

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**



**№24, 2020**

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**

**№24, 2020**

თბილისი \* TBILISI \* ТБИЛИСИ

შრომათა კრებულში ძირითადად დაბეჭდილია ინსტიტუტის თანამშრომელთა მიერ 2020 წელს ჩატარებული სამეცნიერო კვლევების შედეგები.

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 2020 year are given 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 2020 году. 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)

ვ. გაბისონია, ტ.მ.კ.

ო. ლაბაძე, ტ.მ.დ.

მ. მიქელაძე, აკად. დოქტორი

გ. ჩიკოიძე, ფილოლ. მ.დ., ფიზ. მათ. მ.კ.

ა. ჩუტკერაშვილი, აკად. დოქტორი

ნ. მირიანაშვილი, ტ.მ.დ.

ნ. ჯავაშვილი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი:

ა. ფრანგიშვილი, აკადემიკოსი

ზ. გასიტაშვილი, პროფესორი

ზ. წვერაძე, პროფესორი

აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

ა. ბარდაველიძე, პროფესორი

იოჰანეს კეპლერის უნივერსიტეტი, ლინცი, ავსტრია

თ. კუცია, პრევატ-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

Frequency Domain Parameter Identification of Expanded Wiener Model .....	7
<i>B. Shanshiashvili, N. Kavlashvili, B. Avazneli</i>	
Два критерия оптимальности в стратегической игре „Бой стрелков“ .....	14
<i>В. Хуцишвили</i>	
განრიგთა თეორიის ერთი ამოცანის მათემატიკური მოდელი განუზღვრელობის პირობებში .....	18
<i>ქ. კუთხაშვილი, ვ. გაბისონია</i>	
Plant Optimal Work Plan Estimation Using Multicriteria Optimization .....	24
<i>D. Sikharulidze, V. Gabisonia, N. Dadiani</i>	
საშრობ აპარატში დაგვიანების კომპენსაციის ადაპტური მართვის ალგორითმი .....	28
<i>ა. ბარდაველიძე, ხ. ბარდაველიძე</i>	
არაზომადი სიმრავლეების შესახებ .....	33
<i>ქ. ოშიაძე, ნ. დადიანი, დ. ცინცაძე</i>	

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

Selection, application and experimental testing using quantitative methods for determination of synergy rate and biological effectiveness of synergistic insecticidal composition against the Brown marmorated stink bug ( <i>Halyomorpha Halys</i> ) .....	39
<i>M. Amobokadze, N. Lomidze, A. Chirakadze, Z. Buachidze, A. Gigineishvili, M. Tsverava, G. Kacharava, I. Khomeriki, M. Taktakishvili</i>	
Quantitative in vivo determination of the biological effectiveness of a new combined insecticidal composition against the <i>Calliptamus italicus</i> , <i>Leptinotarsa decemlineata</i> , <i>Zabrus tenebrioides elongatus</i> , <i>Anisoplia alazanica</i> and <i>Mayetiola destructor</i> and proof of the reliability of the obtained experimental data using variation criteria .....	43
<i>M. Amobokadze, N. Lomidze, A. Chirakadze, Z. Buachidze, A. Gigineishvili, N. Kavlashvili, M. Tsverava, G. Kacharava, I. Khomeriki, M. Taktakishvili</i>	
დიდი მუდმივი დენის კალიბრატორების აგების ზოგიერთი ძირითადი ტენდენცია .....	47
<i>ნ. ყავლაშვილი, ლ. გვარამაძე, ო. ლაბაძე, პ. სტავრიანიძე, თ. საანიშვილი, გ. კიკნაძე</i>	
ვერტიკალური ზედაპირის ხორკლიანობის გავლენა თბოგაცემაზე წყლის აფსკის ჩამოდინების პირობებში .....	51
<i>თ. მაგრაქველიძე, გ. ვიგინიშვილი, ა. მიქაშვილი, ტ. კობერიძე, ხ. ლომიძე</i>	
საქართველოს ელექტროენერგიით მომარაგებისა და ეკოლოგიის ზოგიერთი პრობლემის შესახებ .....	56
<i>თ. მაგრაქველიძე, ხ. ლომიძე, მ. ჯანიკაშვილი, ი. არჩვაძე, ლ. მაკრახიძე</i>	
გათბობისა და ჰაერის კონდიცირების სისტემებში ენერჯის განახლებადი წყაროების გამოყენების პერსპექტივები .....	61
<i>ნ. მირიანაშვილი, ნ. გმელიშვილი, ქ. კვირიკაშვილი, ვ. ხათაშვილი</i>	
მრავალსახსრული სამრეწველო რობოტი კუთხური მმართველი კოორდინატით .....	65
<i>დ. ფურცხვანიძე, მ. ცერცვაძე, პ. სტავრიანიძე, ვ. ბახტაძე, გ. კიკნაძე, თ. ხუციშვილი, ქ. კვირიკაშვილი, მ. გეგეჭკორი</i>	
წყალბადის სისტემების დანერგვა სატრანსპორტო ინდუსტრიაში .....	69
<i>ლ. მაკრახიძე</i>	

# ინფორმატიკა – Informatics – Информатика

“შინაარსი↔ტექსტი” მოდელის განვითარების ზოგი ასპექტი.....75 <i>გ. ჩიკოიძე</i>	75
ზმნური ფუძეები განმარტებით-კომბინატორულ ლექსიკონში .....82 <i>ნ. ჯავახიშვილი</i>	82
GeWordNet თესაურუსის გამოყენება ქართულენოვან დიალოგურ სისტემაში .....90 <i>ლ. ლორთქიფანიძე</i>	90
ქართული ენის კომბინატორული ლექსიკონი.....98 <i>ლ. ლორთქიფანიძე</i>	98
სიტყვების ლექსიკური ფუნქციებით აღწერის ნიმუშები ქართულში.....105 <i>ნ. ამირეზაშვილი</i>	105
სიტყვა „ხელოვნების“ ლექსიკური გარემოს განსაზღვრა.....111 <i>ლ. სამსონაძე</i>	111
On Particle ai in Georgian Language Information Structure .....117 <i>A. Chutkerashvili</i>	117
In-Memory მონაცემთა ბაზები .....121 <i>მ. კლოიანი</i>	121
სამედიცინო დიაგნოსტიკის ამოცანის გადაწყვეტა “K უახლოესი მეზობლის” ალგორითმის გამოყენებით .....128 <i>ნ. ანანიაშვილი, მ. მიქელაძე</i>	128
Применение деревьев решений в задаче дифференциальной диагностики форм сахарного диабета .....133 <i>М. Микеладзе, В. Радзиевский</i>	133
Интеллектуальная диагностическая подсистема поддержки принятия врачебного решения .....139 <i>Д. Радзиевский</i>	139
დაავადების გამოვლინების ინდივიდუალური თავისებურებების გათვალისწინებით სამკურნალო პრეპარატების შერჩევის ინტელექტუალური სისტემა .....144 <i>ვ. რაძიევსკი, მ. მიქელაძე, დ. რაძიევსკი, ი. ოკონიანი</i>	144
Метод сокращения перебора при поиске информации в базе знаний и его использование в задачах медицинской диагностики .....150 <i>В. Радзиевский, М. Микеладзе, Н. Джалябова, Д. Радзиевский, И. Оконян</i>	150
ციფრული ჰუმანიტარიის აქტუალური ამოცანის - სამეცნიერო ელექტრონული გამოცემების თავისებურებები.....156 <i>მ. ცერცვაძე, ვ. ბახტაძე</i>	156
სატელეფონო ცენტრში ზარების რიგების მართვის ანალიტიკური სისტემა.....163 <i>ა. კობიაშვილი, ნ. დარჩიაშვილი</i>	163
მიმდინარე სასამართლო პროცესების ელექტრონული განაწილება .....171 <i>ზ. მაისურაძე, ა. კობიაშვილი, მ. გეგეჭკორი</i>	171
ღრმა სწავლების მეთოდოლოგიის გამოყენება CoVID 19 სტატისტიკური მონაცემის ანალიზისათვის საქართველოს მაგალითზე .....177 <i>თ. ბახტაძე, ი. როდონია, მ. გეგეჭკორი</i>	177
ავტონეკოდერი და ლოჯისტიკური რეგრესია: საკრედიტო ბარათების თაღლითობის გამოვლენის ალგორითმები და მათი შედეგები .....185 <i>მ. ცინცაძე, მ. ხაჩიძე, ლ. მამისაშვილი, ე. შიშნიაშვილი, ა. თურქიაშვილი</i>	185

მართვის თეორია

**CONTROL THEORY**

**ТЕОРИЯ УПРАВЛЕНИЯ**



---

# Frequency domain parameter identification of expanded Wiener model

*Besarion Shanshiashvili, Nugzar Kavlashvili, Beqa Avazneli*

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

## Abstract

A problem of parameter identification of nonlinear manufacturing systems described by expanded Wiener model, linear elements of which are described by the ordinary differential equation, in the frequency domain is considered. Method of parameter identification in steady state at the input sinusoidal influences is proposed. The solution of the problem of parameter identification is reduced to the solution of the systems of algebraic equations by using the Fourier approximation. The parameters estimations are received by the least squares method. Reliability of the received results is investigated in industrial conditions at the presence of noise.

## Key words:

*identification, parameter, nonlinear system, model, sinusoidal.*

## 1. Introduction

The construction of the system mathematical model by using the system identification methods is connected with the solution of different problems depending on the a priori information about the system [1]. The construction of the system's optimal model in many respects depends on successfully solving the parameter identification problem at known model structure.

Identification of systems is based basically on the linear stationary models, which are widely applied to manufacturing processes. At the same time, many of the current dynamic processes in industrial systems bear the nonlinear character. At the research of the nonlinear systems principally new events appear, which are not observed in the linear systems. Application of linear or linearized models during formalization of the regularity of the process proceeding in nonlinear systems, is possible only in the limited area of change of variables. The research of physical events and their features in the nonlinear systems can be examined and adequately characterized only by using the nonlinear dynamic models.

The nonlinear systems are generally represented by block-oriented models consisting of different modifications of the Hammerstein and Wiener models [2] or general models, in particular, the Volterra [3] and Wiener series [4] and the Kolmogorov-Gabor [5-6] continuous and discrete polynomials.

Block-oriented models are successfully used in many fields of the manufacturing processes to identify systems of mining and smelting, ore dressing, chemical, mechanical, biological processes and etc.

At the representation of nonlinear systems by the block-oriented models, most of the existing developed methods of parameter identification are developed for the simple Hammerstein and Wiener models [7-12]. Comparatively small quantity of works are devoted to the identification of parameters of other block-oriented models [13-17]. This can be explained by the fact that the majority of such models, except for the Hammerstein models (simple and generalized) are nonlinear relative to the parameters, and also because of the large number of estimated parameters. Therefore, the solution of the problem of parameter identification is analytically possible only for some block-oriented low order models.

In this work the problem of parameter identification of nonlinear dynamic systems represented by expanded Wiener model is considered, where linear elements of model are described by the ordinary differential equation of first order. Despite their simplicity, such models are widely used for the modelling of manufacturing processes.

## 2. Classes of model and input signals

Expanded Wiener model (fig. 1) is generally described by the following equation:

$$y(t) = c_0 + c_1 W_1(p)u(t) + [W_2(p)u(t)][W_3(p)u(t)], \quad (1)$$



where  $W_i(p)$  ( $i=1,2,3$ ) are transfer functions of the linear dynamic systems in the operational form, i.e.  $p$  denotes the differentiation operation -  $p \equiv d/dt$ .  $u(t)$  and  $y(t)$  are input and output variables, correspondingly.

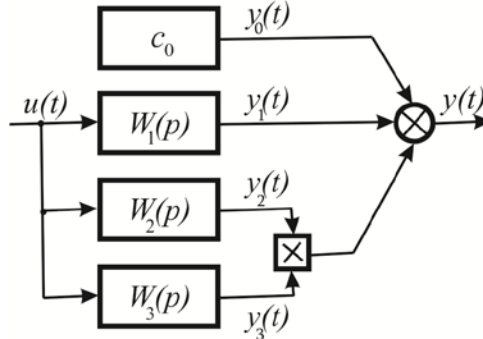


Fig.1. Expanded Wiener model

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

$$u(t) = A \cos \omega t . \tag{2}$$

### 3. The mathematical description of the forced oscillation

When a sinusoidal signal acts on the input of the linear element, then at the output of the element in the steady state the sinusoidal signal with same frequency and with the amplitude and phase, which depends on the frequency, is obtained. In this case, the sinusoidal signal with doubled frequency is obtained on the output of quadrator. These facts were used to determine analytical expressions of the forced oscillations on the output of models.

Let's consider the case when the transfer functions of the model's linear dynamic parts are defined by the expression:

$$W_i(p) = \frac{1}{T_i p + 1} \quad (i = 1,2,3), \tag{3}$$

where  $T_i > 0$  ( $i = 1,2,3$ ) - time constants.

Let's consider the peculiarities of obtaining of the mathematical expressions describing the forced oscillations obtained on the model output.

The following differential equation must be solved, when a signal type (2) is acted on the model input, for determining the output signal of the first linear dynamic element of the model:

$$T_1 \frac{dy_1}{dt} + y_1 = A \cos \omega t . \tag{4}$$

General solution of equation (4) is as follows:

$$y_1 = \frac{A}{1 + \omega^2 T_1^2} \cos \omega t + \frac{A \omega T_1}{1 + \omega^2 T_1^2} \sin \omega t + C e^{-\frac{t}{T_1}} . \tag{5}$$

The forced oscillations, obtained at the output of the first linear element of the model in the steady state, when  $t \rightarrow \infty$ , are determined by the expressions:

$$y_1 = \frac{A}{1 + \omega^2 T_1^2} \cos \omega t + \frac{A \omega T_1}{1 + \omega^2 T_1^2} \sin \omega t . \tag{6}$$

In a similar way we get that the forced oscillations at the outputs of the second and third linear dynamic elements are determined by the expressions:

$$y_2 = \frac{A}{1 + \omega^2 T_2^2} \cos \omega t + \frac{A \omega T_2}{1 + \omega^2 T_2^2} \sin \omega t, \quad (7)$$

$$y_3 = \frac{A}{1 + \omega^2 T_3^2} \cos \omega t + \frac{A \omega T_3}{1 + \omega^2 T_3^2} \sin \omega t. \quad (8)$$

Let's determine the multiplication  $y_2 y_3$  using expressions (7) and (8):

$$\begin{aligned} y_2 y_3 &= \frac{A^2}{(1 + \omega^2 T_2^2)(1 + \omega^2 T_3^2)} \cos^2 \omega t + \frac{A^2 \omega^2 T_2 T_3}{(1 + \omega^2 T_2^2)(1 + \omega^2 T_3^2)} \sin^2 \omega t + \\ &+ \frac{A^2 \omega T_2 + A^2 \omega T_3}{(1 + \omega^2 T_2^2)(1 + \omega^2 T_3^2)} \sin \omega t \cos \omega t. \end{aligned} \quad (9)$$

By transforming (9) we finally get:

$$\begin{aligned} y_2 y_3 &= \frac{A^2(1 + \omega^2 T_2 T_3)}{2(1 + \omega^2 T_2^2)(1 + \omega^2 T_3^2)} + \frac{A^2(1 - \omega^2 T_2 T_3)}{2(1 + \omega^2 T_2^2)(1 + \omega^2 T_3^2)} \cos 2\omega t + \\ &+ \frac{A^2 \omega (T_2 + T_3)}{2(1 + \omega^2 T_2^2)(1 + \omega^2 T_3^2)} \sin 2\omega t. \end{aligned} \quad (10)$$

As the output signal of the model is:

$$y = y_0 + y_1 + y_2 y_3, \quad (11)$$

Therefore, taking into account (6) and (10), we get that the forced oscillation at the model output is defined by the following expression:

$$\begin{aligned} y &= c_0 + \frac{A^2(1 + \omega^2 T_2 T_3)}{2(1 + \omega^2 T_2^2)(1 + \omega^2 T_3^2)} + \frac{A}{1 + \omega^2 T_1^2} \cos \omega t + \frac{A \omega T_1}{1 + \omega^2 T_1^2} \sin \omega t + \\ &+ \frac{A^2(1 - \omega^2 T_2 T_3)}{2(1 + \omega^2 T_2^2)(1 + \omega^2 T_3^2)} \cos 2\omega t + \frac{A^2 \omega (T_2 + T_3)}{2(1 + \omega^2 T_2^2)(1 + \omega^2 T_3^2)} \sin 2\omega t. \end{aligned} \quad (12)$$

#### 4. Parameter identification

Let's consider the features for the parameters estimation of model using the Fourier approximation by the method of the least squares.

The application of the Fourier approximation [18] for the output periodic signal of the system enables to obtain the estimates of the Fourier coefficients  $\frac{a_0}{2}$ ,  $a_k$ ,  $b_k$ , ( $k = 1, 2$ ). Equating such estimates with their theoretical values we'll get:

$$\frac{\hat{a}_0}{2} = c_0 + \frac{A^2(1 + \omega^2 T_2 T_3)}{2(1 + \omega^2 T_2^2)(1 + \omega^2 T_3^2)}, \quad (13)$$

$$\hat{a}_1 = \frac{A}{1 + \omega^2 T_1^2}, \quad (14)$$

$$\hat{b}_1 = \frac{A\omega T_1}{1 + \omega^2 T_1^2}, \quad (15)$$

$$\hat{a}_2 = \frac{A^2(1 - \omega^2 T_2 T_3)}{2(1 + \omega^2 T_2^2)(1 + \omega^2 T_3^2)}, \quad (16)$$

$$\hat{b}_2 = \frac{A^2\omega(T_2 + T_3)}{2(1 + \omega^2 T_2^2)(1 + \omega^2 T_3^2)}. \quad (17)$$

From (14) and (15) we get::

$$\frac{\hat{b}_1}{\hat{a}_1} = \omega T_1. \quad (18)$$

Using the expressions (18) at different frequencies  $\omega = \omega_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ), we obtain:

$$\omega T_1 + \varepsilon_{1i} + \frac{\hat{b}_1}{\hat{a}_1} \quad (i = 1, 2, \dots, n), \quad (19)$$

where  $\hat{a}_{1i}$ ,  $\hat{b}_{1i}$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) - values of the Fourier coefficients at the frequency  $\omega_i$ ,  $\varepsilon_{1i}$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) - errors of measurements and approximations.

Let's consider the features for  $T_1$  parameter estimation by the method of least squares using the expression (19).

The error squared sum is

$$S = \sum_{i=1}^n \varepsilon_{1i}^2 = \sum_{i=1}^n \left( \frac{\hat{b}_{1i}}{\hat{a}_{1i}} - \omega_i T_1 \right)^2. \quad (20)$$

Now we'll determine the value of the estimate  $T_1$  so that their substitution for  $T_1$  should give the minimal value  $S$  in the equation (20). For that purpose differentiating (20) by  $T_1$ , and equating the received results to zero, we'll obtain the following expressions for estimating  $\hat{T}_1$ :

$$\left( \sum_{i=1}^n \omega_i^2 \right) T_1 = \sum_{i=1}^n \frac{\hat{b}_{1i}}{\hat{a}_{1i}} \omega_i. \quad (21)$$

From (21) we receive the value of the estimate  $T_1$  by the method of the least squares:

$$\hat{T}_1 = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{\hat{b}_{1i}}{\hat{a}_{1i}} \omega_i}{\sum_{i=1}^n \omega_i^2}. \quad (22)$$

Let's consider the features for  $T_2$  and  $T_3$  parameters estimation by the method of least squares using the expressions (16) and (17).

From (16) and (17) we get:

$$\frac{\hat{a}_2}{\hat{b}_2} = \frac{1 - \omega^2 T_2 T_3}{\omega(T_2 + T_3)}, \quad (23)$$

Let's enter designations:

$$T_0 = T_2 T_3, \quad (24)$$

$$T = T_2 + T_3. \quad (25)$$

Using the expression (23) at different frequencies  $\omega = \omega_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ), we obtain:

$$b_{2i} - b_{2i}\omega_i^2 T_0 - a_{2i}\omega_i T + \varepsilon_{2i} = 0 \quad (i = 1, 2, \dots, n). \quad (26)$$

In this case the error squared sum is

$$S = \sum_{i=1}^n \varepsilon_{2i}^2 = \sum_{i=1}^n \left( -b_{2i} + b_{2i}\omega_i^2 T_0 + a_{2i}\omega_i T \right)^2. \quad (27)$$

If we differentiate (27) at first by  $T_0$  and then by  $T$ , and equating the received results to zero, we'll obtain the following expressions for estimating  $\hat{T}_0$  and  $\hat{T}$ :

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n (b_{2i}\omega_i^4) T_0 + \sum_{i=1}^n (a_{2i}b_{2i}) T &= \sum_{i=1}^n b_{2i}\omega_i^2, \\ \sum_{i=1}^n (a_{2i}b_{2i}\omega_i^2) T_0 + \sum_{i=1}^n (a_{2i}^2) T &= \sum_{i=1}^n a_{2i}b_{2i}. \end{aligned} \quad (28)$$

Solving the system of equations (28) with respect to  $T_0$  and  $T$  gives

$$\hat{T}_0 = \frac{\left( \sum_{i=1}^n \hat{a}_{2i}\hat{b}_{2i} \right)^2 - \left( \sum_{i=1}^n \hat{b}_{2i}\omega_i^2 \right) \left( \sum_{i=1}^n \hat{a}_{2i}^2 \right)}{\left( \sum_{i=1}^n \hat{a}_{2i}\hat{b}_{2i} \right) \left( \sum_{i=1}^n a_{2i}\hat{b}_{2i}\omega_i^2 \right) - \left( \sum_{i=1}^n a_{2i}^2 \right) \left( \sum_{i=1}^n b_{2i}\omega_i^4 \right)}, \quad (29)$$

$$\hat{T} = \frac{\left( \sum_{i=1}^n \hat{a}_{2i}\hat{b}_{2i} \right) \left( \sum_{i=1}^n \hat{b}_{2i}^2\omega_i^2 \right) - \left( \sum_{i=1}^n \hat{a}_{2i}\hat{b}_{2i} \right) \left( \sum_{i=1}^n \hat{b}_{2i}\omega_i^4 \right)}{\left( \sum_{i=1}^n \hat{a}_{2i}\hat{b}_{2i} \right) \left( \sum_{i=1}^n a_{2i}\hat{b}_{2i}\omega_i^2 \right) - \left( \sum_{i=1}^n a_{2i}^2 \right) \left( \sum_{i=1}^n b_{2i}\omega_i^4 \right)}. \quad (30)$$

Estimates  $\hat{T}_2$  and  $\hat{T}_3$  can be determined through the estimates  $\hat{T}_0$  and  $\hat{T}$  by the following expressions:

$$\hat{T}_2 = \frac{2\hat{T}_0}{\hat{T} - \sqrt{\hat{T}^2 - 4\hat{T}_0}}, \quad (31)$$

$$\hat{T}_3 = \frac{2\hat{T}_0}{\hat{T} + \sqrt{\hat{T}^2 - 4\hat{T}_0}}. \quad (32)$$

Estimates  $\hat{T}_2$  and  $\hat{T}_3$  also can be also obtained by ratio  $\frac{\hat{a}_0 - 2c_0}{2\hat{b}_2}$  using expressions (13) and (17).

## 5. Conclusion

In this work the problem of parameter identification of nonlinear dynamic systems represented by expanded Wiener model is considered, when linear elements of model described by the ordinary differential equation of first order. Despite their simplicity, such models are widely used for the modelling of manufacturing processes.

Proposed method of parameter identification in steady state based on the observation of the system's input and output variables at the input sinusoidal influences is proposed. The solution of the

problem of parameter identification is reduced to the solution of the algebraic equations systems by using the Fourier approximation. The parameters estimations are received by the least squares method. Reliability of the received results depends on the accuracy of the measurement of system output signals and mathematical processing of the experimental data.

Developed parameter identification method can be used for the modelling of nonlinear manufacturing processes when the model structure is known a priori. As the estimations of parameters are received by the least squares method, which is noiseless, it can be used in the industrial conditions in the presence of the noise and measurement errors. The specification of the method of identification allows to use Fourier coefficients of various harmonics to estimate the parameters and compare the received results.

### **გაფართოებული ვინერის მოდელის პარამეტრული იდენტიფიკაცია სიხშირულ არეში**

*ბესარიონ შანშიაშვილი, ნუგზარ კავლაშვილი, ბეკა ავაზნელი*

#### **რეზიუმე**

განხილულია არაწრფივი დინამიკური სისტემების პარამეტრული იდენტიფიკაციის ამოცანა სიხშირულ არეში მათი გაფართოებული ვინერის მოდელით წარმოდგენისას, როდესაც მისი წრფივი ელემენტები აღიწერება ჩვეულებრივი დიფერენციალური განტოლებებით. შემოთავაზებულია პარამეტრული იდენტიფიკაციის მეთოდი დამყარებულ რეჟიმში სისტემის შემავალი სინუსოიდური ზემოქმედების დროს. პარამეტრული იდენტიფიკაციის ამოცანის გადაწყვეტა ფურიეს აპროქსიმაციის გამოყენებით დაიყვანება ალგებრულ განტოლებათა სისტემის ამოხსნაზე. პარამეტრების შეფასებები მიიღება უმცირესი კვადრატების მეთოდით. გამოკვლეულია მიღებული შედეგების საიმედოობა სამრეწველო პირობებში ხმაურის არსებობის პირობებში.

### **Параметрическая идентификация расширенной модели Винера в частотной области**

*Виссарион Шаншиашвили, Нугзар Кавлашвили, Бека Авазнели*

#### **Резюме**

Рассматривается задача параметрической идентификации нелинейных динамических систем представленных расширенной моделью Винера, когда ее линейные элементы описываются обыкновенными дифференциальными уравнениями, в частотной области. Предложен метод параметрической идентификации в установившемся режиме при входных синусоидальных воздействиях. Решение проблемы параметрической идентификации приводится к решению систем алгебраических уравнений при применении аппроксимации Фурье. Оценки параметров получены методом наименьших квадратов. Исследован вопрос надежности полученных результатов в промышленных условиях при присутствии шума.

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

1. Eykhoff, P. System Identification. Parameter *and* State Estimation. London, John Wiley and Sons Ltd, 1974.
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., Moscow, Institute of Control Sciences, 1976, pp. 62-112.

