორი და თითოეულ ლოგიკურ პროცესორს შეუძლია ერთდროულად შეასრულოს ინსტრუქციების საკუთარი ნაკადი, რომელსაც OS-ს შეუძლია, თავის მხრივ, მიაკუთვნოს სამუშაოს ერთდროული დამოუკიდებელი ერთეულები. Windows Server საშუალებას აძლევს თითოეულ ბირთვს გამოჩნდეს როგორც ლოგიკური პროცესორი, სერვერს, რომელსაც აქვს ორი ოთხბირთვიანი ფიზიკური პროცესორი, შეიძლება ჰქონდეს რვა ლოგიკური პროცესორი. ზოგიერთი პროცესორი მხარს უჭერს ტექნოლოგიას, რომელსაც ეწოდება სიმეტრიული მრავალინსტრუქციათა ნაკადიანი (რასაც Intel უწოდებს "ჰიპერთრედირებას"), რომელიც საშუალებას აძლევს ბირთვს ერთდროულად შეასრულოს ორი დამოუკიდებელი ინსტრუქციის ნაკადი. თუ ეს ტექნოლოგია აქ ჩართული იქნებოდა ზემოთნახსენები სერვერისათვის, შედეგი იქნებოდა 16 ლოგიკური პროცესორი.

მრავალპროცესორიანი(Dual Processor), ჰიპერ მრავალნაკადიანი(Hyper Treading) და მრავალბირთვიანი(Dual Core) არქიტექტურების უფრო ნათლად გასაგებათ ქვემოთ მოყვანილია შესაბამისი ნახაზები.



ნახ. 2.

როგორც ნახ. 2- დან ჩანს, ორ პროცესორიანი არქიტექტურის შემთხვევაში ე.წ. Cache (სწრაფი მეხსიერება) ბრძანების მდგომარეობის ბლოკი APIC (APIC ("Advanced Programmable Interrupt Controller") არის Intel-ის განახლებული სტანდარტი ძველი PIC-ისთვის. იგი გამოიყენება მრავალპროცესორულ სისტემებში და არის ყველა უახლესი Intel (და თავსებადი) პროცესორის განუყოფელი ნაწილი. APIC გამოიყენება წყვეტის დახვეწილი გადამისამართებისთვის და პროცესორებს შორის შეფერხებების გაგზავნისთვის.) და processor core პროცესორის ბირთვი(ძირითადად განკუთვნილია არითმეტიკულ ლოგიკური ოპერაციებისათვის) არის ცალ ცალკე. საერთოა მხოლოდ(System Bus) სისტემური სალტე. Hyper Treading შემთხვევაში საერთოა სწრაფი მეხსიერება და სისტემური სალტე. მრავალბირთვიანის შემთხვევაში საერთოა საერთოა სწრაფი მეხსიერება და სისტემური სალტე.

ქვემოთ მოყვანილია ორი გზით დემონსტრირებული ორი ფუნქციის პარალელური შესრულება ერთ პროგრამაში.

1. seqtion დირექტივით
2. for დირექტივით.

```
#include <windows.h>
#include <math.h>
#include <stdlib.h>
int counter = 0;
int f1() {
    int tid = omp_get_thread_num();
    printf("Thread %d in function f1.\n", tid);
    Sleep(rand() % 10); //დაყოვნება შემთხვევითი დროით მილიწამებში
    return 1;
}

int f2() {
    int tid = omp_get_thread_num();
    printf("Thread %d in function f2.\n", tid);
    Sleep(rand() % 10);
    return 2;
}

++counter;
```



```

printf("using sections elapsetTime = %f\n", elapseTFinish-elapsetStart);
printf("section parallel time = %f\n", min(finish1, finish2) - max(start1, start2));
printf("using sections Answer = %d\n", answer);
answer = 0;
elapsetStart = omp_get_wtime();
#pragma omp parallel for num_threads(2) reduction(+:answer) default(none)
//schedule(static,1)
for (int i = 0; i < 2; i++) {
    if (omp_get_thread_num() == 0)
    {
        start1 = omp_get_wtime();
        answer += f1();
        finish1 = omp_get_wtime();
    }
    if (omp_get_thread_num() == 1)
    {
        start2 = omp_get_wtime();
        answer += f2();
        finish2 = omp_get_wtime();}
    elapseTFinish = omp_get_wtime();

    printf("using for parallel time elapsetTime = %f\n", elapseTFinish - elapsetStart);//პარალელური
ბლოკის მთლიანი დრო
    printf("using for parallel time = %f\n", min(finish1, finish2) - max(start1, start2));// პარალელური
შესრულების დრო
    printf("parallel for Answer = %d\n", answer);// პასუხი
return 0;}
/*
start 1 thread=0 counter=01 num_threads=2 start1=706932.985937
Thread 0 in function f1.
start 2 thread=1 counter=02 num_threads=2 start2=706932.986036
Thread 1 in function f2.
finish 1 thread=0 counter=03 num_threads=2 finish1=706932.997959
finish 2 thread=1 counter=04 num_threads=2 finish2=706932.998047
using sections elapsetTime = 0.0130901
section parallel time = 0.011924
using sections Answer = 3
Thread 1 in function f2.
Thread 0 in function f1.
using for parallel time elapsetTime = 0.0146311
using for parallel time = 0.014559
parallel for Answer = 3
*/

```

ზემოთხსენილ ვრცელ მაგალითში განხილულია f1() და f2() ფუნქციების პარალელური გამოთვლა ორი გზით: 1. #pragma omp sections და 2. #pragma omp parallel for კონსტრუქციების გამოყენებით.

ერთდროული შესრულების დროის გამოსათვლელად გამოიყენება ფორმულა:  $\min(\text{finish1}, \text{finish2}) - \max(\text{start1}, \text{start2})$ , სადაც start1, start2, finish1, finish2 არის პირველი და მეორე ფუნქციების შესრულების დაწყების დასრულების დროები შესაბამისად. თითოეული შემთხვევისათვის გამოთვლილია როგორც მთლიანი დრო, ასევე ის დრო, როცა ორივე ფუნქცია პარალელურად გამოითვლებოდა. ფუნქციის დაყოვნების დრო დამოკიდებულია შემთხვევით სიდიდეზე და შემოტანილია ხელოვნურად, იმის გამო, რომ



უფრო თვალსაჩინო გამხდარიყო დროითი პარამეტრები ამ პატარა მაგალითისათვის. Printf-ის გამოყენება COUT-ის მაგივრად იძულებითი ნაბიჯია პარალელურ არეში, ვინაიდან COUT-ი არათანმიმდევრულად ბეჭდავს მონაცემებს პარალელურ რეგიონში. ფორმატის სპეციფიკატორები გამოიყენება C-ში შეყვანისა და გამოყვანის მიზნებისთვის. ამ კონცეფციის გამოყენებით კომპილატორს შეუძლია გაიგოს, თუ რა ტიპის მონაცემებია ცვლადში შეყვანისას scanf() ფუნქციის გამოყენებით და ბეჭდვისას printf() ფუნქციის გამოყენებით. აქ არის ფორმატის დამახასიათებელთა სია.

განვიხილოთ ზემოდან ფუნქციით შემოსაზღვრული ნაკვეთის ფართობის გამოთვლა(განსაზღვრული ინტეგრალის გამოთვლა რიცხვითი მეთოდით, მართკუთხედების ჯამი)

პროგრამა:

```
#include <omp.h>
#include <iostream>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <time.h>
#include <math.h>
using namespace std;
int main()
{
    float down = 1, up = 100, dx, suma = 0;
    int steps = 550000, i, nthreads=11, tid=0;// ბიჯების ანუ მართკუთხედების და ნაკადების
(11)//რაოდენობა
    double long starttime, finishtime, runtime;
    dx = (up - down) / steps; //ბიჯის სიგრძე ან x-ის ნაზრდი
    for (int j = 1; j < nthreads; ++j)
    {
        suma = 0;

        starttime = omp_get_wtime();// ითვლის მიმდინარე დროს
#pragma omp parallel for private(i) num_threads(j) reduction(+:suma)
        for (i = 0; i < steps; i++) {

// აღადგინეს i-ე საფეხურის x-პოზიცია
float x = down + i * dx;
        // გამოითვლის ფუნქციას x-მნიშვნელობისათვის
float y = (3.0f * x * x + 1);
        // ამატებს მართკუთხედის ფართოს მთლიან ჯამს (ინტეგრალს)
        suma += y * dx;
    }
}
```

```

printf("For %d steps the area of the integral 3 * x^2 + 1 from %f to %f is: %f\n", steps, down,
up, suma);
    finishtime = omp_get_wtime();
    runtime = (finishtime - starttime);
    cout <<"j= " <<j<<" Runtime:" << runtime << endl;
}
return (0);
}

```

შედეგი:

```

For 550000 steps the area of the integral 3 * x^2 + 1 from 1.000000 to 100.000000 is: 1000076.812500
j= 1 Runtime:0.0194845
For 550000 steps the area of the integral 3 * x^2 + 1 from 1.000000 to 100.000000 is: 1000082.250000
j= 2 Runtime:0.0071731
For 550000 steps the area of the integral 3 * x^2 + 1 from 1.000000 to 100.000000 is: 1000080.062500
j= 3 Runtime:0.0049258
For 550000 steps the area of the integral 3 * x^2 + 1 from 1.000000 to 100.000000 is: 1000107.437500
j= 4 Runtime:0.0053797
For 550000 steps the area of the integral 3 * x^2 + 1 from 1.000000 to 100.000000 is: 1000099.500000
j= 5 Runtime:0.0053167
For 550000 steps the area of the integral 3 * x^2 + 1 from 1.000000 to 100.000000 is: 1000092.375000
j= 6 Runtime:0.0046483
For 550000 steps the area of the integral 3 * x^2 + 1 from 1.000000 to 100.000000 is: 1000097.500000
j= 7 Runtime:0.0051622
For 550000 steps the area of the integral 3 * x^2 + 1 from 1.000000 to 100.000000 is: 1000093.250000
j= 8 Runtime:0.0037087
For 550000 steps the area of the integral 3 * x^2 + 1 from 1.000000 to 100.000000 is: 1000096.687500
j= 9 Runtime:0.0047656
For 550000 steps the area of the integral 3 * x^2 + 1 from 1.000000 to 100.000000 is: 1000096.000000
j= 10 Runtime:0.0050457

```

ზემო მოყვანილ შედეგებში  $j$  ცვლადით აღნიშნულია ნაკადების რაოდენობა. როგორც მაგალითიდან ჩანს 8 ნაკადის შემთხვევაში ამოცანა უმოკლეს დროში იხსნება. ავლიშნოთ, რომ სხვადასხვა გაშვების დროს შედეგები ოდნავ განსხვავებული იქნება, ვინაიდან დამოკიდებულია კომპიუტერის მონაცემების მდგომარეობაზე. საბოლოო შედეგი არ არის დამოკიდებული ნაკადების რაოდენობაზე და დიდი სიზუსტით ერთნაირია. ერთი მილიონის შემთხვევაში 2 ან 3 ერთეულს მნიშვნელობა არ აქვს. წირის განტოლებაა:  $3 * x^2 + 1$  (პარაბოლა), შუალედში 1.0 მდე 100.0. ბიჯების რაოდენობაა 550000.`private(i)` -აცხადებს  $i$  ცვლადს ყველა ნაკადისთვის, როგორც კერძოს. Reduction ატრიბუტი განსაზღვრავს, რომ ერთი ან მეტი ცვლადი(რომელიც ჩამონათვალშია, ჩვენ შემთხვევაში მხოლოდ 1), რომლებიც კერძოა თითოეული ნაკადისათვის, არის დაყვანის(რედუქციის) ოპერაციის საგანი პარალელური რეგიონის ბოლოს.`reduction(+:suma)`- + ოპერაცია სრულდება `suma` ცვლადისთვის ყველა ნაკადის დასრულების შემდეგ.

Parallel Execution Time Analysis of Hyper Treading for the Open MP Platform Paradigm.

Tengiz Bakhtadze, Irakli Rodonay

Summary

This paper discusses the concept of parallel programming for the Open MP environment. Schemes of multi-core architectures are analyzed. A direct link between logic processors and hyper threading technology is established. 2 programs in C++ for the parallel execution time analysis of hyper streams in Open MP (Open Multi-Processing) environment of Visual Studio 19 have been developed and presented. Calculation results and their analysis are presented.

Параллельный анализ времени выполнения Гипер-Потоков для парадигмы платформы Openmp.

Тенгиз Бахтадзе, Ираклий Родоная

Резюме

В этой статье обсуждается концепция параллельного программирования для среды Open MP. Анализируются схемы многоядерных архитектур. Установлена прямая связь между логическими процессорами и технологией гиперпоточности. Разработаны и представлены 2 программы на C++ для параллельного анализа времени выполнения гиперпотоков в среде Open Mp (Open Multi-Processing) Visual Studio 19. Приведены результаты расчетов и их анализ.

ლიტერატურა - References – Литература

1. Rohit Chandra and others, Parallel Programming in OpenMP, Elsevier Science, 2000, ISBN 9780080513539.
2. Alina Kiessling, An Introduction to Parallel Programming with OpenMP, The University Of Edinburgh, April 2009.
3. <https://www.openmp.org/wp-content/uploads/omp-hands-on-SC08.pdf>
4. <https://www3.nd.edu/~zxu2/acms60212-40212/Lec-12-OpenMP.pdf>
5. <https://docs.microsoft.com/en-us/cpp/parallel/parallel-programming-in-visual-cpp?view=msvc-170>

---

## Speech-to-Text მონაცემთა ბაზა 112-ში

ნოდარ დარჩიაშვილი, ანა კობიაშვილი, მერი გეგეჭკორი

anakobia@hotmail.com, nodo619@gmail.com

### რეზიუმე

Speech-to-Text ტექნოლოგია ფართოდ დამკვიდრდა ისეთ დარგებში, როგორცაა მარკეტინგი, საბანკო საქმე და მედიცინა. მისი გამოყენება განსაკუთრებით აქტუალურია სატელეფონო ცენტრებში, სადაც ყოველდღიურად უამრავი ზარი შედის. მეტყველების ამოცნობის აპლიკაციებს შეუძლია გაზარდოს მარტივი ამოცანების ეფექტურობა და მნიშვნელოვნად გააფართოვოს იმ ამოცანების სპექტრი, რომლებსაც სატელეფონო ცენტრის ოპერატორები ასრულებენ.

საზოგადოებრივი უსაფრთხოების მართვის ცენტრის პროდუქტიულობის გაზრდის მიზნით 112-ში დაინერგა პროგრამული მოდული, რომლის მიზანია შემოსული ზარების ანალიზი, მათი გარდაქმნა ტექსტურ ფორმაში და ამ ტექსტის მოთავსება მონაცემთა ბაზაში. ოპერატორებს ზარის დასრულებისთანავე ეძლევათ საშუალება წაიკითხონ ზარის ტექსტი მისი შინაარსის უკეთ გასაგებად და შესაბამისი რეაგირების ხარისხის გასაუმჯობესებლად.

სტატიაში განხილულია მოდული, რომელიც შეიქმნა საზოგადოებრივი უსაფრთხოების მართვის ცენტრ 112-ში შემოსული ზარების ტექსტურ ფორმაში გარდაქმნისათვის. სერვისის არის C# დაპროგრამების ენის გამოყენებით შექმნილი .NET Core Web API აპლიკაცია. მასში Google-ის Speech სერვისთან კომუნიკაციისთვის გამოყენებულია NuGet პაკეტი. აღწერილია სისტემის კომპონენტები, მოცემულია შეტყობინების JSON ფორმა, განხილულია მონაცემთა ბაზის სტრუქტურა, მოცემულია მოდულის შესაბამისი პროგრამული კოდები.

აღნიშნული სისტემა საგრძნობლად ამარტივებს შემოსული ზარებიდან სხვადასხვა ინფორმაციის ამოღებას. ამისათვის საკმარისია მონაცემთა ბაზასთან სასურველი საკვანძო სიტყვების მოთხოვნის გაშვება, და სისტემა დაგვიბრუნებს ინფორმაციას იმის შესახებ, თუ რომელი ზარები შეიცავს მოცემულ ტექსტებს.

### საკვანძო სიტყვები:

მონაცემთა ბაზა, საუბრის ანალიტიკა, სატელეფონო ცენტრი, საუბრის ამომცნობი სისტემა, სატელეფონო ზარის ანალიზი

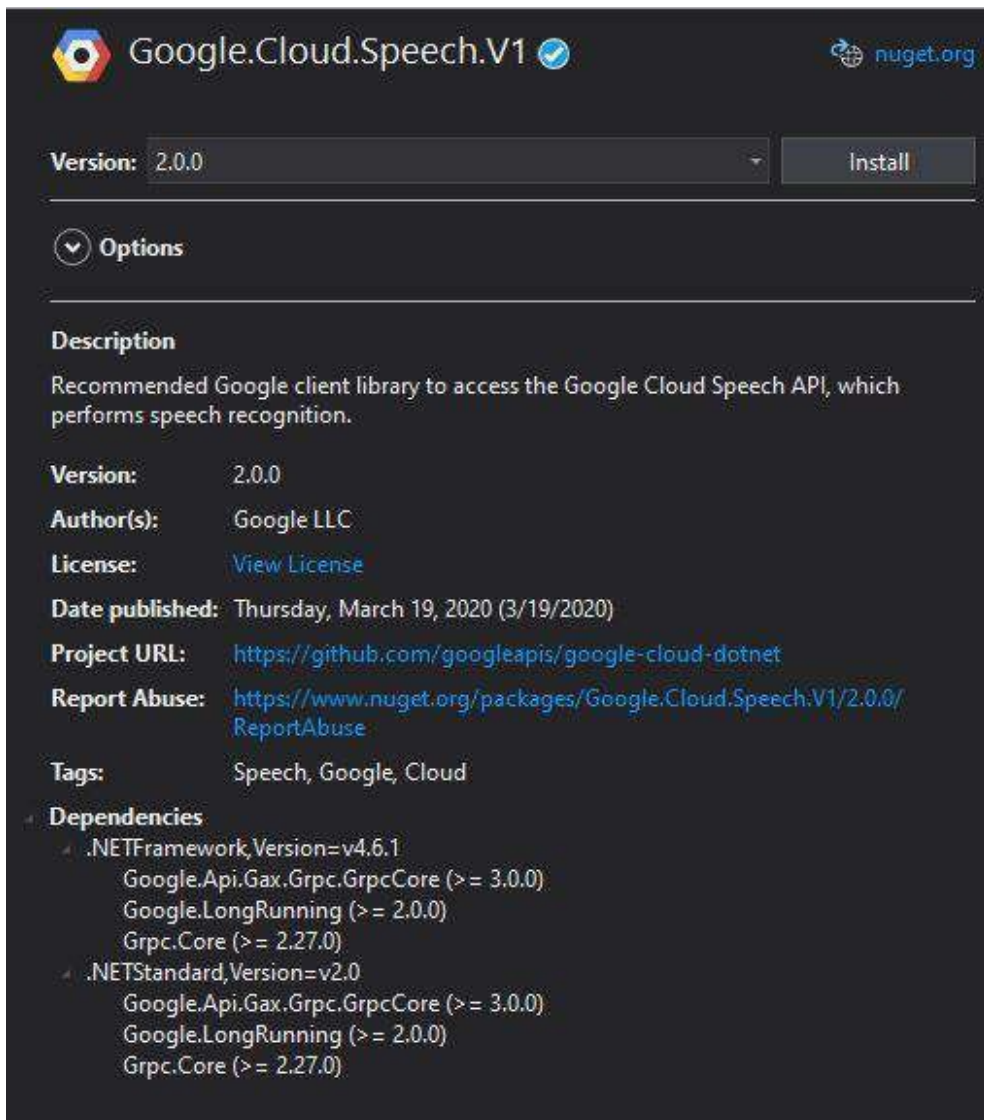
საუბრის ანალიტიკა არის საუბრის ამოცნობის ტექნოლოგიის გამოყენებით ხმის ჩანაწერების ან მიმდინარე ზარების ანალიზის პროცესი. მისი მიზანია ზარის შინაარსიდან სასარგებლო ინფორმაციის მოძიება და საუბრის ხარისხის გაუმჯობესება [1].

საზოგადოებრივი უსაფრთხოების მართვის ცენტრ 112-ში ყოველდღიურად ათასობით ზარი ფიქსირდება. სწრაფი და სწორი რეაგირებისთვის, აუცილებელია ოპერატორმა ინიციატორის მიერ გადმოცემული ინფორმაცია სრულად და ზუსტად ასახოს სისტემაში. იმის გამო, რომ ზარის ინიციატორი შეიძლება სწრაფად და გაუგებრად საუბრობდეს, ხშირად ხდება, რომ ოპერატორი ერთი მოსმენით ვერ იღებს ზარიდან სრულ ინფორმაციას, რაც შეიძლება მნიშვნელოვანი იყოს სწორი რეაგირებისთვის. ამის გამო, ოპერატორებს ხშირად სჭირდებათ ზარის ჩანაწერის რამდენიმეჯერ მოსმენა და ინფორმაციის ამ გზით ამოღება.

ზარის ხელმეორედ მოსმენისას ოპერატორი ზედმეტ დროს კარგავს, გადაუდებელი დახმარების აუცილებლობის დროს კი, ყოველ წამს დიდი მნიშვნელობა აქვს.

Speech-to-Text არის მეტყველების ამომცნობი პროგრამული უზრუნველყოფა, რომელიც საშუალებას იძლევა ამოვიცნოთ სალაპარაკო ენა და გარდავქმნათ ის ტექსტად გამოთვლითი ლინგვისტიკის საშუალებით [2]. იგი ასევე ცნობილია როგორც მეტყველების ამომცნობა ან კომპიუტერული მეტყველების ამომცნობა. კონკრეტულ აპლიკაციებს, ინსტრუმენტებსა და მოწყობილობებს შეუძლიათ რეალურ დროში აუდიო ნაკადების ტრანსკრიფცია ტექსტის ჩვენებისა და მასზე მოქმედების მიზნით.

112-ის სისტემაში დაინერგა მოდული, რომელიც უზრუნველყოფს ყოველი ზარის ანალიზს და მისი ტექსტობრივი ფორმის მონაცემთა ბაზაში მოთავსებას [3]. ზარის დასრულებისთანავე, ოპერატორს, პროგრამის შესაბამის ჩანართში უჩანს ახლადგათიშული ზარის ტექსტი (თუმცა ალგორითმის არა 100%-იანი სიზუსტის გამო, ზოგიერთ შემთხვევაში მას მაინც სჭირდება ზარის ხელმეორედ მოსმენა).



სურ.1. API კონტროლერი

სისტემა შედგება სამი კომპონენტისგან:

- პროგრამა (სერვისი), რომელსაც აქვს უშუალო კომუნიკაცია Google Cloud Speech სერვისთან.
- მონაცემთა ბაზა, რომელშიც პროგრამა ათავსებს ზარების ტექსტის ფორმაში გარდაქმნილ მონაცემებს.
- ინტეგრაცია 112-ის საოპერაციო პროგრამაში. ამ ინტეგრაციის საშუალებით 112-ის საოპერაციო პროგრამას კომუნიკაცია აქვს ზემოთ აღნიშნულ სერვისთან და გადასცემს მას ზარის ჩანაწერებს.

სერვისი არის .NET Core Web API აპლიკაცია, შექმნილი C# დაპროგრამების ენის გამოყენებით [4]. Google-ის Speech სერვისთან კომუნიკაციისთვის ვიყენებთ NuGet პაკეტს (NuGet არის პლატფორმა, რომლის საშუალებითაც დევლოპერებს შეუძლიათ სასარგებლო კოდის შექმნა, გაზიარება და მოხმარება), სახელით: Google.Cloud.Speech.V1 (სურ. 1).

```
using Microsoft.AspNetCore.Mvc;
using System.IO;
using System.Threading;
using System.Threading.Tasks;
using Microsoft.AspNetCore.Http;
using SpeechRecognizerService.Speech;

namespace SpeechRecognizerService.Controllers
{
    [Route("[controller]")]
    [ApiController]
    public class FileSpeechController : Controller
    {
        [HttpPost]
        public async Task<ActionResult<string>> Post(CancellationToken
cancellationTokn, IFormFile file)
        {
            if (file.Length > 0)
            {
                using (var ms = new MemoryStream())
                {
                    file.CopyTo(ms);
                    var bytes = ms.ToArray();

                    var speech = new GoogleSpeechWrapper();

                    var result = await speech.Transcribe(bytes,
cancellationTokn);

                    return result;
                }
            }

            return BadRequest();
        }
    }
}
```

FileSpeechController არის კლასი, რომელიც უზრუნველყოფს კლიენტისგან ზარის ფაილის მიღებას და მის ბაიტების მასივად გარდაქმნას, რის შემდეგაც ეს მასივი გადაეცემა GoogleSpeechWrapper კლასის Transcribe მეთოდს.

მოცემულ კონტროლერს აქვს ერთი HTTP Post მეთოდი, რომელიც კლიენტისგან იღებს ზარის ჩანაწერს IFormFile ინტერფეისის გამოყენებით. ეს ინტერფეისი გვაძლევს წვდომას ისეთ მეტამონაცემებზე, როგორცაა ფაილის ტიპი, სახელი და სხვ. IFormFile ინტერფეისი ასევე საშუალებას გვაძლევს წავიკითხოთ ფაილის შიგთავსი ხელმისაწვდომი ნაკადის (Stream) გამოყენებით.

MemoryStream კლასის გამოყენებით მეთოდი ფაილს გარდაქმნის ბაიტების მასივად, და მიღებულ მასივს გადასცემს GoogleSpeechWrapper.Transcribe მეთოდს.

GoogleSpeechWrapper კლასს აქვს შემდეგი სახე:

```
public async Task<string> Transcribe(byte[] fileBytes, CancellationToken
cancellationTok)
{
    var speechClientBuilder = new SpeechClientBuilder();
    speechClientBuilder.JsonCredentials =
File.ReadAllText("C:\\speechKey.json");
    var speechClient = await
speechClientBuilder.BuildAsync(cancellationTok);

    var config = new RecognitionConfig
    {
        Encoding = RecognitionConfig.Types.AudioEncoding.Linear16,
        LanguageCode = "ka",
        AudioChannelCount = 2,
        EnableWordTimeOffsets = true
    };

    var audio = RecognitionAudio.FromBytes(fileBytes);

    var response = speechClient.Recognize(config, audio);

    foreach (var result in response.Results)
    {
        foreach (var alternative in result.Alternatives)
        {
            Console.WriteLine(alternative.Transcript);
        }
    }

    var jsonResults = JsonConvert.SerializeObject(response.Results);

    return jsonResults;
}
```

Google Speech სერვისის გამოყენებისთვის აუცილებელია მოთხოვნას დავუერთოთ მომხმარებლის გასაღები, რომელსაც Google გვაწვდის სერვისის რეგისტრაციისას. ამისათვის, SpeechClientBuilder ტიპის speechClientBuilder ობიექტის JsonCredentials ველს ვანიჭებთ

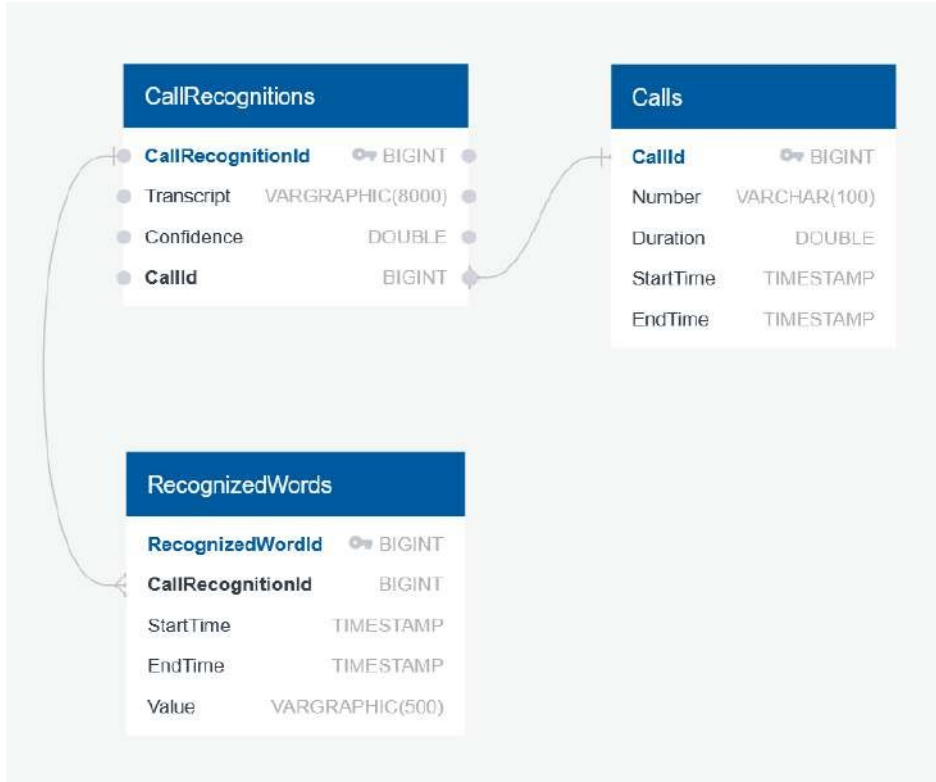
ფაილის ობიექტს, რომლის მისამართში მითითებულია ჩვენი გასაღების დირექტორია და ფაილის სახელი speechKey.json.

config ცვლადი არის RecognitionConfig ტიპის ობიექტი, რომელიც შეიცავს საუბრის ამოცნობის კონფიგურაციას. ამ შემთხვევაში გვაქვს კონფიგურაციის ოთხი ველი:

- Encoding: აღნიშნავს აუდიო ფაილის ციფრული ფორმის ტიპს, გაფართოებას.
- LanguageCode: საუბრის ენა. ქართული ენა აღნიშნება „ka“ ტექსტით.
- AudioChannelCount: ხმოვანი ფაილის არხების რაოდენობა (ჩანაწერი შეიძლება იყოს როგორც stereo ასევე mono, ამიტომ აუცილებელია მივუთითოთ ეს ველი).
- EnableWordTimeOffsets: true/false ველი. ამ ველში true მნიშვნელობის დაფიქსირების შემთხვევაში, სერვისი საპასუხო ტექსტთან ერთად გადმოგვცემს სიტყვათა მასივს, რომელთაგან თითოეულს აღნიშნული ექნება ამ სიტყვის დაწყებისა და დამთავრების დრო 100 მილიწამის სიზუსტით.

RecognitionAudio.FromBytes არის Google Speech ბიბლიოთეკის მეთოდი, რომელიც ბაიტების მასივისგან იღებს აუდიო ფაილის შიგთავსს. მისი შევსების შემდეგ, ამავე ბიბლიოთეკის Recognize მეთოდს გადავცემთ config და audio ობიექტებს. ამ მეთოდის გამოძახებისას მოთხოვნა მიდის Google-ის სერვერზე და მისგან პასუხად ვიღებთ ხმოვანი ჩანაწერიდან ამოცნობილ ტექსტურ მონაცემებს, სხვადასხვა დამატებით მონაცემებთან ერთად.

მონაცემთა ბაზას აქვს სურ.2-ზე ნაჩვენები სახე.



სურ.2. სისტემის მონაცემთა ბაზის დიაგრამა



მეთოდის შესრულების შედეგად დაბრუნებული შეტყობინების JSON ფორმა შემდეგნაირად გამოიყურება:

```
{
  "Alternatives": [
    {
      "Transcript": "ერთი ერთი ორი გისმენთ გამარჯობა სასწრაფოს გამოძახება მინდა",
      "Confidence": 0.94365471,
      "Words": [
        {
          "StartTime": {"Seconds": 0, "Nanos": 0},
          "EndTime": {"Seconds": 1, "Nanos": 800000000},
          "Word": "ერთი"
        },
        {
          "StartTime": {"Seconds": 1, "Nanos": 800000000},
          "EndTime": {"Seconds": 2, "Nanos": 0},
          "Word": "ერთი"
        },
        {
          "StartTime": {"Seconds": 2, "Nanos": 0},
          "EndTime": {"Seconds": 3, "Nanos": 100000000},
          "Word": "ორი"
        },
        {
          "StartTime": {"Seconds": 3, "Nanos": 100000000},
          "EndTime": {"Seconds": 3, "Nanos": 700000000},
          "Word": "გისმენთ"
        },
        {
          "StartTime": {"Seconds": 3, "Nanos": 700000000},
          "EndTime": {"Seconds": 4, "Nanos": 0},
          "Word": "გამარჯობა"
        },
        {
          "StartTime": {"Seconds": 4, "Nanos": 0},
          "EndTime": {"Seconds": 5, "Nanos": 0},
          "Word": "სასწრაფოს"
        },
        {
          "StartTime": {"Seconds": 5, "Nanos": 0},
          "EndTime": {"Seconds": 5, "Nanos": 600000000},
          "Word": "გამოძახება"
        },
        {
          "StartTime": {"Seconds": 5, "Nanos": 600000000},
          "EndTime": {"Seconds": 6, "Nanos": 100000000},
          "Word": "მინდა"
        }
      ]
    }
  ]
}
```

Alternatives ველი არის მასივი. იმ შემთხვევაში, თუ პროგრამა ჩათვლის, რომ ხმოვან ფაილს შეიძლება რამდენიმე სავარაუდო მნიშვნელობა შეესაბამებოდეს, ამ მასივში გვექნება ერთზე მეტი ჩანაწერი – სავარაუდო ვარიანტები.

Transcript ველი შეიცავს ამოცნობილი საუბრის გადაბმულ ტექსტობრივ მნიშვნელობას.

Confidence – რიცხვითი მნიშვნელობა 0-დან 1-ის ჩათვლით. ის გვიჩვენებს, თუ რამდენად სარწმუნოდ თვლის პროგრამა მოცემული შედეგის სისწორეს.

Words – ამოცნობილი სიტყვების მასივი.

StartTime – კონკრეტული სიტყვის დაწყების წამი და ნანოწამი.

EndTime – კონკრეტული სიტყვის დასასრულის წამი და ნანოწამი.

Word – სიტყვის მნიშვნელობა.

Calls ცხრილში მოთავსებულია 112-ში შემოსული ზარების აღწერა (მოცემულია სვეტების არასრული ჩამონათვალი). ამ მონაცემებს პროგრამა სატელეფონო სისტემისგან იღებს.

CallRecognition ცხრილში თავსდება ხმოვანი ჩანაწერიდან ამოცნობილი ტექსტის მონაცემები. ეს ცხრილი დაკავშირებულია Calls ცხრილთან CallId ველის საშუალებით. თითოეულ Call ჩანაწერს შეიძლება ერთზე მეტი CallRecognition ჩანაწერი შეესაბამებოდეს, იმ შემთხვევაში, თუ Alternatives მასივი ერთზე მეტი მნიშვნელობისგან შედგება,

RecognizedWords ცხრილი შეიცავს სათითაო სიტყვას და მათი დაწყებისა და დამთავრების ნიშნულებს. ეს ცხრილი დაკავშირებულია CallRecognition ცხრილთან CallRecognitionId ველის საშუალებით. თითოეული CallRecognition ჩანაწერისათვის, RecognizedWords ცხრილში გვექნება იმდენი ჩანაწერი, რამდენი სიტყვაც არის ამოცნობილ ტექსტში.

112-ის სისტემა ქსელის საშუალებით დაკავშირებულია სატელეფონო სისტემასთან (Asterisk) და მასთან კომუნიკაციის საშუალებით ოპერატორები ზარებს იღებენ Windows WPF აპლიკაციაში.

ზარის მიმდინარეობისას სისტემა ტელეფონისგან იღებს მონაცემთა ნაკადს, რომელსაც პარალელურად ათავსებს ფაილურ სისტემაში. პროგრამის კონფიგურაციის პარამეტრებში მითითებულია ფაილური სისტემის მისამართი, თუ რომელ დირექტორიაში უნდა მოხდეს ზარის ჩანაწერის დროებითი ფაილის შექმნა.

ზარის დასრულების შემდეგ სრულდება მეთოდი, რომელიც HTTP Post მოთხოვნის გამოძახებით აგზავნის ზარის ჩანაწერის ფაილს ორ მისამართზე: ფაილის ფაილ სერვერზე შემნახველი სერვისის და ტექსტის ამომცნობი სერვისის.

ფაილის ტექსტის ამომცნობ სერვისზე გასაგზავნი მეთოდის პროგრამული კოდი ქვემოთაა მოცემული.

ამ მეთოდის გამოძახებისას სისტემა პარამეტრებად გადასცემს დროებითი ფაილის მისამართს – filePath და ფაილის სახელს – fileName.

url ცვლადი შეიცავს სერვისის FileSpeechController კლასის Post მეთოდის მისამართს.

MultipartFormDataContent ტიპი საშუალებას გვაძლევს ფაილი გავგზავნოთ კონტროლერის მეთოდში, სადაც პარამეტრი აღწერილი გვაქვს როგორც IFormFile ტიპის.

File კლასის OpenRead მეთოდი პარამეტრად იღებს ფაილის მისამართს და შედეგად გვიბრუნებს FileStream ტიპის ობიექტს.

ფაილის ბაიტების წაკითხვისთვის ვიყენებთ StreamContent კლასს, რომლის ReadAsByteArrayAsync მეთოდი გვიბრუნებს ფაილის ბაიტების მასივად წაკითხულ ფორმას.

მიღებული ბაიტების მასივი გადაეცემა ByteArrayContent კლასის ობიექტს, რომელიც უზრუნველყოფს ფაილის HTTP Post მოთხოვნით სერვისთან გაგზავნას.

საბოლოოდ, მოთხოვნის გაგზავნა ხდება httpClient ობიექტის PostAsync მეთოდის გამოძახებით. მას გადაეცემა კონტროლერის მეთოდის მისამართი და ფაილის მონაცემებით შევსებული ფორმა.

მოცემული სისტემა, ოპერატორების გარდა, საგრძნობლად უმარტივებს სამუშაოს ორგანიზაციის იმ თანამშრომლებს, რომლებსაც შემოსული ზარებიდან სხვადასხვა

ინფორმაციის ამოღება სჭირდებათ. ამისათვის საკმარისია მონაცემთა ბაზასთან სასურველი საკვანძო სიტყვების მოთხოვნის გაშვება, და სისტემა დაგვიბრუნებს ინფორმაციას იმის შესახებ, თუ რომელი ზარები შეიცავს მოცემულ ტექსტებს.

```
pu
{
  const

  using (var h
  {
    using (var form
    {
      using (var fs = File.
      {
        using (var streamContent
        {
          using (var fileContent = new
tent.ReadAsByteArrayAsync()))
          {
            fileContent.Headers.ContentType = Me
part/form-data");

            form.Add(fileContent, "file", fileName);

            HttpResponseMessage response = await httpClient.Post
          }
        }
      }
    }
  }
}
```

## Speech-to-Text Database in 112

*Nodar Darchiashvili, Ana Kobiashvili, Meri Gegechkori*

### Summary

Speech-to-Text technology has become widely used in such fields such as marketing, banking, and medicine. Its use is especially relevant in call centers where a lot of calls come in every day. Speech recognition applications can increase the efficiency of simple tasks and greatly expand the range of tasks that call center operators perform.

In order to increase the productivity of the public security management center, a software module was introduced in 112, the purpose of which is to analyze incoming calls, convert them into text form and place this text in the database. Operators are given the opportunity to read the text of the call after the end of the call to better understand its content and to improve the quality of the corresponding response.

The article discusses the module, which was created to convert the incoming calls into text form in the public safety control center 112. The service is a .NET Core Web API application created using the C# programming language. It uses a NuGet package to communicate with Google's Speech service. The

components of the system are described, the JSON format of the message is given, the structure of the database is discussed, the corresponding software codes of the module are given.

This system significantly simplifies the extraction of various information from incoming calls. To do this, it is enough to run a query with the database for the desired keywords, and the system will return information about which calls contain the given texts.

## База данных преобразования речи в текст в 112

Нодар Дарчиашвили, Анна Кобиашвили, Мери Гегечкори

### Резюме

Технология преобразования речи в текст стала широко использоваться в таких областях, как маркетинг, банковское дело и медицина. Его использование особенно актуально в колл-центрах, куда ежедневно поступает много звонков. Приложения для распознавания речи могут повысить эффективность выполнения простых задач и значительно расширить круг задач, выполняемых операторами колл-центра.

В целях повышения производительности центра управления общественной безопасностью в 112 внедрен программный модуль, целью которого является анализ входящих вызовов, преобразование их в текстовую форму и размещение этого текста в базе данных. Операторам предоставляется возможность прочесть текст звонка после окончания звонка, чтобы лучше понять его содержание и повысить качество соответствующего ответа.

В статье рассматривается модуль, созданный для преобразования входящих звонков в диспетчерский пункт 112 общественной безопасности в текстовую форму. Служба представляет собой приложение .NET Core Web API, созданное с использованием языка программирования C#. Он использует пакет NuGet для связи со службой распознавания речи Google. Описаны компоненты системы, приведен формат JSON сообщения, рассмотрена структура базы данных, приведены соответствующие программные коды модуля.

Эта система значительно упрощает извлечение различной информации из входящих звонков. Для этого достаточно выполнить запрос к базе данных по нужным ключевым словам, и система выдаст информацию о том, какие вызовы содержат заданные тексты.

### ლიტერატურა – References – Литература

1. ა. კობიაშვილი, ნ. დარჩიაშვილი, მ.გეგეჭკორი. საუბრიდან ტექსტის ამოცნობის ტექნოლოგია. სტუ, არჩილ ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული, #23, თბილისი, 2019, გვ.171-177.
2. <https://aws.amazon.com/what-is/speech-to-text/>, უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული – 10.07.2022.
3. <https://cloud.google.com/speech-to-text>, უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული – 10.07.2022.
4. <https://docs.microsoft.com/en-us/dotnet/core/whats-new/dotnet-core-3-0>, უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული – 10.07.2022.

---

## ქართულენოვანი ტექსტების საწყისი დამუშავება

მანანა ხაჩიძე, მაგდა ცინცაძე, მაია არჩუაძე

manana.khachidze@tsu.ge, magda.tsintsadze@tsu.ge, maia.archuaze@tsu.ge

### რეზიუმე

სტატიაში წარმოდგენილია ტექსტების საწყისი დამუშავების ინსტრუმენტი GeoIP toolkit ქართული ენისათვის, რომლის მიზანია ხელი შეუწყოს ქართული ენის NLP-ს კვლევას. ინსტრუმენტის დახმარებით შესაძლებელია მოხდეს ტექსტის იდენტიფიცირება ქართულ ენასთან კუთვნილების მიმართებაში, ტოკენიზაცია, სტოპ სიტყვების ამგდება როგორც საყოველთაოდ გავრცელებული მეტყველების ნაწილების (რიცხვითი სახელები, კავშირი, ნაცვალსახელი, შორისდებული) მიხედვით, ასევე მომხმარებლის მიერ მიწოდებული სიტყვები სიმრავლის მიხედვით. GeoIP-ის ინსტრუმენტარიუმი შეიძლება ჩაითვალოს პროგრამული უზრუნველყოფის შექმნის ერთ-ერთ პირველ მცდელობად, რომელიც დაეხმარება ქართული ენის დამუშავებაზე მომუშავე არსებული NLP კვლევითი ჯგუფების მცირე რაოდენობას. მიგვაჩნია, რომ ეს საკითხი ძალიან მნიშვნელოვანია, რადგან ქართული ენა ერთ-ერთი უნიკალური და უძველესი ენაა მსოფლიოში, თავისი უნიკალური და უძველესი დამწერლობით.

საკვანძო სიტყვები: ბუნებრივი ენის დამუშავება, ტექსტის საწყისი დამუშავება, ტოკენიზაცია, სტემინგი, ლემატიზაცია.

### 1. შესავალი

ტექსტის საწყისი დამუშავება ბუნებრივი ენის დამუშავების (NLP) თითქმის ყველა ამოცანის (ტექსტის კომპონენტების ანალიზი, დაჭდევა, მორფოლოგიური და სინტაქსური ანალიზი, ინფორმაციის ძებნა, მანქანური თარგმნა და ა.შ.) განუყოფელი და აუცილებელი ნაწილია. [1], [2]. მის სრულყოფილ და ზუსტ შედეგზე დამოკიდებული NLP ამოცანების გადაჭრის წარმატებულობა. საყოველთაოდ მიჩნეულია ტექსტის საწყისი დამუშავების ორ ეტაპად გაყოფა -ტექსტების სორტირება და ტექსტების სეგმენტაცია. თავის მხრივ ეს ეტაპები მოიცავენ გარკვეულ ქმედებებს, რომლებიც მოითხოვენ ტექსტის სხვადასხვა ბუნებრივ-ენობრივი თავისებურებების გათვალისწინებას, რაც დაკავშირებულია იმაზე, თუ რა ენაზეა წარმოდგენილი დასამუშავებელი დოკუმენტი. მიუხედავად იმისა, რომ ყველა ოპერაცია ცნებების დონეზე უნიფიცირებულია, აუცილებელია მათი დაყოფა ენების ოჯახების მიხედვით.

სტატიაში წარმოგიდგენთ ტექსტების საწყისი დამუშავების ინსტრუმენტს GeoIP toolkit ქართული ენისათვის, რომლის მიზანია ხელი შეუწყოს ქართული ენის NLP-ს კვლევას.

### 2. ქართული ენის თავისებურებები ტექსტის საწყისი დამუშავებასთან მიმართებაში

ქართული ენა ერთ-ერთი ძველი და მორფოლოგიურად რთული ენაა, რომელზეც მხოლოდ 5 მილიონამდე ადამიანი საუბრობს მსოფლიოში [3] [4]. იგი საქართველოს სახელმწიფო ენაა და მას სამი უნიკალური ანბანი აქვს (ასომთავრული, ნუსხური და მხედრული) [5], [6], რომელთაგან ორი ამჟამად გამოიყენება. ენის მორფოლოგიური სირთულე განაპირობებს იმ ფაქტს, რომ სხვადასხვა NLP ამოცანების გადაჭრისას არსებული მეთოდების და ალგორითმების გამოყენება მოდიფიცირების და ზოგჯერ ახლის შემუშავების გარეშე შეუძლებელია. ეს ეხება ტექსტების საწყისი დამუშავების პროცესსაც. განვიხილოთ ამ პროცესის ყველა ეტაპი ქართულენოვანი ტექსტებისათვის

## 2.1 ტექსტების სორტირება

ქართული ანბანის შესაბამისი სიმბოლოების იდენტიფიცირება ხორციელდება სიმბოლოთა კოდირების იდენტიფიცირების ცნობილი ალგორითმებით [7], [9]. უმრავლესი ასეთი ალგორითმები საწყის ეტაპზე ახდენენ ქართული სიმბოლოების შესაბამისი კოდირების სისტემის მოდელირებას, რაც საშუალებას იძლევა დავაფიქსიროთ ბაიტების ის დიაპაზონი, რომელშიც უნდა ვეძიოთ სიმბოლოები. შემდეგ ალგორითმი აანალიზებს ბაიტებს ფაილში და აგებს ფაილში წარმოდგენილი ბაიტების დიაპაზონს. მომდევნო ბიჯზე ხდება ფაილში ნაპოვნი შაბლონის შედარება ქართული სიმბოლოების შესაბამისი კოდირების ბიტების დიაპაზონთან. აქვე უნდა აღვნიშნოთ ერთი მნიშვნელოვანი ფაქტი, რომელიც დაკავშირებულია ტექსტების დამუშავებასთან, რომელთა წყაროს წარმოადგენენ სოციალური ქსელები. ხშირია შემთხვევა, როდესაც სოციალური ქსელის მომხმარებლები პოსტების და კომენტარების დასაწერად იყენებენ ლათინურ ანბანს (უმთავრესად ინგლისური ანბანი) ან კირილიცას (რუსული ანბანი). ასეთ შემთხვევაში ქართულენოვანი ტექსტების იდენტიფიცირება შესაძლებელია სხვა მეთოდით, რომელიც ეფუძნება ქართული ენის სიხშირულ ლექსიკონს.