3. Volterra V. Theory of Functionals and of Integral and Integro-Differential Equations. New York, Dover Publ., 1959.
4. Wiener N. Nonlinear Problems in Random Theory. New York, Wiley, 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. Giri F., Rochdi Y., Brouri A. & Chaoui F.Z. Parameter identification of Hammerstein systems containing backlash operators with arbitrary-shape parametric borders. Automatica. Vol. 47, no. 8, 2011, pp. 1827-1833.
8. Hagenblad A., Ljung L & Wills A.G. Maximum Likelihood identification of Wiener models. Automatica. Vol. 44, no. 11, 2008, pp. 2697–2705.
9. Bottegal G., Castro-Garcia R., Johan A.K. and Suykens J. A two-experiment approach to Wiener system identification. Automatica, vol. 93, 2018. pp. 282-289.
10. Block-oriented Nonlinear System Identification (eds F. Giri & E-W. Bai). Berlin: Springer, 2010.
11. Mattsson P. and Wigren T. Convergence analysis for recursive Hammerstein identification", Automatica, vol. 71, 2016, pp. 179-186.
12. Salukvadze. M. and Shanshiashvili, B. Identification of nonlinear Continuous Dynamic Systems with Closed Cycle. Inter. Jou. of Information Technology & Decision making, vol.12, no. 2, 2013, pp. 179-199.
13. Brouri A., Kadi L. and 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.
14. 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.
15. Schoukens M. and Tiels K.. Identification of block-oriented nonlinear systems starting from linear approximations: A survey, Automatica, vol. 85, 2017, pp. 272-292.
16. 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.
17. Shanshiashvili B., Rigishvili T. Parameter Identification of Block-Oriented Nonlinear Systems in the Frequency Domain. Preprints of the 21st IFAC World Congress (Virtual) (Berlin, Germany, July 12-17, 2020). 2020, pp. 10839-10844.  
<https://www.rayseven.com/r7/runtime/vdi/ifac2020/download/IFAC2020.zip>
18. Hamming R. W. Numerical methods for scientists and engineers. New York. Dover Publications Inc., 1987.

---

## Два критерия оптимальности в стратегической игре „Бой стрелков“

*Виктор Хуцишвили*

*Email: otariko@yahoo.com*

### Резюме

Исследуется бой на уничтожение противника между двумя командами стрелков. Составы команд могут отличаться как количеством стрелков, так и индивидуальными вероятностями попадания в цель. Задача состоит в выборе обеими командами оптимальных схем нацеливания. Рассматриваются два естественных критерия оптимальности – максимум вероятности победы и минимум вероятности поражения. Демонстрируется разница между ними, а также сложность одновременной работы с обоими критериями. Предлагается компромиссный скалярный вариант критерия качества, позволяющий эффективно вычислять шансы команд на победу, ничью и поражение. Приводятся результаты соответствующих компьютерных расчётов.

*Ключевые слова: бой стрелков, вероятность, векторный критерий оптимальности*

### 1. Постановка задачи

Конфликтная ситуация между антагонистами является постоянным предметом научных исследований. Конфликты могут иметь различный характер, и этот факт отражается в разнообразии упрощённых моделей, описывающих реальность. Мы рассматриваем следующую модельную ситуацию: две команды стрелков стремятся уничтожить друг друга. Всем участникам боя известна информация о мастерстве всех стрелков, выражающемся в индивидуальных вероятностях попадания в цель. Бой состоит из раундов, в каждом из которых стрелки обеих команд (уцелевшие после предыдущих раундов) принимают решение кому в кого целиться и одновременно осуществляют по одному выстрелу. Бой продолжается до тех пор, пока одна из команд не будет уничтожена полностью. Команда считается выигравшей, если хотя бы один из её членов остался в живых, в случае взаимного уничтожения фиксируется ничья.

Описанная стратегическая игра со случайной составляющей была исследована в работах [1,2], в которых критерием оптимальности служит разность вероятностей выигрыша и проигрыша команды. Очевидно, что этот критерий является компромиссом между двумя естественными фундаментальными критериями. Один из них – вероятность выигрыша, её требуется максимизировать, а второй – вероятность проигрыша, её требуется минимизировать. То, что эти два критерия могут конкурировать, теоретически ясно из того факта, что вероятность ничьей не является нулевой. Целью настоящей статьи является рассмотрение конкретных практических ситуаций, в которых количественное расхождение между двумя указанными критериями проявляется в полной мере, а также рассуждение в пользу общего принципа принятия решения о компромиссе на ранней стадии исследования задач оптимизации и теории игр.

### 2. Конкуренция критериев

Рассмотрим максимально упрощённый вариант боя, сохраняя при этом интригу конкуренции между критериями. Пусть первая команда состоит из двух стрелков одинаковой 50% -ой меткости, а вторая команда – из лидера (№1) с вероятностью поражения цели  $q_1 = 95\%$  и аутсайдера (№2) с худшим показателем  $q_2$ . Легко доказывается, что в данных условиях стрелки второй команды должны целиться в разных стрелков первой команды, а один из этой первой команды обязательно должен целиться в лидера второй команды. Остаётся решить единственный вопрос – в кого стрелять второму стрелку первой команды? В лидера (схема нацеливания №1) или в аутсайдера (схема нацеливания №2) ?

Вероятности выигрыша и проигрыша первой команды для схемы нацеливания №1 обозначим через  $W_1$  и  $L_1$ , а для схемы нацеливания №2 – соответственно через  $W_2$  и  $L_2$ .

Алгоритм расчёта вероятностей дан в [1]. На рисунке 1 отражена зависимость этих четырёх величин от меткости аутсайдера второй команды  $q_2$ . Эту вероятность, отложенную по горизонтальной оси, меняем в пределах от 5% до 40%. Четыре вероятности для первой команды (вертикальная ось) также выражены в процентах. Из графиков видно, что пока квалификация аутсайдера второй команды  $q_2$  низка, второй стрелок первой команды должен целиться в лидера второй команды. Если же эта квалификация превысит некоторый уровень, то схема нацеливания должна смениться с №1 на №2. Одновременно графики показывают, что указанные уровни, от которых зависит переключение схем, различны для двух наших фундаментальных критериев. При максимизации вероятности выигрыша (критерий W) этот уровень примерно равен 32,6%, а при минимизации вероятности проигрыша (критерий L) - 17,4%. В случае двухкритериальной постановки задачи, её решение таково: если  $q_2 < 17,4$ , то оптимальна схема нацеливания №1, если  $q_2 > 32,6$  - схема №2, если же  $q_2$  принадлежит интервалу  $[17,4; 32,6]$ , то оптимальны обе схемы нацеливания (конечно же, в смысле Парето).

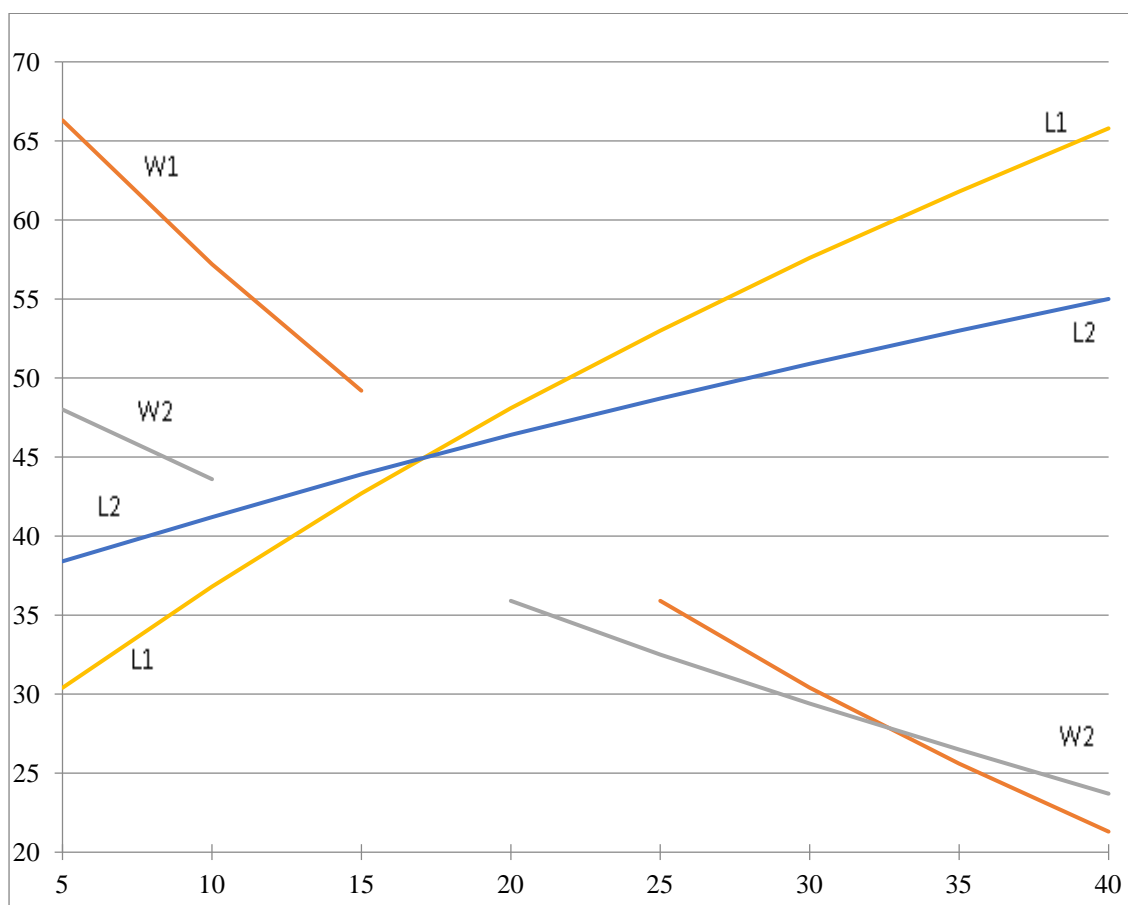


Рис. 1. Зависимость вероятностей выигрыша и проигрыша первой команды от  $q_2$

Далее мы варьируем и  $q_1$  – квалификацию лидера второй команды, т.е. его вероятность попадания в цель. На рисунке 2 она отложена по горизонтальной оси. По вертикальной же оси отложена вероятность  $q_2$  – показатель аутсайдера той же команды. Треугольная область фазового пространства, определённая неравенством  $q_2 < q_1$ , нижней и верхней кривыми делится на три области. Цифрой 1 помечена область, в которой оптимальной для первой команды является схема нацеливания №1, цифрой 2 - область оптимальности схемы №2, а знаком вопроса ? – область, в которой ни одна из схем не имеет преимущества по обоим критериям. Видно, что с уменьшением меткости лидера второй команды  $q_1$  разница между двумя нашими критериями W и L нивелируется.



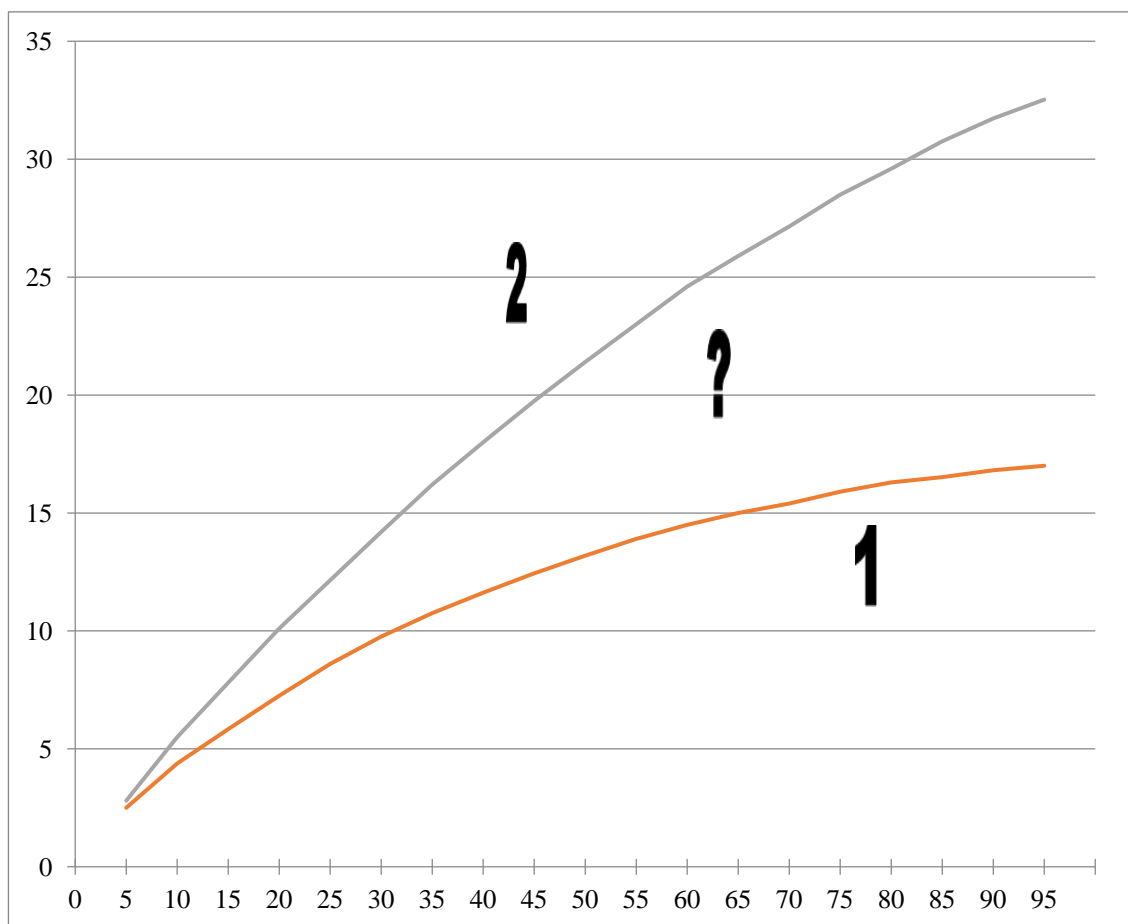


Рис. 2. Области оптимального нацеливания в фазовой плоскости ( $q_1, q_2$ )

### 3. Баланс критериев и некоторые результаты расчётов

Варьирование параметров стрелков первой команды затрудняет исследование нашей стратегической игры в условиях двух критериев оптимальности, проблема усугубляется, когда в командах более двух стрелков. Более подробно общая проблема векторного функционала рассмотрена в работе в [3]. Нам представляется, что универсальный выход заключается в предварительной свёртке вектора критериев в скаляр, как это сделано в [1,2], за счёт чего в исследовании боя стрелков достигнут значительный прогресс (см. [2] и таблицу 1).

Составы команд (меткость указана в %)	Выигрыш (%)	Ничья (%)	Проигрыш (%)
40, 30, 20 vs 80, 40	48,0	6,1	45,9
40, 30, 20 vs 80, 50	42,4	6,9	50,7
40, 30, 20, 10 vs 80, 50	58,9	2,7	38,4
40, 30, 20, 10 vs 80, 60	54,5	3,0	42,5
30, 20, 10, 5 vs 70, 30	49,4	1,2	49,4
60, 50, 40 vs 99, 99	42,9	18,1	39,0
60, 50, 20 vs 95, 95	39,6	9,1	51,3
80, 60, 40, 30, 25, 10 vs 90, 70, 60, 50, 10, 5	42,2	0,3	57,5
40, 35, 35, 5, 5, 5 vs 35, 30, 30, 15, 10, 5	42,7	0,1	57,2
40, 35, 30, 15, 10, 5 vs 35, 30, 30, 10, 10, 5	57,9	0,1	42,0

Таб. 1. Вероятности результатов первой команды для различных составов команд противников

#### 4. Заключение

Проведённое исследование подкрепляет нашу рекомендацию обработки критериев качества на раннем этапе решения сложных оптимизационных и теоретико-игровых задач.

ოპტიმალობის ორი კრიტერიუმი სტრატეგიულ თამაშში „მსროლელთა ბრძოლა“

*ვიქტორ ხუციშვილი*

რეზიუმე

განხილულია ბრძოლა მოწინააღმდეგის განადგურებისთვის მსროლელთა ორ გუნდს შორის. გუნდების შემადგენლობები შეიძლება განსხვავდებოდეს როგორც მსროლელთა რაოდენობით, ასევე მიზანში მოხვედრის ინდივიდუალური ალბათობებით. ამოცანა მდგომარეობს ორივე გუნდისთვის დამიზნების ოპტიმალური სქემების შერჩევაში. განიხილება ოპტიმალობის ორი ბუნებრივი კრიტერიუმი – გამარჯვების ალბათობის მაქსიმუმი და დამარცხების ალბათობის მინიმუმი. დემონსტრირდება სხვაობა მათ შორის, ასევე ორივე კრიტერიუმთან ერთდროული მუშაობის სირთულე. შემოთავაზებულია ხარისხის კრიტერიუმის კომპრომისული სკალარული ვარიანტი, რომელიც გუნდების მოგების, ფრისა და წაგების შანსების ეფექტურად გამოთვლის საშუალებას იძლევა. მოყვანილია შესაბამისი კომპიუტერული გათვლების შედეგები.

Two optimality criteria in the strategic game "Shooters' Battle"

*Victor Khutsishvili*

Summary

A battle to destroy the enemy between two teams of shooters is being investigated. Team lineups may differ both in the number of shooters and in the individual probability of hitting the target. The task is to select optimal targeting schemes for both teams. Two natural criteria of optimality are considered - the maximum probability of victory and the minimum probability of defeat. The difference between them is demonstrated, as well as the complexity of work simultaneously with both criteria. A compromise scalar version of the quality criterion is proposed, which makes it possible to efficiently calculate the teams' chances of winning, drawing, and losing. Results of the corresponding computer calculations are presented.

#### ლიტერატურა – References – Литература

1. Хуцишвили В. Проблема выбора целей противоборствующими командами стрелков. Сборник трудов Института Систем Управления Арчила Элиашвили Грузинского Технического Университета, 2015, № 19, стр. 21-25.
2. Хуцишвили В., Котолашвили Г. Проблема количества стрелков в стратегической игре выбора целей. Сборник трудов Института Систем Управления Арчила Элиашвили Грузинского Технического Университета, 2018, № 22, стр. 26-31.
3. ხუციშვილი ვ. ვექტორული კრიტერიუმი ოპტიმიზაციისა და თამაშთა თეორიის ზოგიერთ ამოცანაში. არჩილ ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული, 2017, № 21, გვ. 26-31.

---

განრიგთა თეორიის ერთი ამოცანის მათემატიკური მოდელი  
განუზღვრელობის პირობებში

*ქეთევან კუთხაშვილი, ვლადიმერ გაბისონია*  
*[kkutkhashvili@yahoo.com](mailto:kkutkhashvili@yahoo.com), [L.gabis@yahoo.com](mailto:L.gabis@yahoo.com)*

**რეზიუმე**

ნაშრომში აგებულია დისკრეტული ოპტიმიზაციის ერთი კლასიკური ამოცანის, კერძოდ, განრიგთა თეორიის ერთკრიტერიუმისანი ამოცანის მათემატიკური მოდელი განუზღვრელობის პირობებში. კერძოდ, განხილულია ამოცანა, სადაც დავალებათა შესრულება ხდება უწყვეტი ერთსაფეხურა სისტემით. პროცესორები ნაწილობრივ ურთიერთშეცვლადია. ნაწილობითი დალაგების სიმრავლე და დამატებითი რესურსების სიმრავლე ცარიელია, წინასწარ ცნობილია პროცესორების წარმადობა, დავალებათა შესრულებისათვის საჭირო დრო დამოკიდებული პროცესორის ნაირგვარობაზე. ფუნქციის სახით არის მოცემული დავალების შესასრულებლად საჭირო ფინანსური ხარჯები, რაც შეიძლება რამდენიმე პარამეტრზე იყოს დამოკიდებული, აგრეთვე მოცდენის ხარჯები საჯარიმო ფუნქციის სახით არის მოცემული. დავალებათა სისტემაში მოხვედრა ზუსტად არ არის განსაზღვრული, არამედ ალბათური სიდიდეა და მოცემულია ინტერვალის სახით. ოპტიმალური ამორჩევა ხდება დავალებათა მთლიანი სისტემის დამუშავების საერთო ღირებულების გათვალისწინებით. აგებულია განხილული ამოცანის ალგორითმი.

**საკვანძო სიტყვები:**

*დისკრეტული; ოპტიმალური; განრიგი; მათემატიკური მოდელი; ალგორითმი*

**შესავალი**

განრიგის ამოცანა დაისმის, როდესაც საჭირო ხდება წარმოებაში ოპერაციების შესრულების გაწერა დროში; სხვადასხვა სატრანსპორტო საშუალებების (თვითმფრინავების, მატარებლების და სხვა) მოძრაობის განრიგის შედგენა; სასწავლო პროცესის დაგეგმვა; რთული სისტემების შექმნის დაგეგმვა (სამშენებლო, მანქანათმშენებლობის და სხვა კომპანიებში); სხვადასხვა საუწყებო სისტემებში გრძელვადიანი საქმიანობის და პროექტების დაგეგმვის დროს და სხვა.

როგორც ცნობილია, განრიგის ამოცანები სამუშაოების შესრულების თანმიმდევრობის დადგენას გულისხმობს და ისინი დისკრეტული ოპტიმიზაციის ამოცანებს განეკუთვნებიან. ისმის კითხვა, არის თუ არა საჭირო სამუშაოების განრიგის დადგენა და რას გვადლევს ეს თანმიმდევრობა? ანუ მიმდევრობაში წევრების გადასმას შეუძლია თუ არა გავლენა იქონიოს ამოცანის ამოხსნაზე, ამ თანმიმდევრობის შეცვლის შემთხვევაში შეიცვლება თუ არა მთელი სისტემის შესრულებისათვის საჭირო ჯამური დრო? ამა თუ იმ კომპანიის მიერ გრძელვადიან პერიოდში პროექტების დაგეგმვა არსებულ (განსაკუთრებით ფინანსურ) რესურსებზე არის დამოკიდებული. არის თუ არა ამ რესურსების ოპტიმალური ხარჯვა დამოკიდებული სწორ დაგეგმვაზე და, ამ შემთხვევაში, სამუშაოთა თანმიმდევრობის ოპტიმალურ ამორჩევაზე?

აღმოჩნდა, რომ ასეთ თანმიმდევრობაზე დიდადაა დამოკიდებული მიზნის ფუნქციის მნიშვნელობა და ოპტიმალური რიგის დადგენას შეუძლია სერიოზული ცვლილებები

მოახდინოს წარმოების პროცესში. სწორედ ამიტომ, რესურსების ოპტიმალური განაწილება და მართვა რთული საქმეა და ფირმისა თუ რაიმე დიდი ორგანიზაციის სტაბილურობისთვის და, აგრეთვე, ეკონომიკური განვითარებისთვის სწორი გადაწყვეტილების მიღებას მთავარი მნიშვნელობა ენიჭება. ამიტომ, ძალზედ მნიშვნელოვანია თუ გადაწყვეტილების მისაღებად გამოყენებული იქნება ზუსტი გამოთვლები და მეთოდოლოგია, რომელიც საშუალებას მოგვცემს უფრო კომპეტენტური და დასაბუთებული გადაწყვეტილება მივიღოთ.

განრიგთა თეორიის ამოცანების შესწავლა ბელმანისა და ჯონსონის შრომების გამოქვეყნების შემდგომ, 1950-იანი წლებიდან დაიწყო და ასეთი ამოცანების გადასაჭრელად დღემდე მრავალი სხვადასხვა მეთოდი და კონცეფცია იქნა შემუშავებული. მაგრამ მათი სირთულის გამო, რაც გამოწვეულია პარამეტრების სიმრავლით, შეზღუდვების სირთულით, ხშირად ინფორმაციის სიმწირით და სხვა, ყოველი კონკრეტული მათემატიკური მოდელის შემთხვევაში საჭირო ხდება შესაბამისი ალგორითმის დამუშავება. სასურველი ოპტიმალური ამონახსნის მიღება დამოკიდებულია როგორც მოდელის სიზუსტეზე, აგრეთვე ეფექტური ალგორითმის აგებაზე, რომელიც კონკრეტული მიზნის ფუნქციის ოპტიმუმს ეძებს უმოკლეს დროში რესურსების ნაკლები დანახარჯებით. ამ შემთხვევაში მანქანური დრო და რესურსები იგულისხმება. მაგრამ ძირითად შემთხვევაში ასეთი ამოცანები NP სირთულისაა და მათთვის ეფექტური პოლინომიალური ალგორითმის აგება მხოლოდ განსაკუთრებულ შემთხვევებში ხდება შესაძლებელი.

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 გამოყენებული 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.

მაგალითად, არსებობს ამოცანები, როდესაც აღსაწერი პროცესის შესახებ სრული ინფორმაცია გვაქვს. ყველა პარამეტრი, რომელიც პროცესის მართვაში მონაწილეობს, წინასწარ არის ცნობილი. მაგრამ რეალურ სიტუაციაში არსებობს გაუთვალისწინებელი შემთხვევები და ფაქტორები. ძირითადად, არის ამოცანები, რომლებშიც ზოგიერთი პარამეტრის ზუსტი მნიშვნელობა წინასწარ არ არის ცნობილი. ცნობილია მათი მიახლოებითი მნიშვნელობა ან ინტერვალი, რომელშიც ის შეიძლება იცვლებოდეს. ასეთ შემთხვევაში შეიძლება სტატისტიკური მეთოდების ჩართვა. ამ მეთოდებით შემთხვევით ამორჩეული მიმდევრობის შეფასება ხდება და შემდეგ თანდათანობით ხდება შედეგის გაუმჯობესება. ასეთ შემთხვევაში ალგორითმის ეფექტურობის დადგენა შეუძლებელია, რადგან ის ალგორითმის მუშაობის შეწყვეტის სტრატეგიაზე დამოკიდებული და, გარდა ამისა, ამონახსნი არის მიახლოებითი.

ბოლო დროს სერიოზული მნიშვნელობა ენიჭება კომბინირებული მეთოდების გამოყენებას. სტატიაში სწორედ ერთ-ერთი ასეთი მეთოდის გამოყენებაზე იქნება საუბარი.