## 2.2 ტექტოკენიზაცია

განურჩევლად იმისა თუ წერის რა სისტემა გამოიყენება ენობრივი კორპუსის დასამუშავებელ დოკუმენტებში, ტექსტების სეგმენტაცია (ტოკენიზაცია) წინა დამუშავების აუცილებელი ნაწილია. ტოკენიზაციის პროცედურა ასევე დამოკიდებულია ენის სხვა მახასიათებლებზე - ბუნებრივი ენა არის ჰარით გამოყოფილი ენა, ამიტომ ტოკენიზაცია შედარებით მარტივი პროცედურაა [11]. ქართულენოვანი ტექსტებისათვის.

გამომდინარე ჩვენი NLP ამოცანიდან შესაძლოა სხვადასხვა დონის ტოკენიზაცია გვჭირდებოდეს. პირველი დონის ტოკენიზაცია, რომელიც გულისხმობს ტექსტის წინადადებად დახლეჩას, ქართული ენისათვის შედარებით მარტივია. წინადადებები პუნქტუაციის ნიშნებით გამოიყოფა.

ქართულენოვანი ტექსტებისათვის ტოკენიზაციის მომდევნო ეტაპად მივიჩნით მისი დახლეჩა პრობლემების მიხედვით. რაც შეეხება სასვენი ნიშნების ჩამოშორებას, ზოგიერთ ენაში შესაძლოა თავი იჩინოს სასვენი ნიშნების გამოყენების არაერთმნიშვნელოვნობამ. [12]. ქართული ენისათვის ეს პროცესი შედარებით მარტივია და მისი მოგვარება შესაძლებელი იგივე მეთოდებით რაც ინგლისური ენისთვის ან მსგავსი ენებისთვისაა. უმრავლეს შემთხვევაში წინადადების გამყოფ სასვენ ნიშნებად მიიჩნევა წერტილი, კითხვის ნიშანი, ძახილის ნიშანი. რიგი ენებისათვის წინადადების დასასრულად შეიძლება ჩაითვალოს წინადადების გამყოფად მიჩნეული სასვენი ნიშნის შემდგომი სიტყვის პირველი დიდი ასო, მაგრამ ამის გამოყენება ქართული ენისათვის შეუძლებელია, რადგან ქართულ ენაში არ გვაქვს დიდი ასოები.

მიუხედავად ზემოაღნიშნულისა, ჩვენთვის მნიშვნელოვანია ტოკენიზაციის ისეთი სხვა ამოცანები, რომელიც დაკავშირებულია სასვენ ნიშნებთან.

დავიწყით წერტილით - განსხვავებით სხვა ენებისაგან, ქართულ ენაში არ გამოიყენება შემოკლებები აბრევიატურისათვის. გარდა ამისა, მცირეა აღნიშვნები შემოკლებული სახით და მსგავსი ტიპის სიტყვაწარმოქმნები. მათი რაოდენობა არ აღემატება 5-ს და ისიც ფიქსირებულია (ე.ი. / ა.შ. / სხვ. / ე.წ. / მისთ. ). ამიტომ წერტილი, ისევე, როგორც წერტილ-მძიმე, ძახილის ნიშანი, კითხვის ნიშანი, შეიძლება მივიჩნიოთ წინადადების გამყოფად.

ასევე ნაკლებმნიშვნელოვანია ბრჭყალები და აპოსტროფი. ბრჭყალების მნიშვნელობა ტექსტში ცალსახად განსაზღვრავს ციტირებას ან გამოიყენება ნაწარმოების სათაურის, ჟურნალ-გაზეთების სახელწოდებათა და მისთანების გამოსაყოფად ტექსტში [13]. ბრჭყალებს შეიძლება ჰქონდეს არაპირდაპირი, მეტიც საპირისპირო, მნიშვნელობის დატვირთვა. ამ დროს ბრჭყალები ირონიული ხასიათისაა. ხოლო აპოსტროფი ჩვეულებრივ ქართულ დამწერლობაში არ გამოიყენება.

დეფისს ქართულ ენაში უფრო დიდი დატვირთვა აქვს. როგორც წესი, მისი საშუალებით ხდება, ერთსა და იმავე „სემანტიკური ველის“, ხშირად სინონიმების ან ანტონიმების, შეერთება [14]. ასეთი ტიპის სიტყვები შეიძლება ჩაითვალოს მრავალნაწილიან სიტყვებად. თუმცა ქართულ ენაში მრავლად გვხვდება მრავალნაწილიანი სიტყვები, რომლებიც არ გამოიყოფა დეფისით.

ტოკენიზაციის ერთ-ერთ რთულ ნაწილს წარმოადგენს მრავალნაწილიან (მრავალსიტყვიან) სიტყვებთან დაკავშირებული საკითხები. ქართულ ენაში ეს თავს იჩენს რიცხვითი სახელების წარმოებაში. ტექსტში ციფრული სიმბოლოებით გამოსახული რიცხვითი გამოსახულებების არსებობისას ეს საკითხი შედარებით ადვილად შეიძლება გადაწყდეს. რაც შეეხება ტექსტური სახით მოცემულ რიცხვით გამოსახულებებს, აქ აუცილებელია გავითვალისწინოთ ქართულ ენაში რიცხვითი სახელების წარმოების თავისებურებები.

ქართულ ენაში რიცხვითი სახელი სამგვარია: რაოდენობითი, რიგობითი და წილობითი. ქართულ რიცხვით სახელთა სისტემა თორმეტ დამოუკიდებელ ლექსიკურ ერთეულს ემყარება:

ერთი, ორი, სამი, ოთხი, ხუთი, ექვსი, შვიდი, რვა, ცხრა, ათი, ოცი, ასი. ამ სიტყვებიდანაა ნაწარმოები რიცხვები 11-დან 19-ის ჩათვლით:

რიგობითი რიცხვითი სახელის წარმოება რაოდენობითზეა დამოკიდებული, ხოლო წილობითისა რიგობითზე. ამდენად: წარმოებისას ამოსავალი არის რაოდენობითი რიცხვითი სახელი. ქართული თვლის სისტემა ოცობითია ეს ნიშნავს იმას, რომ რიცხვების დასახელება ოციდან ასამდე (და შემდგომ – ათეულების რანგში) ოცეულებად არის დაყოფილი და არა – ათეულებად.

ერთად იწერება ყველა რიცხვითი სახელი 1-დან 100-ის ჩათვლით (თხუთმეტი, ოცდასამი, ოთხმოცდაჩვიდმეტი); ასეულთა სახელები (ორასი, სამასი, ოთხასი); რიცხვითი სიტყვები - მილიონი, მილიარდი... შესაბამისად 100-ს ზემოთ რიცხვების აღნიშვნა ხდება რამდენიმე სიტყვით მსგავსად ინგლისური და სხვა მსგავსი ენებისა. გარდა რამდენიმე სიტყვით გამოხატვის საკითხის მოგვარებისა, რიცხვითი სახელების ტოკენიზაციის პროცესი ქართული ენისათვის საჭიროებს დამატებით პროცედურებს. ეს პროცედურები დაკავშირებულია რიცხვითი სახელის მიმდევრობაში ბოლო მდგენელის ფუძის ამოღებასთან, რადგან რიცხვითი სახელი ქართულ ენაში ბრუნვადია.

ქართულ ენაში ხშირად გამოიყენება რიცხვითი სახელები რომლებიც კონკრეტული რაოდენობის მიახლოებით მნიშვნელობას გამოხატავენ, მაგალითად: „ორიოდე“, „ორივე“. ასეთი რიცხვითი სახელების წარმოება ხდება რიცხვითი სახელის ფუძეზე „-ოდე“ , „-ვე“ სუფიქსების დამატებით.

### 2.3 GeoIP toolkit

GeoIP წარმოადგენს პროგრამულ პაკეტს, რომელიც აუცილებელი ინსტრუმენტი იქნება ყველა იმ მკვლევარისათვის, რომელიც მუშაობს ქართული ენის NLP კვლევებში. მიუხედავად იმისა, რომ უკანასკნელ პერიოდში თითქმის ყველა დაპროგრამების ენას გააჩნია ცალკე ბიბლიოთეკები Natural Language ToolKit (NLTK) ბიბლიოთეკების სახით (მაგ. Python), ასეთი ინსტრუმენტების გამოყენება პოლისინთეზური ენებისათვის, რომლებიც ამავედროულად „მცირერესურსიანები“ არიან, არაეფექტურია.

GeoIP ახდენს ქართულენოვანი ტექსტების იდენტიფიცირებას (ენობრივი კუთვნილების თვალსაზრისით) და მის საწყის დამუშავებას NLP-ს სხვადასხვა ამოცანებში გამოსაყენებლად. პროგრამის შემუშავებისას საწყის დასამუშავებელი მონაცემების წყაროს წარმოადგენდა ტექსტები ვიკიპედიიდან (ძირითადად სიტყვათა ბაზის შესავსებად). იგი ამუშავებს მომხმარებლის მიერ მიწოდებულ ნებისმიერ ტექსტს. გამოსავალზე შესაძლებელია მომხმარებლის სურვილისამებრ მივიღოთ სხვადასხვა ტიპის მონაცემები - ტექსტის დამუშავების შუალედური მონაცემები სხვადასხვა მოდულის შესრულების შემდგომ ან/და საბოლოო შედეგი.

GeoIP ტექსტის საწყისი დამუშავების ინსტრუმენტი შედგება შემდეგი თანმიმდევრობით შესრულებადი და ეტაპებად მართვადი მოდულებისაგან:

- ტექსტის იდენტიფიცირება (სორტირება);
- სასვენი ნიშნების ამოყრა;
- ტექსტის არაქართული სიმბოლოებისაგან გაწმენდა;
- რიცხვითი სახელების ამოყრა (ამოკრეფა);
- სტოპ სიტყვების ამოყრა (ამოკრეფა);

აღწერით თითოეული მოდული უფრო დეტალურად.

#### 2.4 ტექსტის იდენტიფიცირება (სორტირება)

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ ქართულენოვანი ტექსტებისათვის გამოიყენება Unicode-ის სტანდარტის რეალიზაცია UTF-8 variable-length character encoding, რომელიც საშუალებას იძლევა ქართული ანბანის ყველა ასოს შესაბამის სიმბოლოებს უნიკალური კოდი გააჩნდეთ ბიტების დიაპაზონის კონფლიქტების გარეშე. ამიტომ ამ მოდულში ხდება შემოწმება შეიცავს თუ არა ტექსტი ქართული ანბანის შესაბამის სიმბოლოებს. თუ ასეთი რამ აღმოჩნდა ტექსტის დამუშავება გრძელდება მომდევნო მოდულში

#### 2.5 სასვენი ნიშნების ამოყრა

GeoIP ინსტრუმენტარში გათვლილია ტექსტის საწყისი დამუშავების ისეთი ტიპის NLP ამოცანებისათვის, რომელთათვისაც მნიშვნელოვანი არ არის ტექსტების წინადადებების მიხედვით სემანტიკა. აქედან გამომდინარე, სასვენი ნიშნების ამოყრის მოდული საწყისი ტექსტიდან ამოშლის ყველა სასვენ ნიშანს გარდა დეფისის, რადგან როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, დეფისი შესაძლოა იყოს რომელიმე მრავალნაწილიანი სიტყვის შემადგენელი ნაწილი, რომლის მნიშვნელობის გათვალისწინება აუცილებელია კონკრეტული NLP ამოცანებისათვის, თუმცა სურვილის შემთხვევაში მომხმარებელმა შეიძლება გააქტიუროს დეფისის ამოგდებაც.

#### 2.6 ტექსტის არაქართული სიმბოლოებისაგან გაწმენდა

თანამედროვე ქართულ ენაში შინაარსობრივი დატვირთვის ბევრი არაქართული სიმბოლო იხმარება. უმეტესწილად ეს სიმბოლოები რაიმე არაქართული ორგანიზაციის, ფირმის ან ბრენდის აღმნიშვნელია. ასევე შესაძლებელია ტექსტში გამოყენებულ იქნას რომაული რიცხვები და სხვა სიმბოლოები. ასეთი ფრაგმენტების აღმოჩენა სირთულეს არ წარმოადგენს და მათი ამოყრა მარტივად ხორციელდება წინა მოდულში გამოყენებული კოდის საშუალებით.

ცალკე უნდა აღვნიშნოთ ის შემთხვევები, როდესაც სიტყვა შერეული (ქართული და არაქართული) სიმბოლოებითაა წარმოდგენილი. რადგან ასეთი სიტყვების ცალსახა კლასიფიცირება შეუძლებელია, საჭიროა მათი ამოყრა ტექსტიდან. ეს პროცედურა შემდეგგვარად ხორციელდება: სიტყვა აღიქმება როგორც ასოების თანმიმდევრობის სტრიქონი. ხდება სათითაოდ სიმბოლოების შემოწმება ქართულ ანბანთან თანხვედრაზე და არაქართული სიმბოლოს აღმოჩენისას ხდება მისი „ამოშლა“.

#### 2.7 რიცხვითი სახელების ამოყრა (ამოკრეფა)

როგორც აღვნიშნეთ, ქართულ ენაში სამი ტიპის რიცხვითი სახელია: რაოდენობითი, რიგობითი და წილობითი, რომლებიც სიტყვაწარმოქმნის პროცესში ურთიერთდამოკიდებულნი არიან (რიგობითი რიცხვითი სახელის წარმოება რაოდენობითზე დამოკიდებულია, ხოლო წილობითისა რიგობითზე).

რიგობითი რიცხვითი სახელების შემთხვევაში გვაქვს საწყისი მასივი, რომლითაც ხდება სხვა დანარჩენი რიცხვითი სახელების დადგენა. ეს მასივი მოიცავს ყველა იმ სიტყვის ფუძეს, რომელთა საშუალებითაც ხდება ყველა სხვა რიცხვითი სახელის წარმოება.



```
public string[] number = new string[] { "ერთ", "ორი", "სამ",  
"ოთხ", "ხუთ", "ექვს", "შვიდ", "რვ", "ცხრ", "ათ", "ცამეტ", "თვრამეტ", "ოც",  
"ას", "მილიონ", "ტრილიონ", "პირველ", "მეცხრ", "მერვ" };
```

თუ სიტყვის პირველი ორი ასო არის „მე“ ბოლო კი „ე“ და ამასთანავე ეს სიტყვა შეიცავს ქვესტრიქონად რომელიმე საწყის რიცხვით სახელს, ამ შემთხვევაში გვაქვს რიგობითი რიცხვითი სახელი.

## 2.8 სტოპ სიტყვების ამოყრა (ამოკრეფა)

ქართულენოვანი ტექსტების დამუშავებისას სტოპ სიტყვებად მიიჩნევა ნაცვალსახელი, ზმნიზედა, კავშირი, ნაწილაკი, შორისდებული. ზმნიზედა (პირველადი), ნაცვალსახელი, კავშირი, ნაწილაკი, შორისდებული ამ მოდულში წარმოდგენილია სტოპ სიტყვების სიის სახით. რადგან ქართულ ენაში ნაცვალსახელები იბრუნება, ბაზაში მოცემულია მათი ყველა შესაძლო ფორმა.

აქვე უნდა აღვნიშნოთ, რომ მოდული საშუალებას იძლევა მომხმარებელმა თავად განსაზღვროს სტოპ სიტყვების სიმრავლე და მოახდინოს მათი იდენტიფიცირება.

## 2.9 ტექსტში შემავალი არსებითი სახელების და მათი სინშირეების გამოტანა.

არსებითი სახელების იდენტიფიცირებისათვის, გამომდინარე ქართული ენის სირთულიდან, აუცილებელია სიტყვების ბაზის არსებობა. თუმცა იმის გამო, რომ ქართულ ენაში მრავლად გვხვდება ფუძე კვეცადი და ფუძე კუმშვადი სახელები, ბაზის ქონა პრობლემას ბოლომდე არ ჭრის. აუცილებელია ფუძის ამოღების ალგორითმის რეალიზება, რომელიც შემუშავებულია ქართული ენისათვის. ალგორითმის ძირითადი იდეა მდგომარეობს წინა მოდულების შესრულების შედეგად მიღებული სიტყვების დამუშავება, მათგან ხმოვნების ამოყრის გზით.

## 3. დასკვნა

ჩვენ მიერ წარმოდგენილი ტექსტების საწყისი დამუშავების ინსტრუმენტი GeoIP toolkit ქართული ენისათვის არის ერთ-ერთი პირველი მცდელობა ქართულ სივრცეში შეიქმნას პროგრამული უზრუნველყოფა, რომელიც დაეხმარება ქართული ენის NLP-ს კვლევებს.

## Initial Processing of the Georgian Text

Manana Khachidze, Magda Tsintsadze,, Maia Archuadze

### Summary

This article introduces the GeoIP toolkit for Georgian text processing, which aims to support NLP research for Georgian language. With the help of the tool it is possible to identify text with respect to the Georgian language, tokenize, extract stop words according to common parts of speak (numeric names, conjunctions, pronouns, intermediate), as well as words supplied by the set of words provided by the user. The GeoIP toolkit for can be considered as one of the first attempts to create software that will help a small number of existing NLP research groups working on Georgian language processing. We consider this issue to be very important, as Georgian language is one of the most unique and ancient languages in the world, with its unique and ancient script.

## Начальная обработка грузинского текста

Манана Хачидзе, Магда Цинцадзе, Майя Арчуадзе

### Резюме

В этой статье представлен набор инструментов GeoIP для обработки грузинского текста, который направлен на поддержку исследований НЛП для грузинского языка. С помощью инструмента можно идентифицировать текст относительно грузинского языка, токенизировать, извлекать стоп-слова по общеупотребительным частям речи (числовые имена, союзы, местоимения, промежуточные), а также слова, поставляемые набором слова, предоставленные пользователем. Инструментарий GeoIP для можно рассматривать как одну из первых попыток создания программного обеспечения, которое поможет небольшому количеству существующих исследовательских групп НЛП, работающих над обработкой грузинского языка. Мы считаем этот вопрос очень важным, так как грузинский язык является одним из самых уникальных и древних языков в мире, с его уникальной и древней письменностью.

### ლიტერატურა – References – Литература

1. S.Petrov., D.Das, R.McDonald, „A Universal Part-of-Speech Tagset,“ 2013.
2. R.Tsarfaty, D.Seddah, D.Kubler, J.Nivre., „Parsing Morphologically Rich Languages: Introduction to the special issue,“ Computer Linguistics, №39, №1, pp. 15-23, 2013.
3. B. Hewitt, Georgian: A Structural Reference Grammar., Amsterdam: John Benjamins., 1995.
4. A. C. Harris, Georgian Syntax: A Study in Relational Grammar., Cambridge: Cambridge University Press., 2009.
5. T. Gamkrelidze, Writing system and the old Georgian script, Tbilisi: TSU, 1989.
6. R. Shosted, V. Chikovani, „Standard Georgian,“ Journal of the International Phonetic Association, №36, №2, p. 255-264, 2006.
7. B.Comrie, M. Polinsky, S. Matthews, The Atlas of Languages: The Origin and Development of Languages Throughout the World, Checkmark Books , 1996.
8. K.Seungbeom, J. Park, „Automatic Detection of Character Encoding and Language,“ 2007.
9. G.Russell, G.Lapalme, „Automatic Identification of Language and Encoding,“ 2012.
10. M.Roland, „A Method for Tokenizing Text,“ %1-ზე Inquiries into Words, Constraints and Contexts. Festschrift for Kimmo Koskeniemi on his 60th Birthday, CSLI Publications Ventura Hall Stanford University Stanford, 2005.

მანქანური სწავლება სამედიცინო დიაგნოსტიკაში, როგორც რთული  
ობიექტების კლასიფიკაციის ამოცანა  
დავით ხაჩიძე, პაპუნა ქარჩავა

*davit.khachidze@tsu.ge, papuna.karchava@tsu.ge*

## რეზიუმე

ნაშრომში განხილულია მანქანური სწავლების ერთ-ერთი მიდგომის, ღრმა ნეირონული ქსელების, შესაძლებლობები და გამოყენება რთული ობიექტების კლასიფიკაციის ამოცანებში. აღწერილია ღრმა ნეირონული ქსელების თავისებურებები და გაანალიზებულია კლასიფიკაციის ამოცანებისათვის ყველაზე უფრო ხშირად მისადაგებული სიგმოიდური და ლოგარითმული დანაკარგის ფუნქციები. ამ ფუნქციების საშუალებით განსაზღვრულია მოდელი, რომელიც აღწერს სამედიცინო დიაგნოსტიკისათვის გამოყენებად მიკროკალორიმეტრიულ მონაცემებს რთული ობიექტის აღმწერი მონაცემების სახით. წარმოდგენილია მოდელის პროგრამული რეალიზაციის აღწერა, რომელიც სასშუალებას იძლევა მოხდეს მონაცემების წაკითხვა-დამუშავება და მიღებული შედეგების საფუძველზე დიაგნოზის პროგნოზირება ექიმის გადაწყვეტილების მხარდასაჭერად.

საკვანძო სიტყვები: მანქანური სწავლება, ღრმა ნეირონული ქსელები, სამედიცინო დიაგნოსტიკა

## 1. შესავალი

სამყაროში არსებული ნებისმიერი საგანი, გარემო ან პროცესი შესაძლებელია აღქმული იყოს როგორც რთული სისტემა. ამ სისტემათა დიდი ნაწილი ღრმად და სივრცეში ცვალებადია და ხშირია შემთხვევა, როდესაც მნიშვნელოვანია ამ ცვლილებათა და მათი ზეგავლენის პროგნოზირება. ერთერთ ასეთ სისტემად განიხილება მედიცინა.

ხელოვნური ინტელექტის განვითარება, განსაკუთრებით მისი ერთერთი მიმართულება მანქანური სწავლება, გადამწყვეტ როლს თამაშობს ჩვენს საზოგადოებაში. ხშირ შემთხვევაში იგი უზრუნველყოფს ისეთი პრობლემების გადაჭრას, რომლებიც ადრე გადაუჭრელად ითვლებოდა. ტექნოლოგიების განვითარებას თან სდევს მონაცემთა ნაკადების ზრდა, რაც თავისმხრივ იწვევს მონაცემების მუდმივ დაგროვებას. ეს კი ზუსტი დასკვნების გამოსატანად საჭიროებს ფუნქციური მოდელების შესაქმნელად უფრო ეფექტური და მასშტაბური მეთოდების გამოყენებას.

მანქანურ სწავლებაში ერთერთი მიდგომაა ღრმა ნეირონული ქსელების წვრთვნა. იგი ეფუძნება ნეირონული ქსელებისადმი გამოთვლით მიდგომას, რომელიც პოპულარულია კომპიუტერულ მეცნიერებებში. ეს მოდელი განიხილება, როგორც ფონ-ნეიმანის ან ტურინგის მანქანის მსგავსი ახალ გამოთვლითი პარადიგმა. ბოლო ათწლეულის განმავლობაში, მრავალმა ექსპერიმენტმა აჩვენა, რომ ნეირონულ „მანქანებს“ შეუძლიათ ეფექტურად გადაჭრან მრავალი ისეთი პრობლემა, რომლებიც არ შეუძლიათ მიმდევრულ სტანდარტულ ალგორითმებს. აქედან გამომდინარე ნეირონულ ქსელებს აქვთ მნიშვნელოვანი გამოთვლითი უპირატესობები რომლებიც ფოკუსირებულნი არიან მოდელის ფუნქციონალურობაზე.

ჩვენ ვიხილავთ ნეირონულ ქსელებს, როგორც რესურსს, რომელიც შეიძლება გამოყენებულ იქნას გადაწყვეტილების მიღების მხარდაჭერის სისტემებში, კერძოდ სამედიცინო დიაგნოსტიკაში.

## 2. კონტროლირებადი მანქანური სწავლება

არსებობს მანქანური სწავლების პროცესის „განზოგადოებული“ განმარტება „მანქანური სწავლება არის კომპიუტერული ალგორითმების შესწავლა, რომელიც საშუალებას აძლევს კომპიუტერულ პროგრამებს ავტომატურად გაუმჯობესდნენ გამოცდილებით“. იგი იყოფა ორ ნაწილად: პირველი - კონტროლირებადი მანქანური სწავლება (Supervised ML) - პროგრამა სწავლობს წინასწარ მიწოდებული დიდ მოცულობის მონაცემებით, რის საფუძველზეც იძლევა კორექტულ პასუხს ახალი მონაცემებისათვის და მეორე - არაკონტროლირებადი მანქანური სწავლება (Unsupervised ML) პროგრამას ეძლევა დიდი რაოდენობის მონაცემები, რის საფუძველზეც მან უნდა იპოვოს პატერნის სწავლებისათვის. რადგან სამედიცინო დიაგნოსტიკა რთული სისტემაა, და კონტროლირებადი მანქანური სწავლება მეტად შეესაბამება მის აღწერას.

კონტროლირებადი მანქანური სწავლების მიზანია შეიქმნას ფუნქცია  $h(x)$ , რომელიც სწორად იწინასწარმეტყველებს მის მნიშვნელობას ჩვენთვის სასურველი  $x$  მონაცემისათვის. როგორც წესი,  $x$  კომპლექსური მონაცემია.

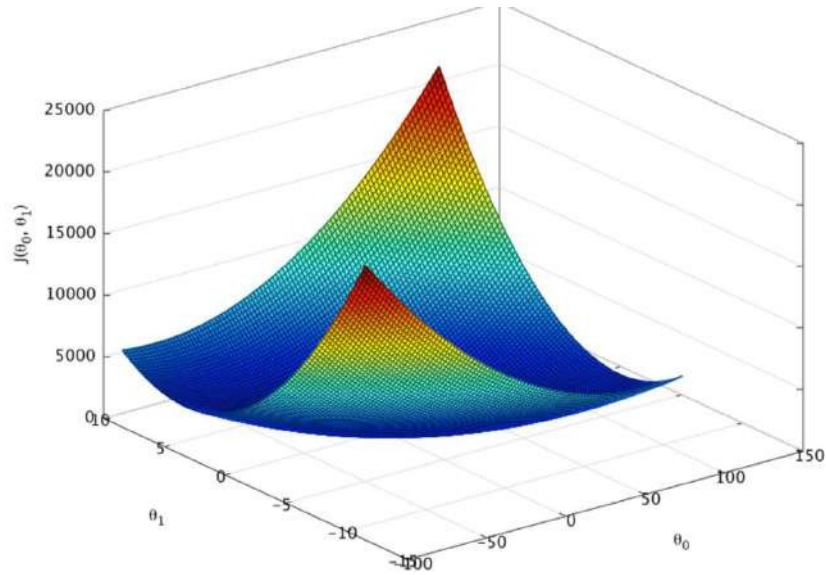
თუ ჩავთვლით, რომ ჩვენი სამიზნე ფუნქციაა  $h(x) = \theta_0 + \theta_1 x$ , სადაც  $\theta_0$  და  $\theta_1$  მუდმივებია, ჩვენი მიზანია ვიპოვოთ წინასწარმეტყველებისათვის საუკეთესო წყვილი.

მაპროგნოზირებელი  $h(x)$  ფუნქციის ოპტიმიზაცია ხდება სასწავლო მასალის გამოყენებით. ყოველი სასწავლო ნიმუშისათვის გვაქვს შემავალი მონაცემი  $x$  და მისი შესაბამისი შედეგი  $y$ . შესაბამისად ამ ნიმუშებისათვის ვეძებთ განსხვავებას  $y$ -სა და  $h(x)$ -ს შორის. საკმარისი სასწავლო მასალის გამოყენებით ეს განსხვავებები გვაძლევს  $h(x)$  -ის მცდარობის გაზონვის საშუალებას. ამის შემდეგ ცვლით  $\theta_0$  და  $\theta_1$  წყვილს განუწყვეტლივ, სანამ არ მივიღებთ საუკეთესო შედეგს. ამ პროცედურების საფუძველზე მაპროგნოზირებელი  $h(x)$  ფუნქცია იწვრთნება და მას უკვე შეუძლია წინასწარმეტყველება რეალური მონაცემებისათვის.

$\theta_0$  და  $\theta_1$  წყვილის კარგად შერჩევის საზომს წარმოადგენს ეგრეთ წოდებული ღირებულების ფუნქცია  $J(\theta)$ , რომლის ყველაზე მისადაგებული სახე ჩვენი ამოცანისათვის შემდეგია:

$$J(\theta_0, \theta_1) = \frac{1}{2m} \sum_{i=1}^m (h(x_{t,i}) - y)^2$$

ამ ფუნქციის შესაბამისი გრაფიკის მიხედვით (ნახ.1), ჩვენი მიზანია ვიპოვოთ ისეთი  $\theta_0$  და  $\theta_1$ , რომ ფუნქციის მნიშვნელობა იყოს მინიმალური, ანუ განთავსდეს ფსკერთან ახლოს. ეს კი მიიღწევა ამ წყვილის მუდმივი ცვლილებით - პერიოდულად ერთის გაზრდით ან მეორის შემცირებით და ა.შ. ეს მეთოდი ცნობილია, როგორც გრადიენტული დაშვების მეთოდი, რომელიც წარმოადგენს ინტეგრალური ოპტიმიზაციის ცნობილ ალგორითმს. რადგან მანქანურ სწავლებაში მთავარი მიზანია სისწორის მაქსიმიზაცია, გრადიენტული დაშვების მეთოდი, რომელიც გამოიყენება შეცდომების მინიმიზაციისათვის, ყველაზე მისადაგებული მექანიზმია.



ნახ.1 ღირებულების ფუნქციის გრაფიკი

დიდი მოცულობის მონაცემების არსებობისას, მანქანური სწავლებაში გამოიყენება მრავალშრიანი ნეირონული ქსელები. ყოველ შრეს გააჩნია შემავალი და გამოშვებული მონაცემები, მათი შესატყვისი წონებითა და გადახრებით. ყოველი შრის გავლის შემდეგ შემავალი მნიშვნელობა იცვლება კონკრეტული ფუნქციის შესაბამისად და ბოლო შრის გავლის შედეგად ვღებულობთ სასურველ შედეგს. ჩვენ ვიყენებთ მრავალშრიან ეგრეთ წოდებულ ღრმა ნეირონულ ქსელებს, რომელთა ფენების რაოდენობა 3-ზე მეტია. სწორედ ასეთი ქსელები გამოიყენება კლასიფიკაციის ამოცანებისათვის, განსაკუთრებით მედიცინის სფეროში დიაგნოზის კლასიფიკაციის მხარდამჭერ სისტემებში.

### 3. სისხლის შრატის მიკროკალორიმეტრიული მონაცემების სიმსივნური დაავადების დიაგნოსტიკისათვის

ჩვენი კვლევის ძირითადი ობიექტი, რისთვისაც გამოიყენება მანქანური სწავლება, წარმოადგენს სიმსივნურ დაავადებათა დიაგნოსტიკის მეთოდს დიფერენციალური სკანირებადი (დსმ) მიკრო კალორიმეტრის მონაცემების საფუძველზე. ესენი არიან დსმ-ის საშუალებით ადამიანის სისხლის შრატის ძირითადი ცილების დამოუკიდებელი დნობის აღმწერი მონაცემები, როგორც ჯანმრთელი ასევე სიმსივნით დაავადებული ადამიანებისათვის.

მრავალი ექსპერიმენტის საფუძველზე დადგენილია, რომ სისხლის შრატის დენატურაციის კალორიმეტრიული მრუდები განსხვავდება არაონკოლოგიური ავადმყოფის მრუდისაგან და არაონკოლოგიური ავადმყოფების მრუდები კი ონკოლოგიური ავადმყოფების მრუდებისაგან. ყოველი მრუდის შესაბამისი მონაცემები ერთი პაციენტისათვის არანაკლებ 5000. მონაცემების ეს რაოდენობა დიდი რაოდენობის ანალიზების (ექსპერიმენტალური მრუდების) არსებობისას ქმნიან კარგ საფუძველს მანქანური სწავლების გამოსაყენებლად.

#### 4. საწვრთნელი მოდელი - შემუშავება და გამხორციელება

საწვრთნელი მოდელი წარმოადგება მრავალშრიანი ნეირონული ქსელის სახით, რომელიც ერთანეთთან აკავშირებს რამდენიმე შრეს. დაპროგრამების თანამედროვე ენები, ისეთი როგორცაა Python, შეიცავენ ბიბლიოთეკებს, რომლებიც ხშირად გამოყენებად სხვადასხვა ალგორითმულ გადაწყვეტებს აღწერენ. მათ შორისაა ნეირონული ქსელებიც.

ამ ინსტრუმენტის საშუალებით შექმნა პროგრამული პაკეტი რომელიც ახდენს კალორიმეტრიული ანალიზის შედეგად მიღებული მონაცემების წაკითხვას, საზღვრავს მოდელს, ახდენს მოდელის კომპილირებას, მის მორგებას, შეფასებას და „წინასწარმეტყველებას“.

მონაცემების წაკითხვა - მონაცემების წაკითხვა ხდება ტექსტური ფაილიდან ფორმატით  $x1;y1; x2;y2$ , სადაც  $(x1, y1)$  და  $(x2, y2)$  ფუნქციის გრაფიკის წერტილებია. ასევე შესაძლებელია ერთდროულად რამდენიმე გრაფიკის შესაბამისი მონაცემების წაკითხვა.

მოდელის განსაზღვრა - ნეირონული ქსელის მოდელი შედგება შრეებისაგან, რომლის შესაბამისი მოდელის განსაზღვრას ახდენს კოდის შემდეგი ფრაგმენტი:

```
model = Sequential()
model.add(Dense(12, input_dim=8, activation='relu'))
model.add(Dense(8, activation='relu'))
model.add(Dense(1, activation='sigmoid'))
```

მოდელის ნეირონული ქსელი შედგება სამი შრისაგან. პირველი და მეორე შრე არის relu ტიპის. პირველი შეიცავს 12 ნეირონს და შესავალზე აქვს 8 პარამეტრი, მეორე შრე შეიცავს 8 ნეირონს და საბოლოო შრე 1 ნეირონს, რათა ივარაუდოს შედეგი 0 ან 1.

Relu ფუნქცია წარმოადგენს დეტექტორ ფუნქციას და განისაზღვრება შემდეგნაირად:

$$f(x) = \max(0, x)$$

კლასიფიკაციის ამოცანებში ეს ფუნქცია კარგ შედეგს იძლევა.

ბოლო შრეზე გამოიყენება sigmoid ფუნქცია, რათა დარწმუნებული ვიყოთ, რომ გამოსავალზე იქნება 0-სა და 1-ს შუა.

მოდელის კომპილირება - მოდელის კომპილირებისათვის საჭიროა დამატებითი პარამეტრების მითითება, რომლებიც საჭიროა ნეირონული ქსელის დასწავლისათვის. ნეირონული ქსელის დასწავლა ნიშნავს ვიპოვოთ საუკეთესო წონები ჩვენი შემთხვევისათვის. უნდა მიეთითოს დანაკარგების იგივე ღირებულების ფუნქცია, რომელიც ჩვენს შემთხვევაში ლოგარითმული დანაკარგის ფუნქციას წარმოადგენს. მოდელის კომპილირებისათვის ასევე ვიყენებთ ოპტიმიზირებული გრადიენტული დაშვების ალგორითმს adam. შედეგად გვაქვს შემდეგი კოდის ფრაგმენტი:

```
model.compile(loss='binary_crossentropy', optimizer='adam', metrics=['accuracy'])
```

რომლის გაშვებაც ახდენს მოდელის კომპილირებას.

მოდელის მორგება- მოდელის მორგება გულისხმობს ნეირონული ქსელის დასწავლის პროცესს:

```
model.fit(X, Y, epochs=150, batch_size=10)
```

epochs პარამეტრის საშუალებით ხდება იტერაციების რაოდენობის მითითება.

მოდელის შეფასება - მოდელის შეფასება განსაზღვრავს თუ რამდენად კარგად მოხდა დასწავლა. ამ ეტაპზე არ ფასდება თუ რა შედეგს მოგვცემს მოდელი რეალური მონაცემებისათვის, მაგრამ განისაზღვრება სიზუსტე დასწავლილ მონაცემებზე:

```
scores = model.evaluate(X, Y)
print("\n%s: %.2f%%" % (model.metrics_names[1], scores[1]*100))
```

ჩვენს შემთხვევაში სიზუსტე 97%.

წინასწარმეტყველება - წინასწარმეტყველების პროცესი გულისხმობს დიაგნოზის განსაზღვრას იმ მონაცემების საფუძველზე, რომლებიც არ მონაწილეობდნენ დასწავლის პროცესში.

მოდელის ქმედითიანობის შესამოწმებლად გამოყენებულ იქნა 300 ჩანაწერი. ტესტირება ჩატარდა სხვადასხვა რაოდენობის მონაცემებზე. ყველაზე მცირე რაოდენობა შეესაბამებოდა 50 მრუდის მონაცემს, მაქსიმალური - 300. ექსპერიმენტმა აჩვენა, რომ მონაცემების ზრდასთან ერთად გაიზარდა სიზუსტე (ცხრილი. 1):

ცხრილი 1. მოდელის ექსპერიმენტალური ტესტირების შედეგი.

მონაცემების რაოდენობა	სიზუსტე
50	69%
100	77%
150	84%
200	90%
250	94%
300	97%

საწვრთნელი მონაცემების რაოდენობის გაზრდით შესაძლებელია სიზუსტის დაკორექტირება.

## 5. დასკვნა

მანქანურ სწავლებაზე დაფუძნებული გადაწყვეტილების მიღების მხარდამჭერი სისტემები სულ უფრო პოპულარული ხდება. მათ შორის სამედიცინო დიაგნოსტიკის სფეროში. განსაკუთრებით მზარდია მონაცემთა დიდ ნაკადების დამუშავებაზე ორიენტირებული სხვადასხვა აპლიკაციების შემუშავება-დამუშავება, რომელთა წყაროსაც წარმოადგენენ სხვადასხვა სენსორული (მათ შორის სამედიცინო დანიშნულების) მოწყობილობები. ჩატარებული სამუშაო, შექმნილი მოდელი და მისი განვითარების პოტენციალი, შესაძლებელს გახდის ადიჭურვოს სადიაგნოსტიკო ხელსაწყო - დიფერენცირებადი მიკრო კალორიმეტრი - პროგრამული აპლიკაციით, რომელიც სისხლის შრატის დენატურაციის შესაბამისი მრუდის აღმწერი მონაცემების საფუძველზე მაღალი სიზუსტით შეძლებს დიაგნოზის დასმის გადაწყვეტილების მხარდამჭერას.

## Machine learning in Medical Diagnostics as a Task for Classification of Complex Objects

*David Khachidze, Papuna Qarchava*

### Summary

The paper discusses the capabilities and application of one of the machine learning approaches - deep neural networks, in tasks for classification of complex objects. The paper describes features of deep neural networks and analysis sigmoidal and logarithmic loss functions which are most commonly used for classification tasks. By means of these functions, a model is defined, which describes the microcalorimetric data used for medical diagnostics in the form of descriptive data of a complex object. A description of the software implementation of the model is presented, which allows to read and process the data and predict the diagnosis based on the obtained results to support the doctor's decision.

## Диагностике как задача классификации сложных объектов

### Резюме

*Давид Хачидзе, Папуна Карчава*

В статье рассматриваются возможности и применение одного из подходов машинного обучения - глубоких нейронных сетей, в задачах классификации сложных объектов. В статье описываются особенности глубоких нейронных сетей и анализируются сигмоидальные и логарифмические функции потерь, которые чаще всего используются для задач классификации. С помощью этих функций определяется модель, описывающая микрокалориметрические данные, используемые для медицинской диагностики, в виде описательных данных сложного объекта. Представлено описание программной реализации модели, которая позволяет считывать и обрабатывать данные и на основании полученных результатов прогнозировать диагноз для поддержки решения врача.

## ლიტერატურა – References – Литература

1. Tom Mitchell, Machine Learning, McGraw Hill, 1997
2. Sergio Sanchez-Martinez , Oscar Camara, Gemma Piella, Maja Cikes, Miguel Ángel González-Ballester, Marius Miron, Alfredo Vellido, Emilia Gómez, Alan G. Fraser, Bart Bijnens. Machine Learning for Clinical Decision-Making: Challenges and Opportunities in Cardiovascular Imaging.. Frontiers in Cardiovascular Medicine. 04 January 2022. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2021.765693>
3. N.Gabriel, N.F.Johnson Using Neural Architectures to Model Complex Dynamical Systems. Advances in Artificial Intelligence and Machine Learning. 2022;2(2):24.
4. Yu X, Efe MO, Kaynak O. A General Backpropagation Algorithm for Feedforward Neural Networks Learning. IEEE Transactions on Neural Networks. 2002;13:251–254.
5. McFall KS, Mahan JR. Artificial Neural Network Method for Solution of Boundary Value Problems With Exact Satisfaction of Arbitrary Boundary Conditions. IEEE Transactions on Neural Networks. 2009;20:1221–1233.
6. Imran Shafi, Sana Ansari, Sadia Din, Gwanggil Jeon, Anand Paul. Artificial neural networks as clinical decision support systems. Volume 33, Issue 22 Special Issue: Applied Computational Intelligence (ACI 2019). Cognitive Computing for Robotic Vision (ISAIR2019). 25 November 2021. e6342
7. Khachidze D. and Monaselidze J. "Microcalorimetric study of human blood serum". Biophysics [IF SES 10(r)], vol. 45, №2, pp. 312-316, (2000).



სამედიცინო დიაგნოსტიკური მხარდამჭერი სისტემის შემუშავება იშვიათი დაავადებების დიაგნოსტიკის ამოცანის გადასაწყვეტად

მაია მიქელაძე, ვადიმ რადიევსკი, ნორა ჯალიაბოვა, დიმიტრი რადიევსკი,  
ყარამან ფალავა

Email: *mikeladzemaia@yahoo.com, v\_radzievski@yahoo.com, noraj@mail.ru, dradzievski@gmail.com, kpagava@yahoo.com*

რეზიუმე

განიხილება იშვიათი დაავადებების დიაგნოსტიკის ამოცანა სამედიცინო დიაგნოსტიკური მხარდამჭერი სისტემის აგების მიზნით. სამედიცინო დიაგნოსტიკის პროცესი შეიძლება დაიყოს რამდენიმე ეტაპად. დიაგნოსტიკის საწყის ეტაპზე ანამნეზის და ფიზიკალური გამოკვლევის საფუძველზე ხორციელდება პირველადი დიაგნოსტიკა. შედეგად ვლელულობთ რამდენიმე წინასწარ დიაგნოზს შესაბამისი შეფასებით, რომელიც ახასიათებს დიაგნოზის სარწმუნოობას. სამედიცინო დიაგნოსტიკური მხარდამჭერი სისტემის პირველადი დიაგნოსტიკის კომპონენტის შემუშავებისას ცოდნის წარმოსადგენად გამოყენებულია მიზეზ-შედეგობრივი სემანტიკური ქსელი, ხოლო პირველადი დიაგნოსტიკის პროცესის მოდელირებისთვის - მიზეზ-შედეგობრივი ანალიზი სემანტიკური ქსელის საფუძველზე. სამედიცინო დიაგნოსტიკური მხარდამჭერი სისტემა დაეხმარება ექიმებს იშვიათი დაავადებების სწორ და დროულ დიაგნოსტიკაში.

საკვანძო სიტყვები:

სამედიცინო დიაგნოსტიკური მხარდამჭერი სისტემა, სემანტიკური ქსელი, მიზეზ-შედეგობრივი ანალიზი, იშვიათი დაავადებები

ტერმინი „იშვიათი დაავადება“ გამოიყენება ისეთი ნოზოლოგიური ერთეულის აღსანიშნავად, რომლის სიხშირე პოპულაციაში 0.05 %-ს არ აღემატება, თუმცა იშვიათი დაავადებების რიცხვი 7-8 ათასს აღწევს. ასეთი მრავალრიცხოვნების გამო ექიმების უმრავლესობა მათ კარგად არ იცნობს. ამის გარდა, იშვიათი დაავადებები სხვადასხვა სამედიცინო დარგის საზღვარზეა, რაც დამატებით ართულებს მათ დიაგნოსტიკას. სწორი დიაგნოზის დასმას შეიძლება დიდი დრო დასჭირდეს - მსოფლიო პრაქტიკის თანახმად, ამ პროცესს საშუალოდ 3-4 წელი სჭირდება. იგივე ფაქტორებით განპირობებულია იშვიათი დაავადებებისთვის ეფექტური მკურნალობის შერჩევის პრობლემა [1].

იშვიათი დაავადებებისთვის შექმნილ დიაგნოსტიკურ მხარდამჭერ სისტემაში აკუმულირებული იქნება ის ცოდნა და გამოცდილება, რომელიც დაგროვილია შესაბამის სფეროში. სისტემა დაეხმარება დამწყებ და ნაკლებად გამოცდილ ექიმებს სწორ და დროულ დიაგნოსტიკაში.

ზოგადად, სამედიცინო დიაგნოსტიკის პროცესი შეიძლება დაიყოს შემდეგ ეტაპებად:

I ეტაპი - პირველადი დიაგნოსტიკა. ეს ეტაპი მოიცავს ანამნეზის შეგროვებას, ანუ პაციენტის გამოკითხვას, თუ რა აწუხებს, რა სიმპტომები აღენიშნება. ასევე, ამ ეტაპზე ხორციელდება პაციენტის ფიზიკალური გამოკვლევა. ფიზიკალურ გამოკვლევაში იგულისხმება პაციენტის უშუალო გამოკვლევა, რომელიც მიიღება გრძნობათა ორგანოების მეშვეობით. როგორც სიმპტომები, ასევე ფიზიკალური გამოკვლევის თითოეული შედეგი წარმოადგენს პაციენტის მდგომარეობის აღმწერ ნიშან-თვისებას. ზუსტად ამ მონაცემების საფუძველზე ხორციელდება პირველადი დიაგნოსტიკის პროცესი. შედეგად ვლელულობთ

რამოდენიმე ე.წ. წინასწარ დიაგნოზს შესაბამისი ალბათობით - თუ რამდენად სავარაუდოა, რომ პაციენტის მდგომარეობა გამოწვეულია შესაბამისი დაავადებით.

II ეტაპი - ინსტრუმენტალურ-ლაბორატორიული კვლევების დაგეგმვა. ამ ეტაპზე წინასწარი დიაგნოზებზე დაყრდნობით უნდა დაიგეგმოს, თუ რა ინსტრუმენტალური ან/და ლაბორატორიული გამოკვლევები უნდა ჩატარდეს. ამ გამოკვლევების შედეგები საჭიროა წინასწარი დიაგნოზების, უფრო სწორად კი, მათი ალბათობების დასაზუსტებლად.

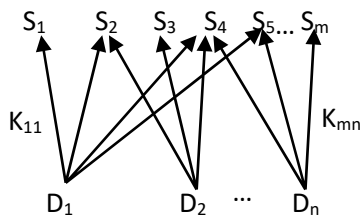
III ეტაპი - დიფერენციალური დიაგნოსტიკა. დიფერენციალური დიაგნოსტიკების პროცესის შედეგად, ანამნეზის და ინსტრუმენტალურ-ლაბორატორიული კვლევების საფუძველზე ხდება დაზუსტებულ წინასწარ დიაგნოზებს შორის ყველაზე სავარაუდო (ყველაზე მაღალი ალბათობის მქონე) დიაგნოზის არჩევა. ზუსტად ეს ამორჩეული დიაგნოზი წარმოადგენს საბოლოო დიაგნოზს. შესაბამისი ალბათობა ახასიათებს მიღებული გადაწყვეტილების სარწმუნოებას, სანდოობას.

მეორე და მესამე ეტაპი გარკვეულწილად შერეულია, ის შეიცავს აგრეთვე მეთვალყურეობის შედეგებს და სამკურნალო ღონისძიებების ეფექტურობას.

დიაგნოსტიკების პირველი ეტაპის განსახორციელებლად მხარდამჭერი სისტემის ცოდნის ბაზა უნდა შეიცავდეს იშვიათი დაავადებების ფორმალიზებულ აღწერილობას ძირითადი სადიაგნოსტიკო კრიტერიუმების და მათი სადიაგნოსტიკო წონების მითითებით. სისტემის შემუშავების ამ ეტაპზე კლინიკური მონაცემებისა და ცოდნის კომპიუტერული წარმოდგენის პრობლემა წარმოიშობა. აქ უნდა გათვალისწინებულ იქნას მიზეზ-შედეგობრივი კავშირები დაავადებებსა და სიმპტომებს შორის, მათი არამკაფიოობა და დიაგნოსტიკური გადაწყვეტილებების არაკატეგორიულობა.