**ამოცანის დასმა**

რესურსების გარკვეული სიმრავლის საშუალებით 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 ზომადი 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 და მომსახურების ღირებულება ცვლადი სიდიდეებია და რამდენიმე პარამეტრზე დამოკიდებული ფუნქციების საშუალებით მოიცემა. 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 ორი ან რამდენიმე დავალება ერთდროულად სრულდებოდეს; დროის ყოველ ინტერვალზე დაკავებულია ყოველი მოწყობილობა, ანუ განიხილება ე.წ. უწყვეტი მოდელი.

ამ ამოცანის მათემატიკური მოდელი შეიძლება შემდეგნაირად ჩამოვაცალიბოთ:

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 შემადგენელი 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  $\tau_{ij}$  რიცხვს, რომელიც  $j$ -ური დავალების დამუშავების დაწყების დროს გვიჩვენებს და  $P_i$  პროცესორს, რომელზეც  $j$ -ური დავალება უნდა იყოს შესრულებული. აღვნიშნოთ აგებული ასახვა ანუ ცხრილი  $S$ -ით. ყველა ასეთი  $S$  ასახვებიდან, რომლებიც აკმაყოფილებენ ზემოთ ჩამოთვლილ პირობებს, საჭიროა აიგოს ისეთი  $S^*$  ასახვა, რომლისთვისაც სრულდება შემდეგი პირობები

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

სადაც  $f_{ij}(S)$  ფუნქცია  $S$  განრიგის მიხედვით  $i$ -ური დავალების  $j$ -ურ პროცესორზე შესრულების დაწყების მომენტს გვიჩვენებს, ხოლო  $\tau_i^0$  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, სტატისტიკური და ინტერვალური მეთოდების კომბინირებულ მეთოდს ეფუძნება.

**ალგორითმის აღწერა**

თავდაპირველად X სიმრავლიდან ვირჩევთ  $\xi_i$ -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 დროზე T. 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. პირველ რიგში ვახდენთ სიმრავლის განშტოებას. ამისათვის ვირჩევთ ისეთ ინდექსებს, რომლებსაც ვანიჭებთ უპირატესობას. შემოვიღოთ აღნიშვნები: დროითი მომენტები, რომლებიც შეესაბამება დავალებების სიმრავლის ელემენტებს, აღვნიშნოთ  $t_{\xi}$ -ით. დროითი მომენტი, როდესაც  $\xi_i$ -ური დავალება ხვდება სისტემაში იქნება  $t_{\xi_i}^0 = a + (b - a)p_i$ , სადაც  $p_i$  არის  $\xi_i$ -ური დავალების სისტემაში მოხვედრის ალბათობა. დროითი მომენტები, რომლებიც პროცესორების სიმრავლეს შეესაბამება, აღვნიშნოთ  $t_p$ -ით.

ალგორითმის აგება დავიწყოთ შემდეგნაირად: უნდა შევადგინოთ ორი ხე, რომლის ფესვიც თავდაპირველი X სიმრავლის ყველა ელემენტი შედის. შემდეგ უნდა მოხდეს განშტოება.  $N=\{1,2,\dots,n\}$  სიმრავლე დავყოთ  $m$  არათანამკვეთ  $B_i$  ბლოკებად.  $m, B_i \cap B_j = \emptyset$  და

$$\bigcup_{i=1}^m B_i = N. \text{ თითოეულ } B_i \text{ ბლოკში შემავალი ელემენტების სიმრავლე შეესაბამება იმ}$$

დავალებათა ინდექსებს, რომლებიც, აგებული განრიგის თანახმად,  $i$ -ურ პროცესორზე უნდა შესრულდეს. უნდა გავითვალისწინოთ, რომ დასაგეგმი პერიოდის დადგომამდე პროცესორები შესაძლოა დაკავებული იყოს ადრე დაწყებული სამუშაოებით, ამიტომ მათი გათავისუფლების დროებიც  $\overline{t_{p_j}}$  უნდა იყოს გათვალისწინებული. შევადგინოთ  $A^1$  მატრიცა

შემდეგნაირად:  $a_j^{(1)}$  სვეტში სვეტების რაოდენობა არის, ხოლო სტრიქონების რაოდენობა იცვლება იტერაციის ნომრის მიხედვით. შევადგინოთ  $\tilde{t}_{\xi_i}^{(k)}$  ვექტორი: ყოველი  $\xi_i$ -სთვის ამოვარჩიოთ  $\tilde{t}_{\xi_i}^{(k)} = \min_{j \in Q_i} \overline{t_{p_j}}$ ,  $i=1,2,\dots,n$  და  $t_i^{(k)} = \max_{j \in Q_i} (d_i, \min \overline{t_{p_j}})$ .  $i=1,2,\dots,n$ .

ამოვარჩიოთ დავალება, რომელიც მზადაა შესასრულებლად. ამისათვის X სიმრავლიდან გამოვყოთ ქვესიმრავლე  $X_1^{(k)} \subset X$ , რისთვისაც შევარჩიოთ ის  $\xi_i$ , რომლისთვისაც  $\xi = \min_{\hat{\xi}_i \in X_1^{(k)}} (t_i^{(k)} + \delta_i)$  მინიმალურია.  $X_1^{(k)}$  სიმრავლის ელემენტი იქნება  $i_{(k)}^*$  დავალება,

რომლისთვისაც სრულდება პირობები:  $t_{\xi_i}^{(k)} < \eta$ ,  $j^{*(k)} \in Q_i$  და  $\tilde{t}_i^{(k)} - t_i^{(k)} \geq 0$ . ამოვადლოთ  $X \setminus \{i_{(1)}^*\}$  ელემენტი. შევცვალოთ  $t_{P_{(j_1^*)}}^{(2)} = t_{\xi_{i_1}^*}^{(1)} + \tau_{i_1}$ .  $\xi_{(2)}^*$  დავალება  $j_{(2)}^*$  პროცესორზე დავნიშნოთ. გამოვთვალოთ  $\rho = \rho + (t_{i_{(2)}^*}^{(2)} + \delta_{ij} - d_{ij}) * \pi_{ij}$ .

ამის შემდეგ ვიწყებთ უკუსვლას და როდესაც ბოლო დონეს მივაღწევთ, ყველა შტოს შეფასება ამოწურულია. მიღებული  $\rho (S^*)$  სიდიდე არის საძიებელი ოპტიმალური მნიშვნელობა, ხოლო  $S_i^*$  საძიებელი განრიგი  $t_1^{\#}$  მომენტებისათვის.

იმისათვის, რომ დიდი ინფორმაციის შენახვა არ დაგვჭირდეს, 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 გადავიდვართ შემდეგი შტოს განხილვაზე. ყველა არაპერსპექტიული შტოების მოკვეთის შემდეგ მივდივართ ოპტიმალურ ამოხსნამდე.

ალგორითმის სირთულის დასადგენად შევავასოთ ალგორითმის მუშაობისათვის საჭირო მანქანური დრო. მოყვანილი ალგორითმის პირდაპირი სვლა, ძირითადად, 4 ბიჯისაგან შედგება.  $J$  პარამეტრის მნიშვნელობა იცვლება  $n$ -ჯერ. პირველ ბიჯზე შესრულებული გამოთვლების რაოდენობა  $nm$  რიგისაა. მეორე ბიჯზე ციკლის პარამეტრი  $n$ -ჯერ იცვლება. გამოთვლების რაოდენობა  $n$ -ის პროპორციულია.  $n$ -ის რიგს არ აჭარბებს მესამე და მეოთხე ბიჯებზე გამოთვლების რაოდენობა. საბოლოოდ, წინა სვლაზე გამოთვლების რაოდენობაა  $\alpha n^2$ .

უკუსვლა მეხუთე და მეექვსე ბიჯებისაგან შედგება. ამ ბიჯების შესრულება იმდენჯერ ხდება, რამდენი ელემენტიც არის  $X_1$  სიმრავლეში. თუ ვიგულისხმებთ, რომ ამ ელემენტების რაოდენობა არის მაქსიმალური ანუ  $n$ , ხოლო იტერაციების რაოდენობაც არის  $n$ , მაშინ უკუსვლის გამოთვლების რაოდენობა  $\beta n^2$  რიგისაა. ამიტომ მთლიანად ალგორითმში გამოყენებული გამოთვლების რაოდენობაა  $2(\alpha n^2 + \beta n^2)$ . ვინაიდან დავალებების სიმრავლის ფორმირება შემთხვევითი ამორჩევით ხდება, ამიტომ კიდევ ერთი ციკლი ემატება და ამორჩევების რაოდენობა თუ არ გადააჭარბებს  $n$ -ს, მაშინ საბოლოოდ, ალგორითმში გამოყენებული გამოთვლების რაოდენობაა  $2n(\alpha n^2 + \beta n^2)$ .

ამრიგად, განრიგთა თეორიის დასმული ამოცანისათვის განსაკუთრებულ პირობებში, სადაც კრიტერიუმად განრიგის სრული ღირებულება განიხილება, აიგო პოლინომიალური სირთულის ალგორითმი და მოყვანილი ალგორითმის ეფექტურობის ხარისხი  $O(n^3)$  სიდიდით განისაზღვრება.

## **Mathematical model of one problem of the scheduling theory under uncertainty**

*Ketevan Kutkhashvili, Vladimir Gabisonia*

### **Summary**

Mathematical model of a one-criterion problem of the scheduling theory under uncertainty is built in the article. In particular, the problem is discussed when tasks are performed by a continuous one-step system. Processors are partially interchangeable. The set of partial order and the amount of additional resources are empty. Processor performance is known in advance, and the time required to complete tasks depends on the processor type. The function has the financial costs required to complete the task, which may depend on several parameters. Getting into the system of tasks is not precisely defined and is given in the form of an interval and a probabilistic value. The optimal choice is made taking into account the total cost of processing the entire system of jobs. An algorithm for the considered problem is constructed.

## Математическая модель одной задачи теории расписаний в условиях неопределенности

*Кетеван Кутхашвили, Владимир Габисония*

### Резюме

В статье строится математическая модель однокритериальной задачи теории расписаний в условиях неопределенности. В частности, обсуждается проблема, когда задачи выполняются непрерывной одношаговой системой. Процессоры частично взаимозаменяемы. Множество частичного порядка и количество дополнительных ресурсов пусты. Производительность процессоров известна заранее, время, необходимое для выполнения задач, зависит от разновидности процессора. Для функции заданы финансовые затраты, необходимые для выполнения задачи, которые могут зависеть от нескольких параметров. Попадание в систему задач точно не определено и задается в виде интервала и вероятностной величиной. Оптимальный выбор производится с учетом общей стоимости обработки всей системы заданий. Построен алгоритм рассматриваемой задачи.

### 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 Левин, В.И. Задача  $m$  станков при ограничениях на порядок следования деталей / В.И. Левин // Автоматика и телемеханика. 1987. № 3.
- 4 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.
- 5 გაბისონია ვ., კუთხაშვილი ქ. განრიგთა თეორიის ერთი კერძო ამოცანის შესახებ. სტუ არჩილ ელიაშვილის სახელობის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული. თბილისი, გამომცემლობა „პოლიგრაფია“ 2017წ.
- 6 კუთხაშვილი ქ., გაბისონია ვ. დისკრეტული ოპტიმიზაციის ერთი ამოცანის ალბათური მოდელი. სტუ არჩილ ელიაშვილის სახელობის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული. თბილისი, 2018წ.



---

## Plant Optimal Work Plan Estimation Using Multicriteria Optimization

*Dali Sikharulidze, Vladimer Gabisonia, Nugzar Dadiani*

*dali\_sx@yahoo.com, L.gabis@yahoo.com, nugzar\_dadiani@yahoo.com*

### Abstract

In the article a new approach to plant optimal work plan estimation using multicriteria optimization is considered. In the model it is implied, that the plant can fabricate several types of production. The fabrication of each of them is partitioned into several steps. On each step there exist several alternatives of production cycle performance and it is prohibited to proceed to the next step before the previous step is over. Plant project is estimated by 5 principal criteria: profit, cost, risks, quality, time. Optimal variants are to be picked from the alternatives subject to mentioned criteria and specific boundary conditions.

In problem processing the criteria additive (linear) compression method [1] is used, for quantitative estimation of criteria Saaty's modified method [2] is applied, distinct from [3]. By this way, the problem comes to binary integer programming problem, for program processing of it MATLAB Binturong function is offered.

### Key words:

*weighting factors; Saaty's modified method; criteria additive compression.*

For effective control of innovative projects in order of reducing the risks connecting with capital investments into projects it is actual to practice multicriteria optimization both in creation of the model in whole and consideration of its separate steps. During the work with projects one of the important step is the project examination. For getting right estimation of project by examiners it is necessary to define the criteria under which the project will be estimated. Each company makes the list of criteria independently.

During project construction efficiency of the plant work plan may be estimated using many different criteria. Sensibly there are considered the following criteria: profit, cost, quality, time, risks. In our model we suppose, that the plant can fabricate several types of production. The fabrication of each of them is partitioned into several steps. On each step there exist several alternatives of production cycle performance and it is prohibited to proceed to the next step before the previous step is over. Optimal variants are to be picked from the alternatives subject to mentioned criteria and specific boundary conditions. In the article during problem processing the criteria additive (linear) compression method [1] is used, as the experts find it difficult to estimate the criteria preferences quantitatively, for determination of criteria weights Saaty's modified method of hierarchy analysis [2] is applied, distinct from [3].

We introduce the following denotations:

T- considered time interval (in years);

L-the number of the production types;

H- the number of steps;

$C_t^l$ - the price of l-th type of production in t-th year,  $t = \overline{1, T}$

$D_t^l$ - the number of l-th type of production subject to sale in t-th year,  $t = \overline{1, T}$ ,  $D_t^l \leq B_t^l$ , where  $B_t^l$  is l-th type of production demand by prediction in t-th year,  $t = \overline{1, T}$  ;

$M_h$ - the number of operations performing variants on h-th step,  $h = \overline{1, H}$ ;

$x_{hj}$ -boolean variable, equals 1, if on h-th step the j-th variant of operations alternative is performing and 0 otherwise;

$w_{hj}$ - the cost of j-th variant of operations performing on h-th step ;

$K_h$  - the allocated amount of fund on h-th step;

$E_{hj}$ - depreciated cost of fixed capital after j-th variant of operations performing on h-th step;

$U_t$ - current inputs into production;

In these denotations the first functional –profit is :

$$P = \sum_{t=1}^T \sum_{l=1}^L C_t^l D_t^l - \sum_{h=1}^H \sum_{j=1}^{M_h} w_{hj} x_{hj} + \sum_{h=1}^H \sum_{j=1}^{M_h} E_{hj} x_{hj} - \sum_{t=1}^T U_t \rightarrow \max$$

with boundary conditions:

$$S_h = S_{h-1} + K_h - \sum_{j=1}^{M_h} w_{hj} x_{hj}; S_h \geq 0, \quad h = \overline{1, H}; \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^{M_h} x_{hj} = 1, \quad h = \overline{1, H}; \quad (2)$$

$$x_{hj} \in \{0, 1\}, \quad h = \overline{1, H}; j = \overline{1, M_h}; \quad (3)$$

The second functional (cost) is of the form:

$$C = \sum_{h=1}^H \sum_{j=1}^{M_h} w_{hj} x_{hj} \rightarrow \min$$

The third functional (quality) is of the form:

$$Q = \sum_{h=1}^H \sum_{j=1}^{M_h} q_{hj} x_{hj} \rightarrow \max ,$$

where  $q_{hj}$  is normalized quality of the production fabricated by means of j-th variant of operations performing on h-th step,  $0 \leq q_{hj} \leq 1$ ;

The fourth functional (time) is:

$$T = \sum_{h=1}^H \sum_{j=1}^{M_h} t_{hj} x_{hj} \rightarrow \min ,$$

where  $t_{hj}$  is the j-th variant of operations performing time on h-th step;

The fifth functional (risks) can be written in the form:

$$R = \sum_{h=1}^H \sum_{j=1}^{M_h} \sum_{i=1}^I P_{hji} V_{hji} x_{hj} \rightarrow \min ,$$

where  $P_{hji}$  is the i-th risky event occurrence probability during of j-th variant of operations performing of on h-th step  $i = \overline{1, I}$  ;

$V_{hji}$  are the negative payoffs after fulfillment of i-th risky event, obtained during performing of j-th variant of operations on h-th step,  $i = \overline{1, I}$ .

Suppose, that weighting vector of the criteria above, obtained by Saaty's method is  $(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5)$ . Then the goal function which is the linear compression of the functionals above, will be

$$F = \alpha_1 P - \alpha_2 C + \alpha_3 Q - \alpha_4 T - \alpha_5 R \rightarrow \max$$

After simplifying considered multicriteria optimization problem reduces to the following problem of integer programming:

$$\alpha_1(\sum_{t=1}^T \sum_{l=1}^L C_t^l D_t^l - \sum_{t=1}^T U_t) + \sum_{h=1}^H \sum_{j=1}^{M_h} (\alpha_1 E_{hj} - (\alpha_1 + \alpha_2) w_{hj} + \alpha_3 q_{hj} - \alpha_4 t_{hj} - \alpha_5 \sum_{i=1}^I P_{hji} V_{hji}) x_{hj} \rightarrow \max$$

$$S_h = S_{h-1} + K_h - \sum_{j=1}^{M_h} w_{hj} x_{hj}; S_h \geq 0, h = \overline{1, H};$$

$$\sum_{j=1}^{M_h} x_{hj} = 1, h = \overline{1, H};$$

$$x_{hj} \in \{0, 1\}, h = \overline{1, H}; j = \overline{1, M_h};$$

This problem can be solved, for example, by the branch and bound method. In the case of small dimension, we can use the function Bintprog of MATLAB for solving binary integer programming problems.

### საწარმოს ოპტიმალური სამუშაო გეგმის შედგენა მრავალკრიტერიული ოპტიმიზაციის გამოყენებით

დალი სიხარულიძე, ვლადიმერ გაბისონია, ნუგზარ დადიანი

#### რეზიუმე

ნაშრომში განხილულია ახალი მიდგომა საწარმოს ოპტიმალური სამუშაო გეგმის შედგენისადმი მრავალკრიტერიული ოპტიმიზაციის გამოყენებით. მოდელში იგულისხმება, რომ საწარმოს შეუძლია რამდენიმე განსხვავებული ტიპის პროდუქციის გამოშვება. თითოეული მათგანის წარმოება დაყოფილია ეტაპებად. ყოველ ეტაპზე საწარმოო ციკლის შესრულების რამდენიმე ალტერნატივა არსებობს და შემდეგ ეტაპზე გადასვლა არ შეიძლება, სანამ წინა არ დასრულდება. საწარმოს პროექტის შეფასება ხდება ძირითადად 5 კრიტერიუმით: მოგება, დანახარჯები, რისკები, ხარისხი, დრო. საჭიროა არსებული ალტერნატივებიდან ოპტიმალური ვარიანტების შერჩევა ხსენებული კრიტერიუმებისა და გარკვეული შეზღუდვების გათვალისწინებით. ამ ამოცანის ამოსახსნელად სტატიაში გამოიყენება კრიტერიუმთა ადიტიური ნახვევის მეთოდი [1]. კრიტერიუმების რაოდენობრივი შეფასებისთვის გამოყენებულია Saathy-ს მოდიფიცირებული მეთოდი [2] განსხვავებით [3]-გან. ამ გზით ამოცანა დაიყვანება მთელრიცხვა პროგრამირების ამოცანაზე, რომლის პროგრამულად ამოსახსნელად შემოთავაზებულია Matlab-ის Bintprog ფუნქცია.

### Составление оптимального плана работы предприятия с использованием многокритериальной оптимизации

Дали Сихарулидзе, Владимир Габисония, Нугзар Дадияни

#### Резюме

В работе рассматривается новый подход к составлению оптимального плана работы предприятия с использованием многокритериальной оптимизации. В модели подразумевается, что предприятие может выпускать несколько различных видов продукции. Производство каждого из них делится на несколько этапов. На каждом этапе существует несколько альтернатив выполнения производственного цикла и переход к следующему этапу не допускается, пока не будет закончен предыдущий. Оценка проекта предприятия осуществляется по 5 критериям: прибыль, стоимость,

риски, время. Требуется из альтернатив выбрать оптимальные варианты с учетом вышеуказанных критериев и определенных ограничений. Для решения этой задачи используется метод аддитивной свертки критериев [1], для количественной оценки критериев используется модифицированный метод Saaty [2], в отличие от [3]. Этим способом задача сводится к задаче бинарного целочисленного программирования, для программного решения которой предлагается функция Vintprog Matlab-а.

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

1. Халин В.Г. Теория принятия решений, т.2.Юрайт.2016г.
2. Тихомирова А.Н. Сидоренко Е.В.Модификация метода анализа иерархий Т.Саати для расчета весов критериев при оценке инновационных проектов. Современные проблемы науки и образования. №2,2012.
3. Кононенко И.В., Лобач Е.В., Харазий А.В. Многокритериальная оптимизация содержания проекта при заданных приоритетах для критериев. Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. №59,2013.

---

**საშრობ აპარატში დაგვიანების კომპენსაციის ადაპტური  
მართვის ალგორითმი**

*ავთანდილ ბარდაველიძე, ხათუნა ბარდაველიძე*

*bardaveli54@mail.ru, kh.bardavelidze@gmail.com*

**რეზიუმე**

ნაშრომში შემუშავებულია საშრობი აპარატის ცვლადი დაგვიანების შეფასებისათვის სწრაფმოქმედი ადაპტური დამკვირვებლის ალგორითმი, რადგანაც სმიტის პროგნოზატორის გამოყენება შესაძლებელია მხოლოდ მუდმივი დაგვიანების დროის შემთხვევაში. ეს ალგორითმი დაფუძნებულია გასაწყობი მოდელის გამოყენების მეთოდზე. შემუშავებული ადაპტური მართვის ალგორითმის ეფექტურობა დადასტურებული იქნა აღნიშნული სისტემის რიცხვითი მოდელირებით Matlab სისტემაში.

ნაშრომში შემოთავაზებული ადაპტური დამკვირვებლის ალგორითმი ფლობს მნიშვნელოვან პრაქტიკულ თვისებებს: სხვადასხვა პარამეტრული არხების გარდამავალი პროცესების გამართვა ერთმანეთზე გავლენას არ ახდენს; პრაქტიკულად, გარდამავალი პროცესის დრო არ არის დამოკიდებული დაგვიანებაზე და შემავალ-გამომავალი სიგნალების ამპლიტუდაზე.

**საკვანძო სიტყვები:**

*ადაპტური დამკვირვებელი, დაგვიანების კომპენსაცია, სმიტის პროგნოზატორი, ობიექტის დაგვიანება.*

**1. შესავალი**

წარმოდგენილი ნაშრომი მიძღვნილია საშრობ აპარატში ცვალებადი დაგვიანების კომპენსაციის სისტემის აგებაზე. დიდი დაგვიანება უარყოფითად აისახება საშრობი აპარატის მართვის სისტემის მუშაობის უნარიანობაზე. შრობის პროცესში ცვალებადი დაგვიანების კომპენსაციისათვის შემუშავებულია ადაპტური სისტემა, რომელიც შედგება უცნობი პარამეტრების და მართვის სისტემის დაგვიანების შეფასების გამომთვლელი სწრაფმოქმედი ადაპტური დამკვირვებლისაგან და ამ დაგვიანების მაკომპენსირებელი სმიტის პროგნოზატორისაგან.

საყურადღებოა, რომ მასალის ნარჩენი ტენიანობის პრედიკატული მართვის სისტემის პრაქტიკული რეალიზაცია ძალზე რთულია. კერძოდ, იგი მოითხოვს მოდელის პარამეტრების კორექციის უზრუნველყოფას მასალის საშრობში გადაადგილების სიჩქარის ნომინალური სიდიდის მიხედვით, რადგანაც ობიექტის დაგვიანება დამოკიდებულია მასალის გადაადგილების სიჩქარეზე და იცვლება მისი სახეობის მიხედვით. გარდა ამისა, გასათვალისწინებელია, რომ თბური არხით დაგვიანების დრო სტაბილურ მნიშვნელობას ინარჩუნებს იმ შემთხვევაში, როცა ხორციელდება საშრობის დროული და ხარისხიანი მომსახურება (კონდენსატის ცვლა, საშრობ არეში ცხელი ჰაერის განაწილება და სხვა), რაც მოქმედი წარმოების პირობებში ყოველთვის არ სრულდება [1].

ნაშრომის განსაკუთრებულ მომენტს წარმოადგენს ცვლადი დაგვიანების შეფასებისათვის სწრაფმოქმედი ადაპტური დამკვირვებლის ალგორითმის აგება, ვინაიდან სმიტის პროგნოზატორის გამოყენება შესაძლებელია, როცა დაგვიანება არ იცვლება. ეს

ალგორითმი დაფუძნებულია გასაწყობი (გასამართი) მოდელის მეთოდის გამოყენებაზე, რომელიც შემუშავებულია საშრობი აპარატის შემთხვევაში.

## 2. ადაპტური დამკვირვებლის ალგორითმი

გამოსაკვლევი ობიექტი აღიწერება შემდეგი დიფერენციალური განტოლებით:

$$\ddot{x}(t) + a_1\dot{x}(t) + a_0x(t) = a_4u(t - \tau_2), \quad x(t_0) = 0; \quad \dot{x}(t_0) = 0. \quad (1)$$

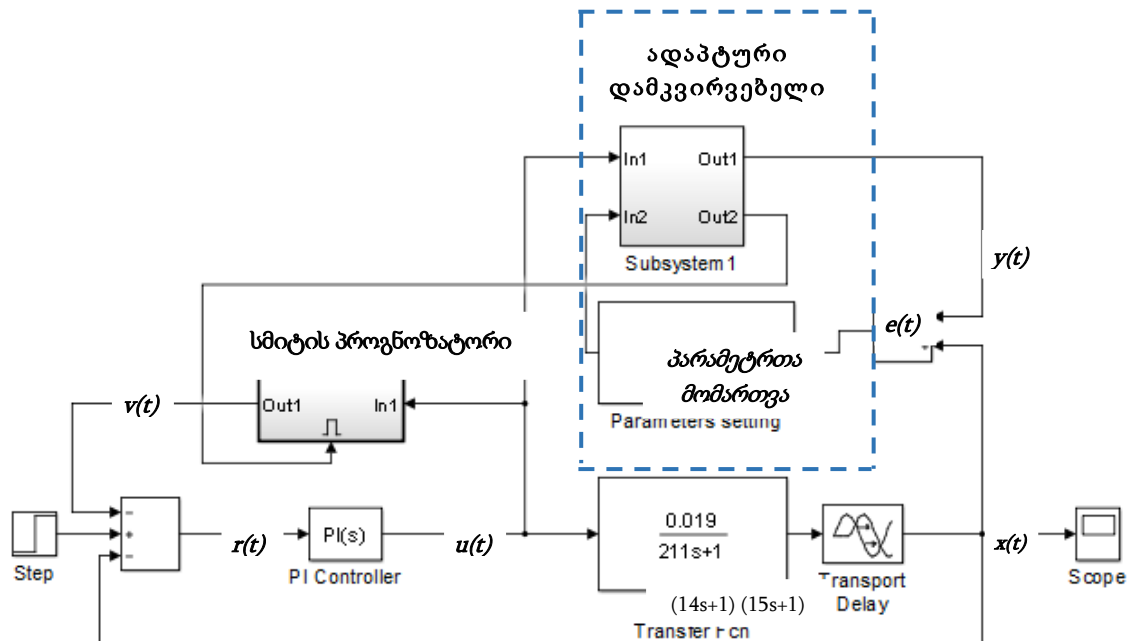
სისტემის  $a_4$  და  $\tau_2$  უცნობი პარამეტრების იდენტიფიკაციისათვის, ასევე სმიტის პროგნოზატორის  $\tau_{2s}$  დაგვიანების დროის კომპენსაციისათვის ავსოთ სწრაფმოქმედი ადაპტური დამკვირვებელი.