მოცემულ სამუშაოში ცოდნის წარმოსადგენად გამოყენებულია მიზეზ-შედეგობრივი სემანტიკური ქსელი, ხოლო პირველადი დიაგნოსტიკების პროცესის მოდელირებისთვის - მიზეზ-შედეგობრივი ანალიზი სემანტიკური ქსელის საფუძველზე.

დაავადებების წარმოდგენისას მიზეზ-შედეგობრივი სემანტიკური ქსელის მეშვეობით (ნახ.1) S წვეროები წარმოადგენენ სიმპტომებს, D წვეროები - დაავადებებს, ხოლო რკალები - არამკაფიო მიმართებას „შესაძლო შედეგი“. თითოეულ რკალს მიეწერება  $K_{ij}$  წონითი კოეფიციენტი.  $K_{ij}$  კოეფიციენტი ასახავს სარწმუნოების ხარისხს იმისა, რომ  $S_i$  სიმპტომი  $D_j$  დაავადების შედეგია, ანუ თუ ავადმყოფს აღენიშნება  $S_i$  სიმპტომი, რამდენად სარწმუნოა, რომ მას აქვს  $D_j$  დაავადება. ასეთი სემანტიკური ქსელის კომპიუტერული წარმოდგენისთვის ხელსაყრელია მიმართებათა მატრიცის გამოყენება (ნახ. 2) [2, 3].



ნახ. 1

	$D_1$	$D_2$	...	$D_n$
$S_1$	$K_{11}$	$K_{12}$	...	$K_{1n}$
$S_2$	$K_{21}$	$K_{22}$	...	$K_{2n}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$S_m$	$K_{m1}$	$K_{m2}$	...	$K_{mn}$

ნახ. 2

წონით კოეფიციენტებს შეიძლება იძლეოდეს ექიმი თავისი ცოდნის, გამოცდილების და ინტუიციის საფუძველზე. ანდა წონითი კოეფიციენტები შეიძლება მივიღოთ სისტემის თვითსწავლების გზით სასწავლო ამონაკრეფის გამოყენებით [2,4].

ასეთ ქსელში დასკვნის გამოსატანად ვიყენებთ მიზეზ-შედეგობრივ ანალიზს [3], რომელიც შედგება 2 ეტაპისგან (ნახ. 3):

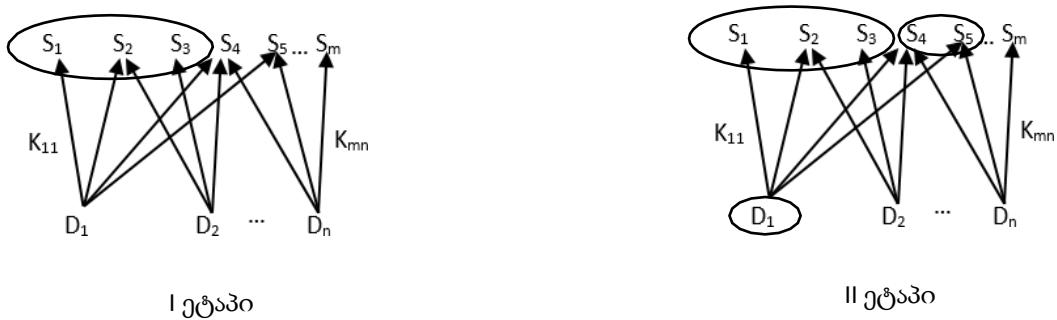
I. **hipoTezis wamoyeneba:**  $D_j$  პიპოთეზების შეფასება A პაციენტის შემთხვევაში, ანუ იმ სიმპტომების საფუძველზე, რომლებიც A პაციენტს აღენიშნება:

$$W_{D_j} = \frac{1}{N_{A \cap D_j}} \sum_{S_i \in A \cap D_j} K_{ij}$$

ფაქტობრივად,  $D,P$  ჰიპოთეზის შეფასება გამოითვლება როგორც ყველა იმ რკალის კოეფიციენტის საშუალო არითმეტიკული, რომელიც გამოდის  $D,P$  წვეროდან და მიემართება იმ  $S_i$  სიმპტომებისკენ, რომლებიც აღენიშნება  $A$  ავადმყოფს.

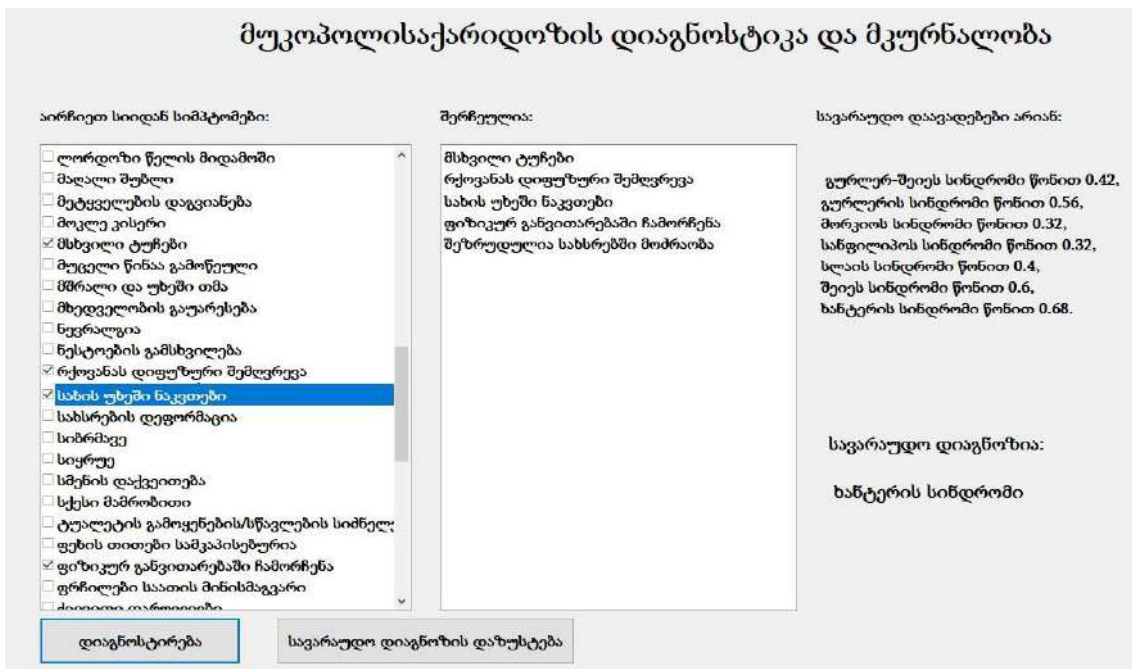
უდიდესი შეფასების მქონე  $D,P$  წვეროები წარმოადგენენ წინასწარ დიაგნოზებს, ხოლო შესაბამისი  $W_{D_i}$  შეფასებები ამ დიაგნოზების სარწმუნოებას, სანდოობას.

**II. hipoTezis Semowmeba:**  $D,P$  წინასწარი დიაგნოზის მიხედვით ახალი სიმპტომების მოძიება - ანუ აღენიშნება თუ არა  $A$  პაციენტს  $D,P$  დაავადების სხვა სიმპტომები, რომლებიც მანამდე მას არ დაუსახელებია და შემდეგ ახალი მონაცემების საფუძველზე  $D$  წვეროების ახალი შეფასებების გამოთვლა. ფაქტობრივად, ამ ეტაპზე ხდება წინასწარი დიაგნოზების სარწმუნოების დაზუსტება. ამის გარდა, თუ ახალი შეფასებების საფუძველზე შერჩეული წინასწარი დიაგნოზების ნაკრები დაემთხვა წინა ეტაპზე შერჩეული დიაგნოზების



ნახ. 3. მიზეზ-შედეგობრივი ანალიზის ეტაპები. ნაკრებს, წამოყენებულ ჰიპოთეზა ჩაითვლება დადასტურებულად.

სამედიცინო დიაგნოსტიკური მხარდამჭერი სისტემის კომპონენტი, რომელიც განკუთვნილია პირველადი დიაგნოსტიკებისთვის, განხორციელებულია მიზეზ-შედეგობრივი ანალიზის საფუძველზე. შესაბამისი პროგრამა დამუშავებულია C++ Builder 10 Seattle გარემოში (ნახ.4).



ნახ. 4. პირველადი დიაგნოსტიკების კომპონენტის საწყისი ფანჯარა.

პირველადი დიაგნოსტიკების კომპონენტის საწყისი ფანჯარა (ნახ. 4) განკუთვნილია მიზეზ-შედეგობრივი ანალიზის I ეტაპის განხორციელებისათვის. მარცხენა სიაში წარმოდგენილია ყველა შესაძლო  $S_i$  სიმპტომი,  $i = 1, \dots, m$ . ამ სიაში უნდა მონიშნოს ყველა ის სიმპტომი, რომელიც აღენიშნება პაციენტს. დიაგნოსტიკა ღილაკზე დაჭერის შემდეგ სიაში შერჩეულია გამოჩნდება მონიშნული სიმპტომები, ხოლო სიაში სავარაუდო დაავადებები - ყველა  $D_i$  დიაგნოზი შესაბამისი შეფასებებით, რომლებიც ასახავენ მათ სარწმუნოებას. ცალკე, სავარაუდო დიაგნოზების განყოფილებაში გამოტანილია უდიდესი შეფასების მქონე რამოდენიმე დიაგნოზი, რომლებიც წარმოადგენენ წინასწარ დიაგნოზებს. ნახ. 4-ზე წარმოდგენილია შემთხვევა, როდესაც წინასწარი დიაგნოზის სახით აირჩევა მხოლოდ ერთი - მაქსიმალური შეფასების მქონე დიაგნოზი.

იმ შემთხვევაში, თუ საჭირო გახდა შეყვანილი მონაცემების სისრულის გადამოწმება ან/და დიაგნოზების დაზუსტება, საჭიროა სავარაუდო დიაგნოზის დაზუსტება - ღილაკის გააქტიურება. შედეგად ეკრანზე გამოჩნდება ფანჯარა, რომელიც შეესაბამება მიზეზ-შედეგობრივი ანალიზის II ეტაპს (ნახ. 5).

მარცხენა სიაში წარმოდგენილია მხოლოდ ის სიმპტომები, რომლებიც დაკავშირებულია წინა ეტაპზე მიღებულ წინასწარ დიაგნოზებთან. თუ წინა ეტაპზე მომხმარებელს გამორჩა რომელიმე სიმპტომი, მას შეუძლია მონიშნოს გამოტოვებული სიმპტომები და დიაგნოზი ღილაკის გააქტიურებით ხელახლა შეაფასოს ყველა  $D_i$  დიაგნოზი. საბოლოო დიაგნოზის განყოფილებაში გამოჩნდება უდიდესი შეფასების მქონე რამოდენიმე დიაგნოზი, ოღონდ ეს დიაგნოზები აირჩევა ახალი შეფასებების საფუძველზე. ნახ. 5-ზე წარმოდგენილია შემთხვევა, როდესაც ახალი შეფასებების საფუძველზე აირჩევა მხოლოდ ერთი - მაქსიმალური შეფასების მქონე დიაგნოზი.

### სავარაუდო დიაგნოზის დაზუსტება

**აირჩიეთ სიდან სიმპტომები:**

- ფიზიკურ განვითარებაში ჩამორჩენა
- მსხვილი ტუჩები
- მოკლე კისერი
- შეზრდულია სახსრებში მოძრაობა
- დაბალი ხრინწიანი ხმა
- სახის უხეში ნაკვთები
- ასაკი 2-4 წლისა და მეტის
- ნესტოების გამსხვილება
- საზარდულის თიაქარი
- ჭიკის თიაქარი
- ხშირი სურდო
- ხმაურის სუნთქვა
- შესქელებული კანი
- გამეჩხერებული კბილები
- სქესი მამრობითი

**შერჩეულია:**

ფიზიკურ განვითარებაში ჩამორჩენა  
 მსხვილი ტუჩები  
 მოკლე კისერი  
 შეზრდულია სახსრებში მოძრაობა  
 დაბალი ხრინწიანი ხმა  
 სახის უხეში ნაკვთები

**სავარაუდო დაავადებები არიან:**

გურლერ-შეიეს სინდრომი წონით 0.23333333333333333,  
 გურლერის სინდრომი წონით 0.55,  
 მორეიოს სინდრომი წონით 0.23333333333333333,  
 სანფილიპოს სინდრომი წონით 0.266666666666667,  
 სლაის სინდრომი წონით 0.25,  
 შეიეს სინდრომი წონით 0.466666666666667,  
 ხანტერის სინდრომი წონით 0.8.

**საბოლოო დიაგნოზია: ხანტერის სინდრომი**

ნახ. 5. პირველადი დიაგნოსტიკებისას მონაცემების სისრულის გადამოწმება ან/და დიაგნოზების დაზუსტება.

## **Development of a medical diagnostic decision support system for solving the problem of diagnosing rare diseases**

*Maia Mikeladze, Vadim Radzievski, Nora Jaliabova, Dimitri Radzievski, Karaman Pagava*

### **Summary**

The problem of diagnosing rare diseases is considered in order to create a medical diagnostic decision support system. A process of medical diagnostics consists of several stages. At the initial stage, primary diagnosis is made on the basis of anamnesis and physical examination. As a result, we obtain several preliminary diagnoses with appropriate assessment of the diagnosis confidence. When developing a primary diagnostic component of the medical diagnostic decision support system, a cause-and-effect semantic network is used to represent knowledge, and a cause-and-effect analysis based on a semantic network is used to model the process of primary diagnostics. Medical diagnostic decision support system will help doctors to make correct and timely diagnoses of rare diseases.

## **Разработка медицинской диагностической системы поддержки принятия решений для решения задачи диагностики редких болезней**

*Майя Микеладзе, Вадим Радзиевский, Нора Джалябова, Дмитрий Радзиевский,*

*Караман Пагава*

### **Резюме**

Рассматривается задача диагностирования редких болезней с целью создания медицинской диагностической системы поддержки принятия решений. Процесс медицинского диагностирования состоит из нескольких этапов. На начальном этапе осуществляется первичное диагностирование на основе анамнеза и физического обследования. В результате получаем несколько предварительных диагнозов с соответствующей оценкой достоверности диагноза. При разработке компонента первичного диагностирования медицинской диагностической системы поддержки принятия решений для представления знаний используется причинно-следственная семантическая сеть, а для моделирования процесса первичной диагностики используется причинно-следственный анализ на основе семантической сети. Медицинская диагностическая система поддержки принятия решений поможет врачам в правильной и своевременной постановке диагноза редких болезней.

### **ლიტერატურა – References – Литература**

1. P. M. Posada, D. Taruscio, S. C. Groft. Rare diseases epidemiology: Update and overview. Cham, Switzerland : Springer, 2017, 704 p.
2. В. Радзиевский, М. Микеладзе, Н. Джалябова, Д. Радзиевский, И. Оконян. Интеллектуальная система медицинской диагностики, использующая знания и способная к обучению. Международная научно-техническая конференция „Информационное общество и технологии интенсификации образования“ (ISITE'21), Сборник трудов Грузинского технического университета „Автоматизированные системы управления“ №1(32), т.1.1, Тб., 2021, с. 81-85.
3. В. Радзиевский, М. Микеладзе, Д. Радзиевский. Причинно-следственные сети представления знаний в задаче создания интеллектуальной системы медицинской диагностики. Сборник трудов Института систем управления А.Элиашвили Грузинского технического университета №22, Тб., 2018, с. 157-162.
4. ვ. რადიევსკი, მ. მიქელაძე, ნ. ჯალიაბოვა, დ. რადიევსკი, ი. ოკონიანი. სასწავლო ნეირონული ქსელების გამოყენება დიაგნოსტიკის ინტელექტუალური სისტემების შექმნისას. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის არჩილ ელიაშვილის სახელობის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული №25, თბ, 2021, გვ. 151-156.

---

ცოდნის წარმოდგენის მიზეზ-შედეგობრივი ქსელი სამედიცინო  
დიაგნოსტიკის ამოცანათა გადასაწყვეტად  
ვადიმ რადიევსკი, მაია მიქელაძე, ილია ოკონიანი, დიმიტრი რადიევსკი  
mikeladzemaia@yahoo.com, v\_radzievski@yahoo.com, i.okonian@gmail.com,  
dradzievski@gmail.com

## რეზიუმე

განიხილება ცოდნაზე დაფუძნებული სამედიცინო დიაგნოსტიკის ინტელექტუალური სისტემის შემუშავების საკითხი. ამოცანის ამოხსნა ხორციელდება პირველადი თავის ტკივილის დაავადებათა კლასის მაგალითზე. დაავადების დამახასიათებელ თავისებურებას წარმოადგენს ის, რომ მისი დიაგნოსტიკა ეფუძნება მხოლოდ ავადმყოფის ჩივილებს. ჩივილები წარმოდგენილია ბუნებრივ ენაზე და გააჩნიათ არამკაფიო თვისობრივი ხასიათი. ყოველივე ეს არ იძლევა მკაცრი მათემატიკური მეთოდების გამოყენების შესაძლებლობას. მოცემული ამოცანის ამოხსნის ერთ-ერთ საშუალებას წარმოადგენს ცოდნაზე დაფუძნებული ინტელექტუალური სისტემის შემუშავება. საგნობრივი სფეროს ცოდნის წარმოსადგენად შეთავაზებულია მიზეზ-შედეგობრივი სემანტიკური ქსელები.

## საკვანძო სიტყვები:

ცოდნა, მოდელი, დიაგნოსტიკა, ანამნეზი, ინტელექტუალური სისტემა.

მოცემული სამუშაო ეხება ინტელექტუალური სისტემის შემუშავებას სამედიცინო დიაგნოსტიკის ამოცანათა გადასაწყვეტად. დიაგნოსტიკა ხორციელდება პირველადი თავის ტკივილის დაავადებათა კლასის მაგალითზე. აღნიშნული კლასის დაავადებები ხასიათდება თავის ტკივილით. უნდა ითქვას, თავის ტკივილის არსებული ფორმები იყოფა ორ დიდ ჯგუფად: პირველად და მეორად თავის ტკივილებად. პირველადი თავის ტკივილი ეწოდება თავის ტკივილის დაავადების ისეთ ნაირსახეობას, რომელიც არ არის ასოცირებული სხვა გამომწვევ პათოლოგიასთან. პირველადი თავის ტკივილების ყველაზე დამახასიათებელ ნაირსახეობებს წარმოადგენენ შაკივი, დამაბულობის თავის ტკივილი და კლასტერული თავის ტკივილი.

აღსანიშნავია, რომ ამ დაავადებათა პოზიტიური დიაგნოსტიკა ეფუძნება მხოლოდ ავადმყოფის ჩივილებისა და ანამნეზის მონაცემებს. კვლევის ინსტრუმენტული და ლაბორატორიული მეთოდები არ გამოიყენება პირველადი თავის ტკივილის დიაგნოსტიკისას, რადგან ვერ ავლენენ პათოლოგიას. სამედიცინო მონაცემებს, რომლებზეც გვიწევს დაყრდნობა პირველადი თავის ტკივილის დიაგნოსტიკისას, გააჩნიათ არამკაფიო თვისობრივი ხასიათი [1, 2]. ამოცანა მიეკუთვნება არაფორმალიზებულ ამოცანათა კლასს. ყოველივე ეს ართულებს დიაგნოსტიკის ამოცანას და მის გადასაწყვეტად მოითხოვს ახალ მიდგომას.

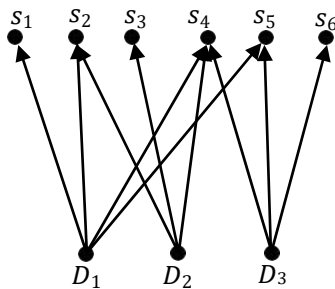
ასეთი ამოცანების გადასაწყვეტად განსაკუთრებით ეფექტანია ცოდნაზე დაფუძნებული ინტელექტუალური სისტემების გამოყენება. პრიორიტეტი, რომელიც ენიჭება ცოდნას ეფუძნება იმ პრინციპებს, რომლებიც გამოთქმულია ხელოვნური ინტელექტის მრავალი სპეციალისტის, კერძოდ, ცნობილი ამერიკელი მეცნიერის ფეიგენბაუმის მიერ [3]. ერთ-ერთი ასეთი პრინციპი ეხება ცოდნაზე დაფუძნებულ სისტემებს. ამ პრინციპის შესაბამისად ცოდნაზე დაფუძნებულ სისტემების სიმძლავრე განპირობებულია, უპირველეს ყოვლისა, ცოდნის ბაზის სიმძლავრით და მხოლოდ მეორე რიგში იმ მეთოდებით

(პროცედურებით), რომლებიც მის მიმართ გამოიყენება. ასეთ ინტელექტუალურ სისტემაში აკუმულირებული იქნება ის ცოდნა და გამოცდილება, რომელიც დაგროვილია შესაბამის სფეროში. სისტემა დაეხმარება დამწყებ და ნაკლებად გამოცდილ ექიმებს სწორ დიაგნოსტიკებასა და მკურნალობაში.

მოცემულ სამუშაოში ცოდნის წარმოდგენის მოდელის სახით გამოიყენება მიზეზ-შედეგობრივი ქსელი, რომელიც წარმოადგენს სემანტიკური ქსელის ნაირსახეობას. ქსელის წვეროები წარმოადგენენ სიმპტომებსა და დაავადებებს, ხოლო რკალები მიზეზ-შედეგობრივ დამოკიდებულებებს, რომლებიც აკავშირებენ წვერო-სიმპტომებს წვერო-დაავადებებთან. აგებული მიზეზ-შედეგობრივი ქსელი და შესაბამისი მიმართების მატრიცა ინახავს ცოდნას დაავადებების შესახებ [4, 5].

ნებისმიერი სემანტიკური ქსელი წარმოადგენს გრაფს წვეროებითა და რკალებით და შეიძლება წარმოიდგინოს ნულ-ერთეულოვანი მატრიცის სახით. მიმართებების არამკაფიო ხასიათისას, ქსელის რკალებს და შესაბამისი მატრიცის კომპონენტებს მიეწერებათ წონითი კოეფიციენტები, რომლებიც კონკრეტული სიმპტომების არსებობისას წარმოადგენენ დაავადების დარწმუნებულობის ხარისხს. წონითი კოეფიციენტები ღებულობენ მნიშვნელობებს (0-1) შუალედიდან. დარწმუნებულობის ხარისხებს იძლევა ექიმი-ექსპერტი თავისი ცოდნის და გამოცდილების საფუძველზე [5].

არამკაფიო მიმართებების „შესაძლო მიზეზი“, „შესაძლო შედეგი“ არსებობის შემთხვევაში (0-1) მატრიცის მაგივრად, რომელიც მიგვითითებს დამოკიდებულების ყოფნა-არყოფნაზე, გვექნება მატრიცა, რომლის ელემენტებს წარმოადგენენ დარწმუნებულობის ხარისხები  $\mu_i$ .



ნახ. 1

	$D_1$	$D_2$	$D_3$
$s_1$	1	0	0
$s_2$	1	1	0
$s_3$	0	0	0
$s_4$	1	1	1
$s_5$	1	0	0
$s_6$	0	0	0

ნახ. 2

მაგალითად, მიმართებისთვის „შესაძლო მიზეზი“ „შესაძლო შედეგი“ ეს კოეფიციენტები ასახავენ დარწმუნებულობის ხარისხს იმისა, რომ რომელიღაც დაავადება  $D_i$  არის  $s_j$  სიმპტომის მიზეზი ან რომელიღაც  $s_j$  სიმპტომი არის  $D_i$  დაავადების შედეგი. წონითი კოეფიციენტები აღებულია (0-1) შუალედიდან.

დიაგნოსტიკების ამოცანათა ამოხსნისას სიმპტომების საფუძველზე უნდა გაკეთდეს დასკვნა მათი გამომწვევი მიზეზების შესახებ. ქსელის წვეროთა სიმრავლეზე, რომლებიც განსაზღვრავენ შესაძლო სიმპტომებს, გამოიყოფა წვეროთა სიმპტომების ამსახველი ქვესიმრავლე, რომელიც ვლინდება რეალურ ავადმყოფთან. ასეთ წვეროებს ვუწოდოთ აქტივიზებული. დიაგნოზის დასადგენად განიხილება რკალები, რომლებიც გამოდიან აქტივიზებული წვეროებიდან და შედიან  $D_i$   $i = 1 \dots m$  დაავადებათა წვეროებში. ამ რკალთა წონითი კოეფიციენტების ჯამი, გამოთვლილი თითოეული  $D_i$  წვეროსთვის, ამ წვეროს შეფასებას იძლევა. ეს შეფასებები ახასიათებენ კონკრეტულ ავადმყოფს და იცვლებიან ყოველი ახალი პაციენტის გამოკვლევისას. იმისათვის, რომ მხედველობაში იყოს მიღებული არსებითი ნიშნების პრიორიტეტი, საჭიროა თითოეული  $D_i$ ,  $i = 1 \dots m$  წვეროსთვის იმ კოეფიციენტების საშუალო მნიშვნელობის გამოთვლა, რომლებიც შეესაბამებიან ამ წვეროში შემავალ რკალებს. დიაგნოზის დასადგენად გამოიყოფა წვერო მაქსიმალური საშუალო მნიშვნელობის შეფასებით [5]. ეს წვერო ასახავს სიმპტომების ყველაზე სავარაუდო

ჰიპოთეზას. დაავადების კომპიუტერული წარმოდგენისას გამოვიყენოთ ზემოთ ნახსენები დაავადებათა არამკაფიო მატრიცა  $C$  (ნახ. 3).

დავუშვათ ვექტორ-სვეტი  $s_1 s_2 \dots s_m$  ასახავს განსახილველ დაავადებათა სიმპტომების დასახელებას, ვექტორ-სტრიქონი  $D_1 D_2 \dots D_n$  დაავადებათა დასახელებებს, ხოლო  $c_{ij}$  – დაავადებათა მატრიცის ელემენტებს, რომლებიც იძლევიან დარწმუნებულობის ხარისხებს. მატრიცის თითოეული ელემენტი ასახავს დაავადების დარწმუნებულობის ხარისხს სიმპტომის არსებობისას.

პაციენტის მდგომარეობის აღსაწერად აიგება ნულ-ერთეულოვანი ვექტორი  $X = x_1 \dots x_m$ , რომელშიც 1 მიუთითებს სიმპტომის არსებობაზე, ხოლო 0 – არარსებობაზე. ამ ვექტორის ფორმირება ხდება პაციენტის გამოკვლევის და მის სიმპტომთა გამოვლენის პროცესში. იგი ფორმირდება ან ექიმის მიერ, ან თვით დაავადებულის მიერ ექიმის კითხვებზე პასუხისას.

დიაგნოზის დასმა დაიყვანება თითოეული სვეტის იმ არანულოვანი წონითი კოეფიციენტების საშუალო მნიშვნელობის გამოთვლაზე, რომლებიც შეესაბამება აქტივიზებულ სიმპტომებს. სვეტს, რომელიც იღებს საშუალო მნიშვნელობის მაქსიმუმს, შეესაბამება ჰიპოთეზა დაავადების შესახებ. ეს შედეგი შეიძლება მიღებულ იქნას  $X = (x_1 \dots x_m)$  ნულ-ერთეულოვანი ვექტორის გამრავლებით  $C$  მატრიცაზე, ანუ  $X = (x_1 \dots x_m)$  ვექტორის წრფივი გარდაქმნით  $C$  მატრიცის მეშვეობით (ნახ.3).

$$D = X \times C = [1, 0, \dots, 1] \times \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ c_{m1} & c_{m2} & \dots & c_{mn} \end{bmatrix}$$

ნახ. 3

შედეგად მივიღებთ  $D = (d_1 \dots d_n)$  ვექტორს, სადაც  $d_i = x_1 c_{1i} + x_2 c_{2i} + \dots + x_m c_{mi}$ ,  $i = 1, \dots, n$ . საშუალო მნიშვნელობების  $\tilde{D}(\tilde{d}_1, \tilde{d}_2, \dots, \tilde{d}_n)$  ვექტორის მისაღებად თითოეული  $d_i$ ,  $i=1, \dots, n$  უნდა გავყოთ შესაბამის  $D_i$  წვეროში შემავალი აქტივიზებული რკალების რაოდენობაზე.  $\tilde{D}$  ვექტორის მაქსიმალური ელემენტი ანუ  $\max(d_1 \dots d_n)$  რიგითი ნომერი მიუთითებს სავარაუდო დიაგნოზზე [4, 5].

განვიხილოთ მაგალითი (ნახ.4).

	$D_1$	$D_2$	$D_3$
$s_1$	0,4	0,7	0,8
$s_2$	0,8	0,8	0,7
$s_3$	0,7	0,6	0,3
$s_4$	0,6	0,9	0,5

ნახ. 4

დავუშვათ პაციენტს აქვს ოთხივე სიმპტომი და ( 0-1 )-ოვანი ვექტორი, რომელიც ასახავს პაციენტის სიმპტომების არსებობას, შეიცავს მხოლოდ ერთიანებს. წრფივი გარდაქმნის ოპერაციის შედეგად და შემდეგ საშუალოს გამოთვლით მივიღებთ ვექტორს, რომლის მაქსიმუმი შეესაბამება  $D_2$  დიაგნოზს. მაშასადამე,  $D_2$  არის ყველაზე ალბათური დიაგნოზი.

ჰიპოთეზის შესამოწმებლად ქსელის რკალებზე მოძრაობით, რომლებიც გამოდის ყველაზე სავარაუდო დიაგნოზის მქონე წვეროდან ვლინდება სიმპტომები, რომლებიც ვერ



დადგინდა პაციენტის გამოკვლევის საწყის ეტაპზე, მაგრამ რომლებიც უნდა აღნიშნებოდეს პაციენტს იმ შემთხვევაში, როცა საწყისი ჰიპოთეზა მართლდება. მოწმდება პაციენტთან ამ სიმპტომების არსებობა. ამ მონაცემთა საფუძველზე გამოითვლება ნახსენები წვეროს ახალი შეფასება და აგრეთვე სხვა წვეროებისა კვლავ აღმოჩენილი სიმპტომების გათვალისწინებით. ამოირჩევა წვერო, რომელმაც მიიღო მაქსიმალური შეფასება. თუკი ეს წვერო აღმოჩნდება სწორედ ზემოთ ნახსენები, მაშინ იგი შეიძლება ჩაითვალოს საბოლოო დიაგნოზად. წინააღმდეგ შემთხვევაში პროცედურა მეორდება ახალ წვეროსთან, რომელმაც მიიღო მაქსიმალური შეფასება. დიაგნოზის დადგენის პროცედურა დასრულდება, როცა დადასტურდება რომელიმე სავარაუდო ჰიპოთეზიდან.

ჰიპოთეზის მატრიცული შემოწმებისას სვეტთა ანალიზის მეშვეობით ვლინდება სიმპტომები, რომლებიც ვერ გამოვლინდა ავადმყოფის გამოკვლევის საწყის სტადიაზე და რომლებიც პაციენტს უნდა გააჩნდეს იმ შემთხვევაში, როცა საწყისი ჰიპოთეზა მართლდება. მოწმდება ამ სიმპტომთა არსებობა პაციენტთან. ამ მონაცემთა საფუძველზე, ზემოთ შემოთავაზებული მეთოდის გამოყენებით ისმება დიაგნოზი. თუ დიაგნოზი ემთხვევა წინას, მაშინ დაავადების შესახებ ჰიპოთეზა დადასტურებულია. წინააღმდეგ შემთხვევაში პროცედურა მეორდება და დასრულდება მაშინ, როცა მტკიცდება რომელიმე სავარაუდო ჰიპოთეზიდან.

შესაბამისი ოპერაციების ჩატარების საფუძველზე იხსნება დიაგნოსტიკის ამოცანა. დაავადების ამოხსნა დაიყვანება შემდეგ პროცედურათა ჩატარებაზე: პაციენტის გამოკვლევა და არსებულ სიმპტომთა გამოვლენა. ამ ინფორმაციის საფუძველზე აიგება ნულ-ერთეულოვანი ვექტორი, რომელშიც 1 აღნიშნავს სიმპტომის არსებობას, ხოლო 0 არარსებობას. შემდეგ ხორციელდება ნულ-ერთეულოვანი ვექტორის წრფივი გარდაქმნა დაავადებათა არამკაფიო მატრიცის მეშვეობით. წრფივი გარდაქმნის შედეგად მიღებულ ვექტორიდან განისაზღვრება საშუალო მნიშვნელობების ვექტორი. შემდეგ დგინდება მაქსიმალური ელემენტის ნომერი. ეს ნომერი განსაზღვრავს სვეტს დაავადებათა მატრიცაში, რომელსაც შეესაბამება დაავადების დასახელება.

მოცემულ სამუშაოში დიაგნოზის შესახებ გადაწყვეტილების მისაღებად იყო აგრეთვე გამოყენებული განსხვავებული მეთოდი. იგი იყენებს ლ. ზადეს არამკაფიო სიმრავლეთა თეორიას და იაგერის მეთოდს [6, 7]. ამ შემთხვევაში წრფივი გარდაქმნის ოპერაციის ნაცვლად გამოიყენება არამკაფიო სიმრავლეთა ინტერსექციის ოპერაცია. ეს ოპერაცია გულისხმობს ყველა სვეტში კოეფიციენტთა მინიმალური მნიშვნელობების არჩევას და ამ მინიმალური მნიშვნელობებიდან მაქსიმალურის არჩევას. ამ ოპერაციის განსახორციელებლად აიგება მატრიცა, რომლის ელემენტები წარმოადგენენ დარწმუნებულობის ხარისხის კოეფიციენტებს. კოეფიციენტები დადგენილია ექიმის მიერ და ისინი წარმოადგენენ ნამდვილ რიცხვებს, რომლებიც აღებულია (0-1) შუალედიდან. ტარდება არამკაფიო სიმრავლეთა ინტერსექციის ოპერაცია. მაქსიმალური ელემენტის ნომერი განსაზღვრავს მატრიცის დაავადებათა სვეტი, რომელსაც შეესაბამება დაავადების დასახელება.

განვიხილოთ მაგალითი, რომელიც იყო შეთავაზებული (ნახ. 4). დავუშვათ, გვაქვს 3 დაავადება  $D_1, D_2, D_3$  და გადაწყვეტილება მიიღება ოთხი სიმპტომის  $S_1, S_2, S_3, S_4$  საფუძველზე, რომლებიც გააჩნია კონკრეტულ ავადმყოფს. კოეფიციენტები, რომლებიც სიმპტომის არსებობისას განსაზღვრავენ დაავადების დარწმუნებულობის ხარისხებს, წარმოდგენილია მატრიცის სახით (ნახ 4). საბოლოო გადაწყვეტილება შეიძლება წარმოიდგინოს, როგორც არამკაფიო სიმრავლეთა ინტერსექციის ოპერაცია.  $S$  არამკაფიო სიმრავლეთა  $S_1, S_2, S_3, S_4$  ინტერსექციას ექნება სახე  $S = S_1 \cap S_2 \cap S_3 \cap S_4 = \{0,4/D_1, 0,6/D_2, 0,3/D_3\}$  მაქსიმალური მნიშვნელობის ნომერი შეესაბამება დაავადებას  $D_2$ . ყოველივედან გამომდინარე  $D_2$  არის ყველაზე სავარაუდო დაავადება, რადგან გააჩნია მიკუთვნების ფუნქციის მაქსიმალური მნიშვნელობა. მაშასადამე, ორივე მეთოდმა მოგვცა ერთი და იგივე შედეგი. ეს ორი მიდგომა იყო გამოყენებული დიაგნოსტიკის ამოცანათა გადასაწყვეტად პირველადი თავის ტკივილის დაავადებათა კლასის მაგალითზე. ორივე მიდგომამ მოგვცა დადებითი შედეგი.

## Case-Effect Network of Knowledge Presentation to Solve Medical Diagnostic Tasks

*Vadim Radziewski, Maia Mikeladze, Iliia Okonian, Dimitri Radziewski*

### Summary

The issue of developing an intelligent system of knowledge-based medical diagnosis is being considered. The task is solved on the example of the primary headache disease class. A characteristic feature of the disease is that its diagnosis is based only on the complaints of the patient. The complaints are presented in natural language and have a vague qualitative character. All this does not allow the use of strict mathematical methods. One way to solve this problem is to develop an intelligent system based on knowledge. To represent the knowledge of the subject area, it is proposed to use cause-and-effect semantic networks.

### Причинно-следственные сети представления знаний для решения задач медицинской диагностики

*Вадим Радзиевский, Майя Микеладзе, Илья Оконян, Дмитрий Радзиевский*

### Резюме

Рассматривается задача разработки интеллектуальной системы медицинской диагностики, основанной на знаниях. Задача решается на примере болезней класса первичных головных болей. Характерной особенностью заболеваний этого класса является то, что его диагностика основывается только на жалобах больного. Жалобы больного представлены на естественном языке и носят расплывчатый качественный характер. Все это не позволяет использовать при решении задачи строгие математические методы. Один из способов решения поставленной задачи – разработка интеллектуальной системы, основанной на знаниях. Для представления знаний предметной области предлагается использовать причинно-следственные семантические сети.

### ლიტერატურა – References – Литература

1. Табеева Г.Р. Головная боль: руководство для врачей – М. ГЭОТАР-Медиа, 2014. – 288 с.
2. Шток В.Н. Головная боль – М 000 “Медицинское информационное агентство”. 2007. – 472 с.
3. Feigenbaum E. A. The Art of Artifical Intelligence: Theme and case studies of knowledge engineering. The fifth international Conference on Artificial Intelligence. – Boston: MIT, 1977. – P.1014—1029.
4. В. Радзиевский, М. Микеладзе, Н. Джалабова, Д. Радзиевский, И. Оконян. Интеллектуальная система медицинской диагностики, использующая знания и способная к обучению. Международная научно-техническая конференция „Информационное общество и технологии интенсификации образования“ (ISITE’21), Сборник трудов Грузинского технического университета „Автоматизированные системы управления“ №1(32), т.1.1, Тб., 2021, с. 81-85.
5. Радзиевский В., Микеладзе М., Джалабова Н., Радзиевский Д. Причинно-следственная модель знаний в интеллектуальной системе медицинской диагностики. სტამბა „დამანი“ / საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის არჩილ ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული, №20. თბილისი, 2016 წ., გვ. 163 – 168.
6. Zadeh L.A. (1973). The Concept of a Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning. American Elsevier Publishing Company. New York.
7. Jager R. (1977). Multiple objective decision – making using fussy sets – “Int – J.Men.– Machine Studies” .v.9.

---

სამედიცინო დიაგნოსტიკების სისტემათა ევოლუცია და ცოდნაზე დაფუძნებული დიაგნოსტიკების ინტელექტუალური სისტემები  
ვადიმ რადიევსკი, მაია მიქელაძე, დიმიტრი რადიევსკი, ილია ოკონიანი  
v\_radzievski@yahoo.com, mikeladzemaia@yahoo.com, dradzievski@gmail.com,  
i.okonian@gmail.com,

## რეზიუმე

სამუშაოში ტარდება სამედიცინო დიაგნოსტიკების ძირითადი სამუშაოების მიმოხილვა და ანალიზი. განხილულია დიაგნოსტიკების ამოცანათა ამოხსნის სხვადასხვა მეთოდები. ამ მეთოდების განხილვამ აჩვენა, რომ ამოცანების გადაჭრის ყველაზე ეფექტიანი გზაა შესაბამისი საგნობრივი სფეროს ცოდნაზე დაფუძნებული ინტელექტუალური სისტემის შექმნა და გამოყენება. ამრიგად, ერთი მხრივ, ჩვენ გვაქვს კომპიუტერული წარმოდგენის უპირატესობა (სიჩქარე, მეხსიერება), მეორე მხრივ კი საგნობრივი სფეროს სპეციალისტების ცოდნა და გამოცდილება. ამ ფაქტორების ერთობლიობამ შეიძლება მნიშვნელოვნად გააუმჯობესოს დიაგნოსტიკების ამოცანათა გადაჭრის ეფექტიანობა.

## საკვანძო სიტყვები:

ცოდნა, მოდელი, დიაგნოსტიკა, ანამნეზი, ინტელექტუალური სისტემა,

ნაშრომში განიხილება სამედიცინო დიაგნოსტიკების ინტელექტუალური სისტემების განვითარების ევოლუცია. სამედიცინო დიაგნოსტიკა მჭიდროდ დაკავშირებულია სახეთა გამოცნობის ზოგად ამოცანასთან და წარმოდგენს სახეთა გამოცნობის კერძო შემთხვევას – დაავადებათა გამოცნობას. სამუშაოები სახეთა გამოცნობის, სფეროში, გაჩნდა გასული საუკუნის 50-იანი წლების ბოლოს. ამ სამუშაოებში იყო ნაჩვენები, რომ გამოსაცნობი ობიექტი წარმოდგინება გაზომვათა შედეგებით  $n$ -განზომილებიან ვეკლიდეს სივრცეში წერტილის სახით. ამ სივრცის კოორდინატთა ღერძებზე გადადებულია ნიშანთა რიცხვითი მნიშვნელობები. ობიექტთა სიმრავლეს, რომელიც მიეკუთვნება ერთ კლასს, შეესაბამება ამ სივრცის რომელიღაც არე. მრავალი კლასისთვის გვექნება რამდენიმე ასეთი არე. ობიექტის გამოცნობა ხორციელდება იმის მიხედვით, თუ რომელ არეს მიეკუთვნება წერტილი, რომელიც ასახავს გამოსაცნობ ობიექტს [1]. ასეთი მიდგომა სამართლიანია ფიზიკურ სკალათა აღსაწერად, რაოდენობრივი ნიშნების გამოყენებით, თუმცა ნაკლებად გამოსადეგია იმ შემთხვევაში, თუკი აღწერა ეფუძნება ამა თუ იმ ნიშან-თვისებების ყოფნასა თუ არყოფნას. ასეთ შემთხვევაში არ არსებობს მანძილის გონივრული ინტერპრეტაცია. მონაცემები არის თვისობრივი ხასიათის და მეთოდი რომელიც ეყრდნობა მანძილის ცნებას ვერ გამოიყენება [2].

დაავადების ამოცნობასა და დიაგნოსტიკაში მნიშვნელოვანი როლი ითამაშეს ნაშრომებმა ნეირონულ ქსელებსა და ნეიროქსელური დასწავლის სფეროში. ამ შემთხვევაში, იგულისხმება, რომ ობიექტი წარმოდგინება ნიშან-თვისებათა ნაკრების მეშვეობით და არა გაზომვათა შედეგებით. მაშასადამე, ობიექტი ვერ წარმოდგინებოდა ევკლიდურ სივრცეში წერტილის სახით. ნეირონული ქსელის ძირითადი ელემენტი იყო ნეირონი, რომელიც მაკვალოკმა და პიტსმა [3] შეიმუშავეს. ეს იყო ნეირონის მოდელი მრავალი ორობითი შესასვლელით, ერთი ორობითი გამოსასვლელით და ზღურბლის ფუნქციით. ეს ელემენტები

ფაქტობრივად წარმოადგენენ ზღურბლოვან ლოგიკურ ბლოკს (ზლბ). თავის სამუშაოში მაკკალოკმა და პიტსმა აჩვენეს, რომ ასეთ ნეირონებზე დაყრდნობით შეიძლება აიგოს ნებისმიერი ლოგიკური ფუნქცია. აქედან გამომდინარე, ასეთი ნეირონებისგან შემდგარი სისტემა უზრუნველყოფს სრული გამომთვლელი მოდელის აგებას.

ამერიკელმა მეცნიერმა ფრენკ როზენბლატმა შესთავაზა და გამოიყენა ზლბ, როგორც ამოცნობის სისტემის სწავლებადი ელემენტი. ამ სისტემას მან პერცეპტრონი უწოდა. ვიდროუმ და ჰოფმა ზლბ-ს გამოყენებით შეიმუშავეს სწავლებადი ტექნიკური მოწყობილობა და უწოდეს ADALINES. შტეინზუხმა შეიმუშავა მატრიცა, რომელიც წარმოადგენს სწავლებად სისტემას სახეთა ამოცნობისთვის. ასეთმა სისტემებმა გამოყენება ჰპოვეს მრავალ სფეროში, მათ შორის მედიცინაში. ეს იყო კომპიუტერული სისტემები, რომლებიც წყვეტდნენ მათ წინაშე დასმულ ამოცანებს, ადამიანის მითითებების ან პროგრამის გარეშე. მოგვიანებით, პერცეპტრონის საფუძვლად დადებული პრინციპი განზოგადდა. შედეგად შეიქმნა კიბერნეტიკის განშტოება, რომელმაც „სახეთა ამოცნობის“ სახელწოდება მიიღო [4, 5, 6].

თავდაპირველად, პერცეპტრონების შექმნა იყო მიღებული დიდი ენთუზიაზმით. თუმცა 1965 წელს ნილს ნილსონმა, და მოგვიანებით მინსკიმ და პეიპერტმა და სხვა მკვლევრებმა გამოავლინეს პერცეპტრონის მოდელის შეზღუდულობა [7, 8].

სამედიცინო დიაგნოსტიკის სფეროში უნდა აღინიშნოს ამერიკელი მეცნიერების რ. ლედლის და ლ. ლასტედის სამუშაოები [9]. ისინი ეფუძნება ბაიესის ცნობილი ფორმულის გამოყენებას. ფორმულას გააჩნია შემდეგი სახე:

$$P(d_i/S) = \frac{P(d_i) \cdot P(S/d_i)}{\sum_1^n P(d_i) \cdot P(S/d_i)}$$

ეს ფორმულა იძლევა საშუალებას განვსაზღვროთ დაავადების პირობითი ალბათობა სიმპტომების არსებობისას  $P(d_i/S)$  თუ ცნობილია  $P(S/d_i)$  – სიმპტომთა პირობითი ალბათობა დაავადების არსებობისას. საქმე ისაა, რომ პირობითი ალბათობის  $P(S/d_i)$  მოძიება შესაძლებელია. მამრავლი  $P(d_i)$  არის დაავადების ალბათობა გავრცელებული რომელიმე რაიონში და დაკავშირებულია გეოგრაფიულ, ეპიდემიოლოგიურ, სოციალურ და სხვა ფაქტორებთან და, როგორც წესი, არის ცნობილი. ეს ფორმულა გამოიყენება როცა გვაქვს რამოდენიმე ჰიპოთეზა დაავადების დიაგნოზის შესახებ. ბაიესის ფორმულის გამოყენებით გამოითვლება  $P(d_i/S)$  თითოეული ჰიპოთეზისთვის და ჰიპოთეზა, რომელმაც მიიღო მაქსიმალური მნიშვნელობა, წარმოადგენს საბოლოო დიაგნოზს. მაგრამ აღსანიშნავია, რომ პირობითი ალბათობის  $P(S/d_i)$  მოძიება შესაძლებელია, თუმცა მისი ზუსტი დადგენა ხშირად ვერ ხერხდება რაც ართულებს დიაგნოზის დასმის პროცესს.

ინტელექტუალური სისტემების განვითარებამ დღის წესრიგში დააყენა ასეთ სისტემებში ექსპერტის ცოდნის გამოყენება. ეს არის კომპიუტერული სისტემები, რომლებიც იყენებენ სხვადასხვა დარგის სპეციალისტების ცოდნას პრაქტიკულ ამოცანათა გადასაწყვეტად. მედიცინაში გამოიყენება გამოცდილი ექიმების ცოდნა. ამასთან, განსაკუთრებული ადგილი ენიჭება კომპიუტერში ცოდნის წარმოდგენის მეთოდების დამუშავებას და ამ მეთოდების გამოყენებას პრაქტიკული ამოცანების გადასაწყვეტად. ერთ-ერთი ასეთი ამოცანა არის სამედიცინო დიაგნოსტიკა.