სისტემის ფუნქციონირების დროის თითოეულ ქვეინტერვალისათვის  $J_i$ , გასაწყობი მოდელი აღვწეროთ შემდეგი განტოლებით:

$$y''(t) + a_1y'(t) + a_0y(t) = b_4u(t - \sigma_2), \quad t \in J_i, \quad y(t_{j_0}) = 0; \quad y'(t_{j_0}) = 0 \quad (2)$$

სადაც  $b_4$  და  $\sigma_2$  - შესაბამისად (1) ობიექტის  $a_4$  და  $\tau_2$  გასაწყობი პარამეტრების მოდელის პარამეტრებია.

ადაპტური დამკვირვებლის და სმიტის პროგნოზატორის მართვის სისტემის სტრუქტურული სქემა ნაჩვენებია ნახ. 1 [1,2].



ნახ. 1 უცნობი დაგვიანების კომპენსაციის ადაპტური სისტემა

შემოვიტანოთ  $e(t) = x(t) - y(t)$  შეცდომა. თუ (1)-ს გამოვაკლებთ მე-(2) განტოლებას და გავაწვრივებთ განტოლების მარჯვენა ნაწილს, მაშინ  $e(t)$  შეცდომისათვის განტოლებას ექნება სახე:

$$\ddot{e}(t) + a_1\dot{e}(t) + a_0e(t) = \alpha_3 u(t) + \alpha_4 \dot{u}(t), \quad (3)$$

სადაც  $\alpha_3 = a_4 - b_4$ ,  $\alpha_4 = -\tau_2 a_4 + \sigma_2 b_4$ .

თუ დავუშვებთ  $e_1(t) = e(t)$  და  $e_2(t) = \dot{e}(t) + a_1 e(t) - \alpha_4 u(t)$ , მაშინ (3) შეიძლება წარმოვადგინოთ პირველი რიგის განტოლებათა სისტემით, რომელსაც ვექტორული ფორმით ექნება შემდეგი სახე:

$$\dot{\bar{e}}(t) = A\bar{e}(t) + Z(t) \alpha, \quad (4)$$

$$\text{სადაც } \bar{e}(t) = (e_1(t), e_2(t))^T, \alpha = (\alpha_3 \ \alpha_4)^T, A = \begin{pmatrix} -a_1 & 1 \\ -a_0 & 0 \end{pmatrix}, Z = \begin{pmatrix} 0 & u(t) \\ u(t) & 0 \end{pmatrix}.$$

(4)-ის ამოხსნით მივიღებთ:

$$\bar{e}(t) = \Phi(t)\bar{e}(t_{j_0}) + R(t) \alpha, \quad (5)$$

$$\text{სადაც } \Phi(t) = \begin{pmatrix} \Phi_{11}(t) & \Phi_{12}(t) \\ \Phi_{21}(t) & \Phi_{22}(t) \end{pmatrix}, R(t) = \begin{pmatrix} R_{11} & R_{12} \\ R_{21} & R_{22} \end{pmatrix} - \text{განტოლების ამონახსნებია}$$

$$\dot{\Phi}(t) = A\Phi(t), \Phi(t_{j_0}) = E; \quad (6)$$

$$\dot{R}(t) = AR(t) + Z(t), R(t_{j_0}) = 0. \quad (7)$$

განტოლება (5)-ის პირველი სტრიქონი გადავწეროთ შემდეგი სახით:

$$w(t) = q^T(t)(\gamma - \beta_{j-1}), \quad (8)$$

სადაც

$$w(t) = e_1(t) - \Phi_{11}(t)e_1(t_{j_0}), \quad q^T(t) = (\Phi_{12}(t), R_{11}(t), R_{12}(t)), \quad \gamma - \beta_{j-1} = (e_2(t_{j_0}), \alpha_3, \alpha_4)^T.$$

$w(t)$  და  $q^T(t)$  - ცნობილი სიდიდეებია ნებისმიერი  $t$ -თვის;  $\gamma$  ვექტორი შეიცავს ობიექტის უცნობ პარამეტრებს, ხოლო ვექტორი  $\beta_j (j = 0, 1, \dots, N-1)$  წარმოადგენს  $b_4, \sigma_2$  ეტალონური მოდელის გადასაწყობი პარამეტრების ფუნქციას.

თითოეულ  $J_j$  ინტერვალზე მონაცემების აღებით  $t_{j_1}, \dots, t_{j_m}$  დროის მომენტებში, მე-(8) ალგებრული სისტემიდან მატრიცული სახით მივიღებთ:

$$d_j = Q_j(\gamma - \beta_{j-1}). \quad (9)$$

რიცხვი  $m$  შეირჩევა ისე, რომ განტოლებაში (9) იყოს უცნობ პარამეტრთა რიცხვზე ნაკლები. მოცემულ შემთხვევაში  $m \geq 3$ .

ალგებრული სისტემის (9) ამონახსნი ჩაიწერება შემდეგი სახით:

$$\gamma - \beta_{j-1} = Q_j^+ d_j, \quad (10)$$

სადაც  $Q_j^+$  - ფსევდოშებრუნებული მატრიცაა.

$\beta_j$  პარამეტრების ცვლილება  $J_i$  ქვეინტერვალიდან  $J_{i+1}$ -ზე გადასვლისას სრულდება შემდეგი რეკურენტული ფორმით:

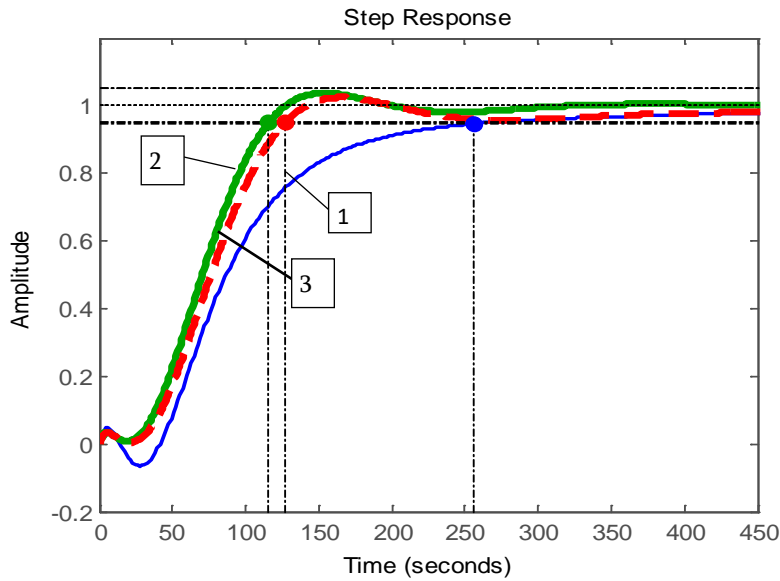
$$\beta_{j+1} = \beta_j + \Delta t \Lambda Q_{j+1}^+ d_{j+1}, \quad (11)$$

სადაც  $\Lambda = \text{diag}(\lambda_1, \dots, \lambda_3)$  - დიაგონალური მატრიცაა, რომლის ყველა რიცხვი  $\lambda_i > 0$ .

შეიძლება ითქვას, რომ პარამეტრთა გადაწყობის ეს პროცესი იცვლება ექსპონენციალურად, ე.ი.  $b_4, \sigma_2$  მოდელის გადასაწყობი პარამეტრების მნიშვნელობები ემთხვევა  $a_4, \tau_2$  ობიექტის უცნობ პარამეტრთა მნიშვნელობებს [3].

ამრიგად, იმისათვის რომ მოვახდინოთ  $a_4, \tau_2$  ობიექტის (1) მუდმივი უცნობი პარამეტრების იდენტიფიცირება -  $b_4, \sigma_2$  გასაწყობი (2) მოდელის პარამეტრები უნდა ვცვალოთ (6)-(11) განტოლებებით აღწერილი ალგორითმით.

აღნიშნული სისტემის რიცხვითი მოდელირება ჩატარდა Matlab-ის პროგრამულ სისტემაში Simulink ბლოკური მოდელირებისა და Control System Toolbox პაკეტების გამოყენებით [4, 5]. კომპიუტერული მოდელირების შედეგები კი ადასტურებენ დამუშავებული ალგორითმის ეფექტურობას. ნახ. 2-ზე ნაჩვენებია მოდელირების გრაფიკული მრუდები, ხოლო ცხრილში 1 - აღნიშნული სისტემის ხარისხის მაჩვენებლები.



ნახ. 2 მოდელირების შედეგები:

1-პრედიკატორით; 2-თეორიული ამონახსნი; 3 - ამონახსნი რიცხვითი მეთოდით.

ცხრილი 1. ადაპტური მართვის სისტემის ხარისხის მაჩვენებლები

ადაპტური მართვის სისტემა	ხარისხის მაჩვენებლები	
	$T_s$ , წმ	$\sigma$ , %
1. პრედიკატორით	256	-
2. თეორიული ამონახსნი	119	3,5
3. ამონახსნი რიცხვითი მეთოდით	125	2.7

### 3. დასკვნა

ნაშრომში შემუშავებული საშრობ აპარატში დაგვიანების კომპენსაციის ადაპტური მართვის ალგორითმის ეფექტურობა დადასტურებულია კომპიუტერული მოდელირებით, რომელიც მკაფიოდ ჩანს მოდელირების შედეგად მიღებული სისტემის გარდამავალი მახასიათებლის ხარისხის მაჩვენებლებიდან. აქედან გამომდინარე, სისტემის გაუმჯობესებული ხარისხის მაჩვენებლები კი აამაღლებს გამომშრალი პროდუქტის ხარისხს.

### Adaptive control algorithm of delay compensation in the dryer apparatus

*Avtandil Bardavelidze, Khatuna Bardavelidze*

#### Summary

A fast-acting adaptive observer algorithm for estimating the variable delay of a dryer is developed, as the Smith Predictor can only be used in the case of a permanent delay time. This



algorithm is based on the using method of setting model. The effectiveness of the developed adaptive control algorithm was confirmed by numerical modeling of the mentioned system in Matlab system.

The proposed adaptive observer algorithm has important practical features: the transition processes of different parametric channels do not affect to each other; the time of the transition process does not depend on the delay and the amplitude of the input-output signals.

### **Алгоритм адаптивного управления компенсации запаздывания в сушильном аппарате**

*Автандил Бардавелидзе, Хатуна Бардавелидзе*

#### **Резюме**

В статье разработан быстродействующий алгоритм адаптивного наблюдателя для оценки переменной задержки сушилки, поскольку предсказатель Смита может использоваться только в случае постоянного времени задержки. Этот алгоритм основан на использовании метода настройки модели. Эффективность разработанного алгоритма адаптивного управления был подтвержден численным моделированием указанной системы в системе Matlab.

Предложенный алгоритм адаптивного наблюдателя имеет важные практические особенности: переходные процессы разных параметрических каналов не влияют друг на друга; практический, время переходного процесса не зависит от задержки и амплитуды входных-выходных сигналов.

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

1. ბარდაველიძე ა., ბარდაველიძე ხ. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია „მართვის ავტომატიზებული სისტემები და თანამედროვე საინფორმაციო ტექნოლოგიები“. შრობის პროცესის ოპტიმალური მართვის ალგორითმის ტექნიკური რეალიზაციის ზოგიერთი საკითხები. თბილისი, N 1 (10), 2011. 417-419 გვ.
2. Kh. Bardavelidze, A. Bardavelidze. Optimal digital control system of drying apparatus. Journal of Technical Science & Technologies. Tbilisi, International Black Sea University, IBSU, Vol. 2, Issue 1, June 2013, pp. 33-35.
3. Гурецкий Х. Анализ и синтез систем управления с запаздыванием. Пер. с польского. - М.: Машиностроение, 1974.
4. Steven T. Karris. Introduction to Simulink with Engineering Applications. Second Edition, Orchard Publications, 2008, 716 pg.
5. Norman S. Nise. Control systems engineering. Sixth edition/California State Polytechnic University, Pomona, 2011, 1005 pg.

## არაზომადი სიმრავლების შესახებ

*ქეთევან ომიადე, ნუგზარ დადიანი, დუდუხანა ცინცაძე*

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

### რეზიუმე

გამოკვლეულია ევკლიდეს სივრცეებში  $G$ - ზომათა კლასის მიმართ აბსოლუტურად არაზომადი სიმრავლეების არსებობისა და აგრეთვე ვიტალის კონსტრუქციის შესრულების საკითხები ზომათა იმავე კლასში. ნაჩვენებია, რომ მისაღები შედეგები არსებითადაა დამოკიდებული იმაზე, თუ რომელი სიმრავლე იქნება აღებული ევკლიდეს სივრცეში საკოორდინატო კუბის როლში. მიღებულია,  $G$ - ზომათა კლასის მიმართ, აბსოლუტურად არაზომადი სიმრავლეების არსებობისა და ზომათა იმავე კლასში ვიტალის კონსტრუქციის შესრულების აუცილებელი და საკმარისი პირობები, როდესაც ერთეულოვანი კუბის როლში აღებულია  $\Delta_3 = [0; 1]^3$  კუბი.

### საკვანძო სიტყვები:

#### *სიმრავლე, ზომათა თეორია, არაზომადი სიმრავლეები*

თანამედროვე მათემატიკის შესწავლასა და კვლევაში სიმრავლეთა თეორია დიდ როლს თამაშობს. სიმრავლეთა თეორია აღებულია როგორც ბაზისი ყოველი საკვლევი მათემატიკური თეორიისა და მასზე დაყრდნობით ხდება სხვა თეორიების აგება, შესწავლა და მათი შემდგომი განვითარება.

სიმრავლეებზე განსაზღვრული ზომა წარმოადგენს ამ სიმრავლის რაღაც ტიპის ქვესიმრავლეებისათვის არაუარყოფითი რიცხვების მინიჭების წესს და ეს რიცხვი აღიქმება, როგორც შესაბამისი ქვესიმრავლის ზომა, ანუ სიმრავლეზე განსაზღვრული ზომა ეწოდება ფუნქციას, რომელიც ამ სიმრავლის ქვესიმრავლეებს არაუარყოფით ნამდვილ რიცხვებს შეუსაბამებს. მაგრამ სიმრავლეზე განსაზღვრული ზომით მისი ყველა ქვესიმრავლის გაზომვა ხშირად შესაძლებელი არაა. ამიტომ გაჩნდა იდეა, ზომა განსაზღვრულიყო სიმრავლეთა გარკვეულ კლასზე ისე, რომ მათში არაზომადი სიმრავლის მიღება გამორიცხული ყოფილიყო.

1905 წელს ჯ. ვიტალიმ ამორჩევის აქსიომაზე დაყრდნობით ააგო ე. წ. ვიტალის არაზომადი  $V$  სიმრავლე (ვიტალის კონსტრუქცია), რომელიც ნამდვილ რიცხვთა ქვესიმრავლეს წარმოადგენს და არაზომადია ლებეგის აზრით.

მოცემულ სტატიაში ძირითადად ვისარგებლებთ ცნებებით, რომლებიც მოცემულია მაგალითად [3]-სა და [4]-ში. აქ მოვიყვანოთ განმარტება, რომლის ანალიზსაც ეხება წინამდებარე სტატია.

ვთქვათ  $G$  წარმოადგენს ნებისმიერი ბაზისური  $E$  სიმრავლის გარდაქმნების ჯგუფს,  $\mu_G$   $E$  -ზე განსაზღვრული არაგადაგვარებული  $G$ -ინვარიანტული ზომების კლასია.

$y \subset E$  სიმრავლეს ეწოდება აბსოლუტურად არაზომადი  $\mu_G$  კლასის მიმართ, თუ არ არსებობს ისეთი  $G$ -ზომა  $\mu \in \mu_G$ , რომლის განსაზღვრის არეშიც შედის  $y$ .

ვთქვათ  $E$  სიმრავლის როლში აღებულია ევკლიდეს  $n$ -განზომილებიანი  $E_n$  სივრცე,  $G$  ჯგუფი წარმოადგენს ყველა პარალელური გადატანის  $\pi_n$  ჯგუფის რაიმე ქვეჯგუფს, ხოლო  $\mu_G$  - ყველა  $G$ -ზომათა კლასია.

ნაშრომში [2] გამოკვლეულია  $G$ -ზომათა სხვადასხვა გეომეტრიული თვისება ევკლიდეს სივრცეებში, რომელიც დაკავშირებულია ამ სივრცეებში  $G$ -ზომათა კლასის მიმართ აბსოლუტურად არაზომადი სიმრავლეების არსებობასთან. კერძოდ, ნაჩვენებია, რომ

მისაღები შედეგების ხასიათი არსებითადაა დამოკიდებული იმაზე, თუ რომელი სიმრავლე იქნება აღებული ევკლიდეს სივრცეში საკოორდინატო კუბად. როდესაც ერთეულოვანი კუბის როლში აღებულია  $\Delta_n = ]0; 1[ \wedge^n$  ღია კუბი, დადგენილია  $G$ -ზომათა კლასის მიმართ აბსოლუტურად არაზომადი სიმრავლეების არსებობის აუცილებელი და საკმარისი პირობები (იხ. მაგ. [1]). თუმცა, როგორც ნაშრომი [2]-დან ირკვევა, თუ ერთეულოვანი კუბის როლში ავიღებთ  $\Delta_n = ]0; 1[ \wedge^n$  ჩაკეტილ კუბს,  $[1]$ -ში დადგენილი პირობები არაა საკმარისი  $G$ -ზომათა კლასის მიმართ აბსოლუტურად არაზომადი სიმრავლეების არსებობისათვის.

ჩვენი მიზანია ზემოხსენებული საკითხების შესწავლა, როცა  $E$  სიმრავლის როლში აღებულია ევკლიდეს  $3$ -განზომილებიანი  $E_3$  სივრცე,  $G$  ჯგუფი წარმოადგენს ყველა პარალელური გადატანის  $\pi_3$  ჯგუფის რაიმე ქვეჯგუფს,  $\mu_G$  ყველა  $G$ -ზომათა კლასია, ერთეულოვანი კუბის როლში კი აღებულია კუბი  $\Delta_3 = ]0; 1[ \wedge^3$ . სანამ მიღებულ შედეგებს ჩამოვყალიბებთ, გავხსენოთ, რომ  $\pi_n$  ჯგუფის ნებისმიერი ქვეჯგუფი  $G$  წარმოადგენს  $E_n$  სივრცის რაიმე ვექტორული  $V \subset G$  ქვესივრცისა და  $V$ -ს დამატებით ქვესივრცეში მდებარე რაიმე დისკრეტული ქვეჯგუფის პირდაპირ ჯამს. (იხ. მაგ. [3]). შესაბამისად,  $\pi_3$ -ის ნებისმიერი არადისკრეტული ქვეჯგუფი  $G$  შეიძლება წარმოადგინოთ როგორც პირდაპირი ჯამი  $E_3$ -ის რაიმე ქვესივრცეში ყველგან მკვრივი  $G_0 \subset G$  ქვეჯგუფისა და დისკრეტული ჯგუფისა, რომელიც წარმოქმნილია ვექტორების წრფივად დამოუკიდებელი სასრული  $(a_i)_{i=1,r}$  ოჯახით  $E_3 \setminus V$  ქვესივრციდან, სადაც  $\dim V + r = 3$ .  $H$ -ით აღვნიშნოთ  $\cup_{g \in V} (g + \Delta_3)$  გაერთიანება, რომელსაც ვუწოდოთ ჩაკეტილი ზოლი. სამართლიანია შემდეგი დებულები:

**თეორემა 1.** ვთქვათ  $\Delta_3 = ]0; 1[ \wedge^3$ ,  $G$  წარმოადგენს  $\pi_3$  ჯგუფის ქვეჯგუფს, რომლისთვისაც ვექტორული ქვესივრცე  $V$  შეიცავს რომელიმე საკოორდინატო ღერძს, მაშინ  $E_3$  სივრცეში არსებობს მოცემული  $G$ -ზომათა კლასის მიმართ აბსოლუტურად არაზომადი სიმრავლე.

**დამტკიცება.** ვთქვათ სრულდება თეორემის პირობები. აღვნიშნოთ  $I$ -ით ეს ღერძი და განვიხილოთ  $I$  ღერძზე მდებარე კოორდინატთა სათავისაკენ კრებადი პარალელურ გადატანათა  $(h_k)_{k \in \mathbb{N}}$  დიზუნქციური მიმდევრობა  $G_0$ -დან. ჩავთვალოთ, რომ  $|h_k| < 1$ ,  $k \in \mathbb{N}$ .  $G_1$ -ით აღვნიშნოთ  $(h_k)_{k \in \mathbb{N}}$  ოჯახით წარმოქმნილი ჯგუფი და განვიხილოთ  $I$  წრფის დაყოფა  $G_1$  ინტრანზიტულობის კლასებად. მითითებული კლასების  $I \cap ]0; 1[ \wedge^3$  სიმრავლესთან ყველა არაცარიელი გადაკვეთიდან ავირჩიოთ თითო წარმომადგენელი, მიღებული სიმრავლე აღვნიშნოთ  $Z_1$ -ით.  $Z_1$  სიმრავლის ყოველ წერტილზე გავავლოთ  $I$  ღერძის ორთოგონალური სიბრტყე და მათი გაერთიანება აღვნიშნოთ  $Z_2$ -ით. განვიხილოთ  $Z = \Delta_3 \cap Z_2$  თანაკვეთა და დავრწმუნდეთ, რომ  $Z$  არის აბსოლუტურად არაზომადი სიმრავლე  $G$ -ზომათა კლასის მიმართ.

მართლაც, თუ დავუშვებთ, რომ რაიმე  $G$ -ზომისათვის  $\mu(Z) = 0$ , მაშინ  $\Delta_3 \subset \cup_{k \in \mathbb{N}} h_k(Z)$  ჩართვიდან გამომდინარე,  $\mu(\Delta_3) = 0$ , რაც წინააღმდეგობაა. ხოლო  $\mu(Z) > 0$  დაშვებისას  $(h_k(Z))_{k \in \mathbb{N}}$  ოჯახის დიზუნქციურობიდან გამომდინარე

$$\mu\left(\bigcup_{k \in \mathbb{N}} h_k(Z)\right) = \sum_{k \in \mathbb{N}} \mu(h_k(Z)) = \sum_{k \in \mathbb{N}} \mu(Z) = +\infty,$$

რაც აგრეთვე შეუძლებელია, რადგანაც  $\cup_{k \in \mathbb{N}} h_k(Z)$  სიმრავლე იფარება  $\Delta_3$  კუბის ტრანსილატების სასრული ოჯახით.

**თეორემა 2.** ვთქვათ  $\Delta_3 = ]0; 1[ \wedge^3$ ,  $G$  წარმოადგენს  $\pi_3$  ჯგუფის არადისკრეტულ ქვეჯგუფს, რომლისთვისაც ვექტორული ქვესივრცე  $V$  არ შეიცავს საკოორდინატო ღერძს. თუ  $\dim V = k$  და  $V$  მთლიანად დევს რომელიმე საკოორდინატო სიბრტყეში, რომელშიც ასევე დევს  $G$  ჯგუფის დისკრეტული შემადგენლის წარმოქმნილი ვექტორები  $a_i$   $1 \leq i \leq 2 - k$ , მაშინ  $G$  ჯგუფის მიმართ აბსოლუტურად არაზომადი სიმრავლეების არსებობისათვის აუცილებელი და საკმარისია შემდეგი პირობა:  $(\forall i)(1 \leq i \leq 2 - k) \Rightarrow \text{int}[(H + a_i) \cap H] \neq \emptyset$ , წინააღმდეგ შემთხვევაში, სივრცის ყველა  $G$ -ზომათა კლასის მიმართ აბსოლუტურად არაზომადი

სიმრავლე არსებობს მაშინ და მხოლოდ მაშინ, როცა  $G$  ჯგუფის დისკრეტული შემადგენელი წარმოქმნილია  $b_1, b_2$  ვექტორებისაგან და სრულდება პირობა

$$\text{int}[(H + b_i) \cap H] \neq \emptyset, i=1; 2$$

**დამტკიცება.**

**აუცილებლობის** დამტკიცება საკმარისია მხოლოდ მეორე შემთხვევაში, რადგან პირველი შემთხვევისათვის ის მით უფრო სწორი იქნება. დავუშვათ, რომ არსებობს  $i$  ( $1 \leq i \leq n$ ) ინდექსი, რომლისთვისაც  $\text{int}[(H+b_i) \cap H] = \emptyset$ .  $h$ -ით აღვნიშნოთ  $H$  ზოლის საზღვარი და ავარჩიოთ  $h$ -დან წერტილი, რომელიც ამავდროულად  $\Delta_3$ -ის საზღვარზე დევს და არ წარმოადგენს შიდა წერტილს  $H$  ზოლის  $G$  ჯგუფის ყველა შესაძლო გარდაქმნებით მიღებული არც ერთი ტრანსლატისათვის. არჩეულ წერტილზე გავავლოთ  $V$  ქვესივრცის პარალელური  $p$  წრფე, რომელიც  $\Delta_3$ -თან მხოლოდ ამ წერტილში იკვეთება. ყოველივე ეს შესაძლებელია  $\text{int}[(H+b_i) \cap H] = \emptyset$  პირობის გათვალისწინებით. აღვნიშნოთ  $P = \bigcup_{g \in G_1} g(p)$  გაერთიანება, სადაც  $G_1$  წარმოადგენს  $G$  ჯგუფის დისკრეტულ შემადგენელს. თანაფარდობით

$$\lambda(Y) = \begin{cases} \frac{1}{q} \text{card}(P \cap Y), & \text{card}(P \cap Y) < \kappa_0 \\ +\infty, & \text{card}(P \cap Y) \geq \kappa_0 \end{cases}, \text{ სადაც } Y \in E_3\text{-ის ნებისმიერი ქვესიმრავლეა და}$$

$q = \text{card}(\Delta_3 \cap P)$ , სივრცის მთელ ბულეანზე განსაზღვრულია კონკრეტული  $G$ -ზომა, ე. ი. აბსოლუტურად არაზომადი სიმრავლე არ არსებობს.

**საკმარისობა.** თავდაპირველად განვიხილოთ პირველი შემთხვევა. ვთქვათ  $W$   $m$ -განზომილებიანი საკოორდინატო ქვესივრცეა  $m=1,2$ ; რომელიც მოიცავს  $V$  ქვესივრცეს და  $G$  ჯგუფის არადისკრეტული ქვეჯგუფის წარმომქმნელ  $a_1, \dots, a_{m-k}$ , ვექტორებს. განვიხილოთ  $V$  სივრცეში მდებარე ვექტორული წრფე  $u$  და ის საკოორდინატო ღერძი  $d$ , რომელზეც  $u \cap [0; 1]^3$  სიმრავლის ორთოგონალური პროექცია წარმოადგენს  $[0; 1]$  სეგმენტს. ვთქვათ  $(h_j)_{j \in \mathbb{N}}$  კოორდინატა სათავისაკენ კრებადი  $u$  წრფეზე მდებარე  $G_0$  ჯგუფის პარალელურ გადატანათა დიზუნქციური მიმდევრობაა, ამასთან თითოეული  $j \in \mathbb{N}$ -სათვის ჩავთვალოთ, რომ  $|h_j| < 1$ .  $G_1$ -ით აღვნიშნოთ  $(h_j)_{j \in \mathbb{N}}$  ოჯახით წარმოქმნილი ჯგუფი, განვიხილოთ  $u$  წრფის დაყოფა  $G_1$  – ინტრანზიტულობის კლასებად. მითითებული კლასების  $u \cap [0; 1]^3$  სიმრავლესთან ყველა არაცარიელი გადაკვეთიდან ავირჩიოთ თითო წარმომადგენელი, მიღებული სიმრავლე აღვნიშნოთ  $Z_1$ -ით.  $Z_1$  სიმრავლის ყოველ წერტილზე გავავლოთ  $d$  ღერძის ორთოგონალური სიბრტყე. მათი გაერთიანება აღვნიშნოთ  $Z_2$ -ით. განვიხილოთ  $Z = \Delta_3 \cap Z_2$  თანაკვეთა და დავრწმუნდეთ, რომ იგი არის აბსოლუტურად არაზომადი სიმრავლე  $G$ -ზომათა კლასის მიმართ. თუ დავუშვებთ, რომ რაიმე  $G$ -ზომა  $\nu$ -თვის  $Z \in \text{dom}(\nu)$  და  $\nu(Z) = 0$ ,  $\Delta_3 \subset \bigcup_{k \in \mathbb{N}} h_k(Z)$  ჩართვიდან გამომდინარე, მივიღებთ, რომ  $\nu(\Delta_3) = 0$ , რაც წინააღმდეგობაა. ახლა დავუშვათ, რომ  $\nu(Z) > 0$ .  $(h_j(Z))_{j \in \mathbb{N}}$  მიმდევრობისათვის ერთი მხრივ სრულდება

$$\nu\left(\bigcup_{j \in \mathbb{N}} h_j(Z)\right) = \sum_{j \in \mathbb{N}} \nu(h_j(Z)) = \sum_{j \in \mathbb{N}} \nu(Z) = +\infty,$$

თანაფარდობა. მეორეს მხრივ,  $(\forall i)(1 \leq i \leq 2 - k) \Rightarrow \text{int}[(H + a_i) \cap H] \neq \emptyset$ , პირობიდან გამომდინარე  $\bigcup_{j \in \mathbb{N}} h_j(Z)$  სიმრავლის შიდა არისათვის არსებობს სასრული დაფარვა კუბებით  $(g([0; 1]^3))_{g \in G}$  ოჯახიდან. ამიტომ  $\bigcup_{j \in \mathbb{N}} h_j(Z)$  გაერთიანებას დაფარავს შესაბამისი ჩაკეტილი კუბების სასრული მიმდევრობა  $(g([0; 1]^3))_{g \in G}$  ოჯახიდან. აქედან გამომდინარე,  $\nu\left(\bigcup_{j \in \mathbb{N}} h_j(Z)\right) < +\infty$ , რასაც მივყავართ წინააღმდეგობამდე.

მეორე შემთხვევა ანალოგიურად მტკიცდება, მხოლოდ მსჯელობის ბოლოს გამომდინარე პირობიდან  $\text{int}[(H + b_i) \cap H] \neq \emptyset, i=1; 2$ ,  $\bigcup_{j \in \mathbb{N}} h_j(Z)$  სიმრავლის ჩაკეტვისათვის არსებობს სასრული დაფარვა კუბებით  $(g([0; 1]^3))_{g \in G}$  ოჯახიდან.

## On Immeasurable Sets

*Ketevan Omiadze, Nugzar Dadiani, Dudukhana Tzintzadze,*

### Summary

The problems of the existence of immeasurable sets with respect to the class of  $G$ -measures in Euclidean spaces are investigated, as well as the problems of the fulfillment of Vitali's construction in the same class of measures. It is shown that acceptable results essentially depend on which set will be taken as a coordinate cube in Euclidean space. Necessary and sufficient conditions for the existence of absolutely immeasurable sets and the fulfillment of Vitali's construction in the same class of measures, when a cube  $\Delta_3 = [0; 1]^3$  is taken as a unit cube, are obtained for the relation of the class  $G$ -measures.

## О неизмеримых множествах

*Кетеван Омиадзе, Нугзар Дадияни, Дудухана Цинцадзе*

### Резюме

Исследованы вопросы существования абсолютно неизмеримых множеств относительно класса  $G$ -мер в евклидовых пространствах, а также вопросы выполнения конструкции Витали в том же классе мер. Показано, что приемлемые результаты существенно зависят от того, какое множество будет принято за координатный куб в евклидовом пространстве. Получены, по отношению класса  $G$ - мер, необходимые и достаточные условия существования абсолютно неизмеримых множеств и выполнения конструкции Витали в том же классе мер, когда за единичный куб взят  $\Delta_3 = [0; 1]^3$  куб.

## ლიტერატურა – References – Литература

1. Нижарадзе Г. В. - Сообщения АН ГССР, 123, № 2, 1986.
2. Харазишвили А. Н. – Сообщения АН ГССР. 90, № 1, 1978
3. Бурбаки Н. - Общая топология. М., 1969
4. ონიანი გიორგი - ნამდვილი ანალიზის საფუძვლები - ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის გამომცემლობა, 2019.

**მართვის სისტემები და მოწყობილობები**

**CONTROL SYSTEMS AND DEVICES**

**СИСТЕМЫ И УСТРОЙСТВА УПРАВЛЕНИЯ**



---

**Selection, application and experimental testing using quantitative methods for determination of synergy rate and biological effectiveness of synergistic insecticidal composition against the Brown marmorated stink bug (*Halyomorpha Halys*)**

*Maia Amobokadze, Nino Lomidze, Archil Chirakadze, Zakaria Buachidze, Akaki Gigineishvili, Mariam Tsverava, Gia Kacharava, Irina Khomeriki, Mikhail Taktakishvili*

*achikochirakadze@gmail.com*

**Abstract**

The research is dedicated to selection and applying of relatively simple, easy-to-use methods in the monitoring process and laboratory testing of insecticide drugs and quantitative determination of their biological effectiveness. Calculations and results of the experimental study show the sufficient degree of consistency of results obtained using various widely used and newly developed methods.

**Key words:**

*Insecticide, composition, quantitative, biological effectiveness, synergistic index, Brown marmorated stink bug*

**Introduction**

Successful pest control requires insecticides that can control or completely eradicate pest populations, reduce pest resistance as well as decrease the negative impact on human health and the environment [1]. Previous studies have shown [2] that a new insecticidal composition containing three active ingredients is synergistic against the Brown marmorated stink bug (BMSB). An experimental method for determining the biological effectiveness and duration of action has been developed, which has been tested by a fundamentally new method [1-2]. This time, the consistency and relevance of the obtained results were tested by widely approbated methods. The main components required for the preparation of the composition are the emulsifier-dispersant Lansperse BIO 868, freshwater amorphous diatomaceous earth (DE), and synthetic insecticides bifenthrin and malathion. Preparation of the drug is carried out as follows: Freshwater DE is ground into micro powder 10-100 microns; The rest of the components are dispersed in a standard homogenizer at 3000 r/m; During the next 4-8 minutes, under constant shaking conditions, the micro powder is introduced into the dispersed components; Then the resulting mixture is dispersed for 15-25 minutes until a stable emulsion is obtained. The ratio of active components (diatomite, malathion, bifenthrin) is 100 : 20 : 1.

**Research methodology and course**

The insecticidal composition and its active substances were tested within the framework of the State Program for the Fight against BSMB according to a memorandum for scientific research between the Georgian Technical University and the National Food Agency of Georgia in laboratory conditions (in wheat flour, wheat grains and on strawberry seedlings). The biological efficiency of drugs (by the classic Abbott formula and a modified version developed during the study) and synergism of the components (by the combined toxicity index and the Isobole method) [1-2] were assessed using a new methodology developed under the governmental program.

Two formulas were used to determine biological effectiveness in laboratory tests:

A) The classic Abbott formula:



$$BE (\%) = (1 - n_1 / n_2) \times 100 (1)$$

Where BE is the biological effectiveness of the insecticide, n1 is the number of after treated surviving insects in the test group, n2 is the number of surviving insects in the control group.

B) Abbott's formula "modified" by us:

$$BE (\%) = [1 - (n_1 + n_2) / n_3] \times 100 (2)$$

Where BE is the biological effectiveness of the insecticide, n1 is the number of after treated surviving insects in the test group, n2 is the number of insects that died in the control group, and n3 is the number of insects that survived in the control group.

To determine the toxicity index, the so-called Isobole method [2] and the joint toxicity formula (3) were used:

$$CTI = (BE - BE_{\Sigma}) / B_{\Sigma} (3);$$

$$B_{\Sigma} = \sum_{1}^K BE_K$$

Where CTI is the combined toxicity index of the insecticidal combination, B is the actually measured biological effectiveness of the insecticidal combination, and BK is the biological effectiveness of each component of the insecticidal combination, K is the total number of components.

Due to the abundance of components (3), the Isobole method was mainly used for three combinations: a) diatomite and malathion + bifenthrin, b) diatomite and bifenthrin + malathion, c) malathion and bifenthrin + diatomite on wheat flour, wheat grains and strawberry seedlings infected with BMSB. All studies were carried out according to a single specially developed protocol and compliance with the required parameters. In experimental process 54 trial and 54 control replications were studied. To improve the accuracy and reliability of the study results, the biological effectiveness of bifenthrin was determined in parallel for four times increase doses under the same environmental conditions. A Sample of an Adult Population of Asian Stink Bugs, provided by the Georgia National Food Agency, was used as a material for testing, 3,000 in total.

The biological effectiveness of the tested drugs was determined daily. To improve the accuracy and reliability of the results, the biological effectiveness of the new composition was divided by the biological effectiveness of bifenthrin. Taking into account the probabilistic nature of biological effects and to exclude gross errors, a series of the obtained relative values were checked using the Dixon Q-test [3].

For example, Table 1 shows the results of one of the replications (with corresponding errors):

Trail day	1	2	3	4	4	6	7	8	9
Biological effectiveness	1.21	1.24	1.27	1.34	1.39	1.43	1.26	1.11	1.00
Error (%)	1.5	1.3	1.4	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0	0

*Table 1. Indicators of one of the typical replication on the ratio a new insecticidal composition and the coefficient of biological effectiveness of bifenthrin against Asian stink bug according to the Dixon Q-test.*

It should be pointed out that the use of the Dixon Q-test significantly changed the obtained results, especially in the case of quantifying synergy and in general in the context of small laboratory tests.

## **Conclusions**

Conducted studies allow us to draw the following conclusions:

1. It is essential to use new methods in small-scale laboratory studies, as well as in long-term field trials to improve the accuracy and reliability of results;
2. Using the Q-test Dixon had a significant impact on the results of this study, but does not change the main results.
3. The newly created insecticidal-acaricidal composition has a recording high biological effectiveness and synergism Against BMSB.

## **აზიური ფაროსანას წინააღმდეგ ინსექტიციდური კომპოზიციის სინერგიზმის და ბიოლოგიური ეფექტიანობის რაოდენობრივი განსაზღვრის მეთოდების შერჩევა, გამოყენება და ექსპერიმენტული შემოწმება**

*მაია ამობოკაძე, ნინო ლომიძე, არჩილ ჭირაქაძე, ზაქარია ბუაჩიძე, აკაკი გიგინეიშვილი, მარიამ წვერავა, გია კაჭარავა, ირინა ხომერიკი, მიხეილ თაქთაქიშვილი*

### **რეზიუმე**

კვლევა ეძღვნება ინსექტიციდური მოქმედების პრეპარატების სინერგიზმის და ბიოლოგიური ეფექტიანობის რაოდენობრივი განსაზღვრის შედარებით მარტივი, მონიტორინგის პროცესში იოლად გამოსაყენებელი მეთოდების შერჩევას და ლაბორატორიულ შემოწმებას. ჩატარებული კვლევის შედეგად განსაზღვრულია სხვადასხვა ფართოდ გამოყენებული და ახლად შემუშავებული მეთოდის გამოყენებით მიღებული შედეგების თანხვედრის ხარისხი.

## **Выбор, применение и экспериментальное тестирование синергетической инсектицидной композиции против Мраморного клопа (*Halyomorpha Halys*) с использованием количественных методов определения степени синергизма и биологической эффективности**

*Maia Amobokadze, Nino Lomidze, Archil Chirakadze, Zakaria Buachidze, Akaki Gigineishvili, Mariam Tsvetava, Gia Kacharava, Irina Homeriki, Mikhail Takhtakishvili*

### **Резюме**

Исследование посвящено выбору и применению удобных в использовании относительно простых методов в процессе мониторинга и лабораторных испытаний инсектицидных препаратов, а также количественного определения их биологической эффективности. Расчеты и результаты экспериментального исследования показывают достаточную степень согласованности результатов, полученных с использованием различных широко используемых и вновь разрабатываемых методов.

ლიტერატურა – References – Литература

1. Ambokadze M., Chirakadze A., Buachidze Z., Gigineishvili A., Gorgadze K., Laferashvili A., Vardiashvili G., Avagiani M. Pre-laboratory testing of natural, combined, and synthetic insecticidal drugs for the control of Asian stink bug (*Halyomorpha Halys*) and simplification of a method for the use in ecological school programs. *Georgian Chemical Journal*, 1, 167-171, 2018.
2. Chirakadze A., Kavlashvili N., Buachidze Z., Meskhi N., Gigineishvili A., Jishiashvili A., Laperishvili A., Zazadze L., Khuskivadze N., Khomeriki I., Taktakishvili M. Study of synergy of insecticidal formulations against BMSB using the mathematical isobole method. Archil Eliashvili institute of control systems of the Georgian Technical University, proceedings, N23, pp. 42-47, 2019.
3. Efstathiou C. Estimation of type I error probability from experimental Dixon's "Q" parameter on testing for outliers within small size data sets. *Talanta* 69, 5: 1068-1071, 2006.

---

**Quantitative in vivo determination of the biological effectiveness of a new combined insecticidal composition against the *Calliptamus italicus*, *Leptinotarsa decemlineata*, *Zabrus tenebrioides elongatus*, *Anisoplia alazanica* and *Mayetiola destructor* and proof of the reliability of the obtained experimental data using variation criteria**

*Maia Amobokadze, Nino Lomidze, Archil Chirakadze, Zakaria Buachidze, Akaki Gigineishvili, Nugzar Kavlashvili, Mariam Tsverava, Gia Kacharava, Irina Khomeriki, Mikhail Taktakishvili*

*achikochirakadze@gmail.com*

**Abstract**

Independent of the field of research, accuracy and reliability of the experimental measurement data are of great importance for the correct evaluation, selection and validation of the tested and/or monitored objects of the research and development study. This research is directly related to the development, testing and monitoring of the results of use of high-performance broad spectrum insecticides. A newly developed method for laboratory testing of the biological effectiveness and high activity time interval was applied to test the new combined insecticidal composition against the *Calliptamus italicus*, *Leptinotarsa decemlineata*, *Zabrus tenebrioides elongatus*, *Anisoplia alazanica* and *Mayetiola destructor* and proof of the reliability of the obtained experimental data using 5 especially sensitive tests: Irvin method, Generalized ESD test, Modified Thompson Tau Test, Dixon's Q-test, Pierce's criterion. The executed research showed that the developed composition is about twice more effective than bifenthrin and that the above tests and criteria "filtering" the outliers may noticeably improve the accuracy and reliability of measured data.

**Key words**

*pests, outliners, Irvin method, Generalized ESD test, Modified Thompson Tau Test, Dixon's Q-test, Pierce's criterion*

**Experimental**

The new insecticidal composition contains the food grade Diatomaceous earth, a broad-spectrum non alpha cyano pyrethroid insecticide Bifenthrin (brutto formula C<sub>23</sub>H<sub>22</sub>ClF<sub>3</sub>O<sub>2</sub>), a broad-spectrum organophosphate insecticide Malathion (brutto formula C<sub>10</sub>H<sub>19</sub>O<sub>6</sub>S<sub>2</sub>P), Lankem Lansperse BIO868 100% renewable surfactant and (HEC) is a nonionic cellulose derivative (HEC) that totally dissolves in both cold and hot water. All four components are consequently dispersed, mixed and dissolved in water and a small amount of widely applied surfactants and solvents using a 3000-3500 r/m homogenizer.

Biological effectiveness (efficiency) of the developed insecticidal composition against *Calliptamus italicus*, *Leptinotarsa decemlineata*, *Zabrus tenebrioides elongatus*, *Anisoplia alazanica* and *Mayetiola destructor* was tested using a recently developed and tested method [1, 2] in 162 test and 162 control replication using the modified Abbot formula. In order to increase the accuracy and reliability of the results (to reduce the influence of uncontrollable factors), the biological effectiveness of the „Talstar 250 EC“ insecticidal formulation was measured simultaneously. Biological effectiveness of the composition was divided by the biological effectiveness of „Talstar and further processing of biological efficacy ratios was carried out using the five following tests to eliminate the so-called outliers (rough measurement errors caused by non-relevant factors): Generalized ESD test, Modified Thompson Tau Test, Dixon's Q-test, Pierce's criterion, Irvin method [3-5]. The total dose of bifenthrin and malathion in the insecticidal composition was always 4 times lower than the dose of bifenthrin in an aqueous solution of „Talstar 250 EC“. The used dose of bifenthrin was 2.5-times lower than given in the label.

The corrections to measured ratios of biological efficiencies (%) after applying the Generalized ESD test are given in Table 1.

Day of testing	1	2	3	4	5	6	7
Calliptamus italicus,	+4.3	-1.7	+5.5	-2.6	+11.2	+3.8	-6.9
Leptinotarsa decemlineata	-8.1	-9.3	+8.9	-0.9	-2.2	+2.3	+6.4
Zabrus tenebrioides elongatus	-6.9	+7.8	-5.2	+7.3	+4.1	+3.0	+5.1
Anisoplia alazanica	-3.2	+3.6	+2.4	+7.2	0	+3.9	+5.9
Mayetiola destructor	-5.4	-3.5	-1.5	-5.9	+1.3	+7.3	+1.4

Table 1. Corrections to measured ratios of biological efficiencies after applying the Generalized ESD test

The corrections to measured ratios of biological efficiencies after applying the Modified Thompson Tau Test are given in Table 2.

Day of testing	1	2	3	4	5	6	7
Calliptamus italicus,	-8.2	-3.0	+7.1	-6.2	-4.3	0.3	+2.9
Leptinotarsa decemlineata	-1.8	+0.2	-8.4	-4.7	-3.8	-3.4	+7.3
Zabrus tenebrioides elongatus	+7.5	-2.6	-3.0	+8.1	+6.4	-5.7	-3.3
Anisoplia alazanica	+8.3	+9.1	-6.7	+4	+9.8	+9.9	-9.5
Mayetiola destructor	+7.6	-6.6	+2.3	+3.2	-6.4	-8.1	+5.4

Table 2. Corrections to measured ratios of biological efficiencies after applying the Modified Thompson Tau Test

The corrections to measured ratios of biological efficiencies (%) after applying the Dixon's Q-test are given in Table 3.

Day of testing	1	2	3	4	5	6	7
Calliptamus italicus,	-4.4	-3.2	-11.5	-1.6	+1.8	+2.9	+6.0
Leptinotarsa decemlineata	-4.7	+7.3	+4.1	-6.3	-9.5	-6.6	-2.4
Zabrus tenebrioides elongatus	-11.8	+14.0	-10.2	-11.7	+11.6	-3.9	+9.6
Anisoplia alazanica	-6.4	+6.8	0.5	-2.3	+5.9	+3.3	-5.1
Mayetiola destructor	-2.7	-7.6	+1.4	+3.8	+3.2	-2.1	+5.9

Table 3. Corrections to measured ratios of biological efficiencies (%) after applying the Dixon's Q-test

The corrections to measured ratios of biological efficiencies after applying the Pierce's criterion are given in Table 4.

Day of testing	1	2	3	4	5	6	7
Calliptamus italicus,	+9.6	+4.1	-5.1	+4.7	-11.9	-9.3	4.4
Leptinotarsa decemlineata	+3.5	+5.8	-9.3	+11.6	-4.2	7.2	-12.1
Zabrus tenebrioides elongatus	-7.9	+10.3	-9.5	+2.4	+5.9	-12.0	-7.6
Anisoplia alazanica	-8.8	+9.3	+4.4	+6.5	+11.7	+9.2	+11
Mayetiola destructor	+6.4	+1.3	+6.2	+10.6	-9.7	-8.7	+10.2

Table 4. Corrections to measured ratios of biological efficiencies after applying the Pierce's criterion

The corrections to measured ratios of biological efficiencies (%) after applying the Irvin method are given in Table 5.

Day of testing	1	2	3	4	5	6	7
Calliptamus italicus,	+1.6	-9.4	-9.1	+10.0	-4.0	-2.4	+5.6
Leptinotarsa decemlineata	-8.5	+5.5	+3.7	+3.9	+1.8	+2.1	-8.3
Zabrus tenebrioides elongatus	+5.0	+7.6	+9.0	-7.3	-2.4	+0.5	+3.9
Anisoplia alazanica	-10.2	+8.6	+8.5	+3.4	+5.1	+6.7	+4.4
Mayetiola destructor	+7.8	+10.1	+2.2	+3.2	+0.2	-10.0	+5

Table 5. Corrections to measured ratios of biological efficiencies after applying the Irvin method

## Discussion and conclusions

A new insecticidal composition based on the highly safe component of biological origin diatomaceous earth (DE), a bio-surfactant and many-fold reduced amount of two synthetic insecticides – bifenthrin and malathion – revealed the increased biological effectiveness (compared to bifenthrin) against the five most widespread agricultural pests that harm grain and other fruit crops. The increased effectiveness may be explained by the high synergism between the components of the composition.

To develop the final formulation and application manual, it is necessary to know with high accuracy the biological effectiveness of the developed composition against each of the target pests. Five widely used tests were applied to the measurement data (see Tables 1-5) with aim to eliminate the outliers (rough experimental mistakes) and improve the accuracy and reliability of the data in application manuals.

Calculations showed that the corrections made due the application of all five tests were considerable in case of all pests, although they did not affect the main results of the research. Sets of corrections have always been random, indicating the random nature of the measurement error.

Additional detailed research is necessary to identify the most suitable test (criterion) of eliminating of outliers and improving the accuracy and reliability of experimental measurement for each pest and for given testing method.

## **Calliptamus italicus, Leptinotarsa decemlineata, Zabrus tenebrioides elongatus, Anisoplia alazanica და Mayetiola destructor-ის წინააღმდეგ ახალი კომბინირებული ინსექტიციდური კომპოზიციის ბიოლოგიური ეფექტიანობის რაოდენობრივი განსაზღვრა და მიღებული ექსპერიმენტული მონაცემების სიზუსტის და სანდოობის შემოწმება რიცხობრივი ტესტებისა და კრიტერიუმების გამოყენებით**

*მაია ამოზოკაძე, ნინო ლომიძე, არჩილ ჭირაქაძე, ზაქარია ბუაჩიძე, აკაკი გიგინეიშვილი, ნუგ ზარ ყავლაშვილი, მარიამ წვერავა, გია კაჭარავა, ირინა ხომერიკი, მიხეილ თაქთაქიშვილი*

### **რეზიუმე**

მიუხედავად კვლევის სფეროსი, ექსპერიმენტული გაზომვის მონაცემების სიზუსტეს და საიმედოობას დიდი მნიშვნელობა აქვს კვლევისა და შემუშავების ტესტირებული და/ან კონტროლირებადი ობიექტების სწორად შეფასების, შერჩევისა და გამოყენებისათვის. მოცემული კვლევა პირდაპირ კავშირშია მაღალეფექტიანი ფართო სპექტრის ინსექტიციდების შემუშავებასთან, ტესტირებასა და მონიტორინგთან. ბიოლოგიური ეფექტიანობის და მაღალი აქტივობით მოქმედების ხანგრძლივობის განსაზღვრის ახლახან შემუშავებული მეთოდი გამოყენებულ იქნა *Calliptamus italicus*, *Leptinotarsa decemlineata*, *Zabrus tenebrioides elongatus*, *Anisoplia alazanica* და *Mayetiola destructor*-ის წინააღმდეგ ახალი ინსექტიციდური კომპოზიციის ტესტირებისთვის და მიღებული შედეგების სანდოობის დასადასტურებლად. 5 მაღალი მგრძნობიარობის ტესტის (ირვინის მეთოდი, ზოგადი ESD ტესტი, მოდიფიცირებული ტომპსონ ტაუს ტესტი, დიქსონის Q- ტესტი, პირსის კრიტერიუმი) გამოყენებით ჩატარებულმა კვლევამ აჩვენა, რომ შემუშავებული კომპოზიცია დაახლოებით ორჯერ უფრო ეფექტიანია, ვიდრე ბიფენტრინი, და რომ ზემოთ ჩამოთვლილი ტესტების მეშვეობით შესაძლებელია გაზომვის შეცდომების „ფილტრაცია“ და მონაცემთა სიზუსტის და სანდოობის მკვეთრი ამაღლება.