პრიორიტეტი, რომელიც ენიჭება ცოდნას, ეფუძნება იმ პრინციპებს, რომლებიც გამოთქმულია ხელოვნური ინტელექტის მრავალი სპეციალისტის, კერძოდ, ცნობილი ამერიკელი მეცნიერის ფეიგენბაუმის მიერ [10]. ამ პრინციპის შესაბამისად ცოდნაზე დაფუძნებული სისტემების სიმძლავრე უპირველეს ყოვლისა, განპირობებულია ცოდნის ბაზის სიმძლავრით და მხოლოდ შემდეგ გამოყენებული მეთოდებით (პროცედურებით).

უნდა აღინიშნოს, რომ ინტელექტუალურ სისტემებში ინახება ძირითადად ევრისტიკული ცოდნა – ცოდნა მიღებული გამოცდილებით.

კომპიუტერში ცოდნის წარმოსადგენად გამოიყენება ცოდნის წარმოდგენის სხვადასხვა მოდელები. ცოდნის წარმოდგენის კლასიკურ მეთოდებს, რომლებიც გამოიყენება მედიცინაში განეკუთვნება პროდუქციული, ფრეიმების და სემანტიკური ქსელების მოდელი.

ამ მიმართულებით თავდაპირველი ნაშრომები გაჩნდა გასული საუკუნის 70-იანი წლების დასაწყისში. ისინი დაკავშირებული იყო ცნებათა დამახსოვრებასთან [11]. ცნობილია, რომ ადამიანის მეხსიერებაში ინახება მრავალრიცხოვან ცნებათა ერთობლიობა, რომლებიც მან შეიძლება მოიძიოს და გამოიყენოს. იზადება კითხვა: რა სახით უნდა ინახებოდეს ცნებები მეხსიერების სისტემაში. ნათელია, რომ ცნებები განისაზღვრება სიტყვების მეშვეობით. ამასთან, ცნებათა განსაზღვრელად როგორც წესი, უნდა დავასახელოთ:

- 1) კლასი რომელსაც მიეკუთვნება მოცემული ცნება;
- 2) თვისებები, რომლებიც მას სხვა დანარჩენი კლასებისგან გამოყოფენ;
- 3) მოცემული ცნების მაგალითები.

მნიშვნელოვანი წვლილი საკითხებში, რომლებიც დაკავშირებულია ცნებათა მოდელირებასთან შეიტანეს ამერიკელმა მეცნიერებმა ე. ხანტმა, ჯ. მარინმა და ფ. სტოუნმა თავიანთ წიგნში „ცნებათა მოდელირების პროცესის ფორმირება“ [11]. მათ მიერ იყო განხილული კომპიუტერში „ევრისტიკული პროგრამების“ შექმნის საკითხები აზროვნების პროცესის მოდელირების მიზნით. ნაშრომში წარმოდგენილია მრავალრიცხოვანი ექსპერიმენტების შედეგები ინდუქტიური გამოყვანის პროცესების მოდელირების მიზნით, ცნებათა ფორმირება და სახეთა ამოცნობა.

ამ მიმართულებას აგრეთვე განეკუთვნება ქართველი მეცნიერის, აკად. ვ. ჭავჭავაძის სამუშაოები კომპიუტერში ცნებების (კონცეპტების) ფორმირების შესახებ [12]. შემუშავებულ იქნა ცნების ფორმირების მოდელი, რომელიც ბუნებრივი ინტელექტის მიერ ცნების ფორმირების პროცესის იმიტირებას ახდენს. ამ მიდგომას ვ. ჭავჭავაძემ უწოდა კონცეპტუალური მიდგომა. კონცეპტუალურ მიდგომაში გამოიყენება ბულის ფუნქციები, ამიტომ ყოველ ნიშან-თვისებას უნდა ჰქონდეს ბინარული მნიშვნელობები. ამისათვის ხდება რაოდენობრივი მონაცემების ბინარიზაცია, ამ მონაცემების მეშვეობით ხორციელდება კლასების აღწერის ამოცანა ანუ ცნების ფორმირება. ეს ამოცანა იხსნება სწავლების რეჟიმში. აიგება ბულის ფუნქციის დიზიუნქტიური ნორმალური ფორმა (კონცეპტი) თითოეული კლასის ობიექტისათვის. სამედიცინო დიაგნოსტიკის ამოცანებში ეს ცნებები წარმოადგენენ შესაბამისი გადაწყვეტილებების მიღების საფუძველს. დიაგნოსტიკის ამოცანის ამოხსნისას პაციენტის ნიშან-თვისებათა ერთობლიობა მიეწოდება გამომცნობ სისტემას. დაავადება მიეკუთვნება იმ კლასს, რომელზეც ცნების აღმწერი ბულის ფუნქცია იღებს ჭეშმარიტ მნიშვნელობას.

ამერიკელმა მეცნიერმა მ. მინსკიმ [13] განავითარა მიდგომა, რომლის მიხედვით რეალური სამყაროს კომპიუტერული მოდელი უნდა იყოს წარმოდგენილი ე.წ. ფრეიმების სახით. ფრეიმი არის მონაცემთა სტრუქტურა სტერიოტიპური სიტუაციების წარმოსადგენად. ამ თეორიის ძირითად მომენტს წარმოადგენს ის ფაქტი, რომ ადამიანი, რომელიც ცდილობს შეიცნოს მისთვის ახალი სიტუაცია, ირჩევს მეხსიერებიდან მონაცემთა გარკვეულ სტრუქტურას - ფრეიმს. ფრეიმი შეიძლება იყოს წარმოდგენილი ქსელით, რომელიც შეიცავს კვანძებს და რკალებს. ფრეიმის ზედა დონეები ყოველთვის არის ფიქსირებული და შეიცავენ ფაქტებს, რომლებიც ყოველთვის უტყუარი და ჭეშმარიტია. ყველაზე მაღალი დონის კვანძი

შევსებულია სიტუაციის სახელით. ქვედა დონეები შეიცავენ ცარიელ უჯრედებს – ტერმინალებს ანუ სლოტებს, რომლებიც უნდა იყვნენ შევსებული შესაბამისი მონაცემებით. სამედიცინო ცოდნის ბაზაში უნდა იყოს ფრეიმი, რომელიც წარმოადგენს დაავადების ძირითად ნიმუშს, რომელიც გამოიყენება დიაგნოსტიკის ამოცანათა გადასაწყვეტად.

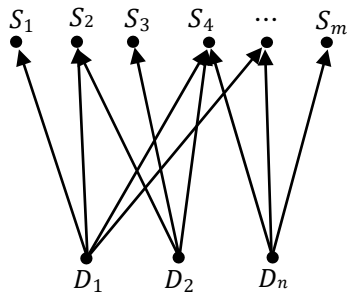
1972 ნიუელმა და საიმონმა აჩვენეს, რომ მსჯელობის დროს ადამიანი იყენებს პროდუქციის ანალოგიურ წესებს, ანუ წესებს პირობა – მოქმედება. იყო შეთავაზებული პროდუქციული სისტემების გამოყენება გადაწყვეტილების მიღების პროცესის კომპიუტერზე მოდელირებისთვის [14].

პროდუქცია წარმოადგენს წესს, რომელსაც აქვს სახე თუ-მაშინ ან  $\alpha \rightarrow \beta$ , სადაც  $\alpha$  ნიშნავს რაღაც პირობას ან პირობათა ერთობლიობას (პროდუქციის პირობითი ნაწილი), ხოლო  $\beta$  ნიშნავს ახალ ფაქტს, რომელიც გამოყვანილია  $\alpha$  პირობიდან. ეს ფაქტი განიხილება როგორც დასკვნა ან როგორც ოპერატორი, რომელიც ასრულებს რაღაც მოქმედებას. ინტელექტი შეიძლება წარმოვიდგინოთ როგორც ფაქტების ერთობლიობა და მათი გამოყენების წესები მიზნის მისაღწევად. პროდუქციული წესების ნაკრებისგან, შეიძლება დასკვნის გამოტანა. ეს დასკვნა დაფუძნებულია *modus ponens* წესის გამოყენებაზე. დასკვნის გამოტანისას შესაძლებელია მსჯელობის პირდაპირი ან შებრუნებული ჯაჭვის გამოყენება. ცოდნის ბაზაში ინახება ყველა დაავადების პროდუქციები. დიაგნოსტიკის დროს ხდება ავადმყოფის მონაცემების და ყველა პროდუქციების პირობითი ნაწილების შეპირისპირება. თუ მოხდა მონაცემების დამთხვევა რომელიმე პროდუქციის პირობით ნაწილთან, მაშინ მიიღება გადაწყვეტილება, წარმოდგენილი შესაბამისი პროდუქციის დასკვნის ნაწილში.

ცოდნის წარმოდგენის ერთ-ერთი საშუალება დაკავშირებულია ცოდნის სემანტიკურ წარმოდგენასთან. სემანტიკური წარმოდგენის განვითარება დაიწყო კვილიანის სამუშაოებიდან [15]. სემანტიკური ქსელი, ზოგადად, წარმოადგენს გრაფს ჩანიშნული წვერებით და რკალებით. წვეროები წარმოადგენენ ზოგიერთ ობიექტებს, ხოლო რკალები ამ ობიექტებს შორის დამოკიდებულებებს. ისევე როგორც გრაფი, სემანტიკური ქსელი შეიძლება იყოს წარმოდგენილი მიმართების მატრიცის სახით. ნახ. 1 წარმოდგენილია ზოგადი სახის სემანტიკური ქსელი და ნახ. 2 შესაბამისი მიმართების მატრიცა. სემანტიკურ ქსელებში განიხილება სხვადასხვა სახის მიმართებები. კერძოდ, სემანტიკურ ქსელებში ხშირად წარმოადგენენ ისეთ მიმართებებს, როგორც არის ქვესიმრავლე *SUB* და სუპერსიმრავლე *SUP*. ეს მიმართებები არის ტრანზიტული აკავშირებენ ერთმანეთის მომცველ ცნებებს უფრო ზოგადი *SUP* ცნებებიდან კერძო ცნებამდე. ამასთან *SUP*-ცნების ყველა თვისება ავტომატურად გადადის *SUB* ცნების თვისებებზე. ქსელური წარმოდგენის უპირატესობა განპირობებულია მემკვიდრეობის მექანიზმით. მემკვიდრეობის მექანიზმი ინფორმაციის აბსტრაქციის ყველაზე მაღალ დონეზე დამახსოვრების საშუალებას იძლევა, რაც ამცირებს ცოდნის ბაზის მოცულობას. მაგალითად *SUP* ცნებას ცხოველი მიეწერება ისეთი ნიშნები, როგორც არის (შეუძლია სუნთქვა, აქვს კანი, შეუძლია მოძრაობა, შეუძლია ჭამა). ცხოველის *SUB* ცნება ფრინველი, შეიცავს ყველა ზემოთმოყვანილ ნიშნებს და გარდა ამისა ნიშნებს, რომლებიც ახასიათებენ მხოლოდ ფრინველებს. ეს არის (ფრენა, ფრთა, ბუმბული).

სამედიცინო დიაგნოსტიკის ამოცანების გადასაწყვეტად ხელსაყრელია ცოდნის წარმოდგენის მოდელის სახით მიზეზ-შედეგობრივი სემანტიკური ქსელის გამოყენება [16]. ეს ქსელი წარმოადგენს სემანტიკური ქსელის ერთ-ერთ ნაირსახეობას. ამ ქსელის წვეროები წარმოადგენენ დაავადებებს და სიმპტომებს, ხოლო რკალები ამ სიმპტომებს და დაავადებებს შორის მიზეზ-შედეგობრივ დამოკიდებულებებს. არამკაფიო მიმართებების

„შესაძლო მიზეზი“, „შესაძლო შედეგი“ არსებობის შემთხვევაში ქსელის რკალებს და შესაბამისი მატრიცის ელემენტებს მიეწერებათ წონითი კოეფიციენტები, რომლებიც ასახავენ სიმპტომებსა და დაავადებებს შორის დამოკიდებულების შეფასებას. წონითი კოეფიციენტები აღებულია (0-1) შუალედიდან. დიაგნოსტიკის ამოცანათა ამოხსნისას სიმპტომების საფუძველზე უნდა გაკეთდეს დასკვნა მათი გამომწვევი მიზეზების შესახებ. წონით კოეფიციენტებს იძლევა ექიმი თავისი ცოდნის, გამოცდილების და ინტუიციის საფუძველზე. სემანტიკურ ქსელს წონითი კოეფიციენტებით დავარქვათ დაავადებათა არამკაფიო ქსელი, ხოლო მის შესაბამის მატრიცას – დაავადებათა არამკაფიო მატრიცა. დიაგნოსტიკის ამოცანის ამოსახსნელად სიმპტომების საფუძველზე უნდა გაკეთდეს დასკვნა მათი გამომწვევი მიზეზების შესახებ.



ნახ. 1

	$D_1$	$D_2$	...	$D_n$
$S_1$	$K_{11}$	$K_{12}$	...	$K_{1n}$
$S_2$	$K_{21}$	$K_{22}$	...	$K_{2n}$
...	...	...	...	...
$S_m$	$K_{m1}$	$K_{m2}$	...	$K_{mn}$

ნახ. 2

დავუშვათ, რომ სპეციალისტის ცოდნაზე დაყრდნობით აგებულია სიმპტომთა და დაავადებათა შორის ურთიერთკავშირის სემანტიკური ქსელი. ამ ქსელზე გამოსახულია შესაძლო დაავადებები და მათი შესაბამისი სიმპტომები. ქსელის წვეროთა სიმრავლეზე გამოიყოფა გარკვეულ სიმპტომთა ქვესიმრავლე, რომელიც ემთხვევა რეალური პაციენტის სიმპტომებს. ამ წვეროებს დავარქვათ აქტივიზებული. დავუშვათ, ავადმყოფს აღმოაჩნდა  $S_i$ ,  $S_j$ ,  $S_k$  სიმპტომები. აქტივიზებული წვეროებიდან გამომავალი რკალები გადაიკვეთება  $D_1 D_2 \dots D_n$  წვეროებში, რომლებიც ასახავენ დაკვირვებადი სიმპტომების შესაძლო მიზეზებს. რკალთა წონით კოეფიციენტთა ჯამი, რომელიც ერთ წვეროში იკვეთება, იძლევა  $D_i$  წვეროს შეფასებას. ეს შეფასებები ახასიათებენ კონკრეტულ ავადმყოფს და იცვლებიან ყოველი ახალი პაციენტის გამოკვლევის შემდეგ.  $D_k$  წვერო, რომელმაც მიიღო მაქსიმალური შეფასება, შეესაბამება დაავადების სავარაუდო დიაგნოზი – ჰიპოთეზა დაავადების შესახებ.

მატრიცული წარმოდგენისას დიაგნოზის დასმა, ანუ ყველაზე სავარაუდო დაავადების შესახებ ჰიპოთეზის დადგენა დაიყვანება მატრიცის სვეტის ელემენტთა აჯამვაზე, რომლებიც აქტივიზებულ სიმპტომებს შეესაბამება. სვეტს, რომელიც ჯამის მაქსიმალურ მნიშვნელობას იღებს, შეესაბამება წინასწარი დიაგნოზი – ჰიპოთეზა დაავადების შესახებ.

უნდა აღინიშნოს, რომ ელემენტების ჯამის გამოყენება ყოველთვის არ არის გამართლებული დიაგნოზის დასმისას. იმისათვის, რომ მიეცეს მეტი პრიორიტეტი ნიშნებს, რომლებსაც აქვთ მეტი წონა და მეტი წვლილი აქვთ შეტანილი საბოლოო გადაწყვეტილებაში, უფრო ხელსაყრელია ავიღოთ ყოველი სვეტის წონითი კოეფიციენტების შეწონილი ჯამი და გავყოთ არანულოვანი ელემენტების რაოდენობაზე, ანუ უნდა ავიღოთ წონითი კოეფიციენტების საშუალო მნიშვნელობა. ამრიგად, დიაგნოზის დასმისას გადაწყვეტილების მისაღებად, ჩვენ ვირჩევთ არა თავად ჯამების მაქსიმალურ მნიშვნელობას, არამედ მათი საშუალო მნიშვნელობების მაქსიმუმს.

ზემოაღნიშნულის საფუძველზე, დიაგნოზის დასმა, ანუ დაავადების შესახებ ყველაზე სავარაუდო ჰიპოთეზის დადგენა, დაიყვანება იმ რკალთა წონითი კოეფიციენტების საშუალო მნიშვნელობების გამოთვლაზე, რომლებიც გამოდიან აქტივიზებული წვეროებიდან და გადაიკვეთებიან წვეროებში, რომლებიც ასახავენ მიზეზებს(დაავადებებს).

მატრიცული წარმოდგენისას დიაგნოზის დასმა, ანუ დაავადების შესახებ ყველაზე სავარაუდო ჰიპოთეზის დადგენა, ხორციელდება აგრეთვე მატრიცის თითოეული სვეტის იმ

	$D_1$	$D_2$	$D_3$
$s_1$	0,4	0,7	0,8
$s_2$	0,8	0,8	0,7
$s_3$	0,7	0,6	0,3
$s_4$	0,6	0,9	0,5

ნახ. 4

არანულოვანი წონითი კოეფიციენტების საშუალო მნიშვნელობის გამოთვლაზე, რომლებიც შეესაბამება აქტივიზებულ სიმპტომებს. სვეტს, რომელიც იღებს საშუალო მნიშვნელობის მაქსიმუმს, შეესაბამება ჰიპოთეზა დაავადების შესახებ.

პაციენტის მდგომარეობის აღსაწერად აიგება ნულ-ერთეულოვანი ვექტორი  $X = x_1 \dots x_m$ , რომელშიც 1 მიუთითებს სიმპტომის არსებობაზე, ხოლო 0 – არარსებობაზე. ამ ვექტორის ფორმირება ხდება პაციენტის გამოკვლევის და მის სიმპტომთა გამოვლენის

$$D = X \times C = [ 1, 0, \dots, 1 ] \times \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ c_{m1} & c_{m2} & \dots & c_{mn} \end{bmatrix}$$

ნახ. 3

პროცესში. იგი ფორმირდება ან ექიმის მიერ, ან თვით დაავადებულის მიერ ექიმის კითხვებზე პასუხისას.

დიაგნოზის დასმა დაიყვანება თითოეული სვეტის იმ არანულოვანი წონითი კოეფიციენტების საშუალო მნიშვნელობის გამოთვლაზე, რომლებიც შეესაბამება აქტივიზებულ სიმპტომებს. სვეტს, რომელიც იღებს საშუალო მნიშვნელობის მაქსიმუმს, შეესაბამება ჰიპოთეზა დაავადების შესახებ. ეს შედეგი შეიძლება მიღებულ იქნას  $X = (x_1 \dots x_m)$  ნულ-ერთეულოვანი ვექტორის გამრავლებით C მატრიცაზე, ანუ  $X = (x_1 \dots x_m)$  ვექტორის წრფივი გარდაქმნით C მატრიცის მეშვეობით (ნახ.3).

შედეგად მივიღებთ  $D = (d_1 \dots d_n)$  ვექტორს, სადაც  $d_i = x_1c_{1i} + x_2c_{2i} + \dots + x_m c_{mi}$ ,  $i = 1, \dots, n$ . საშუალო მნიშვნელობების  $\tilde{D}(\tilde{d}_1, \tilde{d}_2, \dots, \tilde{d}_n)$  ვექტორის მისაღებად თითოეული  $d_i$ ,  $i = 1, \dots, n$ . უნდა გავყოთ შესაბამის  $D_i$  წვეროში შემავალი აქტივიზებული რკალების რაოდენობაზე.  $\tilde{D}$  ვექტორის მაქსიმალური ელემენტი ანუ  $\max(d_1 \dots d_n)$  რიგითი ნომერი მიუთითებს სავარაუდო დიაგნოზზე [16].

განვიხილოთ მაგალითი (ნახ.4). დავუშვათ პაციენტს აქვს 4-ივე სიმპტომი და (0-1)-ოვანი ვექტორი, რომელიც ასახავს პაციენტის სიმპტომების არსებობას შეიცავს მხოლოდ ერთიანებს. წრფივი გარდაქმნის ოპერაციის შედეგად და შემდეგ საშუალოს გამოთვლით მივიღებთ ვექტორს, რომლის მაქსიმუმი შეესაბამება  $D_2$  დიაგნოზს. მაშასადამე,  $D_2$  არის ყველაზე ალბათური დიაგნოზი.



ჰიპოთეზის შემოწმებისას ვლინდება სიმპტომები, რომლებიც ვერ გამოვლინდა ავადმყოფის გამოკვლევის საწყის სტადიაზე და რომლებიც პაციენტს უნდა ჰქონდეს იმ შემთხვევაში, როცა საწყისი ჰიპოთეზა მართლდება. მოწმდება ამ სიმპტომთა არსებობა პაციენტთან. ამ მონაცემთა საფუძველზე, ზემოთ შემოთავაზებული მეთოდის გამოყენებით, ისმება დიაგნოზი. თუ დიაგნოზი ემთხვევა წინას, მაშინ დაავადების შესახებ ჰიპოთეზა დასტურდება. წინააღმდეგ შემთხვევაში ხორციელდება პაციენტის დამატებითი გამოკვლევა. პროცედურა მეორდება და სრულდება მაშინ, როცა დასტურდება რომელიმე სავარაუდო ჰიპოთეზებიდან. შესაბამისი ოპერაციების ჩატარების საფუძველზე იხსნება დიაგნოსტიკის ამოცანა.

## **The Evolution of Medical Diagnostic Systems and Knowledge-Based Intelligent Diagnostic Systems**

*Vadim Radziewski, Maia Mikeladze, Dimitri Radziewski, Iliia Okonian*

### **Resume**

The work reviews and analyzes the main works of medical diagnostics. Various methods of solving diagnostic tasks are discussed. A review of these methods has shown that the most effective way to solve them is to create and use an intelligent system based on the knowledge of the relevant subject area. Thus, on the one hand, we have the advantage of computer performance (speed, memory), on the other hand, the knowledge and experience of subject area specialists. The combination of these factors can significantly improve the effectiveness of solving diagnostic problems.

## **Эволюция медицинских диагностических систем и интеллектуальные диагностические системы, основанные на знаниях**

*Вадим Радзиевский, Майя Микеладзе, Дмитрий Радзиевский, Илья Оконян*

### **Резюме**

В работе рассмотрены и проанализированы основные работы медицинской диагностики. Обсуждаются различные методы решения диагностических задач. Обзор этих методов показал, что наиболее эффективным способом их решения является создание и использование интеллектуальной системы, основанной на знаниях соответствующей предметной области. Таким образом, с одной стороны, мы имеем преимущество в производительности компьютера (скорость, память), с другой стороны, знания и опыт специалистов предметной области. Совокупность этих факторов позволяет значительно повысить эффективность решения диагностических задач.

## **ლიტერატურა – References – Литература**

1. Неймарк И. Распознавание образов и медицинская диагностика. Издательство «Наука». Главная редакция физико-математической литературы. Москва. 1972. 328 с.
2. Э.Хант Э. «Искусственный интеллект». Издательство «МИР». Москва. 1978. 568 с.
3. McCulloch W. S. And Pitts W. A. Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity. Bulletin of Mathematical Biophysics, 5: 1943 115-133, 96 – 104.
4. Розенблатт Ф. Принципы нейродинамики (перцептрон и теория механизмов мозга). Издательство «Мир». Москва. Стр 26 – 75. 1965г.
5. Widrow B., Hoff M.E. Adaptive Switching Circuits. IRE WESTCON Convention Record. Pp 96 – 104. New York. 1960.

6. Steinbuch K., Piske V. A. W. (1963), Learning Matrices and Their Applications. Trans. IEEE on Elect. Computers, EC-12, № 5
7. Nilsson N.J. «Learning Machines. New York Mc Graw-Hill, 1965 p. 180.
8. Minsky M and Papert S. Perceptrons. An Introduction to Computational Geometry Cambridge. MA: MIT Press. 1969. p. 258.
9. Ledley R., Lusted L. Medical Diagnostics and Modern Methods of Choosing a Solution Mathematical Problems in Biology. Collection of Articles Edited by R. Bellman Mir "Moscow 1966 Pp 141 – 198.
10. Feigenbaum E. A. The Art of Artificial Intelligence: Theme and Case Studies of Knowledge Engineering. The Fifth International Conference on Artificial Intelligence. – Boston: MIT, 1977. – Pp. 1014 – 1029.
11. Хант Э, Марин Дж., Стоун Ф. (Hunt E., Marin J., Stone P.). Experiments in Induction New York. Моделирование процесса формирования понятий на вычислительной машине. Издательство «Мир». М. 1970. Стр. 47 – 93.
12. Чавчანიძე В. В. Аналитическое решение задачи формирования понятий и распознавания образов. Сообщения АН ГССР, т.63, №1, 1971.
13. Marvin Minsky. A framework for representing knowledge. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, 1974, p. 150.
14. Nevell A. and Slmon N. Human Problem Solving. Englewood Cliffs, New Jersey. 1972. Pp. 18 – 37.
15. Quillian M. R. The Eachable Language Comprehender: A Simulation Program and Theory of language, Commune of ASM 12 №8 pp. 459 – 476.
16. Радзиевский В., Микеладзе М., Джалябова Н., Радзиевский Д. Причинно–следственная модель знаний в интеллектуальной системе медицинской диагностики. Сборник трудов Института систем управления А.Элиашвили Грузинского технического университета №20, Тб., 2016, с. 163 – 168.

ინსექტიციდური პრეპარატების ან სხვა ზემოქმედების საშუალებების ბიოლოგიური ეფექტურობის და სინერგიზმის კომპონენტების გამოთვლების მოდიფიცირებული ფორმულები და მათი გამოყენების მაგალითები

არჩილ ჭირაქაძე, ნინო ლომიძე, ზაქარია ბუაჩიძე, აკაკი გიგინეიშვილი

achikochirakadze@gmail.com

რეზიუმე

მედიცინაში, ბიოლოგიაში, ტოქსიკოლოგიაში, ენტომოლოგიასა და აგრარულ დისციპლინებში ყველაზე უფრო ხშირად გამოიყენება ბიოლოგიური ეფექტიანობის განსაზღვრის ოთხი ფორმულა: ებოტის (Abbott), ჰენდერსონ-ტილტონის (Henderson-Tilton), შნაიდერ-ორელის (Schneider-Orelli) და სან-შეპარდის (Sun-Shepard). ყოველდღიურ სამეურნეო პრაქტიკაში მავნებლების პოპულაციების ინტეგრირებული მართვისთვის (IPM) უაღრესად მნიშვნელოვანია ლაბორატორიული და საველე ტესტირების შედეგების კორელაციის შეფასება. წარმოდგენილი კვლევა ეძღვნება ებოტის კლასიკური ფორმულის მოდიფიცირების სახედასხვა ვერსიებს და მათ გამოყენებას სინერგიული ინსექტიციდური კომბინაციების ბიოლოგიური ეფექტიანობის და სინერგიულობის ხარისხის განსაზღვრის სიზუსტის და სანდოობის ასამაღლებლად.

საკვანძო სიტყვები: ბიოლოგიური ეფექტურობა, სინერგიულობის ხარისხი, ებოტის ფორმულა, მოდიფიცირება, შედეგების სანდოობა და სიზუსტე.

როგორც ცნობილია, მედიცინაში, ბიოლოგიაში, ტოქსიკოლოგიაში, ენტომოლოგიასა და აგრარულ დისციპლინებში ყველაზე უფრო ხშირად გამოიყენება ბიოლოგიური ეფექტიანობის განსაზღვრის ოთხი ფორმულა: ებოტის (Abbott), ჰენდერსონ-ტილტონის (Henderson-Tilton), შნაიდერ-ორელის (Schneider-Orelli) და სან-შეპარდის (Sun-Shepard). მათი გამოყენების მიზანშეწონილობა (იხილეთ ცხრილი 1) განისაზღვრება შემდეგი ორი ფაქტორით: ტესტირების პირობებით (პოპულაციის ერთგვაროვნება და მისი სწრაფი ცლილება ან შედარებითი სტაბილურობა) და ინდიკაციის ობიექტით (დახოცილი თუ ცოხალად გადარჩენილი სამიზნე ობიექტები). იმის გათვალისწინებით, რომ ყოველდღიურ სამეურნეო პრაქტიკაში მავნებლების პოპულაციების ინტეგრირებული მართვისთვის (IPM) უაღრესად მნიშვნელოვანია ლაბორატორიული და საველე ტესტირების შედეგების კორელაციის შეფასება, არჩეულ იქნა ებოტის ფორმულა რომელიც ჩვეულებრივ გამოიყენება მხოლოდ ლაბორატორიული კვლევის დროს, და მოხდა მისი მოდიფიცირება საკონტროლო ჯგუფში ბუნებრივი სიკვდილიანობის გასათვალისწინებლად და საველე პირობებში გამოსაყენებლად.

ხელმისაწვდომი მონაცემები	არაერთგვაროვანი პოპულაცია	ერთგვაროვანი პოპულაცია
ცოცხლად დარჩენილი ეგზემპლარები	ჰენდერსონ-ტილტონის ფორმულა	ებოტის ფორმულა
დახოცილი ეგზემპლარები (სიკვდილიანობა)	სან-შეპარდის ფორმულა	შნაიდერ-ორელის ფორმულა

ცხრილი 1. ბიოლოგიური ეფექტიანობის განსაზღვრის ოპტიმალური ფორმულის არჩევის ფაქტორები

როგორც ცნობილია, ებოტის ფორმულის კლასიკურ ფორმას აქვს შემდეგი სახე [1]:

$$BE (\%) = (1 - N_T / N_{Ca}) \times 100, \quad (1)$$

სადაც BE (%) არის ბიოლოგიური ეფექტურობა,  $N_T$  - ცოცხალი სატესტე ობიექტის რაოდენობა,  $M_{Co}$  - სიკვდილიანობა საკონტროლო ჯგუფში,  $N_{Ca}$  - ცოცხალი ობიექტების საბოლოო რაოდენობა საკონტროლო ჯგუფში, (მწერების საწყისი რაოდენობა სატესტე და საკონტროლო ჯგუფებში ერთნაირი უნდა იყოს). როგორც ვხედავთ, ეს ფორმულა სატესტე ობიექტების 100-იანი სიკვდილიანობის პირობებში საერთოდ არ ითვალისწინებს საკონტროლო ჯგუფში სიკვდილიანობას, ხოლო სატესტე და საკონტროლო ჯგუფის ობიექტების მაღალი (შესაბამისად, 80-90%-ზე და 10 -15%-ზე მეტი) სიკვდილიანობის პირობებში იძლევა დიდ ცდომილებას, რომელიც რეალურ პირობებში შეიძლება იყოს 20-30%-ზე მეტი. ყოველივე ზემოთქმულის გათვალისწინებით, ინსექტიციდური პრეპარატების ბიოლოგიური ეფექტურობის განსაზღვრის სიზუსტის და სანდოობის ასამაღლებლად საჭიროა ებოტის ფორმულის მეორე წევრში ისეთი დამატებითი ცვლადის შეტანა, რომელიც გაითვალისწინებს საკონტროლო ჯგუფში სიკვდილიანობას, სატესტე ჯგუფში 100%-იანი სიკვდილიანობის პირობებში. ამის რეალიზება ყველაზე უფრო მარტივად ხორციელდება შემდეგი მარტივი მოდიფიკაციის გზით:

$$BE (\%) = [1 - (N_T + M_{Co}) / N_{Cb}] \times 100, \quad (2)$$

სადაც BE (%) არის ბიოლოგიური ეფექტურობა,  $N_T$  - ცოცხალი სატესტე მწერების რაოდენობა,  $M_{Co}$  - სიკვდილიანობა საკონტროლო ჯგუფში,  $N_{Ca}$  - ცოცხალი მწერების საბოლოო რაოდენობა საკონტროლო ჯგუფში,  $N_{Cb}$  - ცოცხალი მწერების საწყისი რაოდენობა საკონტროლო ჯგუფში (ცხადია, რომ ამ შემთხვევაშიც მწერების საწყისი რაოდენობა სატესტე და საკონტროლო ჯგუფებში ერთნაირი უნდა იყოს).

როგორც წესი, თანამედროვე ეტაპზე აგრესიული ინვაზიური მწერების წინააღმდეგ უპირატესად გამოიყენება სინერგიული ზეადიტიური კომპონენტების კომბინაციები და, ამდენად, დიდი მნიშვნელობა ენიჭება კომპონენტების სინერგიის ხარისხის ზუსტ და მაღალი სანდოობით განსაზღვრას [2]. სადღესოდ საყოველთაოდ არის მიღებული სინერგიულობის განსაზღვრა ე.წ. კო-ტოქსიკურობის ფაქტორის (Co-toxicity factor - CTF) მეშვეობით [3], რომელიც განმარტების თანახმად ტოლია:

$$CTF (M) = 100 (MM - ME) / ME, \quad (3)$$

სადაც MM არის კომბინირებული ინსექტიციდის მიერ ფაქტიურად გამოწვეული სიკვდილიანობა, ხოლო ME - მოსალოდნელი სიკვდილიანობა, ანუ ცალკეული კომპონენტებით, ჩვენს შემთხვევაში ძირითადი კომპონენტით (დიატომიტით) და დამხმარე კომპონენტით (სხვა კომპონენტების ნარევი) ცალ-ცალკე გამოწვეული ფაქტიური სიკვდილიანობის ჯამი, მაგრამ ამ მეთოდსაც ახასიათებს საკონტროლო ჯგუფში სიკვდილიანობის სწორი გათვალისწინების სირთულე, განსაკუთრებით სავსე პირობებში ტესტირებისას. უფრო მართებულად მივიჩნით კო-ტოქსიკურობის განსაზღვრა არა სიკვდილიანობის, არამედ ებოტის მოდიფიცირებული ფორმულით გამოთვლილი ბიოლოგიური ეფექტურობის მიხედვით, ანუ ფორმულით:

$$CTF (BE, \%) = 100 (BEM - BEE) / BEE, \quad (4)$$

სადაც BEM და BEE არის შესაბამისად ტესტირების საბოლოო ეტაპის დასასრულს განსაზღვრული ფაქტიური და მოსალოდნელი ბიოლოგიური ეფექტურობები.

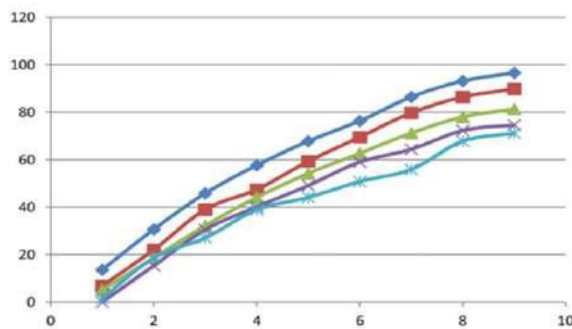
ამგავარი მიდგომა საშუალებას იძლევა მოხდეს ინსექტიციდური კომბინაციების ბიოლოგიური ეფექტიანობის და კომპონენტების სინერგიულობის განსაზღვრა კომბინაციების ნებისმიერ რაოდენობის შემთხვევაში შემდეგი ფორმულის გამოყენებით:

$$BE (\%) = [1 - (N1 + k \times N2) / N3] \times 100 (\%) \quad (5)$$

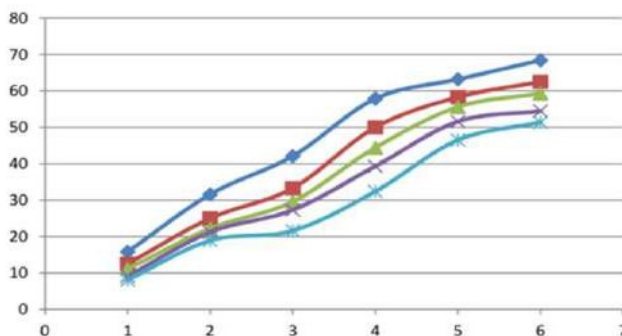
სადაც BE (%) მოცემული ინსექტიციდის ბიოლოგიური ეფექტურობაა, N1 ინსექტიციდით დამუშავებული ნაკვეთების მცენარეებზე ცოცხლად გადარჩენილი სატესტე ობიექტების რაოდენობაა, N2 მწერების საშუალო რაოდენობის შემცირებაა საკონტროლო ნაკვეთზე, ხოლო N3 გადარჩენილი სატესტე ობიექტების საშუალო რაოდენობაა საკონტროლო ნაკვეთის მცენარეებზე, k არის 1-თან მიახლოებული ემპირიული კოეფიციენტი, რომელიც დამოკიდებულია ცოცხლად გადარჩენილი სატესტე ობიექტების დათვლის სიზუსტეზე. შემოთავაზებული ფორმულების ვარგისიანობა შემოწმდა 5 კომბინირებული ინსექტიციდის აზიურ ფაროსანას წინააღმდეგ ეფექტურობის ტესტირებით საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ლაბორატორიაში და სიმინდის ყანაში სენაკის მუნიციპალიტეტის სოფელ ეწერში, დასავლეთ საქართველოსთვის დამახასიათებელ სუბტროპიკულ ეწერ-ლებიანი ნიადაგების კლიმატურ-ნიადაგობრივ ზონაში, სადაც აღინიშნებოდა აზიური ფაროსანათი ინფესტაციის მაღალი დონე. 18-დღიანი სავლე გამოცდის შედეგები მოცემულია ნახაზებზე 1 და 2. როგორც ვხედავთ, ხუთივე ტესტირებული ინსექტიციდი ხასიათდება მაღიან მაღალი ან მაღალი ბიოლოგიური ეფექტურობით პირველი 9 დღის განმავლობაში. სავლე გამოცდის მე-11-დან მე-18 დღის ჩათვლით ინსექტიციდები ხასიათდება მაღალი, საშუალოზე მაღალი და საშუალო ეფექტიანობით. ხუთივე მათგანის მოქმედების ხანგრძლივობა უნდა დახასიათდეს, როგორც მაღიან მაღალი ან მაღალი.

BE (%)

სავლე გამოცდის დღეები



ნახაზი 1. სავლე გამოცდებით ტესტირებული კომბინაციების ბიოლოგიური ეფექტურობა), დღეები 1-9



ნახაზი 1. სავლე გამოცდებით ტესტირებული კომბინაციების ბიოლოგიური ეფექტურობა), დღეები 12-18

ჩატარებული ტესტირების ერთ-ერთი მთავარი შედეგი მდგომარეობს იმაში, რომ ლაბორატორიულ და სავლე პირობებში ჩატარებული შედეგების ურთიერთკორელაცია

მაღალია, რაც მეტყველებს მოდიფიცირებული ფორმულების გამოყენების მიზანშეწონილობაზე.

### **Modified formulas for calculation of the biological effectiveness and synergy of components of insecticidal combinations and an example of their application**

*A. Chirakadze, N. Lomidze, Z. Buachidze, A. Gigineishvili*

#### **Summary**

In medicine, biology, toxicology, entomology and agricultural disciplines, four formulae for determining biological effectiveness are most often used: Abbott (Abbott), Henderson-Tilton (Henderson-Tilton), Schneider-Orelli (Schneider-Orelli) and San Shepard) formula. For integrated pest population management (IPM) in everyday agricultural practice, it is **extremely** important to evaluate the correlation between the results of laboratory and field tests. The present study discusses various modifications of the classic Abbott formula and their use to improve the accuracy and reliability of determining the biological effectiveness and degree of synergy of insecticide combinations

### **Модифицированные формулы расчета биологической эффективности и синергизма компонентов инсектицидных препаратов или других средств воздействия и пример их применения**

*А. Чиракадзе, Н. Ломидзе, З. Буачидзе, А. Гигинеишвили*

#### **Резюме**

В медицине, биологии, токсикологии, энтомологии и сельскохозяйственных дисциплинах чаще всего используют четыре формулы для определения биологической эффективности: Эббота (Abbott), Хендерсона-Тилтона (Henderson-Tilton), Шнайдера-Орелли (Schneider-Orelli) и Сан-Шепарда). Для комплексного управления популяциями вредителей (IPM) в повседневной практике сельского хозяйства чрезвычайно важно оценить корреляцию между результатами лабораторных и полевых испытаний. В представленном исследовании рассматриваются различные варианты модификации классической формулы Эббота и их использование для повышения точности и достоверности определения биологической эффективности и степени синергизма комбинаций инсектицидов.

#### **ლიტერატურა - References – Литература**

1. L. Xiong, Z. Nan, L. Xianbin, C. Tao, Y. Jun, H. Zhongqiao, M. Jianqiang, L. Xili. Comparative analysis of the four formulas commonly used for calculating the control efficacy of fungicides on disease in field trials. Chinese Journal of Pesticide Science, 2021, 23, 3, 492-498.
2. A. Chirakadze, N. Mitagvaria, N. Lomidze, M. Ambokadze, A. Gigineishvili, Z. Buachidze, T. Chichua, A. Jishiashvili, K. Chigogidze, Z. Chekurashvili, Z. Lipartia, N. Meskhi, L. Zazadze. Development and laboratory and field testing of new combined insecticides against the resistant and non-resistant populations of the Brown Marmorated Stink Bug (Halyomorpha Halys). Annals of Agrarian Sciences, 2021, 19, 4, 205-226.
3. Norris E. J., Gross A. D., Bartholomay L. C., Coats J. R. Plant essential oils synergize various pyrethroid insecticides and antagonize malathion in Aedes aegypti. Medical and Veterinary Entomology, 2019, 33, 4, 453-466.

---

კომივოიაჟორის ამოცანის ამოხსნის ერთი ევრისტიული ალგორითმის  
შესახებ

ნათელა ანანიაშვილი

*Email: ia.ananiashvili@gmail.com*

რეზიუმე

კომივოიაჟორის ამოცანა დისკრეტული ოპტიმიზაციის ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი ამოცანაა. ეს ამოცანა გულისხმობს შეწონილ სრულ გრაფში მინიმალური წონის ჰამილტონის ციკლის პოვნას. კომივოიაჟორის ამოცანა NP რთულია, მისი ამოხსნა მეტად მნიშვნელოვანია როგორც პრაქტიკული, აგრეთვე თეორიული თვალსაზრისითაც. ნაშრომში განხილულია ამ ამოცანის ამოხსნის მარტივი გზა, სრული გადარჩევის მეთოდი, რომელიც პოულობს ზუსტ ამონახსნს და ეფექტურად მუშაობს მცირე ზომის გრაფებისათვის. შემოთავაზებულია ახალი ევრისტიული ალგორითმი, რომელიც პოულობს ზუსტ ამოხსნას მცირე ზომის გრაფებისათვის და მიახლოებით ამოხსნას შედარებით დიდი ზომის გრაფებისათვის. შემოთავაზებული ალგორითმის დროითი სირთულე არის პოლინომიალური.

საკვანძო სიტყვები:

კომივოიაჟორი, დროითი სირთულე, ევრისტიული ალგორითმი, პოლინომიალური.

I. ამოცანის დასმა და ამოხსნის გზები

კომივოიაჟორის ამოცანაში მოცემულია ქალაქების სია და ქალაქების ნებისმიერ წყვილს შორის მანძილების მატრიცა. მოითხოვება მოიძებნოს ყველა ამ ქალაქში ვიზიტის ისეთი მიმდევრობა, რომ კომივოიაჟორის განვლილი მანძილი იყოს მინიმალური, ამავე დროს თითოეულ ქალაქში ის უნდა მოხვდეს მხოლოდ ერთხელ და ბოლოს უნდა დაუბრუნდეს იმ ქალაქს, საიდანაც დაიწყო მოგზაურობა. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, მოითხოვება შეწონილ სრულ გრაფში ვიპოვოთ მინიმალური წონის ჰამილტონის ციკლი.

ეს ამოცანა ცნობილია კომივოიაჟორის ამოცანის სახელით. კომივოიაჟორის (მოგზაური შუამავალი სავაჭრო ფირმის აგენტი) ამოცანა არის კომბინატორული ოპტიმიზაციის ერთ-ერთი მთავარი ამოცანა გრაფთა მოდელებზე. ამ ამოცანის შინაარსობრივი სიმარტივის მიუხედავად, მისი ეფექტური გადაწყვეტის ძიება დიდ ძალისხმევას მოითხოვს [1]. ამ ამოცანის მიზნის ფუნქცია გულისხმობს მინიმალური სიგრძის ჰამილტონის ციკლის პოვნას, რომელიც მოიცავს გრაფის წვეროების სიმრავლეს [2]. მიზნის ფუნქციაში მანძილის ნაცვლად შესაძლოა იგულისხმებოდეს მარშრუტის განსახორციელებლად საჭირო დრო ან ღირებულება. კომივოიაჟორის ამოცანა მიეკუთვნება NP-რთული ამოცანების კლასს [3].

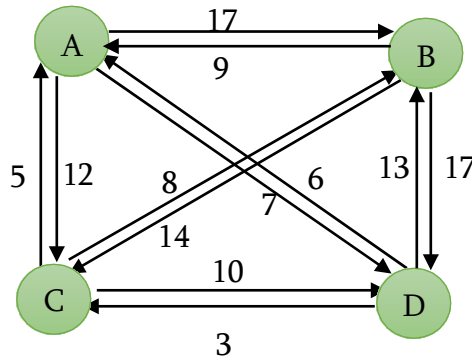
დღეისათვის არსებობს ამ ამოცანის ამოხსნის როგორც ზუსტი: სრული გადარჩევა, შტოებისა და საზღვრების მეთოდი [4], დინამური პროგრამირების მეთოდი [5]. აგრეთვე მიახლოებითი მეთოდები: შემთხვევითი გადარჩევის, უახლოესი მეზობლის, ევოლუციური ალგორითმები. თუმცა ამოცანის სირთულიდან და აქტუალობიდან გამომდინარე კვლევები ამ მიმართულებით გრძელდება.

ყველაზე საიმედო გზა კომივოიაჟორის ამოცანის ამოხსნისას, როდესაც წვეროების სიმრავლე არ არის დიდი, ეს არის სრული გადარჩევის მეთოდი, როდესაც განხილულია ყველა შესაძლო მარშრუტი და შემდეგ ამოირჩევა მათგან საუკეთესო. სრული გადარჩევის დროითი სირთულე არის  $(n-1)!$ , სადაც  $n$ -გრაფის წვეროების რაოდენობაა. ეს ნიშნავს რომ, როდესაც  $n=4$ , საჭიროა 6 მარშრუტის განხილვა, ხოლო  $n=10$ -სთვის უკვე 362880 მარშრუტის.  $n$ -ის

ზრდასთან ერთად გადარჩევების რაოდენობა სწრაფად იზრდება, შესაბამისად იზრდება ამოხსნისთვის საჭირო დრო და თანამედროვე კომპიუტერებისთვისაც სრული გადარჩევების გამოყენებით შეუძლებელი ხდება ამოცანის ამოხსნა.

შემოვიღოთ აღნიშვნები და განვიხილოთ სრული გადარჩევის მეთოდი კონკრეტულ მაგალითზე. ვთქვათ, მოცემულია გრაფი  $G = (V, E)$ , სადაც  $V$  არის ქალაქების სიმრავლე და  $E$  არის შეწონილი რკალების სიმრავლე. რკალი  $e(u, v)$  აღნიშნავს, რომ  $u$  და  $v$  წვეროები დაკავშირებულია. მანძილი  $u$  და  $v$  წვეროს შორის არის  $w(u, v)$ , რომელიც უნდა იყოს არაუარყოფითი.

განვიხილოთ გრაფი:



ნახ. 1. გრაფი

შემდეგში უფრო კომფორტულია ვისარგებლოთ ცხრილით, რომელიც შეესაბამება ჩვენი გრაფის მეზობლობის მატრიცას. ზოგადად არ არის აუცილებელი რომ ეს მატრიცა იყოს სიმეტრიული.

	A	B	C	D
A	0	17	12	7
B	9	0	14	17
C	5	8	0	10
D	6	13	3	0

ცხრილი 1. მეზობლობის მატრიცა.

ცხადია, ამ კონკრეტული გრაფისთვის სრული გადარჩევის კოდის ჩაწერა არანაირ სირთულეს არ წარმოადგენს. 4 ჩადგმული ციკლით ჩვენ შეგვიძლია გავიაროთ მარშრუტების ყველა შესაძლო ვარიანტი. რადგან გვაქვს 4 ქალაქი, თითოეულ ციკლში ვარჩევთ 1-დან 4-მდე ჩათვლით ვარიანტს, 10 ქალაქი რომ გვქონდეს, დაგვჭირდება 10 ჩადგმული ციკლი და თითოეულ ციკლი 1-დან 10-მდე უნდა შევასრულოთ (ანუ 10-10-ჯერ), ყოველ ნაბიჯზე ვამოწმებთ, რომ მარშრუტზე არ გვქონდეს განმეორებითი წვეროები(ქალაქები), რადგან თითოეულ ქალაქს მხოლოდ ერთხელ შეგვიძლია ვეწვიოთ. მოვიყვანოთ კოდის შესაძლო ვარიანტი C++ ენაზე:

```
#include <iostream>
using namespace std;
int main()
{ int towns[4][4] = {
    {0, 17,12,7},
    {9,0,14,17},
```



```

        {5,8,0,10},
        {6,13,3,0}
};
int mincost = 100000;
int path[5],minpath[5];
for (int i1 = 0; i1 <4; i1++) {
    for (int i2 = 0; i2 <4; i2++) {
        for (int i3 = 0; i3 <4; i3++) {
            for (int i4 = 0; i4 <4; i4++) {
                // ერთი და იგივე პუნქტის მონახულება შესაძლებელია მხოლოდ ერთხელ
                if (
                    (i1 != i2) && (i1 != i3) && (i1 != i4) &&
                    (i2 != i3) && (i2 != i4) &&
                    (i3 != i4)
                )
                {
                    //დავიმახსოვროთ მიმდინარე მარშრუტი
                    path[0]=i1+1;
                    path[1]=i2 + 1;
                    path[2]=i3 + 1;
                    path[3]=i4 + 1;
                    path[4]=i1 + 1;
                    if ( (towns[i1][i2] + towns[i2][i3] + towns[i3][i4] + towns[i4][i1]) < mincost) {
                        mincost=towns[i1][i2] + towns[i2][i3] + towns[i3][i4] + towns[i4][i1];
                        //დავიმახსოვროთ მიმდინარე მინიმალური მარშრუტი
                        for (int j = 0; j <=4; j++)
                            minpath[j] = path[j];
                    }
                }
            }
        }
    }
};
cout<<"მარშრუტი: ";
for (int i = 0; i <=4; i++)
    cout<<minpath[i]<<' ';
cout<<endl<<"სიგრძე: "<<mincost<<endl;
return 0;
}
პროგრამის შედეგი:

```

მარშრუტი: 1 4 3 2 1

სიგრძე: 27

ეს კოდი საჭირო კორექტირების შემდეგ, შეგვიძლია გამოვიყენოთ სხვა ზომის გრაფებისთვისაც, აგრეთვე სხვა ალგორითმის სიზუსტის შესამოწმებლად, კერძოდ ქვემოთ შემოთავაზებული ახალი ევრისტიული ალგორითმის შედეგების შესამოწმებლად.

## II. ევრისტიული ალგორითმი

ვთქვათ, მოცემულია რაიმე გრაფი  $G = (V, E)$ , სადაც  $V$  არის ქალაქების სიმრავლე და  $E$  არის შეწონილი რკალების სიმრავლე. წვეროების რაოდენობა გრაფში აღვნიშნოთ  $n$ -ით.  $G$  გრაფის  $A(n, n)$  – მეზობლობის მატრიცია. ვთქვათ, კომივოიაჟორის მარშრუტის საწყისი და საბოლოო წვეროა 1. დაგვჭირდება ორი მასივი:  $path(n+1)$  -მარშრუტის შესანახად და  $ms(n)$  მასივი წვეროების მონიშვნებისათვის. თუ  $ms(k)=1$ , ჩავთვალოთ რომ  $k$ -ური წვერო მონიშნულია, ანუ კომივოიაჟორი უკვე იყო  $k$ -ურ ქალაქში, თუ  $ms(k)=0$ , შესაბამისად ნიშნავდეს რომ რომ  $k$ -ური წვერო არ არის მონიშნული. დაგვჭირდება კიდევ ერთი  $MinPath(n+1)$  მასივი. ამ აღნიშვნების გათვალისწინებით ჩავწეროთ ალგორითმი:

ბიჯი 1. ავიღოთ:  $path(1) = path(n+1)=1$ ;  $ms(k)=0, k=1,2,\dots,n$ ;  $ms(1)=1$ ;  $i=1$ ;

ბიჯი 2. ვიპოვოთ  $i$ -ური წვეროს უახლოესი მეზობელი(ინციდენტური) წვერო, ანუ უნდა ვიპოვოთ  $A$  მატრიცის  $i$ -ური სტრიქონის ის მინიმალური  $A(i, j)$  ელემენტი,  $j = 1,2,\dots,n$ , რომ შესაბამისი  $ms(j)=0$ , ე. ი.  $j$  -ური წვერო იქნება მოუნიშნავი, შევიტანოთ  $j$  -ური წვერო მარშრუტში:  $path(i+1)=j$ , მოვნიშნოთ  $j$  -ური წვერო:  $ms(j)=1$ ;

ბიჯი 3. თუ  $i+1 < n$ , გავზარდოთ  $i = i+1$ , და გადავიდეთ მე-2 ბიჯზე. თუ  $i+1=n$ , ყველა წვერო უკვე მონიშნულია და გადავიდეთ მე-4 ბიჯზე;

ბიჯი 4. გამოვთვალოთ მიღებული მარშრუტის ღირებულება (სიგრძე)  $path$  მასივის გამოყენებით და დავიმახსოვროთ  $Min$  ცვლადში.  $path$  მასივი შევინახოთ  $MinPath$  მასივში. ესენი არიან შესაბამისად მიმდინარე მინიმალური მარშრუტი და მიმდინარე მინიმალური ღირებულება,

ბიჯი 5.

5.1. თუ  $n < 6$ , ავიღოთ შემთხვევითი მთელი რიცხვები  $k_1, k_2 \in [2, n]$  ინტერვალიდან და შევუცვალოთ  $path$  მასივის  $path(k_1)$  და  $path(k_2)$  ელემენტებს. გამოვიანგარიშოთ ამ ახალი გზის ღირებულება. თუ მიღებული ღირებულება ნაკლებია მიმდინარე მინიმალურ ღირებულებაზე ( $Min$ ), მაშინ  $Min$  ცვლადში ვიმახსოვრებთ ამ ახალ ღირებულებას და ამ ახალ მარშრუტს ვიმახსოვრებთ შესაბამისად  $MinPath$  მასივში, როგორც მიმდინარე მინიმალურს.

5.2. თუ  $n > 6$ , ვაკეთებთ იგივეს რაც ზემოთ 5.1.-ში გვქონდა, მხოლოდ ამჯერად  $k_1, k_2$ -ის გარდა, იგივე პირობით ვიღებთ  $k_3, k_4 \in [2, n]$  რიცხვებს და მათ შესაბამის  $path(k_3)$  და  $path(k_4)$  ელემენტებსაც ვუცვლით ადილებს, დანარჩენი 5.1.-ის მსგავსად.

ბიჯი 6. გავიმეოროთ ბიჯი 5, ვიდრე არ შესრულდება დასრულების პირობა. დასრულების პირობა შესაძლოა იყოს მაგალითად მე-5 ბიჯის გამეორება გარკვეული რაოდენობით(მაგ.  $n^3$ -ჯერ);

ბიჯი 7. დასასრული, მიახლოებითი ამოხსნა არის მიმდინარე მინიმალური მარშრუტი ( $MinPath$  მასივი) და მისი ღირებულება( $Min$ );

ჩატარებულმა ექსპერიმენტებმა გვიჩვენა, რომ ამ ალგორითმით მიიღება ზუსტი ამოხსნა, როდესაც  $n < 7$ , თითქმის ყველა გრაფისთვის და  $n > 6$  -ის შემთხვევაში (ექსპერიმენტისთვის აღებული იყო 9, 10 წვეროიანი გრაფები) მიიღება 4-8% -იანი ცდომილება.

## III. დასკვნა

მამასადამე, ეს ალგორითმი ეფექტურად მუშაობს, როდესაც კომივოიაჟორის ამოცანა დასმულია გრაფებისთვის, რომლებშიც წვეროების რაოდენობა არ არის დიდი. მისი დროითი სირთულე პოლინომიალურია -  $O(n^3)$  რიგისა და ამონახსნი პრაქტიკულ მაგალითებზე მიიღება წამებში. მაგრამ გრაფის ზომების ზრდასთან ერთად ალგორითმის სიზუსტე კლებულობს.

## About one heuristic algorithm for solving the traveling salesman problem

Natela Ananiashvili

### Summary

The traveling salesman problem is one of the most important discrete optimization problems. This problem involves finding the minimum weight Hamiltonian cycle in a weighted complete graph. The traveling salesman problem is NP-hard, and its solution is very important from a practical point of view. The article discusses a simple way to solve this problem, the full choice method, which finds an exact solution and works effectively for small graphs. A new heuristic algorithm is proposed that finds an exact solution for small graphs and an approximate solution for relatively large graphs. The time complexity of the proposed algorithm is polynomial.

## Об одном эвристическом алгоритме решения задачи коммивояжера

*Натела Ананиашвили*

### Резюме

Задача коммивояжера — одна из важнейших задач дискретной оптимизации. Эта задача включает в себя нахождение гамильтонова цикла минимального веса во взвешенном полном графе. Задача коммивояжера NP-трудна, ее решение очень важно с практической точки зрения.

В статье обсуждается простой способ решения этой задачи, метод полного выбора, который находит точное решение и эффективно работает для небольших графов. Предлагается новый эвристический алгоритм, который находит точное решение для небольших графов и приближенное решение для относительно больших графов. Временная сложность предлагаемого алгоритма полиномиальна.

### ლიტერატურა – References – Литература

1. Hahsler M., Hornik K. TSP – Infrastructure for the Traveling Salesperson Problem // Journal of Scientific Software. – 2007. – Vol. 32, Issue 2. – pp. 1-21.
2. Paschos V., Monnot J., Toulouse S. The travelling salesman problem and its variations // Paradigms of Combinatorial Optimization. – 2014. – pp. 173-214.
3. Garey M. R. and Johnson D. S. Computers and intractability. A guide to the theory of NP-completeness [Book]. - [s.l.] : San Francisco: W. H. Freeman and Co., 1979.
4. Padberg, M.; Rinaldi, G., "A Branch-and-Cut Algorithm for the Resolution of Large-Scale Symmetric Traveling Salesman Problems", SIAM Review, 33:-1991, 60–100.
5. Bellman, R. (1962), "Dynamic Programming Treatment of the Travelling Salesman Problem", J. Assoc. Comput. Mach., 9: -1962, 61–63.

სტატიები სტუდენტების მონაწილეობით

ARTICLES WITH STUDENT PARTICIPATION

СТАТЬИ С УЧАСТИЕМ СТУДЕНТОВ

---

დინამიკური სისტემების მათემატიკური მოდელების აგების  
თავისებურებები სისტემების იდენტიფიკაციის მეთოდებით

ბესარიონ შანშიაშვილი, ბექა ავაზნელი<sup>1</sup>

besoshan@hotmail.com, avaznelibeq@gmail.com

რეზიუმე

განხილულია დინამიკური სისტემების მათემატიკური მოდელების აგების თავისებურებები სისტემის შემავალ-გამომავალი სიგნალების დაკვირვებების საფუძველზე, განხილულია მოდელების ტიპები, სისტემების იდენტიფიკაციის ამოცანები, მოდელების აგების ეტაპები. განსაკუთრებული ყურადღება ეთმობა არაწრფივი დინამიკური სისტემების კერძო და ზოგადი მოდელების განხილვას და არაწრფივი სისტემების სტრუქტურული და პარამეტრული იდენტიფიკაციის ამოცანების გადაწყვეტის სფეროში მიღებული შედეგების ანალიზს მათი ბლოკურად ორიენტირებული მოდელებით წარმოდგენისას.

საკვანძო სიტყვები:

იდენტიფიკაცია, არაწრფივი სისტემა, მოდელი, დინამიკა.

1. შესავალი

საკვლევ სისტემაში მიმდინარე პროცესების ფორმალიზება მათემატიკური გამოსახულების ანუ მათემატიკური მოდელის ფორმით ემსახურება სხვადასხვა მიზნებს, კერძოდ ის შეიძლება გამოყენებული იყოს კვლევითი, პროექტირებისა და მართვის მიზნებისათვის.

მათემატიკური მოდელის საშუალებით მიღებული ინფორმაციის გააზრებას და მის შემდგომ დაზუსტებას აქვს პირველხარისხოვანი მნიშვნელობა კვლევის მიზნების შესრულებისათვის. მოდელი იძლევა შემდგომი კვლევების დაგეგმვის საშუალებას.

სისტემის პროექტირებისას მონაცემები, რომლებიც ახასიათებს მის ცალკეულ ელემენტებს და ქვესისტემებს, გამოიყენება იმისათვის, რომ აიგოს სისტემის მოდელი, რომელიც დააკმაყოფილებს პროექტების კრიტერიუმს (მდგრადობა, მგრძობიარობა, ცდომილების სიდიდე, საიმედოობა და სხვა).

საწარმოო პროცესის ავტომატური მართვის საფუძველს წარმოადგენს ინფორმაციის არსებობა პროცესის მდგომარეობის შესახებ ფორმალიზირებული ანუ მოდელის სახით.

საკვლევ სისტემის მათემატიკური მოდელი შეიძლება აგებული იყოს მათემატიკური მოდელირების, ან სისტემების იდენტიფიკაციის მეთოდების გამოყენების საფუძველზე.

მათემატიკური მოდელირებისას ობიექტის აღწერა ხორციელდება მათემატიკის ენაზე, როგორც წესი, განტოლებების სახით, ხოლო მოდელის შესწავლა ხორციელდება გარკვეული მათემატიკური მეთოდების გამოყენებით.

მართვის თეორიის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი მიმართულება - სისტემების იდენტიფიკაცია გულისხმობს სისტემის მოდელის აგებას მის შემავალ და გამომავალ ცვლადებზე დაკვირვებების საფუძველზე, რომლებიც მიღებულია სისტემის ფუნქციონირების პირობებში [1]. კლასიკურად ითვლება ლოტვი ზადეს მიერ შემოტანილი იდენტიფიკაციის განმარტება, რომლის თანახმად "იდენტიფიკაცია არის სისტემის შემავალი და გამომავალი ცვლადების მიხედვით მისი ექვივალენტური სისტემის განსაზღვრა სისტემათა რაიმე მოცემული კლასიდან". ამ განმარტების თანახმად აუცილებელია განსაზღვრული იყოს სისტემების ანუ მოდელების კლასი, შემავალი სიგნალების კლასი და

---

<sup>1</sup> სტუ ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის დოქტორანტი

ცნება “ექვივალენტობა” [1, 2]. სისტემაში მიმდინარე პროცესის მათემატიკური მოდელის აგებისას სისტემების იდენტიფიკაციის მეთოდებით, საჭირო ხდება სხვადასხვა ამოცანის გადაწყვეტა სისტემის შესახებ აპრიორული ინფორმაციისა და სისტემის შემავალი და გამომავალი სიგნალების დაკვირვებადობასთან დამოკიდებულებით.

სისტემების იდენტიფიკაცია ეყრდნობა ძირითადად წრფივ სტაციონარულ მოდელებს, რომლებიც ფართოდ გამოიყენება საწარმოო პროცესებისათვის. ამავე დროს უმრავლესი რეალური სისტემა არის არაწრფივი ან ხასიათდება ცვლადი პარამეტრებით. ასეთი სისტემების წარმოდგენა წრფივი სტაციონარული მოდელებით არ იძლევა პრაქტიკისათვის მისაღებ შედეგებს.

მოცემულ სამუშაოში განიხილება ის თავისებურებები, რომლებიც დამახასიათებელია საკვლევი სისტემის მათემატიკური მოდელის აგების პროცესისათვის სისტემების იდენტიფიკაციის მეთოდების გამოყენების საფუძველზე. ამასთან, გასაკუთრებული ყურადღება ეთმობა არაწრფივი სისტემების მოდელირების თავისებურებებს.

## 2. მოდელების ტიპები

მოდელი - ობიექტის აღწერაა რაიმე ფორმალიზურ ენაზე მისი თვისებების შესწავლის მიზნით. ის წარმოადგენს მატერიალურ ან აზრობრივად შედგენილ ობიექტს, რომელიც საკმარისი ხარისხით იმეორებს საკვლევი ობიექტ-ორიგინალის არსებით თვისებებს, და მხედველობაში არ იღებს არაარსებით თვისებებს, მოდელის გამოყენების მიზნებიდან გამომდინარე.

მეცნიერებაში მოდელის ქვეშ იგულისხმება საკვლევი სისტემის (ორიგინალის) რაიმე ანალოგი, სახე – აზრობრივი ან პირობითი აღწერა, სქემა, გრაფი, ნახაზი, გრაფიკი, რუკა და ა.შ. მათემატიკური მოდელი – რაიმე ობიექტის ფორმალიზური აღწერაა მათემატიკური ცნებების საშუალებით. მოდელის აგებისა და გამოკვლევის პროცესს უწოდებენ მოდელირებას. მათემატიკური მოდელირება კი - მათემატიკური მოდელების აგებისა და გამოკვლევის პროცესია მათემატიკური მეთოდების გამოყენებით.

მოდელები შეიძლება შეიძლება იყოს ორი ტიპის: საგნობრივი და ინფორმაციული. საგნობრივი საგნობრივი მოდელის მაგალითია: გლობუსი როგორც დედამიწის მოდელი, სათამაშო ავტომობილი როგორც ნამდვილის მოდელი. ინფორმაციულ მოდელებს მიეკუთვნება ობიექტის აღწერა ბუნებრივ ენაზე და ინფორმაციის წარმოდგენა ფორმალური სისტემებით (მათემატიკური, პროგრამული და სხვა.). იმისაგან დამოკიდებულებით მოვლენის რომელი მხარე არის მოცემულ შემთხვევაში ყველაზე არსებითი, ასევე მოდელის აგებისათვის გამოყენებადი მეთოდების, არსებული ინფორმაციის რაოდენობისა და ხარისხისაგან დამოკიდებულებით გამოიყენება ინფორმაციული მოდელების სხვადასხვა ტიპები: კონცეპტუალური, ფიზიკური და მათემატიკური მოდელები. მაგალითად, სამყაროს ფოტოლემის მოდელი წარმოადგენს პლანეტების მოძრაობაზე დაკვირვებისათვის საკმაოდ ადეკვატურ კონცეპტუალურ მოდელს. კოპერნიკის მოდელი, რომელშიც დაკვირვებადი პროცესები აიხსნება დედამიწისა (დამკვირვებელი) და დაკვირვებადი პლანეტის მოძრაობების ჯამი, შეიძლება ჩაითვალოს ფიზიკურ მოდელად. კეპლერის კანონები ქმნიან მათემატიკურ მოდელს, რომელიც იძლევა რაოდენობრივი წინასწამეტყველების შესაძლებლობას.

მოდელის საშუალებით ინფორმაცია უნდა წარმოდგენილი იყოს ხელსაყრელ ფორმაში. ეს არსებითია ვინაიდან მოდელმა უნდა შექმნას წინაპირობა შემდგომი გადაწყვეტილებების მიღებისათვის. თუ მოდელი ძლიერ რთულია, მაშინ მისი სარგებლიანობა ხდება საეჭვო. შედარებითი სიმარტივე არის მოდელის მთავარი დამახასიათებელი. მოდელი წარმოადგენს რეალობის გამარტივებულ ასახვას. იმისათვის რომ მოდელი იყოს სასარგებლო, მისი სირთულე უნდა იყოს გარკვეულ თანაფარდობაში ობიექტის სირთულესთან.

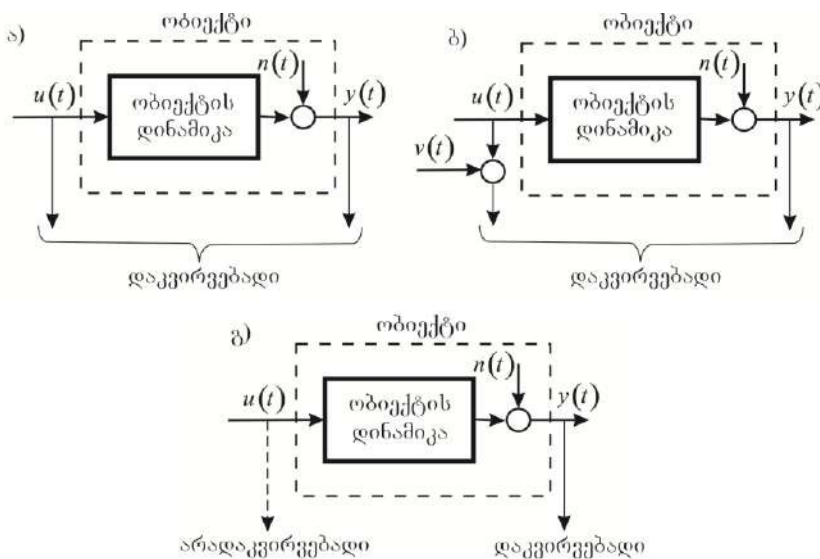
### 3. სისტემების იდენტიფიკაციის ამოცანები

საკვლევი ობიექტის შესახებ არსებული აპრიორული ინფორმაციისაგან დამოკიდებულებით ანსხვავებენ იდენტიფიკაციის ამოცანებს ვიწრო და ფართო აზრით [1, 2].

ვიწრო აზრით იდენტიფიკაციის ამოცანა მდგომარეობს ობიექტის ფუნქციონირების პირობებში, შემავალ და გამომავალ ცვლადებზე დაკვირვებების საფუძველზე სისტემის პარამეტრების და მდგომარეობის შეფასებაში. ამ დროს არსებობს სისტემის შესახებ საკმაოდ დიდი მოცულობის აპრიორული ინფორმაცია.

ფართო აზრით იდენტიფიკაციის დროს აპრიორული ინფორმაცია მეტად მცირეა ან არ არსებობს და ამ დროს საჭიროა დამატებითი ამოცანების გადაწყვეტა, რომლებსაც მიეკუთვნება: სისტემის სტრუქტურის არჩევა და მოდელთა კლასის განსაზღვრა, ობიექტისა და მომქმედი ცვლადების სტაციონალურობის, წრფივობის ხარისხისა და ფორმის შეფასება, ინფორმაციული ცვლადების ამორჩევა და სხვა.

იდენტიფიკაციის ამოცანების მრავალნაირობა, სისტემის შესახებ არსებული აპრიორული ინფორმაციის მოცულობის გარდა, განპირობებულია ასევე სისტემის შემავალი სიგნალის დაკვირვებადობით, რომელიც შეიძლება იყოს დაკვირვებადი ზუსტად, დაკვირვებადი ხმაურთან ერთად ნარევში და არადაკვირვებადი. ყველა შემთხვევაში სისტემის გამომავალი სიგნალი დამახინჯებულია ხმაურით. საჭიროა პარამეტრებისა და (ან) მდგომარეობის შესახებ ინფორმაციის მიღება სიგნალებზე დაკვირვებების საფუძველზე. რამდენიმე მარტივი მაგალითი შესაძლო ამოცანებისა მოცემულია ნახაზზე 1, სადაც  $u(t)$  და  $y(t)$  ობიექტის შემავალი და გამომავალი სიგნალებია.



ნახ. 1.

იდენტიფიკაციის უმეტესი ამოცანების გადაწყვეტა დაკავშირებულია ექსპერიმენტის ჩატარებასთან სისტემის შემავალი და გამომავალი ცვლადების შესახებ ინფორმაციის მოპოვების მიზნით. სისტემის ფუნქციონირების თავისებურებებიდან გამომდინარე, ექსპერიმენტი შეიძლება იყოს აქტიური, რომლის დროსაც შესაძლებელია სისტემის შესასვლელზე სპეციალური სახის საცდელი სიგნალების მიწოდება და პასიური, რომლის დროსაც ხდება მხოლოდ დაკვირვება სისტემის შესასვლელ-გამოსასვლელზე მისი ნორმალური ფუნქციონირების დროს.





უნდა აღინიშნოს, რომ უკანასკნელ პერიოდში მიმდინარეობს მნიშვნელოვანი კვლევები და მიღებულია გარკვეული შედეგები მოდელის სტრუქტურის აგების სფეროში აპოსტერიორული ინფორმაციის გამოყენების საფუძველზე, რაც სქემაზე არ არის ასახული.

### 5. არაწრფივი სისტემების იდენტიფიკაციის თავისებურებები

ჩველებრივად, „მიწიერ“ პირობებში ფუნქციონირებად საწარმოო სისტემებში მიმდინარე ტექნოლოგიური პროცესების უმრავლესობა ატარებს არაწრფივ ხასიათს, რომელთა კვლევისას გვხვდება პრინციპიალურად ახალ მოვლენები და თავისებურებები, რომლებიც არ არიან დაკვირვებადი წრფივ სისტემებში [2].

არაწრფივი სისტემისათვის არ არის მართებული სუპერპოზიციის პრინციპი, რომლის თანახმად სისტემის რეაქცია გარე ზემოქმედებების ნებისმიერ კომბინაციაზე ტოლია თითოეულ ზემოქმედებაზე რეაქციების კომბინაციის, როდესაც ეს ზემოქმედებები სისტემას მიეწოდება ცალ-ცალკე. ამის გამო, არაწრფივი პროცესის გამოკვლევა, მისი აღმწერი დიფერენციალური განტოლების ამოხსნის საშუალებით, დაკავშირებულია მათემატიკურ სირთულეებთან.

სიხშირულ არეში, სისტემის შესასვლელზე ჰარმონიული სიგნალის მოქმედებისას, წრფივი სისტემისაგან განსხვავებით, ერთსა და იმავე არაწრფივ სისტემაში შეიძლება არსებობდეს არარეზონანსული, რეზონანსული და სუბჰარმონიული რხევები საწყისი პირობების მნიშვნელობებზე დამოკიდებულებით. არაწრფივ სისტემაში შეიძლება დაკვირვებადი იყოს რეზონანსის განსაკუთრებული შემთხვევები, რომლებიც ხასიათდება იძულებითი რხევების ამპლიტუდის არაცალსახა დამოკიდებულებით სიხშირეზე. არაწრფივ სისტემაში რეზონანსი შესაძლებელია სიხშირეზე, რომელიც ტოლია შემავალი ზემოქმედების სიხშირის რაიმე ნაწილის. ზოგიერთ არაწრფივ სისტემაში გვხვდება პარამეტრული აღგზნებისა და რეზონანსის მოვლენა, რაც გამოიხატება იმით, რომ სისტემაში რხევები წარმოიქმნება რაიმე პარამეტრის პერიოდული ცვლილებისას. არაწრფივი სისტემის გამოსასვლელზე შეიძლება მიღებული იყოს სხვადასხვა ტიპის მოძრაობა შემავალი სიგნალის სიხშირეზე, ამპლიტუდასა და ფაზაზე დამოკიდებულებით.

არაწრფივ სისტემაში მდგრადობის საკითხის გადაწყვეტა გაცილებით რთულია წრფივ სისტემასთან შედარებით. ამ შემთხვევაში არ შეიძლება მსჯელობა მთელი სისტემის მდგრადობის შესახებ. არაწრფივი სისტემის გამოსასვლელზე წარმოქმნილი სხვადასხვა სახის მოძრაობიდან, ზოგი შეიძლება იყოს მდგრადი, ზოგი არამდგრადი. არაწრფივ სისტემებში ხდება ცალკეული მოძრაობების მდგრადობაზე გამოკვლევა. ამისათვის არსებობს გარკვეული კრიტერიუმები, რომლებსაც აქვს გამოყენების შეზღუდული სფერო.

ცხადია, რომ არაწრფივი სისტემებისათვის დამახასიათებელი თავისებურებების ჩამოთვლა შეიძლება გაგრძელდეს.

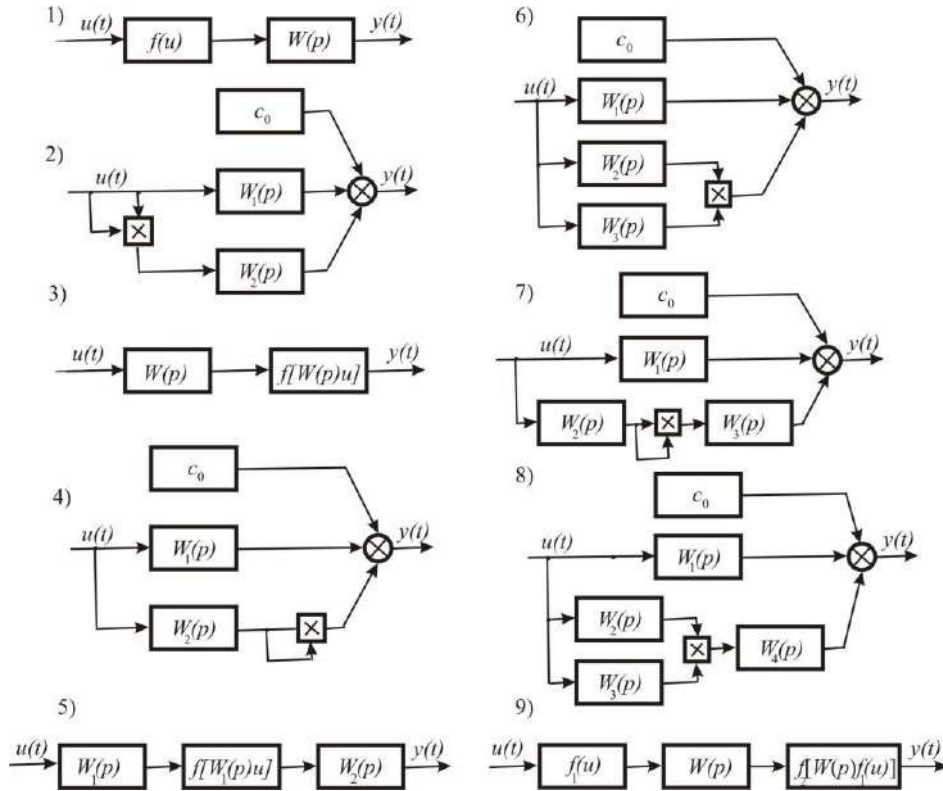
არაწრფივი სისტემებში მიმდინარე პროცესების აღნიშნული თავისებურებების გამო, მათი სრულფასოვანი დახასიათება ცვლადების ცვლილების მთელ დიაპაზონში შესაძლებელია მხოლოდ არაწრფივი მოდელებით.

არაწრფივი სისტემების იდენტიფიკაციის დროს არაწრფივი მოდელების საშუალებით შეიძლება გამოიყოს ორი ძირითადი ტენდენცია. პირველი მდგომარეობს კერძო სახის – ძირითადად ბლოკურად ორიენტირებული მოდელების [3], ხოლო მეორე ზოგადი მოდელების, ძირითადად ვოლტერას [4] და ვინერის [5] ფუნქციონალური მწკრივებისა და კოლმოგოროვ-გაბორის უწყვეტი და დისკრეტული პოლინომების [6-7] გამოყენებაში საკვლევი სისტემის მათემატიკური აღწერისათვის.

ბლოკურად ორიენტირებული მოდელების სიმრავლე შედგება ჰამერშტეინისა და ვინერის მოდელების სხვადასხვა მოდიფიკაციისაგან, რომლებიც განისაზღვრება არაწრფივი სტატიკური და წრფივი დინამიკური ელემენტების შეერთების სხვადასხვა კომბინაციით.

ნახაზ 3-ზე წარმოდგენილია, პრაქტიკული სისტემების წარმოსადგენად ყველაზე უფრო გამოყენებადი, უწყვეტი ბლოკურად ორიენტირებული მოდელების სიმრავლე, სადაც

$W_i(p)$  ( $i=1,2,3,4$ ) - წრფივი დინამიკური რგოლების გადაცემის ფუნქციებია ოპერატორულ ფორმაში, ხოლო  $f_j$  ( $j=1, 2$ ) - არაწრფივი სტატიკური რგოლების აღმწერი პოლინომიალური ფუნქციებია.



ნახ. 3. ბლოკურად-ორიენტირებული მოდელები: 1) ჰამერშტეინის მარტივი; 2) ჰამერ-ვშტეინის განზოგადებული; 3) ვინერის მარტივი; 4) ვინერის განზოგადებული; 5) ვინერ-ჰამერშტეინის მარტივი კასკადური; 6) ვინერის გაფართოებული მოდელი; 7) ვინერ-ჰამერშტეინის განზოგადებული კასკადური; 8) ვინერ-ჰამერშტეინის გაფართოებული კასკადური, 9) ჰამერშტეინ- ვინერის მარტივი კასკადური მოდელი.

არაწრფივი სისტემის წარმოდგენისათვის ზოგადი მოდელები გამოიყენება იმ შემთხვევაში, როდესაც აპრიორი ინფორმაცია სისტემის შესახებ მეტად მწირია ან არ არსებობს. ასეთი აღწერილობები საშუალებას იძლევა სისტემის გამომავალი ცვლადის მიმდინარე მნიშვნელობა გამოისახოს სისტემის შემავალი ცვლადის წინა, წანაცვლებული მნიშვნელობის საშუალებით. ზოგადი მოდელი, როგორც წესი, შეიცავს დიდი რაოდენობის წევრებს და მისი პარამეტრების განსაზღვრა დაკავშირებულია გამოთვლით სირთულეებთან.

ყველა ზოგადი მოდელი დამყარებულია სტოუნ-ვაიერშტრასის თეორემაზე, რომლის თანახმად ინტერვალზე განსაზღვრული ყოველი უწყვეტი ნამდვილი ფუნქცია არის პოლინომების რაიმე თანაბრად კრებადი მიმდევრობის ზღვარი. ამიტომ სისტემის ყველა ზოგადი აღწერილობა დროის მიხედვით როგორც უწყვეტ, ისე დისკრეტულ შემთხვევაში არის პოლინომიური მოდელი, რომელიც წრფივია პარამეტრების მიმართ.

ერთშესასვლელიანი და ერთგამოსასვლელიანი არაწრფივი დინამიკური სისტემების ზოგადი მოდელის როლში გამოიყენება შემდეგი მრავალწევრი, რომელიც წარმოადგენს კოლმოგოროვ-გაბორის დისკრეტულ პოლინომს:

$$\begin{aligned}
 y(k) = & \bar{y} + \sum_{i=0}^n b_i u(k-i) + \dots + \sum_{i=0}^n \dots \sum_{\tau=p}^n \sum_{q=v}^n b_{i\dots q} u(k-i)\dots u(k-q) + \\
 & + \sum_{i=1}^m a_i y(k-i) + \dots + \sum_{i=1}^m \dots \sum_{v=p}^m \sum_{q=v}^m a_{i\dots q} y(k-i)\dots y(k-q) + \\
 & + \sum_{i=0}^m \sum_{j=1}^m c_{ij} u(k-i)y(k-j) + \dots + \sum_{i=0}^m \sum_{j=1}^m \dots \sum_{q=1}^m c_{ij\dots q} u(k-i)y(k-j)\dots y(k-q), \quad (1)
 \end{aligned}$$

სადაც  $u(k)$  და  $y(k)$  შემავალი და გამომავალი გაზომვადი სიგნალებია, შესაბამისად,  $y^-$ -ით აღნიშნულია გამომავალი სიგნალის საშუალო მნიშვნელობა,  $n$  არის სისტემის შემავალი ცვლადის წინა, წანაცვლებული მნიშვნელობების რაოდენობა,  $m$  გამომავალი ცვლადის წინა, წანაცვლებული მნიშვნელობების რაოდენობა,  $q$  პოლინომის ხარისხია.

ვოლტერას ფუნქციონალური მწკრივი, რომლის საშუალებით ფრემს თეორემის თანახმად შეიძლება აღიწეროს ნებისმიერი უწყვეტი არაწრფივი სისტემის შემავალ და გამომავალ ცვლადებს შორის კავშირი, განისაზღვრება გამოსახულებით:

$$\begin{aligned}
 y(t) = & \int_{-\infty}^{\infty} h_1(\tau) u(t-\tau) d\tau + \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} h_2(\tau_1, \tau_2) u(t-\tau_1, t-\tau_2) d\tau_1 d\tau_2 + \dots + \\
 & + \int_{-\infty}^{\infty} \dots \int_{-\infty}^{\infty} h_n(\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n) u(t-\tau_1, t-\tau_2, \dots, t-\tau_n) d\tau_1 d\tau_2 \dots d\tau_n + \dots, \quad (2)
 \end{aligned}$$

სადაც  $h_k(\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_k)$  არის  $k$ -ური რიგის წონითი ფუნქცია ანუ ვოლტერას  $k$ -ური რიგის ბირთვი.

ვოლტერას ფუნქციონალური მწკრივი და მისი დისკრეტული ანალოგი ვინერის მწკრივი ფართოდ გამოიყენება არაწრფივი სისტემის იდენტიფიკაციისათვის მწკრივის ბირთვების განსაზღვრის გზით.

არაწრფივი სისტემის წარმოდგენას კერძო და ზოგადი სახის მოდელებით აქვს თავისი დადებითი და უარყოფითი მხარეები. ბლოკურად ორიენტირებული, მოდელებით წარმოდგენის უპირატესობა არის მათი პრაქტიკაში მისი გამოყენების სიმარტივე. ზოგადი მოდელების საშუალებით შეიძლება მოდელირებული იყოს პრაქტიკული სისტემების უფრო ფართო კლასი.

არაწრფივი სისტემების იდენტიფიკაციისას, როგორც კერძო ისე ზოგადი მოდელების საშუალებით, უპირველესი და უმნიშვნელოვანესი ამოცანაა მოდელის სტრუქტურის განსაზღვრა. მოდელის სტრუქტურის სწორად შერჩევაზე დიდად არის დამოკიდებული სისტემის ადეკვატური მოდელის აგების წარმატება.

არაწრფივი სისტემის ბლოკურად ორიენტირებული მოდელებით მათი წარმოდგენისას სტრუქტურული იდენტიფიკაციის ამოცანა ნამუშევრებში [8, 9] დასმული იქნა არა იდენტიფიკაციის კლასიკური სქემის მიხედვით, არამედ ლ. ზადეს იდენტიფიკაციის კლასიკური განმარტების საფუძველზე ანუ იმ დაშვებით, რომ ცნობილია მოდელების და შემავალი სიგნალების კლასები, საჭიროა განისაზღვროს მოდელის სტრუქტურის იდენტიფიკაციის კრიტერიუმი მოდელების მოცემული კლასიდან.

არაწრფივი სისტემის ზოგადი მოდელებით წარმოდგენისას სტრუქტურული იდენტიფიკაციის ამოცანა არის მოდელის “საუკეთესო” სტრუქტურის დადგენა, რაც ხორციელდება არსებითი, სტატისტიკური ნიშნადი წევრების ამორჩევით ზოგადი მოდელიდან ინფორმაციული კრიტერიუმების საშუალებით (მაგალითად [10, 11]).

არაწრფივი სისტემების სტრუქტურული იდენტიფიკაციის ამოცანა, სისტემის შემავალ-გამომავალ ცვლადებზე დაკვირვებების საფუძველზე, განხილული იყო დისკრეტული (მაგალითად [9, 12]) და უწყვეტი ბლოკურად ორიენტირებული მოდელების სიმრავლეზე (მაგალითად [13-16]). აუცილებელია აღინიშნოს, რომ ასევე არსებობს სხვა მიდგომები არაწრფივი სისტემების იდენტიფიკაციისთვის (მაგ. [17-20]).

სისტემის მოდელის სტრუქტურის განსაზღვრის შემდეგ, მოდელის აგების შემდგომ ეტაპზე, საჭიროა განისაზღვროს მოდელის პარამეტრები სისტემის შემავალ-გამომავალი მონაცემების მიხედვით, რაც შეიძლება განხორციელდეს პარამეტრული და არაპარამეტრული მეთოდებით.

პარამეტრული იდენტიფიკაციის ამოცანა არის არაწრფივი სისტემების იდენტიფიკაციის ერთ-ერთი ძირითადი ამოცანა მოდელის ცნობილი სტრუქტურის დროს. შეიძლება ითქვას, რომ არაწრფივი სისტემის როგორც კერძო, ისე ზოგადი მოდელებით წარმოდგენისას, იდენტიფიკაციის ეს ამოცანა, იდენტიფიკაციის სხვა ამოცანებთან შედარებით, ყველაზე უფრო სრულყოფილად არის გამოკვლეული სხვადასხვა მიდგომით. ბლოკურად ორიენტირებული მოდელებით არაწრფივი სისტემების წარმოდგენისას პარამეტრული იდენტიფიკაციის ამოცანისადმი მიძღვნილია დიდი რაოდენობის სამუშაოები (მაგალითად [21-24]), რომელთაგანაც ნაწილი მჭიდროდ არის დაკავშირებული სტრუქტურული იდენტიფიკაციის ამოცანასთან ერთდაიგივე ექსპერიმენტული მონაცემების გამოყენებით (მაგალითად [14, 25-26]).

რაც შეეხება არაპარამეტრული იდენტიფიკაციის მეთოდებს, ისინი დამუშავებულია ძირითადად წრფივი სისტემებისათვის, მათი გადაცემის ფუნქციებით, გარდამავალი და იმპულსური გარდამავალი ფუნქციებით წარმოდგენისას.

## 6. დასკვნა

სამუშაოში განხილულია დინამიკური სისტემების მათემატიკური მოდელებების აგების თავისებურებები სისტემების იდენტიფიკაციის მეთოდების გამოყენების საფუძველზე. საკვლევი სისტემის მოდელის აგებისადმი ასეთი მიდგომისას, საჭიროა იდენტიფიკაციის სხვადასხვა ამოცანის გადაწყვეტა, რომლებიც ისმება სისტემის შესახებ არსებული აპრიორული ინფორმაციისა და შემავალ-გამომავალი სიგნალების დაკვირვებადობასთან დაკავშირებით. ამ ამოცანების განხილვასთან ერთად, სამუშაოში წარმოდგენილია მოდელების ტიპები დინამიკური სისტემებისათვის. იმის გამო, რომ პრაქტიკულ სისტემებში მიმდინარე პროცესები უმეტესად ატარებს არაწრფივ ხასიათს, განსაკუთრებული ყურადღება ეთმობა არაწრფივ სისტემების ფუნქციონირების თავისებურებებს და მათი მოდელირებისათვის კერძო და ზოგადი მოდელების განხილვას. კერძო მოდელების როლში განიხილება ბლოკურად ორიენტირებული მოდელები, რომლებიც გამოირჩევა პრაქტიკაში გამოყენების შედარებითი სიმარტივით, და ზოგადი მოდელები - ვოლტერას ფუნქციონალური მწკრივებისა და კოლმგოროვ-გაბორის დისკრეტული პოლნომის ფორმით. ჩატარებულია არაწრფივი სისტემების სტრუქტურული და პარამეტრული იდენტიფიკაციის ამოცანების გადაწყვეტის სფეროში მიღებული შედეგების ანალიზი, მათი ბლოკურად ორიენტირებული მოდელებით წარმოდგენისას.

## **Peculiarities of creation of mathematical models of dynamic systems with system identification methods**

*Besarion Shanshiashvili, Beka Avazneli*

### **Summary**

Peculiarities of creation mathematical models of dynamic systems based on observations of input-output signals of the system are considered. Types of models, system identification problems, stages of model creation are discussed. Particular attention is given to the discussion of private and general models of nonlinear dynamic systems and the analysis of the results obtained in the field of solving problems of structural and parametric identification of nonlinear systems when presenting them with block-oriented models.

Особенности построения математических моделей динамических систем методами  
идентификации систем

*Виссарион Шаншиашвили, Бека Авазели*

**Резюме**

Рассматриваются особенности построения математических моделей динамических систем на основе наблюдений входных-выходных сигналов системы. Обсуждаются виды моделей, задачи идентификации системы, этапы построения модели. Особое внимание уделено обсуждению частных и общих моделей нелинейных динамических систем и анализу результатов, полученных в области решения задач структурной и параметрической идентификации нелинейных систем при представлении их блочно-ориентированными моделями.

**ლიტერატურა - References – Литература**

1. Eykhoff, P. System Identification. Parameter and State Estimation. London, John Wiley and Sons Ltd, 1974.
2. შანშიაშვილი ბ. სისტემების იდენტიფიკაცია. თბილისი, ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2021.
3. Haber R & Keviczky L Identification of nonlinear dynamic systems. In: Preprints of the IV IFAC Symposium on Identification and System Parameter Estimation, part 1. Institute of Control Sciences, Moscow, 1976, pp. 62-112.
4. Volterra V. Theory of Functionals and of Integral and Integro-Differential Equations. Dover Publ., New York, 1959.
5. Wiener N. Nonlinear Problems in Random Theory. Wiley, New York, 1958.
6. Kolmogorov A. N. Interpolation and extrapolation of stationary random series. Bulletin of the Academy Sciences of USSR, Mathematical series. No. 5, 1941, pp. 3-14.
7. Gabor L, Wilby PL., Woodcook R. A universal nonlinear filter predictor and simulator which optimizes itself by a learning process. In: Proc. of the IE, part B, vol. 108, issue 40, 1961, pp.422-433.
8. Shanshiashvili B.G. On the selection of the model structure under the nonlinear dynamic system identification with a closed cycle. 8th IFAC/IFORS Symposium on Identification and System Parameter Estimation (Beijing, China, august 27-31, 1988). Preprints. Oxford, Pergamon Press, vol. 2, 1988, pp. 933-938.
9. Haber R, Keviczky L Structure identification of nonlinear dynamic systems – a survey on input/output approaches. Automatica, vol. 26, no. 4, 1990, pp. 651-667.
10. Kortmann M., Unbehauen H. Structure detection in the identification of nonlinear systems. Automatique-Productive-Informatique Industrielle (APII), vol. 22, no. 1, pp. 5-25.
11. Hassouna S., Coirault P., Poinot T. Non-linear system identification using Volterra series expansion. IFAC Proceedings Volumes, vol. 33, issue 15, 2000, pp. 947-952.
12. Block-oriented Nonlinear System Identification (eds F. Giri & E-W. Bai). Berlin: Springer, 2010.
13. Shanshiashvili B.G. Frequency method for identification of a model structure of nonlinear continuous-time systems. 9th IFAC/IFORS Symposium on Identification and System Parameter Estimation (Budapest, Hungary, 8-12 July, 1991). Preprints. Oxford, Pergamon Press, vol. 1. 1991, pp. 640-643.
14. Salukvadze M., Shanshiashvili B. Identification of nonlinear Continuous Dynamic Systems with Closed Cycle. International Journal of Information Technology & Decision making, vol. 12, no. 2, 2013, pp. 179-199.
15. Shanshiashvili B., Prangishvili A. Structure identification of continuous nonlinear dynamical systems. Procedia Computer Science. Volume 112, 2017, pp. 1032-1043.
16. Shanshiashvili B., Prangishvili A., Tsveraidze Z. Structure Identification of Continuous-Time Block-Oriented Nonlinear Systems in the Frequency Domain. ScienceDirect. IFAC-PapersOnLine, vol. 52, issue 13, 2019, pp. 463-468.