**Количественное определение *in vivo* биологической эффективности новой инсектицидной композиции против *Calliptamus italicus*, *Leptinotarsa decemlineata*, *Zabrus tenebrioides elongatus*, *Anisoplia alazanica* и *Mayetiola destructor* и доказательство достоверности полученных экспериментальных данных с помощью численных тестов и критериев**

*მაია ამობოკაძე, ნინო ლომიძე, არჩილ ჩირაკაძე, ჯაკარია ბუაჩიძე, აკაკი გიგინეიშვილი, ნუგზარ კავლავილი, მარიამ ცვერაва, გია კაჩარავა, ირინა ხომერიკი, მიხაილ ტაქთაკიშვილი*

**Резюме**

Независимо от области исследования, точность и надежность данных экспериментальных измерений имеют большое значение для правильной оценки, выбора и применения тестируемых и/или контролируемых объектов исследования и разработки. Данное исследование напрямую связано с разработкой, тестированием и мониторингом использования высокоэффективных инсектицидов широкого спектра действия. Недавно разработанный метод лабораторных испытаний биологической эффективности и интервала времени высокой активности был применен для тестирования новой инсектицидной композиции против *Calliptamus italicus*, *Leptinotarsa decemlineata*, *Zabrus tenebrioides elongatus*, *Anisoplia alazanica* и *Mayetiola destructor* и доказательства надежности полученных результатов. Данные тестирования с использованием 5 особо чувствительных тестов (метод Ирвина, Общий тест ESD, модифицированный тест Томпсона Тау, Q-тест Диксона, критерий Пирса) показали, что разработанная композиция примерно вдвое эффективнее бифентрина и что указанные выше тесты и критерии «фильтрации» выбросов могут заметно повысить точность и надежность измеренных данных.

**ლიტერატურა – References – Литература**

1. ამბოკაძე მ., ჭირაქაძე ა., ბუაჩიძე ზ., გიგინეიშვილი ა., გორგაძე კ., ლაფერიშვილია., ვარდაიშვილი გ., ავაგიანი მ. აზიური ფაროსანას (*Halyomorpha Halys*) კონტროლის ბუნებრივი, კომბინირებული და სინთეზური ინსექტიციდური პრეპარატების წინასწარი ლაბორატორიული ტესტირება და გამარტივებული მეთოდიკა ეკოლოგიური სწავლების სასკოლო პროგრამებში გამოსაყენებლად. საქართველოს ქიმიური ჟურნალი, 1, 167-171, 2018.
2. Chirakadze A., Kavlashvili N., Buachidze Z., Meskhi N., Gigineishvili A., Jishiashvili A., Laperishvili A., Zazadze L., Khuskivadze N., Khomeriki I., Taktakishvili M. Study of synergy of insecticidal formulations against BMSB using the mathematical isobole method. Archil Eliashvili institute of control systems of the Georgian Technical University, proceedings, N23, pp. 42-47, 2019.
3. Barnett, V. Outliers in statistical data [Text] / V. Barnet, T. Lewis. – Wiley, 1994. – 584 p.
4. Seo, S. A review and comparison of methods for detecting outliers in univariate data sets [Electronic resource]/S. Seo // University of Pittsburgh. – 2006. – Access: <http://d-scholarship.pitt.edu/7948/1/Seo.pdf>. – 20.05.2015.
5. Efstathiou C. Estimation of type I error probability from experimental Dixon's "Q" parameter on testing for outliers within small size data sets. Talanta 69, 5: 1068-1071, 2006.

---

## დიდი მუდმივი დენის კალიბრატორების აგების ზოგიერთი ძირითადი ტენდენცია

*ნუგზარ ყავლაშვილი, ლევან გვარამაძე, ოთარ ლაბაძე, პანაიოტ სტავრიანიძე, თამაზ საანიშვილი, გიორგი კიკნაძე*

*nkavlash@gmail.com, l.gvaramadze@yahoo.com*

### რეზიუმე

აღწერილია ძირითადი თვისებები და თავისებურებები, რომლებიც დამახასიათებელია დიდი მუდმივი დენის კალიბრატორების დაპროექტებისა და აგების დროს. განხილულია ტრადიციული პრობლემა, დაკავშირებული მოწყობილობის გაზარტიტებთან და მასასთან. ნაჩვენებია თუ რა გზით არის შესაძლებელი მოწყობილობის გაზარტიტების, მასის და ენერგოდანახარჯების შემცირება.

განხილულია ავტორების მიერ შემოთავაზებული და საავტორო მოწმობით დაცული კალიბრატორის მეტროლოგიური მახასიათებლების გაუმჯობესების მეთოდი, რომელიც ამცირებს გარე ზემოქმედებით გამოწვეული მადესტაბილიზირებელი ფაქტორების მოქმედებას მოწყობილობის მახასიათებელზე.

ილუსტრირებულია მეთოდი, რომლის გამოყენებით შესაძლებელია დანადგარის გამოსავალი დენის მახასიათებლების გაუმჯობესება (გამოსავალ დენში პულსაციების შემცირება).

მოცემულია რეკომენდაციები ქარხნული წესით დამზადებული მცირეგაზარტიანი ინვერტორული შედელების აპარატების მზა ბლოკების გამოყენებისათვის დიდი მუდმივი დენის კალიბრატორების ასაგებად.

### საკვანძო სიტყვები:

ინვერტორი, დიდი მუდმივი დენის კალიბრატორი, მახასიათებლის წრფივობა, სტაბილიზაცია.

თანამედროვე სახალხო მეურნეობასა და წარმოებაში არსებობს მანქანა-დანადგარების გარკვეული კლასი, რომელთა გაწყობისათვის, ნორმალური ექსპლოატაციისა და კონტროლისათვის აუცილებელია მაღალი, 1000 ა რიგის, მუდმივი დენის ფიქსირებული მნიშვნელობების გენერირება. ამ ტიპის ამოცანები, როგორც წესი, დაკავშირებულია ელექტროტრანსპორტში (ელმავალი, ელექტრომატარებელი, მეტრო, ტრამვაი) გამოყენებული სხვადასხვა სახეობის მოწყობილობების - დენის რელებების ექსპლოატაციასთან, კერძოდ, მათი ექსპლოატაციის სხვადასხვა რეჟიმების მოდელირებისათვის. ამ ტიპის ამოცანების გადასაწყვეტად გამოიყენება დიდი მუდმივი დენის წყაროების დაკალიბრების შედეგად მიღებული მეტროლოგიური კლასის ხელსაწყოები - კალიბრატორები. ამ მოწყობილობების გამოყენების სპეციფიკა აყენებს გარკვეულ ტიპის მოთხოვნებს. მათ შორის ძირითადებია:

1. ტრანსპორტაბელურობა - არ უნდა იყოს მასალატევადი და დიდი გაზარტის;
2. მახასიათებლის სტაბილურობა გარე ფაქტორების ზემოქმედების მიმართ (ტემპერატურა, ტენიანობა).
3. გამოსავალი მახასიათებლის ფორმის სტაბილურობა კვების ძაბვის მიმართ.



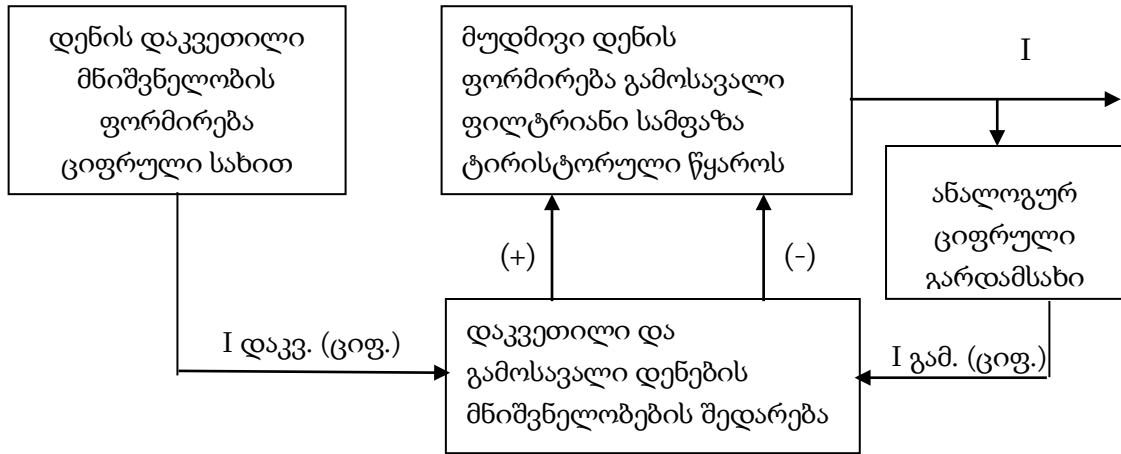
ტრადიციული მეთოდებით აგებული დიდი მუდმივი დენის კალიბრატორები ხასიათდება დიდი მასით და გაბარიტებით [1], რაც განპირობებულია იმით, რომ ძირითადი კვანძი, რომელიც გამოიყენება მათი კონსტრუირების დროს, არის ენერჯის გარდამსახი, რომელიც ტრადიციულად მზადდებოდა ტრანსფორმატორული სქემით სამრეწველო სიხშირის (50ჰც) ქსელის გამოყენებით. ბოლო წლებში შემუშავდა სხვა სახის ე.წ. ინვერტორული ტექნოლოგიები, რომლებიც იყენებენ ენერჯის გარდასახვას მაღალ სიხშირეზე (80 კჰც), რაც მნიშვნელოვნად ამცირებს დანადგარის მასას და გაბარიტებს [2,3].

ჩვენ მიერ შემუშავდა მეთოდი, რომლითაც შესაძლებელია ინვერტორული ტექნოლოგიით შესრულებული, ქარხნული წესით დამზადებული მოწყობილობის (მაგ. მცირეგაბარიტიანი შედუღების აპარატების) ცალკეული კვანძების გამოყენება კალიბრატორების კონსტრუირებისას. შეთავაზებული ტექნოლოგიის რეალიზაციისათვის შეიქმნა სპეციალური ინსტრუმენტი - ნახევრად ნატურული მოდელირების სტენდი, რომლის საშუალებით შესაძლებელია დასაპროექტებელი კალიბრატორის ძირითადი მახასიათებლების გადაღება და იმ შედეგის წინასწარი შეფასება, რომელიც თან სდევს კალიბრატორში მზა ქარხნული ბლოკების გამოყენებას, მათი სტრუქტურის ან პარამეტრების ცვლილებას. აღნიშნული მეთოდით EDON-ის ქარხანაში დამზადებული შედუღების აპარატის ინვერტორული კვანძების გამოყენებით დამზადებულ იქნა მუდმივი დენის კალიბრატორი, რომელიც იძლევა 200 ამპერამდე დენს. ჩატარებული კვლევების შედეგად დადგინდა, რომ ქარხნული წარმოების გადასატანი შედუღების აპარატების საფუძველზე, შესაბამისი კონსტრუქციული ცვლილებების შეტანით, შესაძლებელია მივიღოთ მუდმივი დენის კალიბრატორები, რომლებშიც დენის ცვლილების დიაპაზონი დამოკიდებულია ქარხნული ხელსაწყო სიმძლავრეზე [4].

მნიშვნელოვან პრობლემას დიდი მუდმივი დენის კალიბრატორების გამართული და სტაბილური ფუნქციონირებისათვის წარმოადგენს გამოსავალი მახასიათებლების წრფივობა და სტაბილურობა. დღევანდელ დღეს ცნობილი ტირისტორული სტრუქტურების გამოყენების საფუძველზე რეალიზებული დენის კალიბრატორების დიდი ნაწილი აგებულია ანალოგური გამზომი ტექნიკის ელემენტებზე მათთვის დამახასიათებელი დაბალი ტემპერატურული სტაბილურობით და განმეორებადობით.

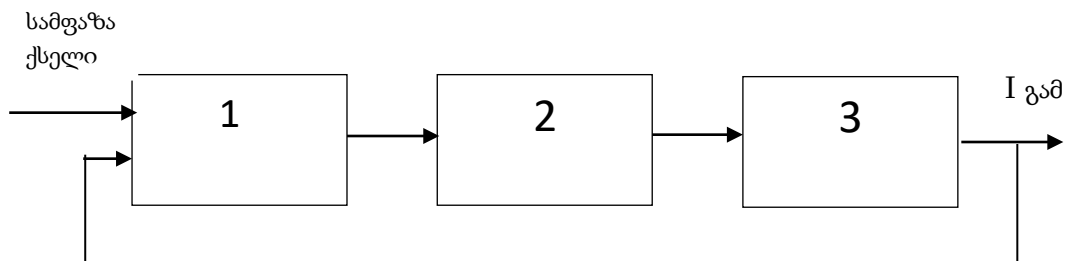
დიდი მუდმივი დენის კალიბრატორისათვის, რომლის ძალური ნაწილი რეალიზებულია ტირისტორული ბლოკების ფაზოიმპულსური მართვის სქემით, ჩვენ მიერ შეთავაზებულია გამოსავალი დენის მახასიათებლის წრფივობის და დროში სტაბილურობის შენარჩუნების ხერხი [5].

მიდგომა მდგომარეობს იმაში, რომ სისტემაში შეტანილია გამოსავალი დენის მის დაკვეთილ მნიშვნელობასთან შედარების ბლოკი. შედარების შედეგის მიხედვით ხორციელდება ტირისტორების მოკვეთის კუთხის კორექცია ისეთნაირად, რომ დინამურად გავაკომპენსიროთ გამოსავალ მახასიათებელში არასასურველი ცვლილებები, რომლებიც განპირობებულია სისტემის ძირითად აღმშფოთი ზემოქმედებებით (ხელსაწყო დატვირთვის წინააღობის, ძალური ქსელის ძაბვის, ქსელის სიხშირის, გარემოს ტემპერატურის ცვლილებით და ა.შ.). აღმშფოთი ზემოქმედების კომპენსაცია მიიღწევა ტირისტორების მოკვეთის კუთხის ავტომატური ცვლილებით გამოსავალი დენის მნიშვნელობების დაკვეთილი დენის მნიშვნელობებთან შედარებით, დროის დისკრეტულ მომენტებში. აღწერილი სისტემის ბლოკ-სქემა მოცემულია ნახ.1-ზე, აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ აღწერილ სისტემაში კალიბრატორის ტრადიციული ანალოგური სიგნალები შეცვლილია ციფრულით, რაც, თავის მხრივ, ზრდის სისტემის სტაბილურობას.



ნახ.1

დიდი მუდმივი დენის კალიბრატორისათვის, რომლის ძალური ნაწილი რეალიზებულია ტირისტორული ბლოკების ფაზოიმპულსური მართვის სქემით, გამოსავალი დენის მახასიათებელი შეიცავს ჰარმონიკებს, რომელთა დახშობისათვის გამოიყენება სპეციალური ფილტრები. ჩვენ მიერ დამუშავებულ იქნა გამოსავალი დენის რეგულირების ახალი პრინციპი, რომლის დროსაც ძალური ინვერტორი მუშაობს რეზონანსულ რეჟიმში. შედეგად ცვალადი ძაბვა ინვერტორის გამოსავალზე ფორმით უახლოვდება სინუსოიდალურს. ეს ზრდის მოწყობილობის მარგი ქმედების კოეფიციენტს, ამარტივებს ფილტრის სტრუქტურას, ამცირებს მის გაზარტებს. ასეთი ტიპის კალიბრატორის სტრუქტურული სქემა მოცემულია ნახ. 2-ზე.



ნახ.2.

1. ტირისტორული სამფაზიანი გამმართველი დაგროვების კონდენსატორით;
2. ინვერტორი რეზონანსულ რეჟიმში;
3. გამოსავალი ფილტრი.

პირველ ბლოკში რეალიზებულია დაგროვითი კონდენსატორის დამუხტვის ფაზოიმპულსური მეთოდი.

ზემოთ განხილული სხვადასხვა მიდგომები საშუალებას გვაძლევს მაღალი მუდმივი დენის კალიბრატორის კონსტრუირების დროს, ავირჩიოთ ისეთი სტრუქტურა, რომელიც ოპტიმალურია კონკრეტულ შემთხვევაში ამოცანის წინაშე დასმული მოთხოვნების შესაბამისად.

## Some of the major trends in the construction of large DC power calibrators

*N. Kavlashvili, L. Gvaramadze, O. Labadze, P. Stavriani, T. Saanishvili, G. Kiknadze*

### Summary

Listed are the key features and characteristics that characterize the design and construction of large DC power calibrators. The traditional problem related to the dimensions and mass of the device is discussed. It shows how it is possible to reduce the dimensions, mass and energy costs of the device.

The method proposed by the authors and protected by the copyright certificate to improve the metrological characteristics of the device is discussed. A method that reduces the effect of destabilizing factors caused by external influences on the characteristics of the device;

Illustrates the method by which it is possible to improve the output characteristics of the output block of the machine (reduce pulsations)

Recommendations are given for the construction of large DC power calibrators using prefabricated multifunctional inverter welding machines.

### Некоторые основные тенденции создания калибраторов большого постоянного тока

*Нугзар Кавлашвили, Леван Гварамадзе, Отар Лабадзе, Панайот Ставрианиди,  
Тамаз Саанишвили, Георгий Кикнадзе*

### Резюме

Перечислены ключевые особенности, которые характеризуют дизайн и конструкцию калибраторов большого постоянного тока. Обсуждается традиционная проблема, связанная с большими габаритами и массой устройства. Показано, как можно снизить габариты, массу и затраты энергии при эксплуатации устройства.

Обсуждается предложенный авторами и защищенный авторским свидетельством способ улучшения метрологических характеристик прибора. Метод, снижающий влияние дестабилизирующих факторов, вызванных внешними воздействиями, на характеристики устройства.

Иллюстрирован метод, с помощью которого можно улучшить выходные характеристики калибратора (уменьшение пульсации выходного тока).

Даны рекомендации по использованию инверторных блоков малогабаритных сварочных аппаратов заводского производства при создании калибраторов большого постоянного тока.

### ლიტერატურა – References – Литература

1. ყავლაშვილი ნ., საანიშვილი თ. დიდი მუდმივი დენის ოპტოტორსტორული კალიბრატორი. საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომების კრებული, თბილისი, 2001, გვ.60-64.
2. <https://tokar.guru/hochu-vse-znat/chto-takoe-invertor-raznovidnosti-i-pricip-raboty.html>
3. <https://isurve.ge/collections/edon>
4. ყავლაშვილი ნ., გვარამაძე ლ., ლაბაძე ო., სტავრიანიდი პ., საანიშვილი თ., კიკნაძე გ. დიდი მუდმივი დენის კალიბრატორის აგება ინვერტორის გამოყენებით. სტუ არჩილ ელიაშვილის სახელობის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომების კრებული, თბილისი, 2019, გვ. 56-58
5. ლაბაძე ო., ყავლაშვილი ნ., სტავრიანიდი პ., გვარამაძე ლ. კალიბრატორის დენის სტაბილიზაციის ხერხი. საქართველოს ინტელექტუალური საკუთრების ეროვნული ცენტრი „საქპატენტი“ AP 2018 14851, დადებითი გადაწყვეტილება 06.03.2019.

---

## ვერტიკალური ზედაპირის ხორკლიანობის გავლენა თბოგაცემაზე წყლის აფსკის ჩამოდინების პირობებში

*თენგიზ მაგრაქველიძე, გიორგი გიგინეიშვილი, ავქსენტი მიქაშავიძე, ტარიელ კობერიძე, ხათუნა ლომიძე*

*[qvelit@rambler.ru](mailto:qvelit@rambler.ru)*

### რეზიუმე

სტატიაში წარმოდგენილია ვერტიკალურ მილზე ჩამომდინარე წყლის აფსკში თბოგაცემაზე გრძივი და განივი შვერილებითა და მათი კომბინირებით შექმნილი ხორკლიანობის გავლენის ექსპერიმენტული გამოკვლევის შედეგები.

ექსპერიმენტების შედეგად დადგენილია, რომ თბოგაცემე მილზე ჩამომდინარე აფსკის დინების გასწვრივ განთავსებული შვერილები შესამჩნევ გავლენას ახდენს თბოგაცემის ინტენსიურობაზე, ხოლო გრძივი და განივი შვერილებით შექმნილი კომბინირებული ხორკლიანობის გავლენა მნიშვნელოვანია. მაგრამ, ამასთან ერთად, ამ უკანასკნელის ეფექტი თბოგაცემაზე უფრო ნაკლებია, ვიდრე მხოლოდ განივი შვერილებით შექმნილი ხორკლიანობისა. გამოთქმულია მოსაზრება აღნიშნული შედეგის ასახსნელად.

### საკვანძო სიტყვები:

*ჩამომდინარე აფსკი, თბოგაცემის ინტენსიფიკაცია, ხორკლიანობა, გრძივი და განივი შვერილები.*

ავტორთა მიერ ადრე გამოქვეყნებულ გამოკვლევებში ნაჩვენები იყო, რომ ვერტიკალურ მილზე ჩამომდინარე აფსკში თბოგაცემის ინტენსიურობა მნიშვნელოვნად იზრდება ამ მილის ზედაპირზე სხვადასხვა ტიპის ხორკლიანობის (ორგანზომილებიანი, ქლიბისებური, ღრმულებიანი და კომბინირებული) შექმნის შედეგად [1-4].

აღნიშნულ გამოკვლევებში ექსპერიმენტულად დადგენილ იქნა, რომ ჩამოდინების ლამინარულ რეჟიმში ხელოვნური ხორკლიანობა არავითარ გავლენას არ ახდენს თბოგაცემის ინტენსიურობაზე. ამასთან ერთად, ჩამოდინების გარდამავალ და ტურბულენტურ რეჟიმებში ზემოხსენებული სხვადასხვა ტიპის ხორკლიანობის შექმნით გამოწვეული ეფექტი მნიშვნელოვანია.

[3] გამოკვლევის თანახმად, თბოგაცემის ინტენსიფიკაციის მაქსიმალური ეფექტი მიიღწევა კომბინირებული ხორკლიანობის (ღრმულებიან მილზე სპირალურად დახვეული მავთული) შემთხვევაში. ასეთი ზედაპირის გამოყენებით თბოგაცემის ინტენსიურობა გლუვ ზედაპირთან შედარებით იზრდება დაახლოებით 4-ჯერ.

ყოველივე ზემოთქმული მიუთითებს იმაზე, რომ ზედაპირის ხორკლიანობის ტიპების სპექტრის გაფართოება და მათი შესწავლა, თბოგაცემის ინტენსიფიკაციის თვალსაზრისით, განსაკუთრებულ ინტერესს წარმოადგენს. ამ ინტერესს განაპირობებს როგორც პრაქტიკული, ისე თეორიული ასპექტები.

წინამდებარე გამოკვლევის მიზანს წარმოადგენდა ვერტიკალურ მილზე აფსკის ჩამოდინების მიმართულების გასწვრივი შვერილების შექმნით გამოწვეული ეფექტისა და, შემდგომ, ამ გრძივ შვერილებიან მილზე დამატებით სპირალურად მავთულის დახვევით

შექმნილი კომბინირებული ხორკლიანობის თბოგაცემაზე გავლენის ექსპერიმენტული გამოკვლევა.

ექსპერიმენტები ჩატარდა დანადგარზე, რომელიც დაწვრილებითაა აღწერილი გამოკვლევაში [1]. ცდები ჩატარდა ვერტიკალურად განთავსებული მილის გარე ზედაპირზე წყლის აფსკის ჩამოდინების პირობებში. თბოგამცემი მილის გარე დიამეტრი –  $d=10$  მმ, ხოლო სიგრძე –  $l=200$  მმ. ექსპერიმენტების პირველი სერია ჩატარდა მილის გარე ზედაპირზე გრძივი შვერილების არსებობის პირობებში. შვერილები შეიქმნა დინების გასწვრივ მილის მთელ სიგრძეზე  $s=7.85$  მმ ბიჯით,  $d=0,35$  მმ დიამეტრის მქონე მავთულების დამაგრებით. ასე რომ, გრძივი შვერილების გეომეტრიული პარამეტრი  $s_1/h_1=22.4$  კომბინირებული ხორკლიანობა შეიქმნა გრძელშვერილებიან მილზე დამატებით მავთულის სპირალურად დახვევით. მავთულის დიამეტრი  $d=1$  მმ, ხოლო დახვევის ბიჯი  $s=10$  მმ. ექსპერიმენტები ტარდებოდა ქსელის წყალზე. პრანდტლის რიცხვი –  $Pr=10$ , ხოლო რეინოლდსის რიცხვი ( $Re$ ) იცვლებოდა 700-დან 5 000-მდე.

ისევე როგორც [1] გამოკვლევაში, წყლის ხარჯი იზომებოდა როტამეტრით. ტემპერატურა ექსპერიმენტულ უბანში შესვლასა და გამოსვლაზე იზომებოდა ქრომელ-ალუმელის თერმოწყვილებით. ასეთივე თერმოწყვილებით იზომებოდა თბოგამცემი მილის კედლის ტემპერატურა. თბოგამცემი მილი ხურდებოდა მასში დაბალი ძაბვის ელექტროდენის გატარებით, რისთვისაც გამოყენებული იყო ძაბვის დამადაბლებელი ტრანსფორმატორი OCY-20 და მარეგულირებელი ტრანსფორმატორი PHO-250. დენის ძალა და ძაბვის ვარდნა თბოგამცემ მილზე, ისევე როგორც თერმოწყვილების ელექტრომომრავლებელი ძალა, იზომებოდა თანამედროვე ციფრული ხელსაწყოებით. გაზომილი სიდიდეების მიხედვით განისაზღვრებოდა თბოგამცემ მილში გამოყოფილი სითხის რაოდენობა, შესაბამისად თბური ნაკადი, თბოგაცემის კოეფიციენტი და რეინოლდსისა და პრანდტლის რიცხვები. სითხის თბოფიზიკური პარამეტრები აიღებოდა ცხრილებიდან [6] სითხის საშუალო ტემპერატურის მიხედვით. ექსპერიმენტული მონაცემები მუშავდებოდა კომპიუტერის საშუალებით **TurboPascal** ენაზე შედგენილი პროგრამით.