17. Ding, Y., Zhao, B. Y., Wu, B. Structural system identification with extended Kalman filter and orthogonal decomposition of excitation. *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2014, 2014. 10 p.
18. Karabutov, N. Structural identification of nonlinear dynamic systems. *International Journal of Intelligent Systems and Applications (IJISA)*, vol.7, no.9, 2015, pp.1-11.
19. Paduart, J., Lauwers L., Pintelon R., Schoukens, J. Identification of a Wiener-Hammerstein system using the polynomial nonlinear state space approach, *Control Engineering Practice*, vol. 20, no. 11, 2012, pp. 1133–1139.
20. Schoukens, M., Tiels, K. Identification of block-oriented nonlinear systems starting from linear approximations: A survey. *Automatica*, vol. 85, 2017, pp. 272–292.
21. Mattsson P. and Wigren T. "Convergence analysis for recursive Hammerstein identification", *Automatica*, vol. 71, 2016, pp. 179-186.
22. Brouri A., Kadi L., Slassi S. Frequency identification of Hammerstein-Wiener systems with backlash input nonlinearity. *Inte.Jour. of Control, Automation and Systems*, vol.1, Issue 5, 2017, pp. 2222–2232.
23. Schoukens M., Tiels K. Identification of block-oriented nonlinear systems starting from linear approximations: A survey, *Automatica*, vol. 85, 2017, pp. 272-292.
24. Giordano G. and Sjöberg J. Maximum Likelihood identification of Wiener-Hammerstein system with process noise. *IFAC-PapersOnLine*, vol. 51, issue 15, 2018, pp. 401-406.
25. Shanshiashvili B., Shanshiashvili N. Parametric identification of nonlinear continuous dynamic systems. *LEPL Archil.Eliashvili Institute of control systems. Proceedings. Tbilisi, № 13, 2009, pp. 46-52.*
26. Shanshiashvili B., Rigishvili T. Parameter Identification of Block-Oriented Nonlinear Systems in the Frequency Domain. *ScienceDirect. IFAC PapersOnLine Volume 53, Issue 2, 2020, pp. 10695–10700.*

---

## ბლოკჩეინ ტექნოლოგიისა და 5G -IoT მოწყობილობების ინტეგრაცია

ქეთევან მძელური<sup>1</sup>

mdzeluri.ketevan@gtu.ge

### რეზიუმე

ციფრულ სამყაროში „ჭკვიანი საგნების“ ინტერნეტი (IoT) სწრაფად ვითარდება და მოწყობილობების უმეტესობა დაკავშირებულია ინტერნეტ ტექნოლოგიით. იგი საგრძნობლად ცვლის მსხვილი ინდუსტრიებისა თუ მცირე კომპანიების მუშაობის ხარისხს მოწყობილობების დაკავშირებითა და ახალი ბიზნეს მოდელების შექმნითაც კი.

სტატიაში ყურადღება გამახვილებულია IoT-ისა და blockchain-ის ინტეგრაციაზე, გაანალიზებულია და აღწერილია ამ ინტეგრაციის მნიშვნელობა, შესაძლო განვითარების პერსპექტივა. ნაჩვენებია, რომ ეს ინტეგრაცია ხსნის კარს ახალი შესაძლებლობებისთვის, რომლებიც არსებითად ამცირებს არაეფექტურობას, აძლიერებს უსაფრთხოებას და აუმჯობესებს გამჭვირვალობას ყველა ჩართული მხარისთვის, უზრუნველყოფს უსაფრთხო მანქანა-მანქანა ტრანზაქციებს. ამ ტექნოლოგიების დაწყვილება საშუალებას აძლევს ფიზიკურ აქტივს თვალყური ადევნოს მთელ პროცესს და უზრუნველყოს მისი უსაფრთხოება.

ნაშრომში წარმოდგენილია IoT-ისა და blockchain-ის ინტეგრაციის როგორც არსებული მიღწევები, ასევე გამოწვევებისა და სამომავლო გეგმებისა და პოტენციური განვითარების კვლევების ანალიზი. განხილულია ამ კვლევის სფეროს განსხვავებული პერსპექტივები, რომლებიც არ შემოიფარგლება მხოლოდ ტექნიკური დომენით. ასევე ჩამოთვლილია და აღწერილია არაერთი გამოწვევა და არსებული კვლევების ხარვეზები ამ სფეროში, მომავალი სავარაუდო კვლევები და საკითხის მომავლის პოტენციური გადაწყვეტილებები.

საკვანძო სიტყვები: ბლოკჩეინი, IoT, უსაფრთხოება, თავსებადობა.

### შესავალი

თანამედროვე პირობებში „ჭკვიანი საგნების“ ინტერნეტი (IoT) არის ერთ-ერთი განვითარებადი ტენდენცია, რომელმაც შესაძლოა მოახდინოს ტრადიციული ინდუსტრიების რევიზია ან თვითონ გარდაიქმნას ინდუსტრიად. ინტერნეტთან დაკავშირებული და სენსორებით აღჭურვილი ეს მოწყობილობები აძლიერებს განვითარებადი მონაცემთა ბაზაზე დაფუძნებული ეკონომიკის დიდ ნაწილს და წარმოადგენს ხიდს ფიზიკურ და ციფრულ სამყაროს შორის და ის ფაქტიურად შლის განსხვავებას ამ ორ სამყაროს შორის. ეს ყველაფერი კი შესაძლებელია მხოლოდ სენსორებით ჩართული ტექნოლოგიებით. მასშტაბურობა, თავსებადობა, უსაფრთხოება და კონფიდენციალურობა და სანდოობა არის ის მნიშვნელოვანი გამოწვევები, რაც IoT-ს უკავშირდება.

ბლოკჩეინის დეცენტრალიზებული, ავტონომიური და სანდოობის მომცველი თვისებები მას შესაფერისს ხდის იქნეს გამოყენებული რამდენიმე სხვადასხვა კუთხით, მაგალითად როგორცაა "ჭკვიანი სახლი", "ჭკვიანი ინდუსტრიები", "ჭკვიანი ქალაქი", ასევე "ჭკვიანი ენერჯის სისტემა" და ძალიან ბევრი სხვა. მაგალითად, ბლოკჩეინს შეუძლია შეინარჩუნოს ჭკვიანი მოწყობილობების უცვლელი ისტორია. უფრო მეტიც, მას შეუძლია ხელი შეუწყოს და გაააქტიუროს ინტელექტუალური მოწყობილობების ავტონომიური ფუნქციონირების შესაძლებლობა, რაც მოხსნის ცენტრალიზებული ადმინისტრირების ან გარკვეულ ადამიანთა ჯგუფის მიერ კონტროლის არსებობის აუცილებლობას ჭკვიანი კონტრაქტების გამოყენებით.

---

<sup>1</sup> სტუდენტის ინფორმაცია და მართვის სისტემების ფაკულტეტის დოქტორანტი

გარდა ამისა, ბლოკჩეინს ასევე შეუძლია შექმნას სმარტ მოწყობილობებს შორის საურთიერთო და საკომუნიკაციო უსაფრთხო გზა, რისი მეშვეობითაც მოწყობილობები მარტივად და მშვიდად გაცვლიან ერთმანეთში შეტყობინებებს. აქედან გამომდინარე, ამ ნაშრომის მიზანია ეს არის - იმის გარკვევა, თუ როგორ შეუძლია ბლოკჩეინს დააკმაყოფილოს ჭკვიანი საგნების ინტერნეტის (IoT) უსაფრთხოებისა და კონფიდენციალურობის მოთხოვნები ან ზოგადად, როგორ შეუძლია ბლოკჩეინს იყოს ინტეგრირებული IoT-თან. [1]

ფართომასშტაბიანი ჭკვიანი საგნების ინტერნეტისთვის ძალიან მნიშვნელოვანია სისტემის მასშტაბურობის გარანტირება. რამდენიმე ჯაჭვიან ბლოკჩეინზე დაფუძნებული IIoT სისტემა უზრუნველყოფს უსაფრთხო აუთენტიფიკაციას, ჭკვიან კონტრაქტებსა და ტრანზაქციებს ჯაჭვით ჩაშენებულ თითოეულ ინდუსტრიულ ჭკვიანი საგნების ინტერნეტის IIoT პლატფორმაში. [2]

ბლოკჩეინის ტექნოლოგია წარმოადგენს IoT-ის იდეალურ პარტნიორს, რადგან ის უზრუნველყოფს ინფორმაციის მართვის პროცესს და მომხმარებლის მხრიდან ქრება ყველანაირი დაუცველობა და დაუცველობის შეგრძნება, რადგან ინფორმაცია არავითარ შემთხვევაში არ გაჟონავს არც გამცემის და არც მიმღების მხრიდან. ეს არის იდეალური მდგომარეობა IoT-ის დანერგვაში, რადგან გადაჭრის თითოეულ იმ პრობლემას, რაც კი აქამდე გამოჩენილა [1].

#### ძირითადი ნაწილი

ზოგადად, ბლოკჩეინის კვანძები შეიძლება დაიყოს როგორც სრული კვანძი (FN) და მსუბუქი კვანძი (LN):

- სრული კვანძი (Full node), მას შეუძლია ყველა ბლოკის ჩამოტვირთვა და შემოწმება. სრულ კვანძს ასევე შეუძლია იმოქმედოს როგორც მაინინგ კვანძმა და შექმნას ბლოკები ბლოკჩეინისთვის.

- მსუბუქი კვანძი (Lightweight node), შეზღუდული რესურსების გამო, მას მონაცემთა მხოლოდ ნაწილის გადამუშავება და შენახვა შეუძლია ბლოკჩეინში. IIoT-ში, ჭკვიანი მოწყობილობები (სენსორები) შესაძლოა იყოს მსუბუქი კვანძი (LN) და შესაძლებლობა მოგვეცეს შევქმნათ ახალი ტრანზაქცია, რომელიც გავრცელდება კვანძებს შორის და საბოლოოდ მიემატება ბლოკს ბლოკჩეინში.

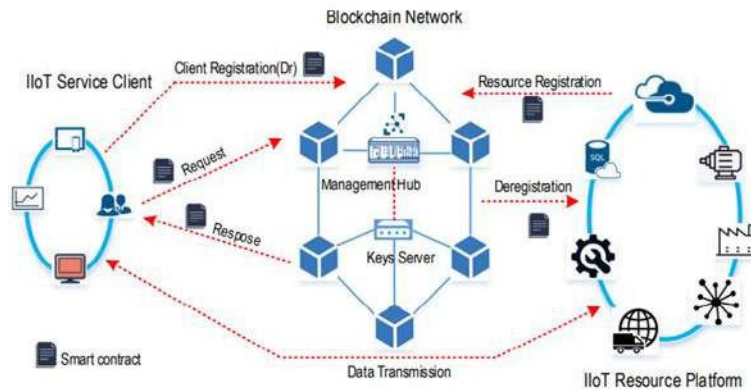
ბლოკჩეინს შეუძლია ჭკვიანი საგნების ინტერნეტის IIoT სისტემების არასანდო მოწყობილობებთან დაკავშირება განაწილებული და შემოწმებადი გზით.

ნახაზი 1 გვიჩვენებს ბლოკჩეინ ინტეგრირებული IIoT არქიტექტურის სისტემის ნიმუშს, რომელიც შეიცავს შემდეგ ექვს ძირითად კომპონენტს:

1. IIoT რესურსების ქსელები, მათ შორის რესურსები, რომლებიც IIoT-მა შეიძლება უზრუნველყოს;
2. ბლოკჩეინის ქსელი, რომელიც იწერს სისტემის ყველანაირ ინფორმაციას დეცენტრალიზებულ კერძო ქსელში.
3. მენეჯმენტის ჰაბი, რომელიც ძირითადად ფოკუსირებულია მართვაზე და მთელი სისტემის შენარჩუნებაზე.
4. საკვანძო სერვერები, რომლებიც აგენერირებენ საჭირო კრიპტოგრაფიულ გასაღებებს კვანძების აუთენტიფიკაციისა და მონაცემთა დაშიფვრისთვის.
5. კლიენტები, როგორც მომხმარებლები, რომლებიც ითხოვენ წვდომას IIoT რესურსებზე.
6. ჭკვიანი კონტრაქტი, რომელიც უზრუნველყოფს სისტემის ინტერფეისებს IIoT-ისა და blockchain-ის კომპონენტებს შორის.

ჭკვიანი საგნების ინტერნეტის IIoT სისტემა ძირითადად შეიცავს ორივე მსუბუქ კვანძს (LN) (ანუ ჭკვიანი სენსორები, RFID წამკითხველები, ჭკვიანი მრიცხველი და ა.შ.) და ძლიერ სრულ კვანძებს FN (როგორცაა სამრეწველო კომპიუტერი, მონაცემები ანალიზის სერვერი, ზღვრული გამოთვლითი სერვერები და ა.შ.).

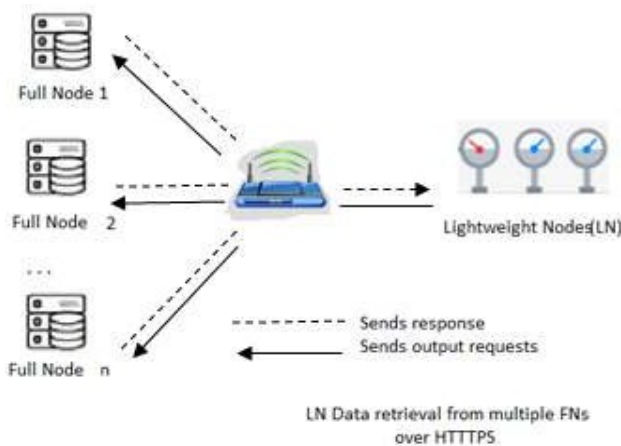




ნახ. 1 ბლოკჩეინ ინტეგრირებული IIoT არქიტექტურა

კლიენტები და რესურსები იდენტიფიცირებული იქნება მათი საჯარო გასაღებით და კლიენტ x-ის მიერ მოთხოვნილ რესურსებზე წვდომა შესაძლოა მიეცეს ბლოკჩეინის პასუხის მიხედვით.

ჭკვიანი საგნების ინტერნეტში IoT, მსუბუქ კვანძს (LN) შეუძლია დააკავშიროს FN მომუშავე კვანძები, რათა გააგზავნონ და მიიღონ ტრანზაქციები, მსუბუქ კვანძს LN-ს ბლოკჩეინის შესახებ მხოლოდ მინიმალური მონაცემების შენახვა შეუძლია, თუმცა შეუძლია შეზღუდული აპის (API) პროტოკოლში CoAP-ში (Constrained Application Protocol) კოდირებული გამომავალი მონაცემის მოთხოვნების გაგზავნა ერთ ან მეტ სრულ კვანძზე, რაც ხდება (FN) JSON-RPC-ის და http-ის გამოყენებით - ბლოკჩეინის ქსელისთვის გასაგებ ენაზე. შემდეგ სრული კვანძი FN აგზავნის პასუხს, რომლის შემოწმებაც LN-ს შეუძლია მხოლოდ საკუთარი ტოკენის (მონაცემის, მდგომარეობის და ა.შ.) შემოწმებით, და თუ დადასტურდა, LN აგრძელებს ტრანზაქციების აგებას. თუ ვერ დადასტურდა LN დააბრუნებს პასუხს შეცვლილი გამომავალი მონაცემის არსებობის შესახებ, როგორც ვხედავთ ნახაზზე 2.



ნახ. 2 მონაცემების გაცვლა მსუბუქ კვანძსა (LN) და რამდენიმე სრულ კვანძს (FN) შორის

უნდა აღინიშნოს, რომ პროტოკოლებს შორის უსაფრთხოების გასაუმჯობესებლად უფრო დახვეწილი და განვითარებული მექანიზმის შემუშავებაა საჭირო.

უფრო რთული IoT სისტემისთვის, განაწილებული ლეჯერის ტექნოლოგია ბლოკჩეინი ციფრული ინფორმაციის გავრცელებასა და უცვლელობას ხელს უწყობს, შესაბამისად, ბლოკჩეინს აქვს პოტენციალი იყოს გამოსადეგი ანტიკორუფციული და თაღლითობის

საწინააღმდეგო ინსტრუმენტი. კონფიდენციალურობის შესანარჩუნებლად, ბევრი IIoT სისტემა მოითხოვს:

- შეინარჩუნოს გამგზავნი და მიმღები კვანძების ვინაობა კონფიდენციალურად.
- განახორციელოს ტრანზაქციები ორ მონაწილეს შორის ისე, რომ რეალური დახარჯული ფული „შენიღბოს“
- დამალოს ტრანზაქციების დასახელება და მნიშვნელობა.

არსებობს რამდენიმე ბლოკჩეინზე დაფუძნებული სისტემა, რომლებიც მუშაობს მონაცემების კონფიდენციალურობის რისკების აღმოსაფხვრელად სხვადასხვა თვალსაზრისით. პირველი ეფუძნება „ფსევდონიმიზაციის“ კონცეფციას. ამ სისტემის იდეა მდგომარეობს მონაცემების რამდენიმე ნაწილად დაყოფაში და მათ განაწილებაში რიგ ჰქვიან მოწყობილობას შორის IoT გარემოში (მაგალითად „ჰქვიანი სახლი“). ამ შემთხვევაში კი მხოლოდ მფლობელს აქვს საშუალება აღადგინოს მონაცემები პირვანდელი სახით. უფრო მეტიც, ბლოკჩეინის ტექნოლოგიის გამოყენება უზრუნველყოფს მონაცემების სერტიფიცირებას. ბლოკჩეინი შეიცავს იმ მონაცემების ჰეშს, რომლებსაც წარმოქმნის ჰქვიანი საგნის ინტერნეტის IoT მოწყობილობები. ამ ჰქვიანი მოწყობილობების მფლობელს შეუძლია მიუთითოს და თვითონ განკარგოს მონაცემებზე წვდომის წესები და უფლებები.

ამრიგად, თუ რომელიმე გარე სუბიექტს (სერვისის პროვაიდერს) სურს მონაცემების მიღება, უნდა მოხდეს მისი აუთენტიფიკაცია. მონაცემთა მფლობელი კონკრეტული წვდომის სიის გამოყენებით გადაწყვეტს ვის საჯარო გასაღებს აქვს უფლება წარმოებულ მონაცემებთან წვდომა ჰქონდეს, ნაცვლად ამისა, გვთავაზობს ბლოკჩეინის ინტეგრირებას „ჰქვიანი ქალაქის“ სისტემის სხვადასხვა ფენებში, კერძოდ, იქნება ეს ფიზიკური, მონაცემთა ბაზის, საკომუნიკაციო თუ აპლიკაციის ფენები. შემოთავაზებული სისტემა გადალახავს თითოეულ ფენაში არსებულ შეზღუდვას ბლოკჩეინ ტექნოლოგიის საშუალებით.

დასკვნა

მიუხედავად იმისა, რომ ბოლო დეკადაში და ბოლო წლებში სულ უფრო მეტი კვლევა ტარდება, ისევე როგორც ბლოკჩეინში, ასევე IIoT-ში, ჯერ კიდევ ბევრი გამოწვევებია გადასალახი.

➤ უსაფრთხოება და კონფიდენციალურობა დეცენტრალიზებულ ინდუსტრიულ ჰქვიანი საგნების ინტერნეტ IIoT სისტემებში, დაცულობა და კონფიდენციალურობა, სუბიექტის იდენტურობის ჩათვლით, კონფიდენციალური და ნულოვანი ცოდნის ტრანზაქციები, კრიპტო დაბრმავება და მსგავსი საკითხები ჯერ კიდევ ძალიან ბევრ გამოწვევას შეიცავს.

➤ ზღვრების არა სიზუსტე და თვითნებური უნებური ცვლილებები, სწრაფად და მუდმივად ცვლადი მოთხოვნები ბიზნეს პროცესებისგან მოითხოვს IIoT სისტემის ასევე ძალიან სწრაფ რეაგირებას ამ მზარდ სიხშირეზე. შემდგომი ეფექტურობის გასაუმჯობესებლად, რისკების მართვის შესამცირებლად და მონაწილეებს შორის ნდობის უზრუნველსაყოფად ჯერ კიდევ ბევრი მუშაობაა საჭირო და ჩამოთვლილი საკითხები ჯერ კიდევ ძალიან გამოწვევებია.

➤ ბლოკჩეინ ჩართული ჰქვიანი საგნების ინტერნეტის ინფრასტრუქტურის მხარდაჭერა. ბლოკჩეინის IIoT-ში ინტეგრირება ასევე მოიცავს ბლოკჩეინის შესაძლებლობების ჩაშენებას IIoT-ის დამხმარე ინფრასტრუქტურებში და მათ ადაპტირებას.

➤ IIoT ეკოსისტემაში საერთო შეთანხმება მოითხოვს თითოეული დაინტერესებული მხარეების ჩართულობას და მათ მიერ ინვესტიციების ჩადებას და შემდეგ ამ ახალი ფუნქციების გამოყენებას. თითოეული ნაწილის მდგრადობა და მიკვლევადობა, ტრანზაქციის მოვლენები უნდა მიემართებოდეს ბლოკჩეინზე ჩართულ IIoT სისტემისკენ.

ინფორმაციის მოდელირება კი მთავარი გამოწვევაა. IIoT ეკოსისტემა შედგება დიდი რაოდენობით ერთეულებისგან, შესაბამისად ბლოკჩეინში თითოეული სუბიექტის, როგორც ტოკენის წარმოსაჩენად, საჭიროა მიკვლევადი და გამჭვირვალე გზა.

## **Integration of blockchain technology and 5G-IoT devices**

*Ketevan Mdzeluri*

### **Summary**

In the digital world, the Internet of Smart Things (IoT) is developing rapidly and most devices are connected through Internet technology. It significantly changes the way large industries or small companies work by connecting devices and even creating new business models.

The article focuses on the integration of IoT and blockchain, analyzes and describes the importance of this integration, the perspective of possible development. This integration has been shown to open the door to new capabilities that substantially reduce inefficiencies, enhance security and improve transparency for all parties involved, ensuring secure machine-to-machine transactions. The combination of these technologies allows the physical asset to be tracked throughout the process and ensure its security.

The paper presents an analysis of both the current achievements of IoT and blockchain integration, as well as challenges and future plans and potential development studies. Different perspectives of this research area, which are not limited to the technical domain, are discussed. Also are listed and described a number of challenges and gaps in current research in this area, prospective future research, and potential solutions for the future of the issue.

## **Интеграция технологии блокчейн и устройств 5G-IoT**

*Кетеван Мдзелури*

### **Резюме**

В цифровом мире Интернет умных вещей (IoT) быстро развивается, и большинство устройств подключаются через интернет-технологии. Это существенно меняет способ работы крупных отраслей или небольших компаний, подключая устройства и даже создавая новые бизнес-модели.

В статье делается акцент на интеграции IoT и блокчейна, анализируется и описывается важность этой интеграции, перспективы возможного развития. Было показано, что эта интеграция открывает двери для новых возможностей, которые существенно снижают неэффективность, повышают безопасность и повышают прозрачность для всех вовлеченных сторон, обеспечивая безопасные межмашинные транзакции. Сочетание этих технологий позволяет отслеживать физический актив на протяжении всего процесса и обеспечивать его безопасность.

В документе представлен анализ как текущих достижений интеграции IoT и блокчейна, так и проблем, планов на будущее и исследований потенциальных разработок. Обсуждаются различные точки зрения на эту область исследований, не ограничивающиеся технической областью. Также перечислены и описаны ряд проблем и пробелов в текущих исследованиях в этой области, предполагаемые будущие исследования и потенциальные решения для будущего вопроса.

### **ლიტერატურა – References – Литература**

1. Panarello, A., Tapas, N., Merlino, G., Longo, F., & Puliafito, A. Blockchain and iot integration: A systematic survey. *Sensors*, 18(8), 2018.
2. Zhao, S., Li, S., & Yao, Y. Blockchain enabled industrial Internet of Things technology. *IEEE Transactions on Computational Social Systems*, 6(6), 2019

---

## ყნოსვის გამომხატველ ლექსემათა სემანტიკური ველის დახასიათება

მაგდა გორგილაძე<sup>1</sup>

gorgiladzemagda56@gmail.com

### რეზიუმე

ლექსემათა გაერთიანება გვაძლევს ლექსიკონს, სადაც ლექსემები გარკვეული წესით განლაგდებიან. ისინი პარადიგმატიკულ და სინტაგმატიკურ მიმართებებს ქმნიან. ლექსემათა რაოდენობრივი განსაზღვრება ენაში წარმოუდგენელია. არსებობს ისეთი ლექსემები, რომლებიც თავიანთ ფუნქციურ დატვირთვას კარგავენ, ასევე არსებობენ ისეთებიც რომლებიც იძენენ ასეთ დატვირთვას. ენა მუდმივად ვითარდება, მას ემატება სხვადასხვა ლექსემები და აკლდება კიდევ (გამოყენების თვალსაზრისით). ლექსიკონში გაერთიანებული ლექსემები ცალკე მიკროსისტემებს ქმნიან, რომლებიც ფუნქციური, საგნობრივი თუ ცნებითი მახასიათებლებით ერთიანობას გვაძლევენ. ასეთ გაერთიანებებს სემანტიკურ ველებს (ჯგუფებს) უწოდებენ. შესაძლოა გამოიყოს დროის, სივრცის, ტემპერატურის, რაოდენობის, გრძნობათა და ა.შ. სემანტიკური ველები.

სტატიის მიზანია ყნოსვის გამომხატველ ლექსემათა სემანტიკური ველის დახასიათება, მისთვის დამახასიათებელი განსაკუთრებულობისა და თავისთავადობის წარმოდგენით.

### საკვანძო სიტყვები

ყნოსვის გამომხატველი ლექსემები, სემანტიკური ველი, ბაზისური და არაბაზისური ლექსემები

### ფსიქოლოგიური ნარატივი

ის სუნი, რომელსაც აღვიქვამთ გარემოდან, გადმოსაცემად რთულია და ლექსიკური ერთეულებიც, რომლებიც შესაძლოა მოიპოვებოდეს სუნის დასახასიათებლად ენაში თითქმის არ არსებობს. სუნის ინდივიდუალობა და თავისთავადობა განსამარტავად სხვადასხვა საშუალებებს მოითხოვს. ჰენინგის სქემაში მოცემული ექვსი ძირითადი სუნი გამოიყო. ისინი დასახელებისთვის იყენებს გარკვეულ სახელწოდებებს (კუპრის სუნი, ვარდის სუნი, საკმაზის სუნი..), რათა სუნის დახასიათება შესაძლო გახდეს (ჰენინგის სქემა დასრულებულად არ შეიძლება ჩაითვალოს, თუმცა შესაძლებელია საკვლევი თემის ამ კუთხითაც გაგრძელება). ასევე შესაძლოა ვიმსჯელოთ ინტერმოდალურ ერთიანობასა და სინესთეზიის საკითხზე, რომლის საშუალებითაც გახდა შესაძლებელი სხვადასხვა ხასიათის სუნის გადმოცემა ენაში. [5]

აღქმა შესაძლოა სრულდებოდეს ორგვარად, როცა სუბიექტი ზემოქმედებს ობიექტურ სინამდვილეზე ("აქცია") და როცა ობიექტური სინამდვილე ზემოქმედებს სუბიექტზე ("რეაქცია"). ორივე შემთხვევაში ობიექტური სინამდვილე და სუბიექტი არის მთავარი წამმართველი. სუბიექტი ვარ მე, ხოლო ობიექტი გარე სამყარო, რომელიც ჩემში იწვევს სხვადასხვა გაღიზიანებას. გაღიზიანებისთვის საჭიროა როგორც "გამღიზიანებელი", ამავდროულად გრძნობის ორგანო, რომელიც აღიქვამს სხვადასხვა გაღიზიანებას. გამღიზიანებელი შესაძლოა იყოს ყველაფერი, რასაც აღვიქვამთ გარე სამყაროდან (ტონი, ფერი, გემო, სუნი..). გრძნობის ორგანო სამ ნაწილად შესაძლოა დავყოთ, ესენია: რეცეპტორი, გამტარებელი ნერვი და თავის ტვინი. [5]

---

<sup>1</sup> თსუ, ზოგადი და გამოყენებითი ენათმეცნიერების პროგრამა, მაგისტრატურის მეორე კურსის სტუდენტი

გალიზიანების შემდეგ ორგანიზმში გარკვეული ფიზიოლოგიური პროცესი აგზნება წარმოიქმნება, რომელიც თავის ტვინში ფსიქიკურ პროცესად შეგრძნებად გარდაიქმნება. არისტოტელი გამოყოფდა "საერთო შეგრძნებას", რომელიც ერთია და სხვადასხვა გრძნობის ორგანოს საშუალებით აღიქმება განსხვავებულად. ასეთ განსხვავებულ აღქმას კი ჰელმპოლცმა მოდალობა უწოდა. კიდევ ერთ მახასიათებლად რაც გამოეყოფა შეგრძნებას წარმოადგენს "რომელობითობა", ესაა გასხვავებული შეგრძნებები, რომლებიც არ შეიძლება იყოს ერთნაირი, მაგალითად შავი ფერის აღქმა განსხვავებული იქნება წითელი ფერის აღქმისგან, ასევე მწარის აღქმა არ არის იგივენაირი მჟავე გემოს აღქმისგან. გარდა მოდალობისა და რომელობითობისა, კიდევ გამოყოფენ შეგრძნების სიძლიერესა და ინტენსიობას. [5]

შეგრძნებათა ფსიქოლოგიაში აღიარებენ ინტერმოდალურ შეგრძნებებსაც, რომლებიც მეტყველებაში არსებობს როგორც "ტკბილი სუნის", "ცივი ფერის", მაგალითებად. მათი არსებობა გამოწვეულია იმ ფაქტით, რომ სუბიექტი ამა თუ იმ სუნს შესაძლოა განცდის თვალსაზრისით ტკბილ გემოს უკავშირებდეს და ასევე შესაძლოა ტკბილ გემოს აღძრავდეს კიდევ. ასეთ შემთხვევას სინესთეზიას უწოდებენ. უფრო ხშირად ვხვდებით სმენისა და ფერის სინესთეზიის მაგალითებს, რომლებსაც ფოტიზმებს უწოდებენ. ამგვარი მსჯელობისთვის მეცნიერები ატარებენ სხვადასხვა კვლევებს. ჰორნბოსტელის გამოკვლევის შედეგები ამტკიცებენ, რომ გრძნობათა ორგანოები ფუნქციონალურად ზემოქმედებენ ერთმანეთზე. მაგალითად ურბანჩიჩის შენიშვნით, მისი პაციენტები შორეულ ბგერებს სხვადასხვა ფერების მიწოდებით უკეთ აღიქვამდნენ, ასევე ექსპერიმენტული გამოკვლევით საუბარია იმაზეც, რომ ნათელ ოთახში ბგერა უფრო მაღალი ჩანს ვიდრე ბნელში. შილერის კვლევით, როცა ცდისპირს წყლის ერთი ჭურჭლიდან მეორეში გადასხმა დაავალეს, მაღალი ნოტების მოსმენისას 16 % ნაკლები შეცდომა დაუშვა. [5]

ჰორნბოსტელის მოსაზრებით ასეთი მაგალითები გამოწვეული უნდა იყოს ინტერმოდალურ ნათესაობაზე, რომელიც სენსორულ შინაარსს ეყრდნობა და ყველა სხვა მოდალების შეგრძნების შემთხვევაშია წარმოდგენილი. დიმიტრი უზნაძის მოსაზრებით, კი უკეთესი იქნება თუ ვიფიქრებდით, რომ სუბიექტის ამგვარი მაგალითები აღქმის პიროვნულ ეფექტს წარმოადგენს (რომელიც სხვადასხვა პიროვნებაში განსხვავებული შეიძლება იყოს, მაგალითად ყავის სუნის შეგრძნება ვიღაცისთვის მძაფრია, ვიღაცისთვის კი მსუბუქი). ამიტომ მას "განწყობის არე" შემოაქვს აღმნიშვნელად. მისი მოსაზრებით ის არა მხოლოდ სენსორულ არამედ მოტორულ მხარესაც წარმოადგენს. ამიტომ ინტერმოდალურ ნათესაობას განწყობის ერთიანობა უდევს საფუძვლად. ამგვარად სინესთეზიაც სწორედ ასე აიხსნება. [5]

როცა სუბიექტს ესა თუ ის სუნი მსუბუქსა თუ მძიმე შეგრძნებას გაუღვიძებს ის ამით საკუთარი განწყობის გადმომცემი ხდება. ამიტომაც, განსხვავებულ საგნებს შეუძლიათ აღძრან განსხვავებული შეგრძნებები ჩვენს ორგანიზმში, სწორედ ინტერმოდალურ შეგრძნებებითა და სინესთეზიის მეშვეობით ახერხებს ყნოსვის მოდალობის აღქმის გამოხატვას ენა. მეტყველებაში ძირითადად სწორედ ასეთ მაგალითებს მიმართავს სუბიექტი, როცა სურს მისთვის თუნდაც ყველაზე სასიამოვნო სურნელი გადმოსცეს. [5]

"გოგონას ოფლი ზღვის ქარივით ნორჩი ჰქონდა, თმის ცხიმი - ნიგვზის ზეთივით ტკბილი, მისი საშო წყლის შროშანების თაიგულივით იყო, კანი - გარგარის ყვავილივით.. და ყველა ეს კომპონენტი ისეთ მდიდარ, გაწონასწორებულ და არაჩვეულებრივ ნელსურნელებას ქმნიდა რომ მანადე შესუნთქული ყველა არომატი, ყველაფერი, რაც კი მხსიერებაში სუნებისგან აწყობილ ნაგებობებად ჰქონდა შენახული, უცებ სრულ უზრობად ექცა." ზიუსკინდი [2]

#### ჩატარებული კვლევის შედეგები

ყნოსვის გამომხატველ ლექსემათა სემანტიკური ველის დახასიათებისთვის ჩავატარე პატარ კვლევა. კვლევაში წარმოდგენილია ყნოსვის გამომხატველი ბაზისური და არაბაზისური ლექსემები. კვლევისათვის გამოვიკითხე რამდენიმე ცდისპირი. მათ მოცემული ჰქონდათ ცხრა ობიექტი და უნდა დაეხასიათებინათ მათი სუნი. მათ შეეძლოთ ყველაფერი დაეხასიათებინათ, რაც კი გაახსენდებოდათ ამა თუ იმ ყვავილის, ხილისა და

სასმელის სუნზე. ამიტომაც კვლევის ბოლოს წარმოდგენილი მახასიათებლები, სრულ სიჭრელეს გვადლევს.

კვლევის შედეგად გამოიყო რამდენიმე ბაზისური ლექსემა, რომლებიც სხვადასხვა შეგრძნების ორგანოს გამომხატველ ლექსემებსა და საკუთრივ ყნოსვის გამომხატველ ლექსემას აერთიანებს. მყარალი - ის ერთადერთი ლექსემაა, რომელიც გამოხატავს ყნოსვის შეგრძნებას. მწარეს, მჟავესა და ტკბილს გემოს რეცეპტორები აღიქვამენ. ასევე შესაძლოა ინტენსიობის კუთხით, მათ დაემატოს მძაფრი და მძალე, რომლებიც ასევე ძირითადად გემოს სემანტიკას უკავშირდება. ნაზს, მძიმესა და მსუბუქს - უპირველესად შეხებით აღვიქვამთ. წონით განსხვავდება მძიმე და მსუბუქი ერთეულები და სხეულის სირბილის გამომხატველი შესაძლოა იყოს ნაზი. თბილი, ცივი და გრილი - სუნები შესაძლოა ხშირად გამოიყენებოდეს მეტყველებაში, მაგრამ მათი მთავარი მახასიათებელი ტემპერატურა, კი შორს დგას ყნოსვის შეგრძნებასთან. ტემპერატურული მოდალობაც შეხების გამომხატველ ლექსიკურ სემანტიკას წარმოადგენს. გარდა შეხებისა და გემოს გამომხატველი ერთეულებისა გამოიყო ფერთა შეგრძნებაც - მკვეთრის, მკრთალისა და სპეტაკის სახით. აქ მკვეთრი და მკრთალი შესაძლოა არაზუსტ ანტონიმებად ჩავთვალოთ, ხოლო სპეტაკი თავისი პირვანდელი მნიშვნელობით ძალიან თეთრს აღნიშნავს.

ბაზისურ ლექსემებში გამოვყავი ისეთი სიტყვები, რომლებიც ინტერმოდალური გზით დაუკავშირდა ყნოსვის გამოხატვას. როგორც ზემოთ ითქვა ყნოსვის გამოხატვისთვის შესაძლებელია გამოიყოს ისეთი სიტყვები, რომლებიც სხვადასხვა გრძნობის ორგანოს მიერ შეიგრძნობა. მაგალითად, ტკბილი შესაძლოა იყოს მხოლოდ გემო, ასევე ცივი – ტემპერატურა, რომელსაც ვგრძნობთ შეხების ორგანოს მეშვეობით, ასევე მკრთალი შესაძლებელია იყოს მხოლოდ ფერის გამომხატველი. ისინი სუნს უკავშირდებიან მხოლოდ განწყობით, შედარებითი წარმოსახვით. ამიტომ აქ წარმოდგენილი ერთეულებიდან მხოლოდ მყარალი შესაძლოა გამოიყოს საკუთრივ ყნოსვის გამომხატველად სხვა დანარჩენი კი სხვა ლექსიკურ-სემანტიკური ველისთვის დამახასიათებელი ბაზისური ერთეულებია.

ბაზისური ერთეულები:

მყარალი

განმარტებით ლექსიკონში შევხვდებით, როგორც - „ცუდი, აუტანელი სუნის მქონე, გადატანითი მნიშვნელობით შეიძლება ეწოდოს საძაგელი, საზიზღარი“. ეს ლექსემა ერთადერთი მახასიათებელია ყნოსვის სემანტიკური ველის ბაზისში. ნეიმანის ლექსიკონში მის სინონიმურ წყვილებს წარმოადგენს - ცუდი სუნი, ზინზლი, ზინზლის სუნი, ფსუტი, ფსუტის სუნი (ფსუტის სუნი ასდის), სიმყაყე, ამბარი, ამბრი.

გემოს გამომხატველი ლექსემები:

ტკბილი - განმარტებით ლექსიკონში მისი მნიშვნელობაა - „სასიამოვნოდ შესაგრძნობი, შაქრის, თაფლის გემოს მქონე. გადატანითი მნიშვნელობით შეიძლება გამოიყოს"ტკბილი ლუკმა", იგივეა რაც დაუყვედრებელი, დაუმაღლებელი, ასევე "ტკბილი ხმა", რაც ნიშნავს სასიამოვნო მოსასმენს, სმენის დამატკბობელ ხმას, "ტკბილი ძილი", გამოხატავს მშვიდ, სასიამოვნო ძილს“. ნეიმანის სინონიმთა ლექსიკონში მის სინონიმურ წყვილებს წარმოადგენს - საამო, ამო, საამური, მტკბარი, ნეტარი, დამატკბობელი, (ძილი) ნეტარი, გულის ძილი. ქართული ენის ანტონიმთა ლექსიკონში გვხვდება მისი ანტონიმი მწარე.

მწარე - განმარტებით ლექსიკონში მისი მნიშვნელობაა - სპეციფიკური არასასიამოვნო პირის დამწველი გემო, გადატანითი მნიშვნელობით გამოხატავს მეტისმეტად შემაწუხებელს. ნეიმანის სინონიმთა ლექსიკონში მის სინონიმურ ერთეულს წარმოადგენს ცხარე და მწვავე. მისი ანტონიმურია წყვილია ტკბილი.

მჟავე - განმარტებით ლექსიკონში მის მნიშვნელობას ვხვდებით, როგორც - სპეციფიკური მწვავე გემო, ჭმახი (როგორც აქვს მაგალითად ტყემალს, ძმარს, ლინომს), იგივეა რაც მწნილი. გადატანითი მნიშვნელობით ის უსიამოვნოს გამომწვევს, უხამსსა და უშვერს აღნიშნავს. ნეიმანის სინონიმთა ლექსიკონში მისი სინონიმური წყვილებია - მჭახე, ჭმახი, წმახი, კაწახი, მარახოში, კაწამახი (ეს ღვინო კი არა, რაღაც კაწამახია), მწკლარტე, ჭანკი, (მჟავე ვაშლი) მაჟალო, (მჟავე ღვინო) ჭანკი, (მჟავე ყურძენი) ისრიმი.

მძაღ - განმარტებით ლექსიკონში მისი მნიშვნელობებია - წამხდარი, მომწკლარტო, მომწარო გემოსი (ნიგოზი, ერბო და მისთ.), იგივე მნიშვნელობებითაა გამოყოფილი ნეიმანის სინონიმთა ლექსიკონში, როგორც დამძაღბულის, მომწკლარტო, მომწარო, გემოსი. მას ანონიმური წყვილი არ მოეპოვება.

ცალკე უნდა გამოვყოთ ლექსემა მძაფრი და მკვეთრი:

მძაფრი - განმარტებით ლექსიკონში მისი მნიშვნელობებია - ძლიერი, სასტიკი, მწვავე, ის შესაძლოა გამოხატავდეს სუნსაც და გემოსაც. ნეიმანის ლექსიკონში მისი სინონიმური ცალგებია მკვიანა და სასტიკი.

მკვეთრი - განმარტებით ლექსიკონში გვხვდება როგორც - ძალიან მჭრელი, ბასრი, ძალიან მკაფიო, ადვილად შესამჩნევი. გადატანითი მნიშვნელობით შესაძლოა გამოხატავდეს უკმეხს, მკვახესა და სასტიკს. ნეიმანის ლექსიკონში გამოიყოფა სინონიმური წყვილები: ბასრი, მკვიანა, მძაფრი, მკვახე და მწვავე. მკვეთრი შესაძლოა იყოს როგორც გემო, ასევე ტონი და სუნი, მაგრამ მის პირველ მახასიათებლად გამოვყოფ ფერის სიმკვეთრეს, როგორც მთავარ მახასიათებელს.

შეხების გამომხატველი ლექსემები:

მსუბუქი - განმარტებით ლექსიკონში მისი მნიშვნელობა წარმოადგება როგორც - მჩატე, რასაც (ან ვისაც) მცირე წონა აქვს. გადატანითი მნიშვნელობით ზერელე, ქარაფშუტა, მსუბუქ აზროვნებას გამოხატავს. სინონიმთა ლექსიკონში ის გვხვდება როგორც ადვილი, მცირეწონიანი. ქართული ენის ანტონიმთა ლექსიკონში მის ანტონიმურ წყვილს წარმოადგენს მძიმე.

მძიმე - განმარტებით ლექსიკონში წარმოადგება, როგორც - რაც (ვინც) ბევრს იწონის, რის (ვის) აწევასაც დიდი ძალა სჭირდება. გადატანითი მნიშვნელობით შეიძლება გამოიყოს მძიმე ტვირთი, მძიმე უღელი, როგორც ძნელი საქმე, დიდად საზრუნავი და ფრიად საპასუხიმგებლო რამ. ნეიმანის სინონიმთა ლექსიკონში გამოიყოფა მისი სინონიმები, როგორც ამაღელვებელი და ძნელი. მის ანტონიმურ წყვილს წარმოადგენს მსუბუქი.

ნაზი - განმარტებით ლექსიკონში მის მნიშვნელობებს წარმოადგენს - სუსტი, ტურფა, აზიზი, სათუთი. მასში შესაძლოა ვიგულისხმოთ არამკვეთრი, თვალისთვის სასიამოვნო ღია ფერი, ასევე სუსტი და საამო ხმა. თუმცა მისი პირველადი მნიშვნელობა მაინც შეხებას უნდა დავეუკავშიროთ, როგორც გარეგნული ფორმის გამომხატველი. სინონიმთა ლექსიკონში მის სინონიმურ წყვილებს წარმოადგენს - თხელი (კანი), აზიზი, სუსტი, რბილი და სასიამოვნო.

ტემპერატურის გამომხატველი ლექსემები:

თბილი - განმარტებით ლექსიკონში ვხვდებით, როგორც - სითბოს მქონეს სიცივისა და ცხელის საშუალო. არსებობს გამოთქმები "თბილი ქვეყნები", რაშიც იგულისხმება სამხრეთის ქვეყნები (ზამთრობით თბილა), ასევე "თბილი წყლები", ბუნებრივად თბილი (სამკურნალო) წყლები, "თბილი ადგილი" ეწოდება ძველ ქართულად სახეირო, გამოსარჩენ ადგილს, სასახურს. ნეიმანის სინონიმთა ლექსიკონში ვხვდებით თბილ- თბილსა და ნელთბილ სინონიმურ წყვილებს.

ცივი - განმარტებით ლექსიკონში გვხვდება, როგორც დაბალი ტემპერატურის მქონე, სითბოს მოღებული. გადატანითი მნიშვნელობით შესაძლოა შეგვხვდეს როგორც არამგრძობიარე, უთანაგრძობო, გულგრილი და უგულოს მნიშვნელობით. ნეიმანის ლექსიკონში მის სინონიმურ ცალგებს წარმოადგენს: გამყინავი, მყინავი, ყინულოვანი, ყინულიანი, მსუსხავი, სუსხიანი, მშუშხავი და გრილი. ცივის ანტონიმია ცხელი (მაღალი ტემპერატურის მქონე).

გრილი - განმარტებით ლექსიკონში წარმოადგენია როგორც - ოდნავ ცივი (სიგრილე - გრილის მდგომარეობა, ოდნავ სიცივე). ნეიმანის ლექსიკონში გამოიყოფა მისი სინონიმები: ცივი და ჩრდილი.

ფერთა გამომხატველი ლექსემები:

მკრთალი - განმარტებით ლექსიკონში ის წარმოადგენს ღია, ბაც ფერს. გადატანითი მნიშვნელობით ის შესაძლოა აღნიშნავდეს სუსტს, ძნელად გასარჩევს, ბუნდოვანს. ნეიმანის სინონიმთა ლექსიკონში კი ვხვდებით როგორც ფერწასულს, შემინებულსა და ღიაფერს.

სპექტაკი - განმარტებით ლექსიკონში მისი მნიშვნელობაა - ძალიან თეთრი. ის გადატანითი მნიშვნელობით აღნიშნავს წმინდას, უმწიკვლოს (თანამედროვე მეტყველებაში ძირითადად ამ მნიშვნელობით გამოიყენებენ). ნეიმანის სინონიმთა ლექსიკონში მისი სინონიმური წყვილებია თეთრი, პატოსანი, სუფთა.

არაბაზისური ლექსემები

კვლევაში ცდისპირები ასახელებენ ისეთ სიტყვებს, რომლებიც არ წარმოადგენენ არც ყნოსვის გამომხატველ ლექსემებს და არც სხვა ლექსიკურ-სემანტიკური ჯგუფის სიტყვებს. ისინი წარმოდგებიან სახელდების გზით, მაგალითად: ღვინის სუნი, ყვავილის სუნი, ლიქიორის სუნი, მიწის სუნი. ღვინოს, ყვავილს, ლიქიორსა და მიწას შესაძლოა მართლა ჰქონდეს მათთვის დამახასიათებელი სუნი, თუმცა გამოიყოფა ისეთი სახელდებებიც, რომლებიც წარმოდგებიან აბსტრაქტული სახელებისგან, მაგალითად: გამარჯვების სუნის, სიცოცხლის სუნის, ენერჯის სუნის, სიახლის სუნი და სხვა. მათზე მსჯელობა შესაძლებელია მხოლოდ წარმოსახვით, სუბიექტური შეხედულებებით.

ისეთი სიტყვები, რომლებიც ასე სახელდებების საშუალებით არიან მიღებული არაბაზისურ ერთეულებად გამოვყავი. ასეთი სიტყვები სიმრავლით არ ჩამოუვარდებიან ნახსენებ ბაზისურ ერთეულებს, გარდა ამისა ყნოსვის ლექსიკურ-სემანტიკური ჯგუფის საჩვენებლად მათი მნიშვნელობა გასათვალისწინებელია. იმ მილიონობით სუნის გადმოსაცემად, რომელსაც ადამიანის ყნოსვის ორგანო აღიქვამს საჭირო ხდება, როგორც სხვა სემანტიკური ჯგუფების მოშველიება, ასევე სხვადასხვა სახელების (მიწის, ყვავილის, ღვინის..) შემოღებაც, რომელიც მიმსგავსებით წარმოაჩენს არსებულ სუნს და ხაზს უსვამს მის სპეციფიკურობასა და თავისთავადობას.

ყნოსვის დამახასიათებელ ლექსემებში კი თავი მოვუყარე ისეთ ერთეულებს, რომლებიც გამოიყენება სუნის დასახასიათებლად, მაგალითად: სასიამოვნო, საზიზღარი, თავისებური, ძლიერი - ერთეულები, რომლებიც შეიძლება შეესატყვისებოდეს გრძნობის გამომხატველ ყველა ლექსიკურ-სემანტიკურ ჯგუფს, თუმცა არ შეიძლება მივაკუთვნოთ კონკრეტულად რომელიმეს.

დასკვნა

სუნის აღქმის გადმოცემისთვის ხშირად ვიყენებთ ისეთ ერთეულებს, როგორებიცაა - ცივი, ტკბილი, მკვეთრი, მსუბუქი. ისინი არცერთი არ მიეკუთვნება ყნოსვის გამომხატველ სიტყვებს - ლექსემებს. მათი ლექსიკურ-სემანტიკური ველები წარმოადგენს ყნოსვის ორგანოს მონათესავე - გემოს ორგანოს, შეხების ორგანოს, მხედველობის ორგანოს გამომხატველ ლექსიკურ ერთეულებს. ასე შეიძლება ჩამოვაცალიბოთ სხვადასხვა ლექსიკურ-სემანტიკური ველები, იმის მიხედვით თუ რომელი გრძნობის ორგანოს გამომხატველი ლექსემები იყრიან მასთან თავს.

ადამიანი ცდილობს როგორმე გადმოსცემს მისი შეგრძნება, რაც დაეუფლა მას ამა თუ იმ სუნის შეგრძნებისას. ის განიცდის სუნს და მის წარმოდგენაში ის საგნებსაც შესაძლოა უკავშირებდეს მას ("მიწის სუნი", "ენერჯის სუნი", "მალამოს სუნი"), თუმცა ეს მაინც ვერ იძლევა მის ზუსტ განმარტებას. მას ექმნება გარკვეული შთაბეჭდილებები და განწყობები, რომლებსაც ის სხვა შეგრძნებებს უკავშირებს. ასე, მაგალითად: ვიტყვით "ტკბილი სუნი" და მასში ვგულისხმობთ იმ შთაბეჭდილებას, რასაც ტკბილი გემოს მიღებისას განვიცდით, შესაძლოა ვიდაცას მართლაც გაუჩნდეს ტკბილი გემოს შეგრძნება (სინესთეზია), თუმცა უმეტესად აქ საუბარია განცდასა და განწყობაზე, რომელსაც ადამიანი აკავშირებს მის წარმოსახვაში არსებულ სურათთან (ინტერმოდალური მიმართება). ასევე შესაძლოა მოხდეს "ცივისა" და "გრილი" სუნის შემთხვევაში, როცა ტემპერატურის გამომხატველი მნიშვნელობები გადმოიცემა, ასევე შესაძლებელია მოხდეს "მძიმე" და "მსუბუქ" სუნზე საუბრისას, როცა წონის გამომხატველ ლექსემებს ვიყენებთ ამა თუ იმ სუნის დასახასიათებლად. სუნის აღქმასთან დაკავშირებით ფსიქოლოგიაში გვხვდება ჰენინგის სქემა, რომელიც გამოყოფს ექვსს ძირითად სუნს, ესენია: დამწვრის, დამპლის, ხილეულის, ვარდის, კუპრის, საკმაზის სუნები. მათი დასახელებისას ავტორი იყენებს საგნობრივ



აღმნიშვნელს, რაც იმაზე მიანიშნებს, რომ თავად ჰენინგის სქემაც იყენებს სუნთა გადმოცემისას "ნასესხები" მნიშვნელობის სიტყვებს. [5]

ყნოსვის გამომხატვის ასეთი შინაარსი იდივიდუალურ ხედვასაც აყალიბებს, მაგალითად, რაც ჩემთვის მძაფრია, სხვისთვის შესაძლოა სასიამოვნოდ მსუბუქი იყოს, ან რაც ჩემთვის მყრალია, სხვისთვის ტკბილი შესაძლოა აღმოჩნდეს. ასეთ მაგალითებს ვხვდებით ზემოთ წარმოდგენილ კვლევაში, როცა ზოგიერთ შემთხვევაში ერთი ყვავილის, იის სუნი ვილაცისთვის მძაფრია, ვისლაცისთვის კი არამძაფრი, რძის სუნი საზიზღარაც შესაძლოა იყოს და გემრიელიც.

ყნოსვის გამომხატველ ლექსემად დასახელებისთვის შესაძლოა გამოიყოს მხოლოდ მყრალი – ლექსემა. მყრალი თავისთავად ცუდი, უსიამოვნო სუნის გამომხატველია. საინტერესოა რატომ შემოინახა ენამ ერთადერთ ლექსემად ცუდი კონოტაციის მქონე სიტყვა. ვფიქრობ, ეს განპირობებული უნდა ყოფილიყო მისი ინტენსიობის გამო, მყრალი ეს ყველაზე არასასიამოვნო სუნად შეიძლება ჩაითვალოს. თუმცა რატომ არ შეირჩა ისეთი დადებითი კონოტაციის მქონე სიტყვა, რომელიც სხვადასხვა ობიექტის სუნის გამომხატველი იქნებოდა?! ეს განპირობებული უნდა ყოფილიყო იმ სიტყვებით, რომლებიც გამომსახველობით პლანში ეხმარებოდნენ სუბიექტს მათთვის დადებითი და სასიამოვნო სუნის გამოსახატავად, ასეთებია: ტკბილი, მოტკბო, სასიამოვნო, გემრიელი და სხვა სახის სიტყვები, რომლებიც სხვადასხვა ჯგუფისა და წარმომავლობის სიტყვებია, თუმცა სუბიექტისთვის სუნისთვისაც იქცა დამახასიათებლად.

#### Characterize the semantic field of lexemes expressing smell

Magda Gorgiladze

#### Summary

Combining lexemes gives a dictionary where lexemes are arranged in a certain order. They create paradigmatic and syntagmatic relations. The quantitative determination of lexemes in the language is unimaginable. There are lexemes that lose their functional meaning, and there are also those that gain such meaning. The language is constantly evolving, various lexemes are added to it and even removed (in terms of usage). The lexemes combined in the dictionary form separate microsystems, which provide unity with functional, subject or conceptual characteristics. Such associations are called semantic fields (groups). It may be distinguished by time, space, temperature, quantity, sense, etc. semantic fields.

The aim of the article is to characterize the semantic field of lexemes expressing smell, by presenting its characteristic uniqueness and self-sufficiency.

#### Характеристика семантического поля лексем выражения обоняния.

Магда Горгиладзе

#### Резюме

Объединение лексем даёт словарь, где лексемы расположены в определённом порядке. Они образуют парадигматические и синтагматические взаимосвязи. Определить количество лексем в языке невозможно. Есть лексемы, которые теряют свою функциональную нагрузку, но есть и такие, которые приобретают её. Язык постоянно развивается, добавляются или исчезают (с точки зрения употребления) различные лексемы. Лексемы, объединённые в словаре, образуют отдельные микросистемы, которые объединены функциональными, предметными или концептуальными характеристиками. Такие объединения называются семантический полями(группами).

Можно выделить семантические поля обозначающие время, пространство, температуру, количество, смысл и т.д.

Цель статьи- охарактеризовать семантическое поле лексем выражения обоняния, представить его характерную особенность и оригинальность.

#### ლიტერატურა – References – Литература

1. გამყრელიძე თ., კიკნაძე ზ., შადური ი., შენგელაია ნ., „თეორიული ენათმეცნიერების კურსი“; თბილისის უნივერსიტეტის გამომცემლობა; 2008. 347–353.
2. ზიუსკინდი 2006: ზიუსკინდი პ., "სუნამო", გამომცემლობა "დიოგენე"., 2006. 15-18, 53-54.
3. ნეიმანი ალ. "ქართულ სინონიმთა ლექსიკონი".
4. სოსელია ე., "სემანტიკური უნივერსალები და ქართველური ენები", თბილისი.
5. უზნაძე დ., "ზოგადი ფსიქოლოგია", გამომცემლობა "საქართველოს მაცნე", 2006. 115-134
6. ჩუტკერაშვილი, ა. გემოს სემანტიკური ველის ზოგადი დახასიათება. სტუ არჩილ ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული. N13, თბილისი, 2009.
7. ხეცურიანი რ., "ადამიანის ანატომია" ტომი II, გამომცემლობა "პეტიტი", 2015. 336-337, 297-299.
8. Wierzbicka, A., Semantics: Primes and Universals. Oxford –New York: "Oxford University Press", 1996, 458.
9. ქართული ენის განმარტებითი ლექსიკონი. ერთტომეული. თბილისი, 1986.
10. <https://www.ice.ge/liv/liv/antonimebi.php>
11. <http://www.ena.ge/explanatory-online>

## როგორ წვიმს ქართულ ენასა და დიალექტებში

მარიამ დოლბაია

mariamdolbaia9@gmail.com

### რეზიუმე

სტატიაში ქართული ენისა და დიალექტების მონაცემების გათვალისწინებით განხილულია ძირითადი ლექსიკური ფონდის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ჯგუფის, მეტეოროლოგიური მოვლენების აღმნიშვნელი ლექსიკის ნაწილი, კერძოდ, წვიმა და მასთან ფორმოზ-სემანტიკურად დაკავშირებული სხვა სიტყვები. ისინი დალაგებულია შინაარსობრივი (სემანტიკური) ჯგუფების მიხედვით.

ძირითადი ლექსიკური ფონდი და გრამატიკული წყობა ყოველი ენობრივი სისტემის საფუძველია. ძირითადი ლექსიკური ფონდი იმ სიტყვათა ერთობლიობაა, რომლებიც ქმნიან ლექსიკის ყველაზე ძველ და მკვიდრ ნაწილს. ეს არის ენის ყველაზე აუცილებელი და სტაბილური ლექსიკა. „ეს ნაწილი ენობრივ კოლექტივში ურთიერთგაგებინებასა და მემკვიდრეობითობას განაპირობებს“.

სტატიის მიზანია, აღიწეროს ზემოთ აღნიშნულ ლექსემათა ფუძეები; დალაგდეს ისინი სემანტიკური ჯგუფების მიხედვით; ზეპირსიტყვიერებაზე დაყრდნობით აიხსნას ზოგიერთი სიტყვის ეტიმოლოგია.

საკვანძო სიტყვები: წვიმს, ლექსიკა, ქართველური ენები.

ძირითადი ლექსიკური ფონდის სიტყვები ცნებითი, ფუნქციური თუ საგნობრივი მსგავსების საფუძველზე ნაწილდება სხვადასხვა შინაარსობრივ ჯგუფებად (ნათესაური კავშირის, მეტეოროლოგიური მოვლენების, სხეულის ნაწილთა, მოძრაობის, ზომის, სივრცეში განლაგების აღმნიშვნელ ზოგიერთ ლექსემათა ჯგუფები, ნაცვალსახელები, რიცხვითი სახელები და ა.შ.). ისტორიულ-შედარებით ლექსიკონებში ბუნების მარტივ მოვლენათა აღმნიშვნელი ლექსიკა აღდგება ფუძე ენის დონეზე. მათგან წვიმის გამორჩევა შემთხვევითი სულაც არ არის, რადგან ქართულში „მარტო წვიმას აქვს სახელი ცხრა“ [მაჭავარიანი]. ქართველური ენები და დიალექტები გამოირჩევიან წვიმის მრავალფეროვანი სახელებით. აქ ყოველთვის და ყველასთვის განსხვავებულად „წვიმს“. საქართველოს ეთნოგრაფიული კუთხის, სამეგრელოს, მკვიდრი სხვანაირად გამოხატავს წვიმის მოსვლას, სვანეთის მკვიდრი - სხვანაირად, თავისებურად გამოხატავენ მას იმერლები, მესხები, ფშაველები და ა.შ. გარჩეულია წვიმის სახეობებიც, რომელთაც თავიანთი აღმნიშვნელები აქვთ.

წვიმა ქართველთა რწმენა-წარმოდგენებში

წვიმას ქართველთათვის, როგორც მიწათმოქმედი ხალხისთვის, უდიდესი მნიშვნელობა აქვს. დღემდე წვიმას, დადებითთან ერთად, უარყოფითი ემოციური იერიც ახლავს თან. ერთი მხრივ, იგი სიმრავლესთან, ნაყოფიერებასთან, ხვავთან ასოცირდება, მეორე მხრივ, წარღვნასა და განადგურებასთან. წვიმასთან ქართველი მოსახლეობის ურთიერთობას უპირველესად ქართული ფოლკლორი ინახავს.

ქართულ შელოცვებში ხშირად ვხვდებით სიტყვებს: „ღმერთო, წვიმა გვიწყალოზე“. „ოხ, წმინდაო ელია,/რასა მოგიწყენია?! თეთრი ფურის მხარ-ბეჭი/ შენთვის მოგვირთევია,/ შენ მოიყვან წვიმასა,/ მე დაგიკალ ციკანსა...“; „გვიშველე, ლაზარე, ღმერთთან, წვიმა მოიყვანე“. და პირიქით: „ლაზარე მოდგა კარსა,/ აბრიალებს თვალსა,/ ცხავი აცხავებულა,/ წვიმა გაჩქარებულა/ ღმერთო, მოგვე მზის თვალი,/ აღარ გვინდა ცის ნამი...“ აღნიშნულ ლექსებში ქართველი ხალხი მიმართავს ამინდის ღმერთს ლაზარეს (ზოგ კუთხეში იგი ელიას სახელითაა მოხსენიებული) და წვიმის მოსვლას/შეწყვეტას სთხოვს. აღსანიშნავია, რომ ამ

ლექსებს თავისი რიტუალები ახლდა თან. მას ძირითადად ქალები ასრულებდნენ. ამ სიმღერების თქმის დროს კარდაკარ დადიოდნენ, კართან მოსულ მომღერლებს წუწავდნენ და პროდუქტს აძლევდნენ. გაწუწავც სიმბოლურად წვიმის მომასწავებელი იყო.

საზოგადოდ, საქართველოს ტერიტორიისთვის უმეტესად გვალვა ქმნიდა საფრთხეს, ამიტომ რიტუალები ძირითადად წვიმის გამოწვევისკენ იყო მიმართული. ამ მიზანს ერთი მხრივ სისველის იმიტაციით აღწევდნენ, მეორე მხრივ, ამინდის ღმერთების გალიზიანებით (ასველებდნენ წმინდა წიგნებსა თუ ხატებს, შეურაცხყოფდნენ მათ...). გვალვისას თურმე აბრუნებდნენ დიდ ლოდს და მის ნამიან პირს ზეცას უშვერდნენ. იგი დასველებული ქვეყნის ილუზიას ქმნიდა.

ი. სურგულაძე აღნიშნავს, რომ თუშები წვიმის გამოწვევის მრავალფეროვანი წესებით გამოირჩევიან. გვალვისას ისინი ამზადებდნენ “საწვიმარა გუგას“. აიღებდნენ ნიჩაბს, ყელთან ჯვარედინად მიამაგრებდნენ ჯოხს, ანუ ხელებს, ნიჩაბს პირზე თეთრ მიტკალს გადააკრავდნენ, ვითომ სახეაო, ხოლო ტარს პატარძალივით შემოსავდნენ. გამზადებული გუგა მდინარეზე ჩაჰქონდათ და პირს ბანდნენ, წვიმა წამოვაო. ზოგჯერ მიწაშიც მარხავდნენ [6].

ქართველი ხალხისთვის ცნობილია 7 მაისის წვიმა. ჩვენი წინაპრები მას ბედნიერებას უკავშირებდნენ და ამ დღის წვიმის წყალს სამკურნალო თვისებებსაც მიაწერდნენ. მიიჩნეოდა, რომ თუ 7 მაისის წვიმის წყლით თავს დაიბანდნენ, თმის სიგრძე გაიზრდებოდა და ხარისხიც გაუმჯობესდებოდა: „შვიდ მაისის წვიმაო,/თმა კოჭებამდინაო./ შვიდ მაისის წვიმაო, / თავზე დამედინაო./ შვიდ-შვიდი ნაწნავი/თავზე დამეფინაო...“

სამყაროს დასასრულიც წარმოდგენილ წვიმას უკავშირდება. „...როცა ყველაფერს წვიმა წარხოცავს, როცა ყველა ხმას ქარი წაიღებს, სვეტიცხოველი შეიმატებს დიდებას კიდევაც“ [გამსახურდია].

მამასადაძმე, წვიმას ქართველთა ყოფაში უდიდესი ადგილი ეკავა და მასთან დაკავშირებული რიტუალებიც მრავალგვარია. გასაკვირი არ არის წვიმის გამომხატველი ლექსიკის სიმრავლეც ქართულ ენაში.

წ ვ ი მ ი ს აღმნიშვნელი ფუძეები ძველ ქართულში

ქართული ენის ეროვნული კორპუსი (GNC) ძველი ქართულის ბაზაზე წვმ - ფუძის გამოყენების 617 შემთხვევას გამოყოფს. ამათგან საინტერესოა, რომ უძველესი ძეგლები, რომლებშიც აღნიშნული ფუძეა დადასტურებული, დაახლოებით VIII-IX სს-ით თარიღდება. ძირითადად ჭარბობს სახელური ძირები. ვხვდებით მრავლობითის ფორმებსაც (წვმათა, წვმანი). ძველი ქართული ენის კორპუსში წვმად ფორმის ერთადერთ შემთხვევას ვხვდებით. ხოლო წუიმ- ძირის 11 შემთხვევაა დადასტურებული (ძირითადად IX-X სს-ის ძეგლებში). მათგან 6 სახელური ძირია, 5-ზმნური (წუიმდეს, წუიმონ, წუიმს). წვიმის აღმნიშვნელი სხვა ლექსემები, მათ შორის არც წვიმისგან ნაწარმოები კომპოზიტები, ძველ ქართულში საერთოდ არ მოიძებნა. „ძველი ქართული ენის ლექსიკონშიც“ ილ. აბულაძე ამ ბუნებრივი მოვლენის აღმნიშვნელ მხოლოდ ერთ ლექსემას წარმოგვიდგენს: წვმა, წუმა – „წვიმა“. მაგალითებში, რომლებიც ამ ლექსემის საილუსტრაციოდ მოჰყავს ავტორს, მოცემული ზმნა ძირითადად აღწერთადაა წარმოდგენილი. კერძოდ: ცამან წვმად მოსცა; ნუცა გარამოვალნ წვმად ნეფსითი განუმზადე ფს.67,10; იყო წვმად სასტიკი ანდ. -ანატ. 227,28; რაჟამს იხილოთ ღრუბელი აღმოსავალით და დასავალით, მეყსეულად ჰსთქვთ: წვმად მოაქუს, და არნ ეგრეთ ლ.12,54; აღმოვიდენ ღრუბელნი და გარამოდდეს წვმად მ. სწ.513,7.

იშვიათად ვხვდებით ზმნურ წარმოებასაც. მაგალითისთვის ილ. აბულაძეს მოჰყავს I სერიის აწმყოს ხოლმეობითის მწკრივის ფორმები: წუმნ მართალთა ზედა მთ. 5,45; ჟამ ერთ წვმნ და მერმე დასცხრის მ.სწ. 811,1მ; იაკ.5,18. ვხვდებით პარონომაზიის მაგალითსაც: გიწვმოს თქუნ წვმად მსთუა და მცხუედი O იოვ. 2,23 [1].

GNC-ში ძველი ქართული ენის ბაზაზე ვხვდებით წვიმ ფუძისაგან წარმოებულ საინტერესო ფორმებს: წვმრიანი, წვმრობად. კორპუსი არ გამოყოფს მის ლემას, თუმცა კონტექსტებიდან გამომდინარე ცხადია, რომ წვმ- ძირთან გვაქვს საქმე, რ სონორი ბგერა კი ფონეტიკურ ნიადაგზეა განვითარებული. - 1. გაზაფხული წვმრიანი, ზაფხული კეთილშეზავებულ, თაფლითა, ღვნითა, ხილითა... (ასტროლოგიური თხზულებანი); 2.

ზამთარი თუცა თოვლიანია, ტფილ იყოს. გაზაფხული წვმრიანი, სთუელი გრძელი და შეზავებული. (ასტროლოგიური თხზულებანი); 3. აღივსო ცაჲ ღრუბლითა, და გარდამოჴდა წვმაჲ დიდძალი, და შეიქმნა წვმროზაჲ დიდი (ევთვიმეს ცხოვრება).

წვიმის აღმნიშვნელი ფუძეები თანამედროვე ქართულში

წვიმ- ფუძე ქართული ენის განმარტებით ლექსიკონში (ქეგლ) შემდეგნაირადაა დადასტურებული:

წვიმა - ისეთი ატმოსფერული ნალექი, რომელიც წყლის წვეთების სახით ეცემა დედამიწაზე [10].

სულხან-საბა ორბელიანი „სიტყვის კონაში“ ჩამოთვლის წვიმის აღმნიშვნელ უაღრესად საინტერესო ფუძეებს. წვიმას კი ასე განმარტავს:

წვმა - (5, 6 ესაია) მზის(ა) შარავანდედი და წყალთაგან აღიღებს ცვართა და შერთავს ღრუბელთა და ღრუბელი ველარ დაიტევს, ჩამოადენს წვიმათა [5].

სინოტივისაგან მიწაზე მოსული ნამის აღმნიშვნელია:

ცვარი - სინოტივისაგან ჰაერისა უღრუბლოდ მოსული ღამით და დილეულ ფურცელზედ მდგარი;

ნიჟი - ცვარის(ა) უმცირესი ნაწილი და ღვაფი - ცვარისა უდიდესი; ხეთა ფოთლებიდან ჩამონადენ წვიმას ლეშხსა და ჟვავს უწოდებენ [5].

ნელ, იშვიათ წვიმაზე ამბობენ, წინწკლავსო.

წინწკლავს - ცოტათი წვიმს [10].

აღნიშნული სიტყვა ძირითადად ზმნური ფორმით გვხვდება. იშვიათად წარმოგვიდგება იგი სახელურ ფორმაში. წინწკალი წვრილ წვეთს აღნიშნავს [10]. სინონიმური შინაარსისაა ჟინჟღვლა, ჟღმურტლი [4].

წვრილი წვიმის აღმნიშვნელ სინონიმურ ლექსემებად ალ. ნეიმანი „ქართულ სინონიმთა ლექსიკონში“ ასახელებს თქორს, თქეშა და ფრუტს [4]. თქორი - წვრილი წვიმა [10];

არს წვმა წვლილი და კაცთაგან ძნიად სახილავი [5].

ჩქარი და მალე მომდარებელი წვიმის აღმნიშვნელია:

შხაპი - არს ანაზდი და ჩქარი წვიმა [5];

გერილი - წვიმა, რომელიც წამოუშენს და მალევე გადაიღებს [10];

ისხარი- ჩქარი წვიმა, ადრე მომდარებელი [10]; სწრაფი და ადრე მომდარებელი წვიმა არს ისხარი [5].

ძლიერი, ხშირი, კოკისპირული წვიმაა:

თქეში - უსხოსი თქორისა, ვითარცა აღნაცარი რამე [5],

ფრუტი - თქეში ნისლოვანი;

ჟღმურტლი - ფრუტისა უდიდესი და უფროსად ნისლოვანი [5];

დეღმა - წვიმა დიდი და გვიან მომდარებელი [5];

ლოფო - წვიმა დიდი და დამაზნელებელი და ღვაროვანი;

თავსხმა, ჩქაფი, ღვართქაფი [4];

მერეხი - თავსხმა, დელგმა [10];

ზღველა - დიდი წვიმა [8].

ქარიანი წვიმის აღმნიშვნელებია:

ქარიშხალი - არს ქარნარევი ძლიერი წვიმა [5];

არზანი - ქარიშხლიანი ან ჭექა-ქუხილიანი წვიმა [8].

ხანგრძლივი, თოვლნარევი წვიმის გამომხატველია:

მანმახი - წვიმა და ჭყაპი, ხანგრძლივი უსიამოვნო წვიმა [10];

ჭყაპი წვიმა თოვლნარევი [10].

ნელი წვიმის აღმნიშვნელია:

ჟუჟუნა - ნელი და ხანგრძლივი წვიმა [10].

საბა ცალკე გამოყოფს დილასა და საღამოს მარგებელ წვიმას და მათ მსთუადსა და მცხუედს უწოდებს. („მსთუადი, მცხუედი - (მსთვადი და მცხუედი ესე არს დილასა (+ და Z) საღამოს მარგებელი წვიმაჲ“ [10]). საინტერესოა, რომ ოსია წინასწარმეტყველი უფლის

მოსვლას მარგებელი წვიმის მოსვლას ადარებს: „...ვსდევდით ცნობად უფალსა, ვითარცა ცისკარი მზად, ვპოთ იგი და მოვიდეს ჩუნდა, ვითარცა წვიმა მსთუადი და მცხუედი“ (ოსე 6, 3).

წვიმის მსაზღვრელად ხშირად გვხვდება კოკისპირული დიდი წვიმა - თავსხმა ისეთი, თითქოს კოკიდან გადმოღვრილი იყოს [10]. კოკური იგივეა, რაც კოკისპირული [ქეგლ IV]. ამ შემთხვევაში ქართველი კაცის მსოფლალქმით, მისი წარმოდგენით, თითქოს ციდან კოკით წყალი გადმოასხესო. მართლაც, უძველეს ხალხთა რწმენით, ამინდის ღვთაება კოკით ასხამდა წყალს მიწაზე. კოკა, როგორც ღვთაების ატრიბუტი, შენარჩუნებულია ბერიკაობა-ყეენობის რიტუალში. თავსხმა წვიმის გამომხატველ მსაზღვრელად გვხვდება აგრეთვე ღვარული [4]. სუსტი, მსუბუქი წვიმის მსაზღვრელია ჟუჟუნა.

საინტერესო ზმნური ფორმაა ცრის, რომელიც ეტიმოლოგიურად გაცრასთან უნდა იყოს დაკავშირებული. ეს ძირი საერთოქართველურ დონეზეც აღდგენილია გ. კლიმოვის მიერ (\*ცარ-/ცრ-) [7].

ჩვენთვის ცნობილია, რომ ამინდის ღვთაების ატრიბუტია ცხავი. ცხავი ხორბლის მარცვლის გასაწმენდი, საცრის მსგავსი, იარაღია. ამინდის ღმერთის, ლაზარესადმი მიძღვნილ ხალხურ ლექსში ცხავი აცხავებულა ნიშნავს, რომ ლაზარემ ამ იარაღის გამოყენება დაიწყო და წვიმა აჩქარდა. შესაძლოა, სწორედ ამ წარმოდგენას უკავშირდებოდეს მსუბუქი წვიმის დაწყების აღმნიშვნელი ტერმინი ცრის. ეს ზმნა უპირობა. თუმცა ისიც აშკარაა, რომ უძველესმა ხალხმა კარგად იცოდა, თუ ვინ ცრიდა წვიმას (ამინდის ღვთაება). ი. სურგულაძე ერთმანეთისგან ასხვავებს ცხავის წვიმასა და საცრის წვიმას. და მათ უპირობაობებს კოკის წვიმასაც „თქეში არის წვიმის ის სახეობა, რომელიც ზემოდან აღნაცარავით მოდის, ე.ი. ძველი მიწისმოქმედი სწორედ ამ წვიმას განიხილავდა ღვთაების საცრიდან „აღნაცარად“. ქართულში არის დაცული გამოთქმები, რომლებიც უფრო მსხვილ წვეთებს მარცვალს უიგივებენ და ასეთ წვიმას, ალბათ, ცხავის აცხავება სჭირდებოდა“ [6].

წვიმის აღმნიშვნელი ლექსიკა დიალექტებში

ქართული ენის დიალექტებიც მდიდარია წვიმის აღმნიშვნელი ლექსემებით. ქვემოთ ისინი წარმოდგენილია აღმ. საქართველოს მთის, აღმ. საქართველოს ბარის, დას. საქართველოს მთის და დას. საქართველოს ბარის დიალექტების მიხედვით და კლასიფიცირებულია სემანტიკური ჯგუფების შესაბამისად.

ცალკე ჯგუფს ქმნის ძლიერი, კოკისპირული, თავსხმა წვიმის, გამომხატველი ლექსიკა.

აღმ. საქართველოს მთის დიალექტებში:

დეღგმა- (ფშ.) დიდი წვიმა, თავსხმა [11];

ნავარზლოობა - (მოხ.) დიდი, კოკისპირული წვიმა [11];

რღვნა- (ქიზიყ.) დიდი წვიმა [11];

ცასპირწყდომამ (თუშ.) – ძლიერი წვიმა და ჭექა-ქუხილი [13];

ცის ქცევა (თუშ.) – ძლიერი წვიმა და ჭექა-ქუხილი [13];

აღმ. საქართველოს ბარის დიალექტებში:

არზანი- (ქართლ.) დიდი წვიმა ელჭექით [11];

ლესტერი- (ქართლ.) თავსხმა წვიმა [11];

ბუტუტი - (ქართლ.) დიდი, კოკისპირული წვიმა;

ლელები - (ქართლ.) დიდი წვიმა, თქეში [13];

დას. საქართველოს მთის დიალექტებში:

ჟეთქი - (ლეჩხ.) ჟგლეტი, კოკისპირული წვიმა [11];

ჟღერი- (ლეჩხ.) ძლიერი წვიმა, მჟღერი [11];

ზესხმა- (რაჭ., ლეჩხ.) თავსხმა, წვიმა კოკისპირული [11];

ლემტერი/ლესტერი- (ზ. აჭარ.) კოკისპირული წვიმა, დეღგმა, თავსხმა, მერეხი [11];

თქიშინი - (რაჭ.) ზოგჯერ ძლიერ წვიმაზეც იტყვიან, თქიშინით მოდისო. სხმა, ზღველა, დიდი წვიმა [13];

დას. საქართველოს ბარის დიალექტებში: ზღველა- (იმერ.) დიდი, კოკისპირული წვიმა [11];



ჟგეთი, ჟგეთა - (იმერ.) კოკისპირული წვიმა; ზღველა [11];  
ლელები- (იმერ.) გადაუღებელი წვიმა, თქეში [11];  
რეშვა, დარეშვა - (ზ. იმერ.) დიდი წვიმა. „ისე დარეშა, რო სულ წალეკა ყანები“ [11];  
თქიშინი - (იმერ., გურ.) სხმა, ზღველა (ნ.) დიდი წვიმა; წყლის განუწყვეტლივ დენა [11].  
გვხვდება ფონეტიკურად განსხვავებული ფორმებიც: თხრიშინი,  
თქვირშინი;  
ლეზღმა - (გურ.) დიდი და ძლიერი წვიმა. „ლეზღმა წუმა მევიდა“ - თავსხმა წვიმა მოვიდა [11];  
თხროშო - (გურ.) თავსხმა, კოკისპირული წვიმა [11].  
წვრილი, მცირე წვიმის აღმნიშვნელი ლექსიკა:  
აღმ. საქართველოს მთის დიალექტებში:  
ჟინჟლი - (ფშ., თუშ., ქიზიყ.) წვრილი წვიმა, შხუმფლი, სინსლი, წურილი თქორი [11];  
ჟინჟლვა - (ფშ.) წვრილი წვიმა [11];  
მშხეპრი - შხაპუნა წვიმა; [13];  
დას.საქართველოს მთის დიალექტებში:  
ლამი- (ლეჩხ.) თქორი; „წამოლამა“- წამოწვიმა, მცირე წვიმა წამოვიდა [11].  
დას. საქართველოს ბარის დიალექტებში:  
ფუნთხი- (იმერ., გურ.) თქორი, წვრილი წვიმა  
„ფუნთხავს“ - ჭყუმპლავს, წვრილად წვიმს [11];  
ლიჟლი- (გურ.) წვრილი წვიმა [11];  
ჟითქი - (აჭარ.) წვრილი წვიმა, - ჟინჟლი, თქორი [11];  
პუტკვა - (გურ.) ფუთქვა, მცირე წვიმა [11];  
წამოწკაპუნა- (აჭარ.) ჟუჟუნა წვიმა დაიწყო [11].  
ცალკე ჯგუფს ქმნის წვიმიანი ამინდის აღმნიშვნელი ლექსემები:  
არზანი- (ქართლ., ქიზიყ., მთიულ., ფშ.) ცუდი ამინდი, დიდი წვიმა ელჭექით, ქარიშხალი (დლონტი, 1984:39);  
ზამათი- (ქართლ.) არეული ამინდები; დიდი თოვლი და წვიმები, თოვლ-ჭყაპი [11];  
კომინშხალი - (რაჭ.) ცუდი ამინდი, კოხნარევი წვიმა [11].  
ჟვაპი- (იმერ.) დიდი და ხანგრძლივი წვიამიანობა, ნესტიანი ამინდი [11].  
ფერეიდნელები წვიმას წიმაღ /წუმაღ უხმოზენ [12]. ინგილოურში კი ვხვდებით წვიმა→წუმაღ [12] - ფონეტიკურ ტრანსფორმაციას.

შენიშნულია, რომ რამდენიმე დიალექტში ერთგვარი ფორმები გვხვდება. მაგალითად, ზემო აჭარასა და ქართლურში კოკისპირული წვიმის აღმნიშვნელი ერთნაირი ფორმა დასტურდება, კერძოდ, ლესტერი. ერთმანეთისგან დაშორებულ დიალექტებში მსგავსი მოვლენები ხშირია. ერთი მხრივ, საფიქრებელია, რომ მჭიდრო კონტაქტებმა და მიგრაციებმა დიალექტური ფორმის გავრცელება და დამკვიდრება გამოიწვია სხვადასხვა დიალექტურ არეალში. მეორე მხრივ, შესაძლოა, ორივე დიალექტში ერთნაირად და ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად გამოჩვენდა ენის შინაგანი პოტენცია.

მეტად საინტერესო შემთხვევაა ლეჩხუმური ჟეთქისა და აჭარული ჟითქის მსგავსება. ვფიქრობთ, ეს ლექსემები ხმაბამვითია (ამდენად ემსგავსებიან ისინი ერთმანეთს) და ფონეტიკურ ტრანსფორმაციასთან გვაქვს საქმე. ძნელი საფიქრებელია, რომელი იყო უპირველესი. თუკი ამოსავლად ჟეთქ- ფორმას მივიჩნევთ, მაშინ ჟითქ- ფორმა სრული ასიმილაციის შედეგად უნდა იყოს მიღებული. გასათვალისწინებელია მოცემულ ფორმათა სემანტიკური სხვადასხვაობა. ჟეთქი კოკისპირულ წვიმას აღნიშნავს, ჟითქი - წვრილ წვიმას, თქორს. თუმცა ეს ფაქტორი ფონეტიკური ტრანსფორმაციის შესაძლებლობას არ გამორიცხავს, რადგან ქართულში ფუძის ფონეტიკურმა ცვლილებამ შესაძლოა, მისი სემანტიკური ცვლილებაც გამოიწვიოს. “ფუძის ფონეტიკური სახეცვლილება ზოგჯერ უმნიშვნელო სემანტიკური გადახრით აღინიშნება, ზოგჯერ ეს გადახრა საკმაოდ დაცილებულია ამოსავალი ფუძის მნიშვნელობას” [3].

დასკვნა

წვიმა და მასთან ფორმოზრივ-სემანტიკურად დაკავშირებული სიტყვები ქართული ენის უძველეს ლექსიკურ ფენას წარმოადგენს. ქართულში წვიმასთან დაკავშირებული ლექსიკა მრავალფეროვანია. ისინი დადასტურებულია ფოლკლორულსა თუ ლიტერატურულ ტექსტებში.

ლექსიკის სრულფასოვნად შესწავლისთვის მნიშვნელოვანია ხალხურ რიტუალებზე დაკვირვება. ისინი მნიშვნელოვან ინფორმაციას გვაწვდიან კონკრეტულ ლექსემათა შესახებ. მაგალითად, სწორედ ხალხურ რწმენა-წარმოდგენებზე დაკვირვებითაა შესაძლებელი წვიმის ერთ-ერთი უპირო ზმნის „ცრის“ ეტიმოლოგიის დადგენა.

ჩვენ წვიმის 57 სახელი გამოვყავით. მათში გამოიყოფა როგორც საერთო-ქართველური ენისთვის დამახასიათებელი ძირები (წვიმ, ცურ, შხეკ...), ისე ცალკეული დიალექტებისა და ქართული ენისთვის ნიშანდობლივი ფორმები ( ლამი, ჟეთქი, ლელეხი...). ისინი სემანტიკურად განსხვავებულ ჯგუფებს ქმნიან. ეს წვიმის ფუნქციითა და თვისებითაა შეპირობებული.

ვფიქრობთ, აღნიშნულ ლექსემათა შესწავლამ არა მარტო შეავსო და გაამდიდრა ენისა და კულტურის შესახებ არსებული ცოდნა, არამედ გააჩინა ბევრი კითხვაც, რომლებზეც პასუხის გაცემა ამ თემის უფრო სიღრმისეულად შესწავლას საჭიროებს. კერძოდ, აუცილებელია, ჩატარდეს სავსე სამუშაოები და აღიწეროს ქართული ენის დიალექტებში გამოყენებული ცოცხალი ფორმები, დიალექტური ფრაზეოლოგიზმები, ჟარგონები... მიეცეს მათ შესაბამისი კვალიფიკაცია. ამ მხრივ, საჭიროა, სიღრმისეულად იქნას შესწავლილი სხვა ქართველური ენებიც (ჭანური, მეგრული, სვანური), აუცილებელია, გაგრძელდეს ამ ენათა ისტორიულ-შედარებითი კვლევა, მათი შეპირისპირების საფუძველზე გამოვლინდეს ახალი საერთო-ქართველური ფუძეები.

### How it „rains“ in Georgian language and dialects

M.Dolbaia

Summary

The article discusses a part of lexemes, considering the data of Georgian languages and dialects, denoting meteorological events, namely, c'vima “rain” and other words related to it formally and semantically, from one of the important groups of the main lexical fund.

Basic vocabulary and grammatical structure are the basis of every language system. The main lexical fund is a set of words that make up the oldest and most indigenous part of the vocabulary. It is the most essential and stable vocabulary of the language.

The aim of the paper is to describe the bases of the aforementioned lexemes ); to sort them according to semantic groups and structurally analyse each form; As far as possible, new common Georgian bases should be outlined.

### Как идет дождь на грузинском языке и диалектах

М. Долбая

Резюме

С учетом данных грузинского языка и диалектов в статье рассматривается одна из важных групп основного лексического фонда, часть лексики, обозначающая метеорологические явления, а именно дождь и другие слова, связанные с ним формально и семантически. Они располагаются по содержательным (смысловым) группам.

Базовый словарный запас и грамматическая структура являются основой любой языковой системы. Основной лексический фонд – это совокупность слов, составляющих наиболее



древнюю и коренную часть словарного запаса. Это самый существенный и устойчивый словарь языка. «Эта часть обуславливает взаимопонимание и наследственность в языковом коллективе». Цель статьи - описать основы вышеуказанных лексем; рассортировать их по смысловым группам; Объясните этимологию некоторых слов на основе устной речи.

#### ლიტერატურა – References – Литература

1. აბულაძე ილ., ძველი ქართული ენის ლექსიკონი, თბილისი: „მეცნიერება“.
2. თ. გამყრელიძე, ზ. კვიციანი, ი. შადური, ნ. შენგელია, თეორიული ენათმეცნიერების კურსი, თბილისი: „თსუ გამომცემლობა“.
3. ერთელიშვილი ფარნ., ზმნური ფუძეების სტრუქტურისა და ისტორიის საკითხები ქართულში, თბილისი: „თსუ გამომცემლობა“.
4. ნეიმანი ალ., 1978. ქართულ სინონიმთა ლექსიკონი, მე-3 გამოცემა. თბილისი: „განათლება“.
5. სულხან-საბა ორბელიანი (1991-1993). ლექსიკონი ქართული. (ტ. I,II). თბილისი: „მერანი“.
6. სურგულაძე ი., მითოსი, კულტი, რიტუალი საქართველოში. თბილისი.
7. ფენრიხი, ჰ. სარჯველაძე, ზ., ქართველურ ენათა ეტიმოლოგიური ლექსიკონი, მე-2 გამოცემა. თბილისი: სულხან-საბა ორბელიანის სახელობის თბილისის სახელმწიფო პედაგოგიური უნივერსიტეტის გამომცემლობა.
8. ფოჩხუა, ბ., თანამედროვე ქართული ენის იდეოგრაფიული ლექსიკონი, თბილისი: „მეცნიერება“.
9. ო. ქაჯაია. მეგრულ-ქართული ლექსიკონი, (ტ. III), თბილისი: „ნეკერი“.
10. ქეგლ 1950-1964 \_ ქართული ენის განმარტებითი ლექსიკონი (II, III, IV, V, VI, VIII), არნ. ჩიქობავას საერთო რედაქციით, თბილისი.
11. ლლონტი, ალ., ქართულ კილო-თქმათა სიტყვის კონა. თბილისი: „განათლება“.
12. ჯორბენაძე, ბ., ქართული დიალექტოლოგია, ტ. I. თბილისი: „მეცნიერება“.
13. <https://www.ice.ge/liv/liv/index.php>

---

ზედსართავ სახელთა კოლოკაციები ქართულში (დიდი; პატარა)

ზურაბ ოქროპირიძე<sup>1</sup>

Zurab.Okropiridze@tsu.ge

რეზიუმე

სტატიაში გაანალიზებულია ზედსართავი სახელების – დიდისა და პატარას – სემანტიკური გადაწევა, რისთვისაც ჩატარდა კორპუსის ლინგვისტური კვლევა, რომელიც ეფუძნება მასალის მანქანურ დამუშავებას. მოხსენებაში განხილულია ზედსართავი სახელების დიდი / პატარა სალექსიკონო (ქველი) მნიშვნელობები და შედარებულია ქართულიენის ეროვნული კორპუსიდან მიღებულ მასალასთან.

საკვანძო სიტყვები:

კორპუსის ლინგვისტიკა; კოლოკაცია; ზედსართავი სახელი; დიდი; პატარა

შესავალი

ციფრული ტექნოლოგიების განვითარებამ გავლენა იქონია ადამიანების ყოველდღიურ ცხოვრებასა და საქმიანობაზე, მათ შორის ჰუმანიტარულ მეცნიერებებზეც. ოცდამეერთე საუკუნეში შესაძლებელია დიდი ემპირიული ენობრივი მონაცემების მანქანური დამუშავება, რაც სამეცნიერო პოსტულატების გადამოწმების საშუალებას გვაძლევს. [1]

ნაშრომი ემყარება როგორც მეორად (ქართული ენის განმარტებითი ლექსიკონი), ისე პირველად (ქართული ენის ეროვნული კორპუსი) რესურსებს.

ენაში სიტყვები დაჯგუფებულია მეტყველების ნაწილებად, ჩვენი კვლევისთვის მნიშვნელოვანია ზედსართავ სახელთა ჯგუფი. ზედსართავი სახელი დაერთვის არსებით სახელს, მორფოსინტაქსურ დონეზე ზედსართავი სახელი მსაზღვრელად გვევლინება, ხოლო არსებითი სახელი საზღვრულად, ანუ ზედსართავი სახელი გარკვეული ნიშნით განსაზღვრავს არსებით სახელს, შესაბამისად ზედსართავი სახელის ფუნქციაა მოგვაწოდოს ინფორმაცია არსებითი სახელის შესახებ.

სტატიაში განხილულია ორი ზედსართავი სახელი – დიდი და პატარა. ჩვენი ინტერესი გამოიწვია ამ ანტონიმური ზედსართავი სახელების სალექსიკონო მნიშვნელობათა ასიმეტრიამ, კერძოდ ქართული ენის განმარტებით ლექსიკონში [4] ზედსართავ სახელს – დიდს აქვს 14 მნიშვნელობა [4]:

1. ჩვეულებრივზე მეტი სიდიდით, ზომით (მოცულობით, ტევადობით, ფართობით...);
2. ჩვეულებრივზე მეტი, ზომაზე მეტი თავისი ფიზიკური ძალით (სიძლიერით, სისწრაფით) – ძლიერი, მძლავრი;
3. ჩვეულებრივზე მეტი, ზომაზე მეტი თავისი ფსიქიკური ზემოქმედებით (სიღრმით...);
4. ჩვეულებრივზე მეტი, თავისი თვისებით (დადებითით; უარყოფითით);
5. გამორჩეული მნიშვნელობით, – შესამჩნევი, ანგარიშგასაწევი, მნიშვნელოვანი, საყურადღებო, საგულისხმო;
6. რაოდენობით მეტი, – ბევრი, დიდძალი, მრავალრიცხოვანი.;
7. ხანგრძლივი, ბევრი (დრო);
8. მოზრდილი; უფროსი (ასაკით);
9. მსაზღვრელი – ზოგიერთი ადგილის, გეოგრაფიული სახელისა... (შედარებითი სიდიდის გამოსახატავად).

---

<sup>1</sup> თსუ, ზოგადი და გამოყენებითი ენათმეცნიერების პროგრამა, მაგისტრანტი

10. განსაკუთრებული ისტორიული ან პოლიტიკური მნიშვნელობის მქონე – ღირსშესანიშნავი; დიადი;

11. გამოჩენილი, თვალსაჩინო (პიროვნება);
12. მოწიწების ეპითეტი, – მაღალი, წმინდა;
13. წოდებრივი ტიტულის მსაზღვრელი;
14. დიდად, ძალიან;

ხოლო ზედსართავ სახელს – პატარას აქვს 5 მნიშვნელობა, ესენია:

1. ზომით, სიდიდით ჩვეულებრივზე ნაკლები, – მცირე;
2. რაოდენობით არა ბევრი, მცირერიცხოვანი.;
3. მცირე ასაკისა, მცირეწლოვანი;
4. მცირეწლოვანი ბავშვი;
5. მცირე ღირებულებისა, უმნიშვნელო;

ასეთი ასიმეტრია ანტონიმურ მნიშვნელობებს შორის მოულოდნელია, ამიტომ ქართული ენის ეროვნული კორპუსის საშუალებით მოვიძიეთ კოლოკაციები, ანუ „უშუალო კონტექსტუალური თანაარსებობა, გვერდიგვერდ პოზიციება“ [3], რომლებშიც აღნიშნული ზედსართავი სახელები გვხვდებიან და მიღებული მონაცემები დავაჯგუფეთ ლექსიკონში [4] მოცემული შინაარსობრივი ჯგუფების მიხედვით.

კლასტერიზაციამ აჩვენა, რომ როდესაც დიდის და პატარას მნიშვნელობები ურთიერთანტონიმურნი არიან, მაშინ ამ ჯგუფებში შემავალი კოლოკაციებიც ურთიერთანტონიმურნი არიან, ასეთებია:

დიდის I მნიშვნელობა – ჩვეულებრივზე მეტი სიდიდით, ზომით (მოცულობით, ტევადობით, ფართობით...) კოლოკაციები: დიდი სახლი; დიდი ყუთი; დიდი კარადა...

პატარას I მნიშვნელობა – ზომით, სიდიდით ჩვეულებრივზე ნაკლები, – მცირე კოლოკაციები: პატარა სახლი; პატარა ყუთი; პატარა კარადა...

დიდის VI მნიშვნელობა – რაოდენობით მეტი, – ბევრი, დიდძალი, მრავალრიცხოვანი. – ძლიერი, მძლავრი. კოლოკაციები: დიდი რაოდენობით, დიდი მაყუთი; დიდი რაზმი...

პატარას II მნიშვნელობა – რაოდენობით არა ბევრი, მცირერიცხოვანი. კოლოკაციები: პატარა რაოდენობით, პატარა მაყუთი; პატარა რაზმი...

დიდის VIII მნიშვნელობა – მოზრდილი; უფროსი (ასაკით) კოლოკაციები: დიდი მარი; დიდი ბექა...

პატარას III მნიშვნელობა – მცირეწლოვანი ბავშვი კოლოკაციები: პატარა მარი; პატარა ბექა...

დიდის V მნიშვნელობა – გამორჩეული მნიშვნელობით, – შესამჩნევი, ანგარიშგასაწევი, მნიშვნელოვანი, საყურადღებო, საგულისხმო. კოლოკაციები: დიდი ცოდვა; დიდი ცოდნა; დიდი საქმე;

პატარას V მნიშვნელობა – მცირე ღირებულებისა, უმნიშვნელო. კოლოკაციები: დიდი ცოდვა; დიდი ცოდნა; დიდი საქმე; [4]

პატარას მე-4 მნიშვნელობა – „მცირეწლოვანი ბავშვი“ [4], ჩვენს ინტერესში არ ექცევა, რადგან ამ სემანტიკურ ჯგუფში იგულისხმება ისეთი ენობრივი მასალა, რომელშიც აღნიშნულ სიტყვა-ფორმას ვიყენებთ ახალშობილი ბავშვის სახელის მაგიერ (მაგ.: როგორ არის თქვენი პატარა?).