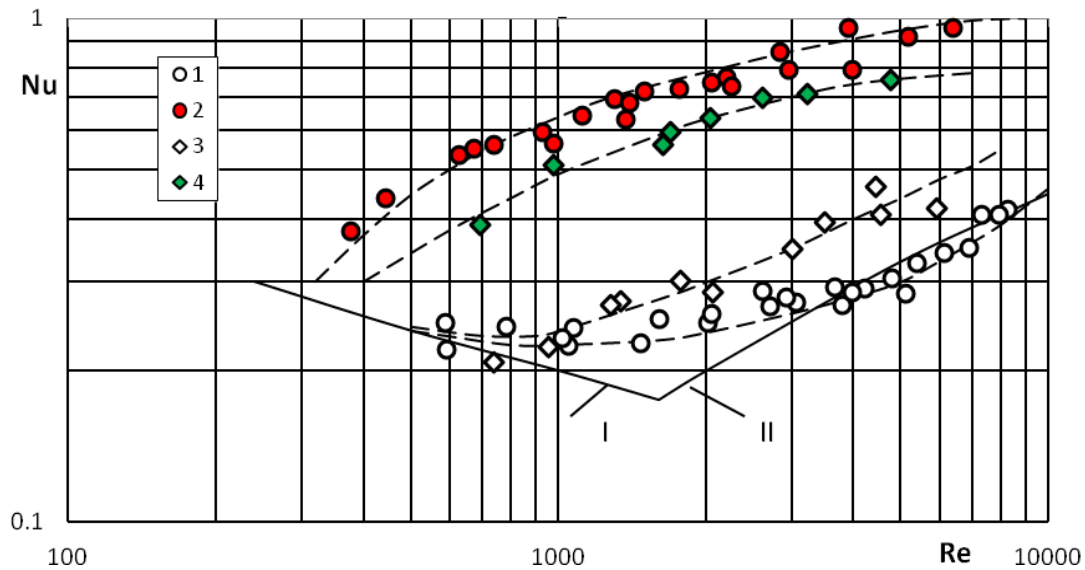
ექსპერიმენტული მონაცემები, ისევე როგორც ადრე გამოქვეყნებულ გამოკვლევებში [1-5], მუშავდებოდა ლოგარითმულ კოორდინატებში ( $Nu$ ,  $Re$ ). სადაც:

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

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>;  $G$  - თბოგამცემი ზედაპირის ე.წ. მორწყვის კოეფიციენტი, მ<sup>2</sup>/წმ.

თვალსაჩინოების მიზნით გამოკვლევაში მიღებული შედეგები, [5]-ში მიღებულ შედეგებთან ერთად, წარმოდგენილია 1-ლ ნახაზზე.

გრაფიკზე ექსპერიმენტული მონაცემები გასაშუალებულია წყვეტილი ხაზებით. მთლიანი ხაზი I შეესაბამება ჩჟუნის და სებანის ფორმულას ლამინარულ-ტალღურ რეჟიმისათვის, რომელიც აღებულია გამოკვლევიდან [7], ხოლო, ხაზი II შეესაბამება დ. ლაზუნცოვის ფორმულას აფსკის ტალღურიდან ტურბულენტურ რეჟიმში გარდამავალი ზონისათვის [8].



ნახ.1. თბოგაცემის ინტენსიურობის დამოკიდებულება რეინოლდსის რიცხვზე

1. გლუვი ზედაპირი;
  2. ორგანოზომილებიანი ხორკლიანობის მქონე ზედაპირი,  $h=1\text{მმ}$ ,  $s/h=10$ ;
  3. გრძივი შვერილების მქონე ზედაპირი,  $h_1=0.35\text{მმ}$ ,  $s_1/h_1=22.4$ ;
  4. კომბინირებული ხორკლიანობის მქონე ზედაპირი,  $h_1=0.35\text{მმ}$ ,  $s_1/h_1=22.4$ ,  $h=1\text{მმ}$ ,  $s/h=10$ .
- I - ჩჟუნის და სეზანის ფორმულის მიხედვით [7];  
 II - ლაბუნცოვის ფორმულის მიხედვით [8].

როგორც ნახ.1-დან ჩანს, გლუვი ზედაპირისათვის თბოგაცემის ინტენსიურობის დამოკიდებულება რეინოლდსის რიცხვზე კარგ თანხვედრაშია ლიტერატურაში არსებულ მონაცემებთან. ამასთან ერთად, თბოგაცემის ზედაპირზე დინების მიმართულებით გრძივი შვერილებით შექმნილი ხორკლიანობა ჩამოდინების ლამინარულ რეჟიმში, ისევე, როგორც სხვა ტიპის ხორკლიანობები პრაქტიკულად გავლენას არ ახდენს თბოგაცემის ინტენსიურობაზე. ხოლო, ჩამოდინების ტურბულენტურ რეჟიმში ინტენსიფიკაცია შესამჩნევია და დაახლოებით 50%-ს აღწევს. ეს გარემოება მნიშვნელოვნად უნდა იყოს გამოწვეული იმით, რომ გრძივი შვერილები, გარდა ნაკადის მცირეოდენი ტურბულიზაციისა, განაპირობებენ, აგრეთვე, ჩამომდინარე აფსკის მდგრადობას, რაც ასევე ხელს უწყობს თბოგაცემის ინტენსიფიკაციას.

ამავე ნახაზიდან ჩანს, რომ ჩვენ მიერ გამოკვლეული კომბინირებული ხორკლიანობის მქონე ზედაპირი განაპირობებს თბოგაცემის ინტენსიურობის მნიშვნელოვან ზრდას (დაახლოებით 2-ჯერ). ამასთან ერთად, აღსანიშნავია ისიც, რომ კომბინირებული ხორკლიანობის ეფექტი თბოგაცემაზე დაახლოებით 20%-ით ნაკლებია, ვიდრე მხოლოდ განივი შვერილების გავლენა. ეს სხვაობა შეიძლება გამოწვეული იყოს იმით, რომ ორგანოზომილებიანი ხორკლიანობის შემთხვევაში თბოგაცემის ინტენსიფიკაცია გამოწვეულია როგორც ნაკადის ტურბულიზაციით, ისე სპირალური შვერილების მიერ ნაკადის დატრიალებით მილის გარშემო. ეს უკანასკნელი გართულებული იქნება გრძივი შვერილების არსებობის პირობებში. წარმოდგენილი შედეგები ცხადყოფენ, რომ ამ მიმართულებით შემდგომი კვლევების ჩატარება უაღრესად მნიშვნელოვანია.

მიღებული შედეგები შეიძლება საფუძვლად დაედოს მაღალეფექტური თბური დანადგარების დაპროექტებასა და დამზადებას.

### **Influence of vertical surface roughness on heat transfer under conditions of water film flow**

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

#### **Summary**

The results of an experimental study of the effect of roughness in the form of longitudinal and transverse protrusions and their combination on heat transfer into a film flowing down a vertical pipe are presented in the paper.

The experiments have shown that the wires located along the film runoff have a noticeable effect on the intensity of heat transfer, while the effect of the combined roughness created by the longitudinal and transverse protrusions is significant. However, in this case, the effect of the latter is less than the effect of the roughness created only by the transverse protrusions. Some considerations are given to explain the result.

### **Влияние шероховатости вертикальной поверхности на теплоотдачу в условиях стекания водяной пленки**

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

#### **Резюме**

В статье представлены результаты экспериментального исследования влияния шероховатости в виде продольных и поперечных выступов и их комбинации на теплоотдачу в пленку стекающую по вертикальной трубе.

Эксперименты показали, что выступы, расположенные вдоль стекания пленки, оказывают заметное влияние на интенсивность теплоотдачи, в то время, как эффект комбинированной шероховатости, создаваемой продольными и поперечными выступами, является значительным. Однако, при этом, влияние последней меньше, чем влияние шероховатости, созданной лишь только поперечными выступами. Высказаны соображения для объяснения этого результата.

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

1. მაგრაქველიძე თ., მიქაშავიძე ა., ბანცაძე ნ., ლომიძე ხ., ლეკვეიშვილი ნ. ხელოვნური ხაოიანობის გავლენა ვერტიკალურ ზედაპირზე ჩამომდინარე აფსკის თბოგაცემაზე. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის არჩილ ელიაშვილის სახელობის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული. თბილისი, 2016. გვ.39-44.
2. მაგრაქველიძე თ., მიქაშავიძე ა., ლომიძე ხ., ბანცაძე ნ. თბოგაცემის ინტენსიფიკაცია ვერტიკალურ ზედაპირზე წყლის აფსკის ჩამოდინების დროს. საქართველოს ტექნიკური

- უნივერსიტეტის არჩილ ელიაშვილის სახელობის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული. თბილისი, 2017. გვ. 47-51.
3. მაგრაქველიძე თ., მიქაშავიძე ა., ლომიძე ხ., გიგინეიშვილი გ., კობერიძე ტ. კომბინირებული ხორკლიანობის გავლენა თბოგაცემაზე ვერტიკალურ ზედაპირზე წყლის აფსკის ჩამოდინების დროს. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის არჩილ ელიაშვილის სახელობის მართვის სისტემების ინსტიტუტი. შრომათა კრებული. თბილისი, 2018. გვ. 60-64.
  4. მაგრაქველიძე თ., გიგინეიშვილი გ., მიქაშავიძე ა., კობერიძე ტ., ლომიძე ხ. თბოგაცემა გლუვ და ხორკლიან ზედაპირებზე წყლის აფსკის ჩამოდინების დროს. ენერჯია. თბილისი, 2019. გვ.35-39.
  5. მაგრაქველიძე თ., გიგინეიშვილი გ., მიქაშავიძე ა., კობერიძე ტ., ლომიძე ხ. თბოგაცემა ზედაპირის ხორკლიანობის შვერილების სიმაღლის გავლენა თბოგაცემის ინტენსი-ფიკაციაზე ვერტიკალურ მილზე წყლის აფსკის ჩამოდინების დროს. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის არჩილ ელიაშვილის სახელობის მართვის სისტემების ინსტიტუტი. შრომათა კრებული. თბილისი. 2019, გვ. 60-64.
  6. Чиркин В. Теплофизические свойства материалов ядерной техники. Атомиздат. Москва, 1968. 483 ст.
  7. Володин О. Теплообмен и кризисные явления при пленочном течении бинарной смеси хладонов на гладких и структурированных поверхностях. Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Новосибирск 2014. 144 с.
  8. Лабунцов Д. А. Теплоотдача при пленочной конденсации чистых паров по вертикальных поверхностях и горизонтальных трубах, Теплоэнергетика. 1957. №2, с.49-51.



---

## საქართველოს ელექტროენერჯით მომარაგებისა და ეკოლოგიის ზოგიერთი პრობლემის შესახებ

*თენგიზ მაგრაქველიძე, ხათუნა ლომიძე, მანანა ჯანიკაშვილი, ირმა არჩვაძე,  
ლევან მაკრახიძე*

*[qvelit@rambler.ru](mailto:qvelit@rambler.ru)*

### რეზიუმე

სტატიაში ხაზგასმულია ელექტროენერჯის გამომუშავებისა და მოხმარების მკვეთრი ზრდის აუცილებლობა. ნაჩვენებია, რომ ენერგოუსაფრთხოების საკითხებიდან გამომდინარე უმთავრესი აქცენტი უნდა გაკეთდეს ადგილობრივი ენერგორესურსების ათვისებაზე. ამასთან, პრიორიტეტი უნდა მიენიჭოს ჰიდროენერგორესურსების ათვისებას როგორც დიდი, ისე მცირე და საშუალო ელექტროსადგურების აშენების გზით.

ნაჩვენებია, რომ ელექტროენერჯის მისაღებად მაქსიმალურად უნდა იქნეს გამოყენებული მზისა და ქარის ენერგორესურსები. განხილულია ელექტროსადგურების აშენებითა და ფუნქციონირებით გამოწვეული ეკოლოგიური პრობლემები. გამოთქმულია მოსაზრებები ზოგიერთი სახის ეკოლოგიური ზიანის შემცირების მიმართულებით.

### საკვანძო სიტყვები:

*ელექტროსადგური, სიმძლავრე, ენერჯია, ეკოლოგია.*

ჩვენ მიერ ადრე გამოქვეყნებულ სამუშაოებში [1-3] დასაბუთებული იყო საქართველოში ელექტროენერჯის გამომუშავებისა და მოხმარების მკვეთრი ზრდის აუცილებლობა. ამასთან, ნაჩვენებია იყო, რომ ძირითადი აქცენტი უნდა გაკეთდეს ჰიდროენერგეტიკული რესურსების ათვისებაზე როგორც დიდი წყალსაცავიანი, ისე მცირე და საშუალო ჰიდროელექტროსადგურების აშენების გზით. ელექტროსადგურების ოპტიმალური სტრუქტურა როგორც უახლოესი ათწლეულისათვის, ისე შორეული პერსპექტივისათვის შემოთავაზებული იყო ჩვენ მიერ დამუშავებული მათემატიკური მოდელისა და სათანადო ამოცანის ამოხსნის საფუძველზე [4]. აღნიშნულ გამოკვლევაში ნაჩვენებია იყო, რომ მოსალოდნელი ტექნოლოგიური მიღწევების გათვალისწინებით [5] პირველ ეტაპზე ახლო მომავალში უფრო მომგებიანია ჰიდროენერგორესურსების ათვისება, ხოლო შორეულ პერსპექტივაში მზისა და ქარის ელექტროსადგურების მშენებლობა, ამ უკანასკნელთა ასაშენებლად საჭირო კაპიტალური დაბანდებების მკვეთრი შემცირების ტენდენციის გამო.

უნდა აღინიშნოს, რომ მიუხედავად განახლებადი რესურსების (ჰიდრო, ქარი, მზე) დიდი ოდენობისა, მხოლოდ მათი ათვისების შემთხვევაში პრობლემურია საქართველოს ბაზისური ელექტროენერჯით უზრუნველყოფა. ამის გამო, ცხადია, რომ, ზემოთ ჩამოთვლილ ელექტროსადგურებთან ერთად, მნიშვნელოვანი ყურადღება უნდა მიექცეს თბოელექტროსადგურების გამართულ ფუნქციონირებას. ამასთან, მხედველობაში უნდა მიექცეს მიღებული ისიც, რომ ქვეყნის ენერგეტიკული უსაფრთხოების საკითხებიდან გამომდინარე, მაქსიმალურად უნდა იქნეს შეზღუდული ორგანული სათბობის იმპორტი სხვა ქვეყნებიდან. ეს შეზღუდვა, ცხადია, არ ეხება ბაქო-თბილისი-ჯეიჰანის გაზსადენიდან მიღებულ ბუნებრივ აირს, რომელიც მაღალი დონის საერთაშორისო ხელშეკრულებით არის გარანტირებული [6].

ენერგეტიკა, ცხადია, წარმოადგენს გარემოზე უარყოფითი ზემოქმედების ერთ-ერთ ძირითად წყაროს. ნებისმიერი ტიპის ელექტროსადგურის ფუნქციონირება დაკავშირებულია ეკოლოგიურ პრობლემებთან. სხვადასხვა ტიპის ელექტროსადგურისათვის ეს პრობლემები, ცხადია, სხვადასხვაა.

თბოელექტროსადგურების შემთხვევაში ძირითად ეკოლოგიურ პრობლემას წარმოადგენს ატმოსფეროს დაბინძურება გამონახოლქვი აირებით, რაც ძალზე დიდია ქვანახშირზე მომუშავე ელექტროსადგურების შემთხვევაში, შედარებით ნაკლებია საწვავად მაზუტის გამოყენების შემთხვევაში, და კიდევ უფრო ნაკლებია ბუნებრივ აირზე მომუშავე თბოსადგურებისათვის. ეკოლოგიური თვალსაზრისით, ძალზე მნიშვნელოვანი პრობლემაა ორგანული სათბობის დაწვისათვის საჭირო დიდი რაოდენობით ჟანგბადის მოხმარება. ასე მაგალითად, საკმარისია ითქვას, რომ 1 კვ პირობითი სათბობის დაწვისათვის საჭიროა დაახლოებით 2 კვ ჟანგბადი. თუ გავითვალისწინებთ, რომ მსოფლიოში ელექტროენერჯის მისაღებად იხარჯება მილიარდობით ტონა პირობითი სათბობი, და ამას დავუმატებთ კიდევ ტრანსპორტში, კომუნალურ მეურნეობაში და სხვა დარგებში გამოყენებულ ორგანულ სათბობებს, ადვილი წარმოსადგენია თუ რა რაოდენობის ჟანგბადი მოიხმარება ატმოსფეროდან.

ცხადია, რომ, ეკოლოგიური თვალსაზრისით, შედარებით ნაკლები ზიანის მომტანია ბუნებრივ აირზე მომუშავე თბოელექტროსადგურები. ამიტომ აუცილებლობის შემთხვევაში აქცენტი პირველ რიგში ასეთი სადგურების მშენებლობაზე უნდა გაკეთდეს. თბოელექტროსადგურები აღჭურვილი უნდა იქნენ სათანადო ფილტრებით, რომლებიც მნიშვნელოვნად შეამცირებენ ატმოსფეროში მავნე ნივთიერებების გამოტყორცნას.

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.

ამჟამად გავრცელებული მწვანეთა მოძრაობის მიერ აქცენტირებული წარმოდგენების საპირისპიროდ, უნდა აღინიშნოს, რომ ეკოლოგიური თვალსაზრისით გარკვეულ პრობლემებს ქმნის მზისა და ქარის ელექტროსადგურებიც. ასე მაგალითად. მზის ელექტროსადგურების (ფოტოვოლტაიკი) ძირითად უარყოფით მხარეს ეკოლოგიური თვალსაზრისით წარმოადგენს მზის ელემენტებით დიდი ფართობის დაფარვა; საილუსტრაციოდ შეიძლება მოვიყვანოთ ახლახან აშშ-ში მწყობრში შესული 290 მგვტ სიმძლავრისა და 650 მლნ კვტ.სთ/წ გამომუშავების მზის ელექტროსადგური [7], რომელსაც არიზონაში დაკავებული აქვს 9.71 კმ<sup>2</sup> ფართობი, მაშინ როდესაც 1300 მგვტ სიმძლავრისა და 4.2 მლრდ კვტ.სთ/წ ენერჯის წყალსაცავის ზედაპირის ფართობი შეადგენს 13,5 კმ<sup>2</sup>.

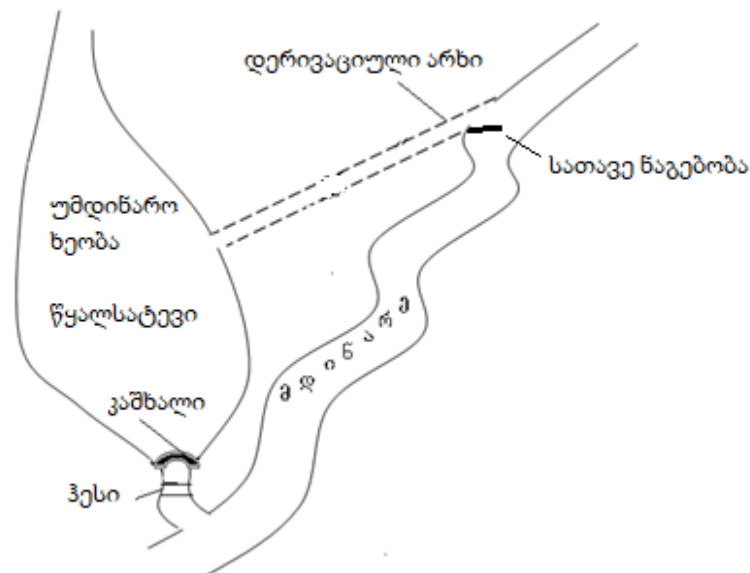
აღნიშნული მონაცემებიდან აშკარაა, რომ ერთეული სიმძლავრისა და, შესაბამისად, გამომუშავებული ელექტროენერჯის მისაღებად მზის ელექტროსადგური იკავებს უფრო მეტ ფართობს, ვიდრე ჰიდროელექტროსადგურის წყალსაცავი. ამასთან, მნიშვნელოვანია ისიც, რომ წყალსაცავი ცოცხალი ორგანიზმია შესაბამისი ფლორითა და ფაუნით, ხოლო მზის ელემენტებით დაფარული ტერიტორია პრაქტიკულად მკვდარი ზონაა. აქედან გამომდინარე, მზის ელექტროსადგურების აშენება გამართლებული იქნება მხოლოდ და მხოლოდ უდაბნო და ნახევრად უდაბნო ტერიტორიებზე.

ასევე ქარის ელექტროსადგურების ეკოლოგიური უარყოფითი მხარეებია: დიდი ფართობის დაფარვა, ინფრაბგერები, გადამფრენი ფრინველებისათვის ხელის შეშლა, ტელე და რადიო შეფერხებები, ჰაერში მოდულაციების წარმოშობა, რომელიც ორიენტაციას უკარგავს მწერებს, რის შედეგადაც ირღვევა სავარგულების ეკოსისტემა, რაც სხვა პრობლემებთან ერთად იწვევს მოსავლიანობის შემცირებას.

ყოველივე ზემოთქმულიდან გამომდინარე, ყველა ტიპის ელექტროსადგური მეტნაკლებად დაკავშირებულია ეკოლოგიურ პრობლემებთან და კიდევ ერთხელ უნდა გავიმეოროთ, რომ ამა თუ იმ სადგურის აშენების დროს გადაწყვეტილება უნდა მივიღოთ პრინციპით: რაც შეიძლება ნაკლები ზიანით უზრუნველვყოთ ქვეყნის ელექტროენერჯით მომარაგება და, ამასთან ერთად, ენერგეტიკული უსაფრთხოება.

ცხადია, ყველა ზომა უნდა ვიხმაროთ იმისათვის, რომ რაც შეიძლება ნაკლები იყოს სადგურის აშენებით გამოწვეული ეკოლოგიური ზიანი. ზოგიერთ პრევენციულ ზომებზე თბოელექტროსადგურებისათვის, მზის და ქარის ელექტროსადგურებისათვის ზემოთ იყო აღნიშნული. რაც შეეხება ჰიდროელექტროსადგურების აშენებით გამოწვეული ეკოლოგიური ზიანის შემსუბუქებას, ჩვენ მიერ შემოთავაზებული ერთ-ერთი საშუალება იყო გამოკვლევაში [8]. აღნიშნული წინადადება ითვალისწინებდა წყალდიდობის პერიოდში ჭარბი ჩამონადენის უმდინარო ან მცირე მდინარიან ხეობაში დერივაციული არხით გადაადგებას და რევერსული ჰიდროელექტროსადგურების სისტემის შექმნას. სქემა გულისხმობს მდინარის მიმდებარე უწყლო, ან მცირეწყლიან ხეობაში დერივაციის გზით ძირითადი ჩამონადენის მცირე ნაწილის, ხოლო წყალდიდობის პერიოდში ჭარბი ჩამონადენის დიდი ნაწილის ან სრულ გადაადგებას და აქ წყალსატევის გაკეთებას. განხილულ სქემას გააჩნია მთელი წყება უპირატესობისა დიდი მდინარის კალაპოტში წყალსატევის აგებასთან შედარებით. ასე მაგალითად, როგორც ცნობილია დასახლებული პუნქტები და სახნავ-სათესი სავარგულები ძირითადად განლაგებულია შედარებით დიდ მდინარეთა ხეობებში, ხოლო უმდინარო ან მცირე ნაკადულიან ხეობებში მათი რაოდენობა პრაქტიკულად უმნიშვნელოა. ასეთი ხეობები მრავლადაა, მაგალითად მდინარე რიონის ზემო წელში, განსაკუთრებით მის ჩრდილოეთ კალთებზე. აქედან გამომდინარე აღნიშნული სქემის განხორციელება არ იქნება დაკავშირებული დასახლებული პუნქტებისა და სავარგულების დატბორვასთან.

უნდა ითქვას, რომ მცირე მდინარეების შემთხვევაში რევერსული ჰიდროსადგურების აშენება პრაქტიკულად მოკლებული იქნება ეფექტს. ამის გამო შეიძლება განვიხილოთ გამარტივებული სქემა, რომელიც 1-ლ ნახაზზეა წარმოდგენილი.



ნახ.1.

შემოთავაზებული სქემა გულისხმობს გაზაფხული-შემოდგომა წყალდიდობების პერიოდში მხოლოდ ჭარბი ნაკადის გადაადგებას და დაგროვებას უწყლო ხეობაში, რომელიც შემდგომ გეგმაზომიერად იქნება გამოყენებული ჰესის ფუნქციონირებისათვის. აღნიშნული

სქემა თავიდან აგვაცილებს მდინარის კალაპოტის გადაკეტვას და, შესაბამისად, მის გაუწყლოვნებას და, აქედან გამომდინარე, უარყოფით შედეგებს. ამასთან ერთად, ვინაიდან საქართველოს მდინარეების უდიდესი ნაწილის ჩამონადენი გაზაფხული-შემოდგომის პერიოდში მნიშვნელოვნად (ზოგჯერ 3-ჯერ და მეტად) აღემატება ზამთარ-ზაფხულის ჩამონადენს, აღნიშნული სქემის გამოყენების შემთხვევაში ჩამონადენის გამოყენების კოეფიციენტი მეტი იქნება 0,5-ზე. ხოლო, მეორე მხრივ, ჰიდროსადგურის ოპტიმალური სიმძლავრის შერჩევის შემთხვევაში, სიმძლავრის გამოყენების კოეფიციენტი პრაქტიკულად 1-ს შეიძლება მიუახლოვდეს.

### **On some problems of power supply and ecology of Georgia**

*Tengiz Magrakvelidze, Khatuna Lomidze, Manana Janikashvili, Irma Archvadze,  
Levan Makrakhidze*

#### **Summary**

The need for a sharp increase in the generation and consumption of electricity is underlined in the paper. It is shown that, following from the issues of energy security, the main emphasis should be put on the development of local energy resources. At the same time, priority should be given to the development of hydropower resources by the construction of large as well as to small and medium-sized power plants.