ჩვენი ინტერესის სფეროში დარჩა ის სემანტიკური ჯგუფები, რომლებიც ლექსიკონის მიხედვით მოცემულია მხოლოდ დიდის შემთხვევაში და არაა მოცემული პატარას შემთხვევაში, რასაც ქვემოთ გავაანალიზებთ.

მონაცემთა ლინგვისტური ანალიზი

(მნიშვნელობათა ნუმერაცია ემთხვევა ლექსიკონისას)

ზედსართავი სახელის დიდის მეორე მნიშვნელობაა – ჩვეულებრივზე მეტი, ზომაზე მეტი თავისი ფიზიკური ძალით (სიძლიერით, სისწრაფით) [4] – ძლიერი, მძლავრი. კოლოკაციები: დიდი წარღვნა; დიდი ქარბუქი; დიდი ქარიშხალი; დიდი დარტყმა; დიდი ხმა; დიდი სიცივე; დიდი ყინვა...

აღნიშნულ კოლოკაციებში სიტყვა დიდი გამოხატავს სიძლიერეს, თუმცა ჩვენ ვიცით, რომ სიძლიერეს ანტონიმია სისუსტე, შესაბამისად, თუ დიდს აქვს უნარი გამოხატოს სიძლიერე, ჩნდება ლოგიკური ეჭვი, რომ პატარაც უნდა გამოხატავდეს სისუსტეს. ამის დასამტკიცებლად გადავწყვიტეთ მოცემულ შინაარსობრივ ჯგუფში შემავალ კოლოკაციებში შეგვეცვალა ზედსართავი სახელი დიდი, მისი ანტონიმური ზედსართავი სახელით პატარა, რამაც მოგვცა შემდეგი კოლოკაციები – პატარა დარტყმა და პატარა ხმა, შესაბამისად, ვასკვნით, რომ ზედსართავ სახელ პატარას, ისევე როგორც ზედსართავ სახელ დიდს შეუძლია გამოხატოს მნიშვნელობა – „ჩვეულებრივზე ნაკლები, ზომაზე ნაკლები ფიზიკური ძალით“ ნეიტრალური სემანტიკის მქონე არსებით სახელებთან კოლოკაციებში, ანუ ისეთებთან, რომელნიც თავად არ ატარებენ „მძლავრის“ მნიშვნელობას. დანარჩენ ხუთ შემთხვევას თუ დავაკვირდებით, ვნახავთ, რომ კოლოკანტები ისეთი სიტყვებია, რომლებიც თავის თავში გულისხმობენ სიმძლავრეს, ანუ ამ შემთხვევებში, ზედსართავი სახელი კი არ აძლიერებს არსებითი სახელის სემანტიკას, არამედ, არსებითი სახელის სემანტიკა გადაიწევს ზედსართავ სახელზე. ამ ჰიპოთეზას ადასტურებს ისიც, რომ კორპუსში მოიძებნება ერთი პრეცედენტი კოლოკაციისა პატარა ქარიშხალი, მისი კონტექსტი კი შემდეგია:

„მე ამ სიტუაციაში ვერც რაიმე სიახლეს ვხედავ და ვერც საფრთხეს. ეს არის პატარა ქარიშხალი ჭიქაში.“

სწორედ, ქარიშხლის გამოკვეთილი ძლიერი სემანტიკის გამო, პატარა ქარიშხალი ოქსიმორონად იქცა და მეტაფორულად ტყუილად ატეხილი ალიაქოთის მნიშვნელობას იძენს, რაც მოყვანილი ციტატითაც დასტურდება.

ზედსართავი სახელი დიდის მესამე მნიშვნელობა – ჩვეულებრივზე მეტი, ზომაზე მეტი თავისი ფსიქიკური ზემოქმედებით (სიღრმით...) [4] კოლოკაციები: დიდი სევდა; დიდი ნაღველი; დიდი ეფექტი; დიდი მონატრება; დიდი ვნება; დიდი თანაგრძნობა...

როგორც წინა შემთხვევაში, ისე ამ შემთხვევაშიც, შეგვიძლია თეორიულად ავაწყოთ მოცემული განმარტების ანტონიმური სტრუქტურა – ჩვეულებრივზე ნაკლები, ზომაზე ნაკლები თავისი ფსიქიკური ზემოქმედებით, თუმცა ამ შემთხვევაში, ემპირიული მასალა განსხვავებულ სურათს გვაძლევს, რადგან ფსიქიკური ზემოქმედება ბევრად რთული აქტია ვიდრე ფიზიკური, ამიტომ თუ ჩვენზე რაიმე ფსიქიკურად ზემოქმედებს, რთულია მას სუსტი ვუწოდოთ. თუმცა, ისევე როგორც წინა შემთხვევაში, თუ ამოვარჩევთ ყველაზე უფრო ნეიტრალურ კოლოკაციას ვნახავთ, რომ კოლოკანტად პატარასთანაც გვხვდება სევდა. ხაზგასასმელია, რომ კოლოკაცია – დიდი სევდა დასტურდება 32-ჯერ, ხოლო პატარა სევდა, მხოლოდ ორჯერ, რაც ცხადია, ხაზს უსვამს, რომ ის რაც ფსიქიკურად ჩვენზე მოქმედებს, რთულია სუსტად შევაფასოთ.

ზედსართავი სახელის დიდის მეშვიდე მნიშვნელობა – ხანგრძლივი, ბევრი (დრო) [4]. კოლოკაციები: დიდი ხანი; დიდი დრო...

აქ ზედსართავი სახელი დიდი, ცალსახად, აღწერს დროის სიბევრეს, თუმცა, გაუგებარია ქართული ენის განმარტებით ლექსიკონში დიდის შემთხვევაში თუ ცალკე მნიშვნელობადაა გამოყოფილი მისი ეს სემანტიკური ველი, რატომ არ არის გამოყოფილი პატარას შემთხვევაში. ლექსიკონის მიხედვით, პატარა მაშინ იღებს ცოტა-ს მნიშვნელობას, როცა იგი ზმნისართია, რაც არ შეესაბამება სიმართლეს, რადგან გვაქვს დიდი-ს ანალოგიური ანტონიმური კოლოკაციები – პატარა ხანი; პატარა დრო.., სადაც პატარა ისეთივე ზედსართავი სახელია, როგორც დიდი.

ზედსართავი სახელის დიდი მეცხრე მნიშვნელობა – მსაზღვრელი – ზოგიერთი ადგილის, გეოგრაფიული სახელისა... (შედარებითი სიდიდის გამოსახატავად) [4] კოლოკაციები: დიდი ბრიტანეთი; დიდი ჯიხაიში; დიდი ლიახვი; დიდი მეჯვრისხევი...

აქ ნათელია დიდის მნიშვნელობა და განპირობებულობა, თუმცა, იგივე მნიშვნელობა შეუძლია მიიღოს ზედსართავმა სახელმა პატარამაც, რადგან, მართალია არ არსებობს პატარა ბრიტანეთი, მაგრამ არსებობს პატარა ლიახვი; პატარა მეჯვრისხევი და სხვ.

ზედსართავი სახელის დიდი მეათე მნიშვნელობა – განსაკუთრებული ისტორიული ან პოლიტიკური მნიშვნელობის მქონე – ღირსშესანიშნავი; დიადი. [4] კოლოკაციები: დიდი თურქობა; დიდი გამარჯვება; დიდი ლეკიანობა; დიდი ომი...

ამ შემთხვევაში, ჩვენი აზრით, კონტექსტს აქვს მნიშვნელობა ზედსართავი სახელის დიდის სემანტიკის ასე ფორმირებაში, ანუ ამ ჯგუფის კოლოკაციებში არსებითი სახელებით გადმოცემულია მნიშვნელოვანი მოვლენები. ამას ადასტურებს ზედსართავი სახელის პატარას კოლოკაციები. ქართული ენის ეროვნულ კორპუსში მოიძებნება პატარა თურქობა, მართალია, ეს კოლოკაცია მხოლოდ ერთხელ დასტურდება, მაგრამ ამ შემთხვევაში იგი იღებს თურქების უმნიშვნელო შემოსევის მნიშვნელობას. ასევე მოიძებნება კოლოკაციები – პატარა გამარჯვება; პატარა ომი. ამ და სხვა შემთხვევებშიც, საქმე გვაქვს პატარას სალექსიკონო მნიშვნელობასთან – „მცირე ღირებულებისა, უმნიშვნელო.“ ამის საფუძველზე, ვფიქრობთ, რომ საჭირო არ არის ასე დაკონკრეტება ზედსართავი სახელის დიდის მნიშვნელობასა. აღნიშნულ ზედსართავ სახელს, უდავოდ აქვს უნარი არსებითი სახელი წარმოაჩინოს დიდად, დიდებულად, თუმცა არ აქვს მნიშვნელობა არსებითი სახელი ისტორიულ-პოლიტიკურ ფაქტის გამოხატავს, თუ პიროვნებას.

ზედსართავი სახელის დიდი მეთერთმეტე მნიშვნელობა – გამოჩენილი, თვალსაჩინო (პიროვნება) [4]. კოლოკაციები: დიდი ილია; დიდი ვაჟა; დიდი აკაკი; დიდი შოთა; დიდი მწერალი; დიდი მეცნიერი; დიდი მეუფე; დიდი მღვდელი; დიდი ადამიანი...

ეს მნიშვნელობა საყურადღებოა, რადგან სახელისთვის დიდის დასართავად საკმარისი, მხოლოდ პიროვნების გამოჩენილობა, ან თვალსაჩინოება არ არის, ამ შემთხვევაში დიდი მნიშვნელობა აქვს იმას, რომ პიროვნება მოიხსენიებოდეს დადებით კონოტაციაში. ზედსართავ სახელი პატარაც იღებს მსგავს მნიშვნელობას, როდესაც იგი გვხვდება უარყოფით კონოტაციაში, მაგალითად, კოლოკაციაში – პატარა ადამიანი იგულისხმება რაიმე ნიშნით მდაბალი ადამიანი, მაგალითად, დაბალი ზნეობრივი იმპერატივების მქონე ადამიანი.

უნდა აღინიშნოს, რომ ვინაიდან ამ ტიპის კოლოკაციები კვეთს სხვა მნიშვნელობებსაც, მხოლოდ კოლოკაციები არ გვაძლევს მსჯელობის წარმართვის საფუძველს და საჭიროა უფრო ფართო კონტექსტის, კონკორდანსების შემოწმება.

ზედსართავი სახელის დიდი მეთორმეტე მნიშვნელობა – მოწიწების ეპითეტი, – მაღალი, წმინდა [4]. კოლოკაციები: დიდი ღმერთი; დიდი წმინდანი; დიდი მოციქული; დიდი იმამი; დიდი მუფთი...

ზედსართავი სახელის დიდი მეცამეტე მნიშვნელობა – წოდებრივი ტიტულის მსაზღვრელი [4]. კოლოკაციები: დიდი თავადი; დიდი მოურავი; დიდი სულთანი...

აქაც ერთდროულად შეიძლება დიდი რამდენიმე მნიშვნელობაში გადადიოდეს. მაგალითად, დიდი სულთანი შეიძლება გულისხმობდეს რომელიმე კონკრეტული სულთნის სიდიადეს, ან რომელიმე სულთნისადმი მოწიწების ეპითეტს წარმოადგენდეს. ან იყოს უბრალოდ წოდებრივი ტიტული, მაგალითად, როგორც ეს დასტურდება ოსმალეთის იმპერიაში, სადაც ფადიშაჰი ატარებდა დიდი სულთნის ტიტულს. ვფიქრობ, ეს კოლოკაცია, ჯერ აღნიშნავდა პიროვნების გამორჩეულობას, ღვაწლმოსილებას, ხოლო შემდეგ მიიღო წოდებრივი ტიტულის მნიშვნელობა. უფრო ნაცნობი სიტუაცია რომ აღვწერო, საქართველოს კათოლიკოს პატრიარქი ატარებს დიდი მეუფის ტიტულს („დიდი მეუფე, მამა ჩვენი ... (სახელი)“, თუმცა კოლოკაცია – დიდი მეუფე შეიძლება, როგორც ღვაწლმოსილი ადამიანის აღმნიშვნელი შესიტყვება, გამოვიყენოთ რომელიმე სხვა ეპისკოპოსის მიმართ, ან როგორც მოწიწების ეპითეტი ღმერთის მიმართ.

ზედსართავი სახელის დიდი მეთოთხმეტე მნიშვნელობა – დიდად, ძალიან [4]. კოლოკაციები: დიდი პატივისცემა; დიდი სიხარული; დიდი ერთგულება

აქ დიდი გამოხატავს ინტენსივობას, დიდი მცოდნე იგივეა, რაც ბევრის მცოდნე, ძალიან მცოდნე. დიდი პატივისცემა – ძალიან პატივისცემა, სიხარული – ძალიან სიხარული, დიდი ერთგულება – ძალიან ერთგულება. ამ შინაარსობრივ ჯგუფში არის ისეთი კოლოკაციები, რომლებიც თავადვე არ იძლევიან ნაკლებად ინტენსიურობის გამოხატვის საშუალებას, შესაბამისად, ზედსართავ სახელს დიდს, ვერ ჩავანაცვლებთ პატარით ისე, რომ ამ მნიშვნელობის საპირისპირო მივიღოთ.

ზედსართავი სახელის პატარას შემთხვევაში ყურადღებას იმსახურებს კოლოკაცია – პატარა კახი, რადგან, ძირითადად, მეფეთა სახელები სიდიადესთანაა დაკავშირებული და კოლოკაციებშიც, თითქმის ყოველთვის, სიტყვა დიდთან გვხვდება, მაგალითად, დიდი დავით აღმაშენებელი, დიდი დემეტრე თავდადებული, დიდი ვახტანგ გორგასალი და სხვ. პატარა კახი კი განსხვავდება ზემოთ ჩამოთვლილთაგან, აქ სიტყვა პატარა მეფის ტანმორჩილობას უსვამს ხაზს. როგორც წესი, ასეთი ნიშნებს ხაზს არ უსვამენ, როცა საქმე მონარქს ეხება.

დასკვნა

კვლევამ აჩვენა, რომ ზედსართავ სახელებს არ აქვთ მკაფიო კონვენციური სემანტიკა, ისინი კონტექსტების მიხედვით იცვლიან მნიშვნელობებს. ზედსართავი სახელის მნიშვნელობის გადაწევას, განაპირობებს არსებითი სახელი, ანუ ხშირად, ზედსართავი სახელი კი არ განსაზღვრავს რაიმე ნიშნით არსებით სახელს, არამედ არსებითი სახელის სემანტიკა გადადის ზედსართავ სახელზე.

სემანტიკური არათავსებადობის შემთხვევებში, ანუ მაშინ, როცა არსებითი სახელის მნიშვნელობა თავისთავადაა ზედსართავი სახელის მნიშვნელობის საპირისპირო, კოლოკაციებში ზედსართავი სახელები, მეტაფორულად არის გამოყენებული და კოლოკაცია იღებს ირონიულ, ოქსიმორონულ მნიშვნელობას, მაგალითად – პატარა ქარიშხალი.

კოლოკაციების კვლევამ აჩვენა, რომ ზედსართავი სახელის დიდი ქეგლ-ში წარმოდგენილი მნიშვნელობების ანალოგიით, ზედსართავ სახელს პატარა ორი სალექსიკონო მნიშვნელობა შეიძლება რომ დაემატოს, კერძოდ, ჩვეულებრივზე ნაკლები, ზომაზე ნაკლები თავისი ფიზიკური ძალით (პატარა დარტყმა) და ჩვეულებრივზე ნაკლები, ზომაზე ნაკლები თავის ფსიქიკური ზემოქმედებით (პატარა სევდა).

ამასთან ერთად, ვფიქრობთ, რომ ზედსართავი სახელის დიდი თოთხმეტი მნიშვნელობიდან, რამდენიმე ერთმანეთს გულისხმობს და შესაძლებელია მათი გაერთიანება. კერძოდ, ჩემი აზრით, დიდის სამი მნიშვნელობა – „გამოჩენილი, თვალსაჩინო“ „მოწიწების ეპითეტი“ და „წოდებრივი ტიტულის მსაზღვრელი“ შესაძლებელია გაერთიანდეს დიადის მნიშვნელობის ქვეშ. ვფიქრობთ, უნდა გაერთიანდეს ლექსიკონში წარმოდგენილი შემდეგი მნიშვნელობებიც – „რაოდენობით მეტი“ და „ხანგრძლივი, ბევრი“ ასევე ვფიქრობთ, რომ დიდის ზოგიერთი მნიშვნელობიდან გამომდინარეობს სხვა მნიშვნელობები, კერძოდ მნიშვნელობიდან – „ჩვეულებრივზე მეტი სიდიდით“ გამომდინარეობს „მსაზღვრელი – ზოგიერთი ადგილის, გეოგრაფიული სახელისა“; მნიშვნელობიდან – „დიდად, ძალიან“ – „ჩვეულებრივზე მეტი, თავისი თვისებით“; მნიშვნელობიდან – „გამორჩეული მნიშვნელობით“ – „განსაკუთრებული ისტორიული ან პოლიტიკური მნიშვნელობის მქონე“ [4]

## On Adjective Collocations of Georgian Language (big / small)

Z. Oqropiridze

Summary

The article analyzes the semantic shift of adjectives Big and Small by using linguistic corpus research based on the machine processing of the material. The report examines the dictionary meanings of

adjectives Big/Little in comparison with materials taken from the Georgian national linguistic corpus.

О колокациях имен прилагательных грузинского языка(большой / маленький)

3. Окропиридзе

**Резюме**

В статье проводится анализ семантического сдвига прилагательных Большой и Малый с помощью исследования лингвистического корпуса, основанного на машинной обработке материала. В докладе анализируются словарные значения прилагательных большой/маленький в сравнении с материалами грузинского национального лингвистического корпуса.

**ლიტერატურა – References – Литература**

1. თანდაშვილი მ. 2021: ყამარაული, „შესავალი დიგიტალურ ქართველოლოგიაში“ გამომცემლობა – „ივერიონი“; 2021. 5 – 35
2. თანდაშვილი მ. 2020: „ენისა და კულტურის დოკუმენტირების მეთოდები და ინსტრუმენტები“; გამომცემლობა „უნივერსალი“; 2020. 7 – 15.
3. თანდაშვილი მ., ფურცხვანიძე ზ.; „კორპუსლინგვისტიკა (გლოსარიუმი და რეგისტრი)“; ფრანკფურტის უნივერსიტეტის პრესა; 2014. 31 -33.
4. ქართული ენის განმარტებითი ლექსიკონი ((რვატომეული რედ. ა. ჩიქობავა 1950 – 1964, ახალი რედაქციის რედ. ა. არაბული)
5. Brezina 2018: Sinclair J.; „Statistics in Corpus Linguistics: A Practical Guide“; Cambridge University Press, journal of quantitative linguistics; 2018. 1.
6. Sinclair 1991: Sinclair J.; „Corpus, Concordance, Collocation“;Oxford University Press; 1991. 109 – 121.
7. ინტერნეტრესურსები: <http://tandaschwili.com/>, <http://gnc.gov.ge/gnc/page>, <https://adh.ge/>.

---

გრძნობის გამომხატველი სიტყვის „სიყვარული“ დახასიათება ლექსიკური ფუნქციების მიხედვით

ნუცა ჯვარიძე<sup>1</sup>

[n.jvaridze11@gmail.com](mailto:n.jvaridze11@gmail.com)

რეზიუმე

სტატიაში განხილულია გრძნობის გამომხატველი სიტყვა „სიყვარული“ ლექსიკური ფუნქციების მიხედვით, კერძოდ, მოცემულია ამ ერთეულთან ფორმოზ-სემანტიკურად დაკავშირებული სხვადასხვა ლექსება, იდიომა, გამონათქვამი.

ლექსიკური ფუნქციები ამოსავალ ერთეულთან დაკავშირებული სიტყვებია, რომელიც პირველად დაინერგა 1965 წელს. ის შექმნილია ი.მელჩუკის თეორიის ფარგლებში, სალექსიკონო ერთეულებს შორის არსებულ სემანტიკურ მიმართებათა აღწერისა და სისტემატიზაციისთვის. აუცილებელია როგორც მათი ცოდნა, ისე სწორად გამოყენება

სწორედ ეს არის ენის ცოდნის მთავარი საფუძველი, რაშიც გვეხმარება „განმარტებით-კომბინატორული“ ლექსიკონი, რომელიც საშუალებას გვაძლევს, მთავარი არსის შეუცვლელად, განსხვავებული ენობრივი საშუალებებით, გამოვხატოთ ერთი და იგივე ფაქტები და მოვლენები.

სტატიის მიზანია, აღიწეროს მოცემული ლექსემა ლექსიკური ფუნქციებით, დალაგდეს ისინი გარკვეული კანონზომიერებით და გაანალიზდეს თითოეული ფორმა.

საკვანძო სიტყვები: ლექსიკური ფუნქციები, განმარტებით-კომბინატორული ლექსიკონი.

ლექსიკური ფუნქციები გვეხმარება წარმოვიდგინოთ სიტყვა, არა როგორც დამოუკიდებელი ერთეული, არამედ სხვა სიტყვების გვერდით მყოფი. ასე მყარდება გარკვეული მიმართებები, სადაც თითოეული მათგანი დამოუკიდებელი მნიშვნელობის მქონე და გარკვეული ღირებულების მატარებელია. სწორედ ამ ინფორმაციას იტევს განმარტებით-კომბინატორული ლექსიკონი. იმისთვის, რომ სიტყვას ბუნებრივი იერსახე შევუქმნათ, აუცილებელია ყურადღება გავამახვილოთ მის ლექსიკურ ფუნქციებზე.

ლექსიკური ფუნქციების დანიშნულებაა სიტყვათა სემანტიკის კლასიფიცირება და იმ მიმართებების დადგენა, რომელიც როგორც ერთმანეთის მსგავს, ისე განსხვავებულ ლექსემათა შორის არსებობს. ის ენობრივი ერთეულების შესახებ მნიშვნელოვან ინფორმაციას გვაწვდის, რაც ენის სრულყოფილად შესწავლის ერთ-ერთი წინაპირობაა.

განმარტებით-კომბინატორული ლექსიკონი

ადგილი, სადაც ინახება მონაცემთა უდიდესი ნაწილი სპეციფიკური ენის შესახებ, არის ფორმალურად სემანტიკურად ორიენტირებული ლექსიკონი, სახელწოდებით განმარტებით-კომბინატორული ლექსიკონი (ECD).

ლექსიკური ფუნქციები, რომელიც ენობრივ ერთეულს გვიხასიათებს სხვა სიტყვებთან მიმართებაში, ანუ მოცემულია მისი კოლოკაციები და აზრობრივი მიმართებები, გამოყენების არეალი და ა.შ, თავსდება ამ ლექსიკონში. ენის ცოდნის გაღრმავებისთვის აუცილებელია „განმარტებით-კომბინატორული“ ლექსიკონის შექმნა, რაც საშუალებას მოგვცემს, ერთი და იგივე მოვლენა სხვადასხვა ენობრივი საშუალებებით გამოვხატოთ, რა თქმა უნდა, ძირითადი აზრის შენარჩუნებით. ამ ტიპის ლექსიკონი ქართულში არ გვაქვს, თუმცა

---

<sup>1</sup> თსუ, ზოგადი და გამოყენებითი ენათმეცნიერების პროგრამა, მაგისტრანტი



რუსულში კი, რომელიც შედგენილია გამოჩენილი ენათმეცნიერების მიერ (ჟოლკოვსკი, მელჩუკი, იოდანსკაია, აპრესიანი).

განმარტებით-კომბინატორული ლექსიკონი არის ერთ ენაზე შედგენილი ლექსიკონი, რომელიც მიზნად ისახავს მოცემული ენის სრულ აღწერასა და აღრიცხვას. იგი განსაზღვრავს და აღწერს ენის თითოეულ ლექსემას (თითოეულ სიტყვას) და ფრაზებს (იგულისხმება მრავალი სიტყვისგან შემდგარი მყარი გამონათქვამები და იდიომები).

#### ლექსიკური ფუნქციები

ენის შესაცნობად, გრამატიკული მონაცემების გათვალისწინებასთან ერთად, აუცილებელია ლექსიკური მნიშვნელობების აღწერა, რაც, ბუნებრივია, არაერთ პრობლემას უკავშირდება. სიტყვის ლექსიკური მნიშვნელობების აღწერა კი „ლექსიკურ ფუნქციების“ საშუალებით ხდება, რომელიც პირველად დაინერგა 1965 წელს. ის შექმნილია ი.მელჩუკის თეორიის ფარგლებში, სალექსიკონო ერთეულებს შორის არსებულ სემანტიკურ მიმართებათა აღწერისა და სისტემატიზაციისთვის. [3]

ლექსიკური ფუნქციები ლექსიკური პარადიგმის მსგავს ერთობლიობას ქმნის, რომლის წევრებს მყარი კონსტრუქციული მიმართებები აქვს ამოსავალ სიტყვასთან. ის წარმოადგენს ლექსემათა ყველა შესაძლო კომბინაციას, რათა საფუძვლიანად აღწეროს ამოსავალი სიტყვა, ეს კი, ენის ღრმა ცოდნას უკავშირდება. ლექსიკური ფუნქციები გვეხმარება შევარჩიოთ სწორი სიტყვა, მოცემულ ლექსემათა მნიშვნელობების გამოსახატავად.

ლექსიკური ფუნქციების მთავარი მიზანია, მოაწესრიგოს ის ქაოსი, რომელიც ლექსიკურ ერთეულებსა და ლექსემების უსასრულო რაოდენობას უკავშირდება. ლექსიკური ფუნქცია გულისხმობს სიტყვის ზოგად მნიშვნელობას, რომელიც სხვადასხვაგვარად გამოიხატება, ანუ ის ლექსიკურ ერთეულებს მრავალმხრივ განსაზღვრავს. გარდა ამისა, ამყარებს მიმართებებს, როგორც მსგავს, ისე განსხვავებულ ლექსემებს შორის. მათი საშუალებით სრულიად შესაძლებელია წინადადების სემანტიკური გარდასახვა, მათი აღწერა და განსაზღვრება.

#### სიტყვა „სიყვარულის“ აღწერა

სიყვარული მართლაც განსაკუთრებული გრძნობაა სხვა გრძნობათაგან. ის ადამიანის საჩუქარია მისი დაბადებიდან-გარდაცვალებამდე, გრძნობა, რომლის გარეშეც არსებობა შეუძლებელია. შეყვარებული ადამიანი თავდავიწყებულია, სხვა სამყაროში არსებობს. ის პოეტისთვის შთაგონების წყაროა. „უმღერეთ დედის სიყვარულს – შვილს რომ მოელის ომიდან“ (ი. გრიშ.). გალაკტიონ ტაბიძისთვის საყვარელ ადამიანთან განშორება და შორით ტკბობა ურთიერთობის კავშირის „უმაღლესი სომბოლოა“. „რაც უფრო შორს ხარ - მით უფრო ვტკბები“ სატრფოსთან განშორება მას სიტკობს და სიყვარულს ანიჭებს, რადგან „მე მიყვარს შენსი ოცნება ჩემი“, ანუ მთავარი გმირი თავისი წარმოსახვით, ოცნებით ცხოვრობს და ისე წარმართავს და გააიდულებს თავის ურთიერთობას და სიყვარულს, როგორც მას სურს. [ქეგლ. ერთტომეული. თბილისი, 1986.]

ჩვენთვის საინტერესოა სიყვარულთან დაკავშირებული გამონათქვამები, როგორიცაა:

„სიყვარულით გამსჭვალული“

„სიყვარულით სავსე“

„აღვსილი სიყვარულით“

იდიომებიდან აღსანიშნავია :

„სულში ჩამვრენა“

„მზე და მთვარე ამოსდის“

ლექსემა სიყვარულის აღწერისას გამოყენებული ლექსიკურ ფუნქციათა ჩამონათვალი [ლ. ვანერი 1996 : 37-102].

1. Syn (Synonymum) – (სინონიმი), ეს არის სიტყვა ან ფრაზა, რომელიც იმავე მნიშვნელობას გამოხატავს, რასაც მთავარი სიტყვა დამისმსგავსად იმავე მეტყველების ნაწილს გამოხატავს,

მაგ.: უმაღლესი გრძნობა „ტრფობა“

2. Anti(Antonymum) - სიტყვა ან ფრაზა, რომელიც აღნიშნავს L ამოსავალი სიტყვის საპირისპირო მნიშვნელობას,  
მაგ.: სიყვარული = სიძულვილი
3. Genus(Gener) - ლექსიკური ფუნქცია, რომლითაც ვასახელებთ მთავარი სიტყვის გვარს, ცნებას,  
მაგ.: სიყვარული = გრძნობა
4. Figur(Figuraliter)- ]სტანდარტული მეტაფორა L ამოსავალი ფორმისთვის,  
მაგ.:  
სიყვარულით მთვრალი  
სიყვარულის ცეცხლი  
სიყვარულის ძალა  
სიყვარულით დაფრინავს
5. Der (So, A<sub>0</sub>, Adv<sub>0</sub>, V<sub>0</sub> )-სინტაქსური დერივატი: სიტყვა, რომელიც შინაარსით თანხვედრა L ამოსავალ ერთეულს, მაგრამ ეკუთვნის სხვა მეტყველების ნაწილს. ოთხი ძირითადი მეტყველების ნაწილის შესაბამისად: So-არსებითისახელი, A<sub>0</sub>-ზედსართავისახელი, Adv<sub>0</sub>-ზმნიზედა, V<sub>0</sub>-ზმნა:  
A<sub>0</sub> - უსიყვარულო, სასიყვარულო, შეყვარებული, საყვარელი  
Adv<sub>0</sub>- უსიყვარულოდ, სასიყვარულოდ, საყვარლად  
V<sub>0</sub>- შეიყვარებს, უყვარს, ყვარობს
6. A<sub>1</sub>-სიღრმისეული i-ური აქტანტის განმსაზღვრელი თვისება L-ით აღნიშნულ სიტუაციაში მისი (აქტანტის) როლის შესაბამისად,  
მაგ.: A<sub>1</sub>- შეყვარებული  
[Magn + A<sub>1</sub>] – აღვსილი, აღსავსე
7. Able:(Habilis)- „შემძლე, უნარიანი“-L ამოსავალი ერთეულის შესაბამისი სიღრმისეული სინტაქსური კონსტრუქციის სავარაუდო i-ური აქტანტის ტიპური თვისების დასახელება მისი პოტენციური როლის მიხედვით,  
მაგ.: მოსიყვარულე
8. Magni:(Magnus)- „დიდი, მსხვილი, მნიშვნელოვანი“- ნიშნავს ‘მალიან’, ‘მაღალი ხარისხით’, ‘ინტენსიურად’ -L ამოსავალი ერთეულის შესაბამისი სიღრმისეული სინტაქსური კონსტრუქციის სავარაუდო i-ური აქტანტის მაღალი ინტენსივობა,  
მაგ.: ძლიერი, უსაზღვრო
9. Ver(Verus) -[„ჭეშმარიტი“] -L ლექსემის ატრიბუტი, რომელიც შეესაბამება ლექსემის სტანდარტულ მოთხოვნებს/დანიშნულებას. ფუნქცია იხმარება არსებით სახელებთან:  
მაგ.: ნამდვილი
10. Bon(Bonus) - „კარგი“ -L ლექსემის ატრიბუტი, რომელიც L ლექსემას დადებითად ახასიათებს. ფუნქცია იხმარება არსებით სახელებთან:  
მაგ.: სუფთა, წრფელი
11. Adv<sub>i</sub> - L ლექსემის სიღრმისეული სინტაქსური i-ური აქტანტის მოქმედების სტანდარტული განსაზღვრა, რომელიც გამოხატულია ზმნიზედით:  
მაგ.: სიყვარულით
12. Copul-[მაკავშირებელი]’ზმნა, რომლის მნიშვნელობაც L ლექსემას ‘ყოფნა’ ზმნასთან აკავშირებს.  
მაგ.: სიყვარულია
13. Funci(Function) -,„მესრულება“ functionare „მოქმედება, მუშაობა“.  
Funco- ზმნა, რომელსაც საერთოდ არ გააჩნია აქტანტები - „ადამიანის გულში არსებობა“
14. Incep(Incipere) -„დაწყება“ -L ლექსემასთან დაკავშირებული მოქმედების დასაწყისი.  
მაგ.: სიყვარულის ჩასახვა

15. Cont(Continuare) - „გაგრძელება“ - L ლექსემასთან დაკავშირებული დაწყებული მოქმედების გაგრძელება.

ContPredPlus -სიყვარულის გაძლიერება

ContPredminus -სიყვარულის შესუსტება, სიყვარულის განელება

16. Fin(Finire) - „დამთავრება“ - L ლექსემასთან დაკავშირებული დაწყებული მოქმედების დამთავრება.

FinFunc1 -სიყვარულის გაქრობა

17. Liqu(Liquidare) - „ლიკვიდაცია“ - ლიკვიდაცია (არყოფნის კაუზაცია). არ მიეცეს სიტუაციას განვითარების შესაძლებლობა, L სიტუაციის შეწყვეტა.

Liqui Oper2 - სიყვარულის ჩაკვლა

18. Facti(Factum) - „ფაქტი“ - Facti ფუნქცია Funci ფუნქციის მსგავსია. განსხვავება ისაა, რომ Funci შინაარსს მოკლებული დამხმარე ზმნითაა გამოხატული, Facti კი გულისხმობს L-ით აღნიშნული მოთხოვნის რეალიზაციას. ეს მოთხოვნები სხვადასხვა მნიშვნელობებისთვის სხვადასხვაა. მაგალითად, არტეფაქტის „რეალიზაცია“ არის არტეფაქტის გამოყენება მისი პირდაპირი მნიშვნელობით,

Facto-გამართლება

19. Manif(Manifestare) - „გამომჟღავნება, გამოვლენა“ - ზმნა, რომლის L (I სიღრმისეული სინტაქსური აქტანტი) ვლინდება, ცხადი ხდება II სიღრმისეულ სინტაქსურ აქტანტში.

მაგ.: გამომჟღავნება, აღიარება

20. Sympt(Symptoma) - „სიმპტომი, რისამე ნიშანი“ - ზმნური გამონათქვამი, რომელიც აღნიშნავს ფიზიკურ რეაქციას ადამიანის ემოციური ან ფიზიკური მდგომარეობის შესახებ. Sympt ფუნქცია ორარგუმენტანია.

მაგ.: კოცნა, გადახვევა, ჩახუტება, მოფერება

21. Degrad(Degradare) - (გაუარესება, დეგრადირება) მთავარ სიტყვა შეიძლება იყოს ნებისმიერი სახელი, რომელიც შეესატყვისება ზმნას, ის კი რაღაცის გაუარესებისკენ მიგვიითითებს.

მაგ.: გულისაცრეუბა, გადაყვარება

22. Destr(Destruere) - „ნგრევა, განადგურება“ - დესტრუქცია/დაზიანება -L-ის დესტრუქციული ქმედების ტიპური დასახელება:

მაგ.: ღალატი

დასკვნა

როგორც ვიცით, ქართული ენის ლექსიკა მრავალფეროვანი და ზღვა ინფორმაციის მატარებელია. ლექსიკის სრულფასოვნად შესწავლისთვის მნიშვნელოვანია თითოეულ ლექსემაზე დაკვირვება. ისინი მნიშვნელოვან ინფორმაციას გვაწვდიან თითოეული ლექსემის შესახებ.

მელჩუკს და მის ჯგუფს გამოყოფილი აქვთ 68 ლექსიკური ფუნქცია. ყველა სიტყვის აღწერა ხდება ლექსიკურ ფუნქციათა სხვადასხვა რაოდენობით. ენობრივ ერთეულს, როგორც წესი, ყველა ლექსიკური ფუნქცია არ ესადაგება, რადგან ზოგი სახელს მიემართება, ზოგი ზმნას, ზოგი ზედსართავს და ასე შემდეგ.

სტატიაში შევეცადე, წარმომეჩინა ჩემ მიერ მოყვანილი სიტყვის სრული ლექსიკურ ფუნქციათა ჩამონათვალი. ვფიქრობ, აღნიშნულ ლექსემათა შესწავლამ ამ კუთხით არა მარტო შეავსო და გაამდიდრა ენა, არამედ გააჩინა ბევრი კითხვა, რომლებზეც პასუხის გაცემა ამ თემის უფრო სიღრმისეულად შესწავლას საჭიროებს. კერძოდ, აუცილებელია უფრო მეტი ყურადღება დაეთმოს თითოეული ლექსემის მნიშვნელობას, მათ კონტაქტს, მიმართებებს და კავშირებს სხვა სიტყვებთან.

## Expressing Word of Emotion “Love” According to the Lexical Functions

N. Jvaridze

Summary

The article discusses the word expressing feelings "love" according to its lexical functions, in particular, various poems, idioms, sayings related to this unit are presented.

Lexical functions are words associated with a source unit, first introduced in 1965. It was created within the framework of I. Melchuk's theory, for describing and systematizing semantic relations between lexical units. It is necessary both to know them and to use them correctly.

This is the main basis of language knowledge, which is helped by the "explanatory-combinatorial" dictionary, which allows us, without changing the main essence, to express the same facts and events with different linguistic means.

The purpose of the article is to describe a given lexeme with lexical functions, arrange them according to certain regularities and analyze each form.

### Характеристика слова, Выражающего чувство "любовь" по лексическим функциям

Н. Джваридзе

#### Резюме

В статье рассматривается слово, выражающее чувство, “любовь” по его лексическим функциям, в частности, представлены различные стихотворения, идиомы, поговорки, связанные с этой единицей.

Лексические функции — это слова, связанные с исходной единицей, впервые введенные в 1965 году. Он создан в рамках теории И. Мельчука для описания и систематизации семантических отношений между лексическими единицами.

Их необходимо и знать, и правильно ими пользоваться Это главная основа языковых знаний, чему помогает «толково-комбинаторный» словарь, позволяющий, не изменяя основной сути, выражать одни и те же факты и события разными языковыми средствами.

Цель статьи - описать данную лексему с лексическими функциями, расположить их по определенным закономерностям и проанализировать каждую форму.

### ლიტერატურა – References – Литература

1. დოკვაძე ე. „თოვლის“ აღწერა ლექსიკური ფუნქციებით. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი არჩილ ელიაშვილის მართვის ინსტიტუტის შრომათა კრებული #16, თბილისი, 2012. გვ. 171-176.
2. მარგველანი I., „სალექსიკონო ერთეულების აღწერა“, კრებ: “машинный перевод” изд-ство „მეცნიერება“, თბილისი. XIII : 3, გვ. 110-140
3. Mel’čuk I. 2006 The Explanatory Combinatorial Dictionary as the Key Tool in Machine Translation.
4. Wanner L., ed., Lexical Functions in Lexicography and Natural language Processing, Amsterdam / Philadelphia : Benjamins, 1996 გვ. 37-102.
5. Wanner L., ed., Lexical Functions in Lexicography and Natural language Processing, Amsterdam / Philadelphia : Benjamins, 1996 გვ. 37-102.
6. [https://en.wikipedia.org/wiki/Explanatory\\_combinatorial\\_dictionary?fbclid=IwAR1vfnRpWN8HWn\\_uCdSfwOnipSIyBduyyIXD5C19MjF4Qt6GaP5Rb2ypE4](https://en.wikipedia.org/wiki/Explanatory_combinatorial_dictionary?fbclid=IwAR1vfnRpWN8HWn_uCdSfwOnipSIyBduyyIXD5C19MjF4Qt6GaP5Rb2ypE4)

խնդրեմ

**MEMORY**

**ПАМЯТЬ**



## ოთარ ლაბაძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის არჩილ ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტს კიდევ ერთი ღვაწლმოსილი თანამშრომელი გამოაკლდა. გარდაიცვალა ინსტიტუტის ინფორმაციის გარდაქმნის პრობლემების განყოფილების უფროსი, მთავარი მეცნიერი თანამშრომელი, ინსტიტუტის სამეცნიერო საბჭოს წევრი, ინსტიტუტის შრომათა კრებულის რედკოლეგიის წევრი, ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი, საინჟინრო აკადემიის აკადემიკოსი ოთარ ლაბაძე.

ბატონი ოთარ ლაბაძე დაიბადა 1946 წლის 3 სექტემბერს თბილისში.

1965 წელს თბილისის მე-2 საშუალო სკოლის დამთავრების შემდეგ მან სწავლა განაგრძო მოსკოვის ენერგეტიკის ინსტიტუტში, რომელიც 1971 წელს დაამთავრა სპეციალობით „ელექტრული სისტემების კიბერნეტიკა“.

1974-1978 წლებში ბატონი ოთარი სწავლობდა მოსკოვის მეტალურგიული მანქანათმშენებლობის საკავშირო სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტის ასპირანტურის დაუსწრებელ განყოფილებაზე.

1982 წელს კიევის ავტომატიკის ინსტიტუტში მან დაიცვა საკანდიდატო დისერტაცია.

1971-1977 წლებში ოთარ ლაბაძე მუშაობდა რუსთავის სამეცნიერო-საპროექტო ინსტიტუტ „ავტომატრეწვის“ წარმოების პროცესების მართვის ავტომატიზებული სისტემების განყოფილებაში ჯერ ინჟინრის, ხოლო შემდეგ - უფროსი ინჟინრის თანამდებობაზე, ხოლო 1977 წლიდან გარდაცვალებამდე - საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის არჩილ ელიაშვილის სახელობის მართვის სისტემების ინსტიტუტში სხვადასხვა სამეცნიერო თანამდებობებზე, ასევე ლაბორატორიის გამგედ, 2006 წლიდან კი ხელმძღვანელობდა ინსტიტუტის ინფორმაციის გარდაქმნის პრობლემების განყოფილებას.

2003 წელს საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში ოთარ ლაბაძემ წარმატებით დაიცვა სადოქტორო დისერტაცია: „მექანიკური პარამეტრების ახალი უკონტაქტო ელექტრომაგნიტური პირველადი გარდამქმნელების აგების პრინციპები“.

ოთარ ლაბაძის სამეცნიერო ინტერესების სფეროებს შეადგენდა: ავტომატიკა, ტელემექანიკა, პირველადი გარდამქმნელების და გარდამსახების დამუშავება და აგება, ტექნოლოგიური პროცესების ავტომატიზაცია, ადაპტური და მოთვალთვალე მართვის სისტემები.

იგი ავტორია 160-მდე სამეცნიერო ნაშრომის, მიღებული აქვს 75 პატენტი გამოგონებაზე, მონაწილეობდა არაერთ ადგილობრივ და საერთაშორისო სამეცნიერო ფორუმში - კონფერენციებსა და სიმპოზიუმებში. გამოქვეყნებული აქვს 2 მონოგრაფია და 3 სახელმძღვანელო:

1. ო. ლაბაძე. „მოკლე ცნობარი მათემატიკაში (ცნებები, განსაზღვრებები და ამოხსნის მეთოდები)“. გამომცემლობა ინტელექტი, თბილისი 2007 წ;
2. ო. ლაბაძე. „ახალი ელექტრომაგნიტური გარდამქმნელების და მართვის სისტემების აგების პრინციპები“. დამტკიცებულია არჩილ ელიაშვილის სახელობის მართვის სისტემების ინსტიტუტის სამეცნიერო საბჭოს მიერ. თბილისი, 2009 წ.;
3. ო. ლაბაძე. „მართვის სისტემების ტექნიკური საშუალებები“. დამტკიცებულია სახელმძღვანელოდ სტუ-ს სასწავლო-მეთოდური საბჭოს მიერ. თბილისი 2007 წ.;
4. ო. ლაბაძე. „ელექტრული წრედები“ (I ნაწილი). თბილისი, 2009 წ.;
5. ო. ლაბაძე. „სიგნალების თეორია“ (სალექციო კურსი). თბილისი, 2012 წ.

მეტად ნაყოფიერ სამეცნიერო მუშაობას ბატონი ოთარი პედაგოგიურ საქმიანობასაც წარმატებით უთავსებდა. 1984-1990 წლებში იგი იყო მიწვეული პროფესორი საქართველოს

პოლიტექნიკური ინსტიტუტის ავტომატიკისა და გამოთვლითი ტექნიკის ფაკულტეტზე, 2004-2009 წლებში – საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის საინჟინრო კიბერნეტიკისა და ხელსაწყოთმშენებლობის დეპარტამენტში, ხოლო 2013-2015 წლებში ამავე უნივერსიტეტის ბიზნეს ინჟინერინგის ფაკულტეტის მაგისტრატურაში კითხულობდა საგნებს: „მონაცემთა ბაზების მენეჯმენტი“ და „გადაწყვეტილებათა მიღების მოდელები“, ხელმძღვანელობდა საბაკალავრო და სამაგისტრო ნაშრომების მომზადებას.

2009 წელს კონკურსის წესით ბატონი ოთარი არჩეულ იქნა და 2009-2012 წლებში შეთავსებით მუშაობდა თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ზუსტ და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა ფაკულტეტის ელექტრონიკისა და ელექტრონული ინჟინერიის მიმართულების ასოცირებული პროფესორის თანამდებობაზე.

2009-2015 წლებში ოთარ ლაბაძეს ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ზუსტ და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა ფაკულტეტზე მიჰყავდა სასწავლო სალექციო კურსები: „სიგნალების თეორია“, „წრფივი სისტემები“ და „ელექტრონული წრედები“, აგრეთვე „ელექტრონიკის საფუძვლების“ პრაქტიკული კურსი.

მრეწველობაში გამოგონების დანერგვისათვის ბატონი ოთარი დაჯილდოებული იყო მედლით: „სსრკ 1981 წლის გამომგონებელი“, აგრეთვე – სსრკ სახალხო მეურნეობის მიღწევათა გამოფენის ვერცხლის მედლით (1987 წ.). 1984 წელს მან გაიმარჯვა საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის გამომგონებელთა და რაციონალიზატორთა საკავშირო საზოგადოების გაერთიანებული საბჭოს მიერ გამოცხადებულ კონკურსში საუკეთესო ტექნიკურ გამოგონებაზე.

განსაკუთრებული აღნიშვნის ღირსია ოთარ ლაბაძის დამოკიდებულება ასპირანტების, დოქტორანტებისა და ახალგაზრდა მეცნიერებისადმი. მის განყოფილებაში და მისი უშუალო ხელმძღვანელობით მომზადდა და დაცული იქნა ინსტიტუტის თანამშრომელთა საკანდიდატო დისერტაციები. იგი იყო მეტად უშურველი მათთვის ცოდნისა და გამოცდილები გაზიარების, სამეცნიერო ცნობისწადილის გაღვივებისა და სამეცნიერო უნარის-ჩვევების გამომუშავებას საქმეში, საიმედო და სანდო ხელმძღვანელი, ოპონენტი და რეცენზენტი.

ბატონი ოთარი გამოირჩეოდა ღრმა ცოდნითა და კვალიფიკაციით, მიზანდასახულობით და მიზანსწრაფულობით, საქმისადმი უაღრესად კეთილსინდისიერი დამოკიდებულებითა და თავდადებით, პასუხისმგებლობის მაღალი გრძნობით, პრინციპულობით, შრომისმოყვარეობით, ფართო ინტერესებითა და დიაპაზონით, ენერგიულობით, კრეატიული ბუნებით, ოპტიმიზმითა და ენთუზიაზმით.

იმავდროულად ოთარ ლაბაძე იყო გულითადი, გულისხმიერი და გულდია, კეთილი და ერთგული ადამიანი, საუკეთესო თანამშრომელი, მეგობარი, ნათესავი. დასანანია მისი ნაადრევი სიკვდილი. იგი ძალიან დააკლდება ინსტიტუტს, ოჯახს, მეგობრებს.

მართვის სისტემების ინსტიტუტის თანამშრომლები მუდამ პატივისცემით, სითბოთი და სიყვარულით გაიხსენებენ ბატონ ოთარ ლაბაძეს.