It is shown that in order to obtain electricity, the energy resources of the wind and the sun should be used as much as possible. Environmental problems arising from the construction and operation of power plants are also considered. There are some solutions given towards reducing some negative environmental impacts.

### **О некоторых проблемах электроснабжения и экологии Грузии**

*Тенгиз Маграквелидзе, Хатуна Ломидзе, Манана Джаникашвили, Ирина Арчвадзе,  
Леван Макрахидзе*

#### **Резюме**

В статье отмечена необходимость резкого роста выработки и потребления электроэнергии. Показано, что, исходя из вопросов энергетической безопасности, главный акцент следует сделать на освоение местных энергоресурсов. При этом приоритет должен быть отдан освоению гидроэнергоресурсов строительством как крупных, так и малых и средних электростанций.

Показано, что для получения электроэнергии максимально должны быть использованы энергоресурсы ветра и солнца.

Рассмотрены экологические проблемы, возникшие строительством и функционированием электростанций. Высказаны соображения по направлению снижения некоторых негативных экологических воздействий.

ლიტერატურა – References – Литература

1. მაგრაქველიძე თ., ჭიჭინაძე ვ., ლომიძე ხ., ჯანიკაშვილი მ., არჩუაძე ი. საქართველოს ენერგეტიკული რესურსების ოპტიმალურად გამოყენებისა და ენერგეტიკული უსაფრთხოების პრობლემების შესახებ. სსიპ არჩილ ელიაშვილის სახელობის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული. თბილისი 2010. გვ.131-136.
2. მაგრაქველიძე თ., ლომიძე ხ., მიქაშაიძე ა., ჯანიკაშვილი მ., არჩუაძე ი. საქართველოს ენერგეტიკული უსაფრთხოების ზოგიერთი საკითხის შესახებ. სტუ არჩილ ელიაშვილის სახელობის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრ. კრებული. თბილისი, 2017, გვ. 53-61.
3. მაგრაქველიძე თ., ლომიძე ხ., ჯანიკაშვილი მ., არჩუაძე ი. საქართველოს ელექტროენერგიით უზრუნველყოფასა და სამომხმარებლო ტარიფებთან დაკავშირებული ზოგიერთი საკითხის შესახებ. სტუ არჩილ ელიაშვილის სახელობის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული. თბილისი, 2018, გვ. 54-59.
4. მაგრაქველიძე თ., ლომიძე ხ., ჯანიკაშვილი მ., არჩუაძე ი. მომავალ ათწლეულებში საქართველოს ელექტროენერგიით დაკმაყოფილების ზოგიერთი საკითხის შესახებ. სტუ არჩილ ელიაშვილის სახელობის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული. თბილისი, 2019. გვ. 53-59.
5. Мировая Энергетика – 2050. М. Энергия, 2011г, 360с.
6. ხელშეკრულება საქართველოსა და აზერბაიჯანის რესპუბლიკას შორის სამხრეთ-კავკასიური მილსადენის სისტემის საშუალებით საქართველოსა და აზერბაიჯანის რესპუბლიკის ტერიტორიებზე და ამ ტერიტორიის ფარგლებს გარეთ ბუნებრივი გაზის ტრანზიტის, ტრანსპორტირებისა და რეალიზაციის შესახებ. საქართველოს ნავთობის საერთაშორისო კორპორაცია. თბილისი 2001წ.
7. <https://ik-ptz.ru/ka/diktanty-po-russkomu-yazyku--5-klass/samaya-moshchnaya-elektrostanciya-na-solnechnyh-batareyah-solnechnyi.html>
8. მაგრაქველიძე თ., ლომიძე ხ., ჯანიკაშვილი მ., არჩუაძე ი, რუსიშვილი ჯ. საქართველოს ჰიდროენერგეტიკული რესურსების რაციონალურად გამოყენების ზოგიერთი საკითხის შესახებ. სტუ ა.ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული. თბილისი, 2009. 113-118.

## გათბობისა და ჰაერის კონდიციონირების სისტემებში ენერჯის განახლებადი წყაროების გამოყენების პერსპექტივები

*ნოდარ მირიანაშვილი, ნოდარ გმელიშვილი, ქეთევან კვირიკაშვილი,  
ვენერა ხათაშვილი*

*nmirianash@gmail.com*

### რეზიუმე

სტატიაში გაანალიზებულია საქართველოში გათბობისა და ჰაერის კონდიციონირების სისტემებში ენერჯის განახლებადი წყაროების გამოყენების პერსპექტივები; კერძოდ, ენერჯის განახლებადი წყაროების მოხმარების არსებული დონე და საპროგნოზო მოთხოვნები გათბობასა და ჰაერის კონდიციონირებაზე, მათ შორის, ენერგოეფექტურობის ღონისძიებათა გათვალისწინებით.

ნაჩვენებია, რომ ენერჯის განახლებადი რესურსების გამოყენებისა და ენერგოეფექტურობის ღონისძიებათა განხორციელების შედეგად, ენერჯის საბოლოო მოხმარებაში მათი წილი გათბობასა და ჰაერის კონდიციონირებაზე გაიზრდება 23,5 ათასი გვტ.სთ-დან (2020 წ.) 32,0 ათასი გვტ.სთ-მდე (2030 წ.).

ჩატარებული ანალიზის შედეგად დადგინდა, რომ საქართველოს ეროვნული ენერგოეფექტურობის სამოქმედო გეგმის მიხედვით გათვალისწინებული ღონისძიებების განხორციელების მიუხედავად, ელექტროენერჯის საპროგნოზო მოხმარება წელიწადში საშუალოდ გაიზრდება დაახლოებით 3,5%-ით.

### საკვანძო სიტყვები:

*ენერჯის განახლებადი წყარო, ენერგოეფექტურობა, ენერგოდაზოგვა, გათბობა, ჰაერის კონდიციონირება, თბური ტუმბო*

2014 წლის ივნისში ხელი მოეწერა საქართველოსა და ევროკავშირის შორის ასოცირების შესახებ შეთანხმებას, რომელიც ძალაში 2016 წლის 1 ივლისიდან შევიდა.

უემოთ აღნიშნული შეთანხმების საფუძველზე, საქართველო 2016 წლის ოქტომბერში მიუერთდა ევროპის ენერგეტიკულ გაერთიანებას, რის შედეგადაც დამუშავდა განახლებადი ენერჯის შესახებ ეროვნული სამოქმედო გეგმა და 2030 წლამდე პერიოდისათვის მოკლე, საშუალო და გრძელვადიანი სტრატეგია.

ამ გეგმის მიხედვით, გათბობისა და ჰაერის კონდიციონირების სისტემებში ენერჯის განახლებადი წყაროების გამოყენების ღონისძიებებია [1,3,5]:

1. გათბობის სისტემებში:

- ენერგოეფექტურობის ღონისძიებათა ერთობლიობა შენობებისა და მრეწველობის სექტორებში;

- შენობების მზით პასიური გათბობის დიზაინი;

- გეოთერმული გათბობა;

- მზის თერმული ან გეოთერმული გათბობა, სადაც არის საკმარისი რესურსი;

- გეოთერმული თბური ტუმბო, რომლის მუშაობისთვისაც, სადაც ეს შესაძლებელია, მაქსიმალურად იქნება გამოყენებული განახლებადი ენერჯის წყაროდან მიღებული ელექტროენერჯია;

- ბიომასა, რომელიც გამოყენებულ იქნება ინტეგრირებულ ბიოენერგეტიკულ სისტემაში ელექტრული და თბური ენერჯის კოგენერაციისათვის (სითბოსა და ელექტროენერჯის კომბინირებული გამოიმუშავება);

- თბური ენერჯის გამომუშავება ბიომასის დაწვით (ანაერობული გზით ბიოგაზის მიღება და დაწვა);
  - 2. ჰაერის კონდიციონირების სისტემებში:
    - ენერგოეფექტურობის ღონისძიებათა ერთობლიობა შენობებისა და მრეწველობის სექტორებში;
    - პასიური კონდიციონირების ღონისძიებათა ერთობლიობა (მაგ.: შენობების პასიური გაგრილების დიზაინი; ზაფხულში შენობების ვენტილაცია დამატებითი ენერჯის გამოყენების გარეშე და სხვ.);
    - მზის ენერჯიაზე, ან მიწის ზედა ფენების გეოთერმულ ენერჯიაზე მომუშავე ჰაერის კონდიციონირების აქტიური სისტემები;
    - თბური ტუმბოს თბოსიცივით მომარაგების სისტემები.
  - გათბობისა და ჰაერის კონდიციონირების სისტემებში ენერჯის განახლებადი წყაროების სტიმულირებისათვის აუცილებელია შესწავლილ იქნას:
    - გათბობისა და ჰაერის კონდიციონირების სისტემებში ენერჯის განახლებადი წყაროების გამოყენების არსებული დონე და ამ სისტემების საპროგნოზო მოთხოვნები, მათ შორის ენერგოეფექტურობის ღონისძიებათა გათვალისწინებით.
- ენერჯის საპროგნოზო მოხმარება გათბობისა და ჰაერის კონდიციონირების სისტემებში ენერგოეფექტურობის ღონისძიებათა გათვალისწინებით მოყვანილია ცხრილში 1 [1, 2, 4].

ცხრილი 1

**საპროგნოზო ენერგომოხმარება გათბობასა და კონდიციონირებაზე, (ათასი გვტ.სთ)**

დასახელება	წლები					
	2020	2022	2024	2026	2028	2030
საბოლოო ენერგომოხმარება	25,0	27,0	29,0	32,0	33,5	36,5
საბოლოო ენერგომოხმარება ენერგოეფექტურობის ღონისძიებათა გათვალისწინებით	23,5	25,0	27,4	28,5	30,0	32,0

2014 წელს, ქვეყანაში არსებული გათბობისა და ჰაერის კონდიციონირების სისტემების მიერ მოხმარებულ იქნა განახლებადი ენერჯის 25,6%, თუმცა 2030 წლისათვის მოსალოდნელია ამ წილის 21,5%-მდე შემცირება ბუნებრივი აირის მოხმარების ზრდის გამო.

საქართველოში მზის წყალგამაცხელებლების დამონტაჟებაზე 2020 წლამდე განხორციელდა 3,5 მლნ ევროს ჯამური ინვესტიცია (აქედან დაახლოებით 1,4 მლნ ევრო სუბსიდიების სახით). დამონტაჟებულ იქნა 9200 მზის წყალგამაცხელებელი პანელი, რის შედეგადაც გამომუშავდა 26,0 გვტ.სთ თბური ენერჯია.

გარკვეული დადებითი ძვრებია გეოთერმული სითბოს (თერმული წყლების) მოხმარების ზრდის კუთხითაც. 2014 წელს მოხმარებულმა გეოთერმულმა სითბომ შეადგინა 93,0 გვტ.სთ, ხოლო 2020 წელს კი მოხმარებულ იქნება 308,0 გვტ.სთ გეოთერმული ენერჯია [4].

2014 წელს გათბობასა და ჰაერის კონდიციონირებაზე მოხმარებულ იქნა ბიომასიდან მიღებული 5,4 გვტ.სთ თბური ენერჯია (400 ათასი შინა მეურნეობიდან მიღებული 1,4 მლნ ტონა ანუ 2,1 კუბური მეტრი ბიომასა) [1, 4, 5].

2015 წელს გათბობასა და ჰაერის კონდიციონირებაზე მოხმარებულ იქნა ბიომასიდან მიღებული 4,6 გვტ.სთ (14,4%-იანი შემცირება 2014 წელთან შედარებით), ხოლო 2016 წელს 4,5 გვტ.სთ (16,8%-იანი შემცირება 2014 წელთან შედარებით) თბური ენერჯია, რაც სავარაუდოდ გამოწვეული უნდა იყოს ბუნებრივი აირის მოხმარების ზრდის გამო.

საქართველოს სატყეო სააგენტოს შეფასებით, შემის წლიური ხელმისაწვდომი განახლებადი რესურსი შეადგენს 600 ათას კუბურ მეტრს. შემის საშუალო წლიური ჯამური მოხმარება კი შეადგენს 2,1-2,5 მლნ კუბურ მეტრს, რაც დიდად არის გაცდენილი მდგრადობის ფარგლებს [1, 5].

განახლებადი ენერჯის ეროვნული სამოქმედო გეგმის ღონისძიებათა განხორციელების შედეგად საქართველოში ელექტროენერჯის საპროგნოზო მოხმარება 2030 წლისათვის ენერგოეფექტურობის ღონისძიებათა გათვალისწინებით მოყვანილია ცხრილში 2 [1, 2, 3].

ცხრილი 2

**ელექტროენერჯის საპროგნოზო მოხმარება (ათასი გვტ.სთ)**

დასახელება	წლები					
	2020	2022	2024	2026	2028	2030
საბოლოო ენერჯომოხმარება	11,7	12,5	13,4	14,2	15,2	16,5
საბოლოო ენერჯომოხმარება ენერგოეფექტურობის ღონისძიებათა გათვალისწინებით	11,3	11,9	12,4	13,1	13,9	15,0

საქართველოს ეროვნული ენერგოეფექტურობის სამოქმედო გეგმის მიხედვით გათვალისწინებულია სხვადასხვა ღონისძიებათა გატარება ელექტროენერჯის მოხმარების შესამცირებლად, კერძოდ:

- ენერგოეფექტურობის ღონისძიებებთან გატარება ყოფაცხოვრებაში (თანამედროვე ენერჯოდაზოგი (LED) განათების სისტემების, მოწყობილობებისა და საოჯახო ტექნიკის გამოყენება);
- ენერგოეფექტურობის ღონისძიებებთან გატარება მრეწველობაში (თანამედროვე ენერჯოდაზოგი ტექნოლოგიების გამოყენება, მაგ.: თბური ტუმბოს დანადგარები);
- ენერგოეფექტურობის ღონისძიებებთან გატარება გარე (LED) განათების სისტემებში;
- ენერჯოდაზოგვის ღონისძიებათა გატარება აგროსამრეწველო კომპლექსის საწარმოებში მიმდინარე თბური პროცესების უზრუნველსაყოფად თბური ტუმბოს დანადგარების გამოყენებით.

ზემოთ ჩამოთვლილი ღონისძიებების გათვალისწინების მიუხედავად, ელექტროენერჯის საპროგნოზო მოხმარება წელიწადში საშუალოდ მაინც გაიზრდება 3,5%-ით.

**Prospects of the use of renewable energy sources in heating and air conditioning systems**

*Nodar Mirianashvili, Nodar Gdzlishvili, Ketevan Kvirikashvili, Venera Xatashvili*

**Summary**

In the article are shown analysis of perspectives using of renewable energy souses in heating and air conditioning systems in the country of Georgia, particularly existing level of using of renewable energy souses and the forecasts of requirements in heating and air conditioning, among them with consideration of measures of energy efficiency. As a result, in final consumption of energy, using of renewable energy sources and measures of energy efficiency will increase their share in the heating and air conditioning from 23.5 thousand GWh (2020) to 32.0 thousand GWh (2030). By the result of the analyses was determined that in spite of consideration of using national plan of energy efficiency the forecast of energy consumption will be increased by an average in about 3,5% annually.



**Перспективы использования возобновляемых источников энергии  
в системах отопления и кондиционирования воздуха**

*ნოდარ მირიანაშვილი, ნოდარ გძელიშვილი, კეთევან კვირიკაშვილი, ვენერა ხათაშვილი*

**Резюме**

В статье анализируются перспективы использования возобновляемых источников энергии в системах отопления и кондиционирования воздуха в Грузии; в частности, текущий уровень применения возобновляемых источников энергии и прогноз спроса на отопление и кондиционирование воздуха с учетом мер по повышению энергоэффективности.

Показано, в результате проведения мероприятия по повышению энергоэффективности при применении возобновляемых источников энергии, в конечном использовании энергии их доля на отопление и кондиционирование воздуха увеличивается от 23,5 тыс. ГВт-ч (2020 г.) до 32,0 тыс. ГВт-ч (2030 г.).

Проведенный анализ показал, что несмотря на осуществленные мероприятия, предусмотренные по Национальному плану действий энергоэффективности Грузии, потребление электроэнергии в среднем за год увеличится примерно на 3,5 процента.

**ლიტერატურა – References – Литература**

1. აბულაშვილი გ., გაიშაკი მ., ლანდაუ ს., სუმბაძე ნ. განახლებადი ენერჯის ეროვნული სამოქმედო გეგმის შემუშავების საშუალებით განახლებადი ენერჯის შესახებ ცოდნისა და შესაძლებლობების განვითარება საქართველოში. ენერჯოეფექტურობის ცენტრი. თბილისი, 2014 წ.
2. ენერჯის განახლებადი წყაროების პოტენციალი საქართველოში და მისი ათვისების ღონისძიებები. 2008. [www.weg.ge](http://www.weg.ge).
3. ჟორდანიას ირ., მირიანაშვილი ნ., ვეზირიშვილი-ნოზაძე ქ., არველაძე რ., ჩომახიძე დ., ჯიშკარიანი თ.. საქართველოს ენერჯეტიკული რესურსები (სამსახურებრივი სარგებლობისათვის). მონოგრაფიაში „საქართველოს ბუნებრივი რესურსები“ (ორტომეული), ტომი II, თავი VI . საქ. მეცნ. ეროვნული აკადემია, საქ. ტექნ. უნივ. საქ. საწარმოო ძალებისა და ბუნებრივი რესურსების შემსწავლელი ცენტრი, თბილისი, 2015 წ. გვ. 543-792.
4. მირიანაშვილი ნ., ლომსაძე ზ., გძელიშვილი ნ., კვირიკაშვილი ქ., ხათაშვილი ვ. საქართველოში განახლებადი, არატრადიციული ენერჯორესურსების გამოყენების თანამედროვე მდგომარეობა და ქვეყნის სათბობ-ენერჯეტიკულ კომპლექსში მათი ჩართვის პერსპექტივები. ქ.თბილისი, „ენერჯია“. №3(91), ტომი 2, 2019 წ. გვ.126-128.
5. ვეზირიშვილი ქ., აკობია თ., ფანცხავა გ. „საქართველოს ბიოენერჯეტიკული პოტენციალის შეფასება და მცენარეული ზეთისგან ბიოდიზელის წარმოების შესაძლებლობები“. ქ.თბილისი. მეცნიერება და ტექნოლოგიები. 2019წ. №1(730). გვ.27-29.

---

## მრავალსახსრული სამრეწველო რობოტი კუთხური მმართველი კოორდინატით

დავით ფურცხვანიძე, მაია ცერცვაძე, პანაიოტ სტავრიანიძე, ვერიკო ბახტაძე, გიორგი კიკნაძე, თამარ ხუციშვილი, ქეთევან კვირიკაშვილი, მერი გეგეჭკორი

*dpurcxvani@gmail.com*

### რეზიუმე

ნაშრომში განხილულია სამრეწველო რობოტის კონსტრუირების ზოგადი პრინციპები. შემოთავაზებულია სისტემური მეთოდოლოგია სამრეწველო რობოტების ტექნიკური დონის შეფასებისა და კონტროლისთვის, აგებული ინფორმაციის მოდელის საფუძველზე, ყველა კომპონენტის საჭირო და საკმარისი ურთიერთკავშირებით. განხილულია ჩვენს მიერ დაპროექტებული რობოტის სახსარი, ურთიერთორთოგონალურ სიბრტყეში მარბუნებელი ორი სერვომრავით. მოყვანილია რობოტის ფუნქციონირებისათვის განკუთვნილი პროგრამის შედგენისათვის საჭირო ჯოისტიკის კონსტრუქცია. აღწერილია რობოტის სამუშაო პროგრამის შემუშავებისა და დამახსოვრების მოწყობილობა.

### საკვანძო სიტყვები:

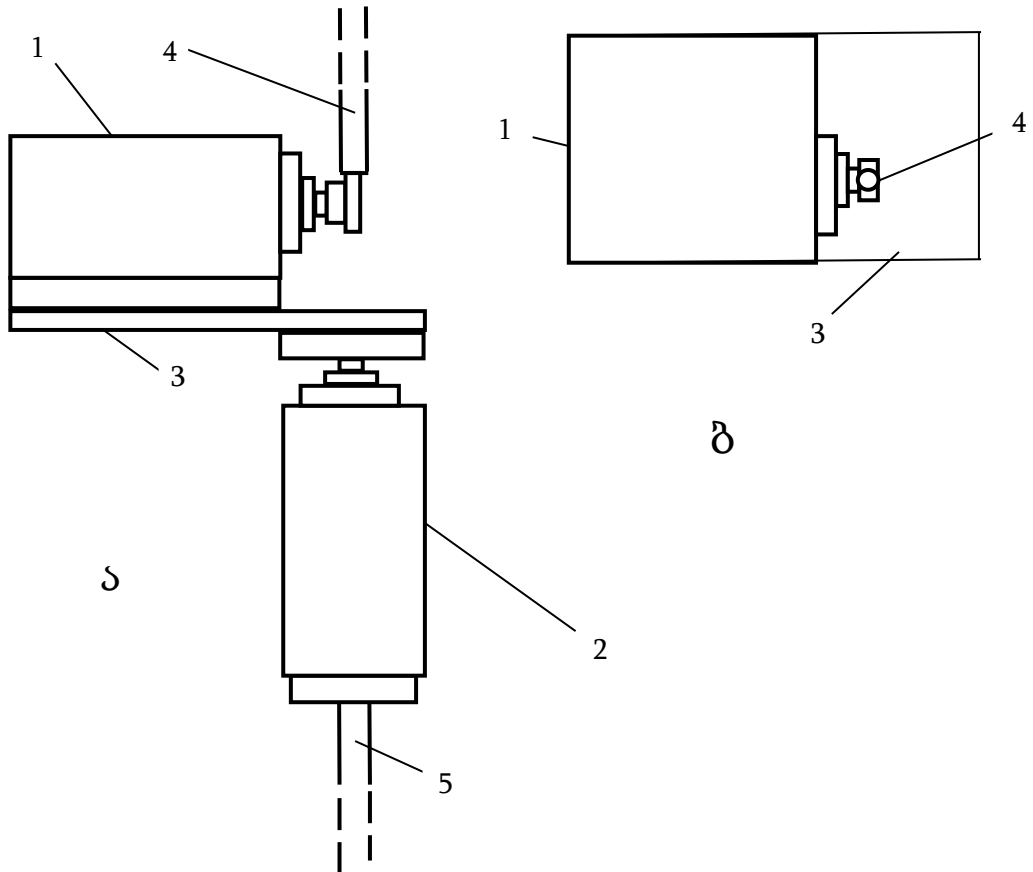
სამრეწველო რობოტი, სამრეწველო რობოტის მოდულები, მრავალსახსრული რობოტი, რობოტის სახსრის კონსტრუქცია, სერვომრავები.

თანამედროვე წარმოებაში სამრეწველო რობოტების (სრ) გამოყენების არეალი სულ უფრო იზრდება. ამასთანავე იზრდება სრ-ის ნაირსახეობათა სიმრავლეც. ამდენად აქტუალურია ისეთი ტიპის რობოტების დაპროექტება, რომლებიც შეესაბამებიან წარმოების სულ უფრო მზარდ მოთხოვნებს. ჩვენ მიერ ადრე დამუშავებული იყო ორი ტიპის მრავალსახსრიანი საწარმოო რობოტი [1, 2].

წინამდებარე ნაშრომი ეხება კიდევ ერთ ახალი ტიპის სრ-ს. ამ ტიპის რობოტის აგება შესაძლებელი გახდა თანამედროვე მინიატურული მძლავრი სერვომრავების მაღალი ტექნიკური მახასიათებლების რობოტ-ტექნიკაში შემოტანის შემდეგ, რამაც შესაძლებელი გახდა მანიპულატორის საიმედოობისა და სიზუსტის გაზრდა [3], [4], [5]. შემოთავაზებული რობოტის ყოველ სახსარში ხდება გადახრა წინა რგოლის ღეროს მიმართ  $\alpha$  კუთხით და შემობრუნება სახსრის წინა რგოლის მიმართ  $\beta$  კუთხით. სრ-ის ერთი სახსრის გამარტივებული სქემა წარმოდგენილია ნახ.1-ზე.

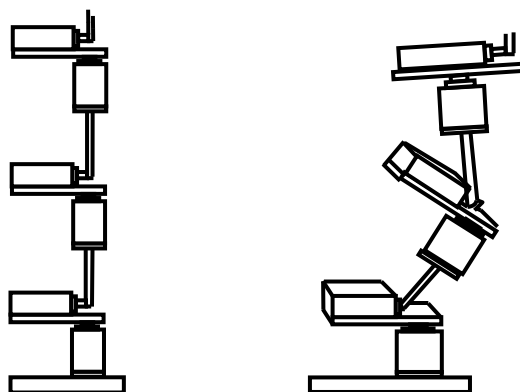
სრ-ის თავაკის მოძრაობის ტრაექტორიის დაქვანტვა ხორციელდება ჯოისტიკის მობრუნების კუთხის გადამწოდით ან გადახრის კუთხის გადამწოდით მოსული სიგნალის ცვლილების დროს. ამასთანავე უნდა გავთვალისწინებულ იქნეს ეს ცვლილებები ყოველი სახსრისათვის. ისე, რომ, თუ რობოტს N სახსარი აქვს სიგნალი მიიღება 3N სერვომანქანიდან. სრ-ის მეხსიერებაში ჩაწერილი პროგრამის რეალიზაციისას ხორციელდება წრფივი ინტერპოლაცია დაქვანტვის წერტილებს შორის. ყოველი სერვომანქანის უკუკავშირის გადამწოდით მოსული სიგნალი ჩაიწერება შესაბამის მეხსიერების უჯრედში. რობოტის მმართველი მეხსიერება ისე არის ორგანიზებული, რომ მას აქვს 3N განყოფილება, რომელიც დაყოფილია ერთნაირ მისამართებიან უჯრედებად. მათში თანმიმდევრობით იწერება სხვადასხვა სახსრის სერვომანქანიდან მოსული ინფორმაცია.

ვიცით რა სახსრების დამაკავშირებელი ღეროს L სიგრძე, და ღეროს გადახრის -  $\alpha_i$  და პლატფორმის შემობრუნების -  $\beta_i$  კუთხეები, ადვილად ვიპოვით ერთი სახსრის მდებარეობის განმსაზღვრელ კოორდინატებს წინა სახსრის მიმართ [ 6 ].



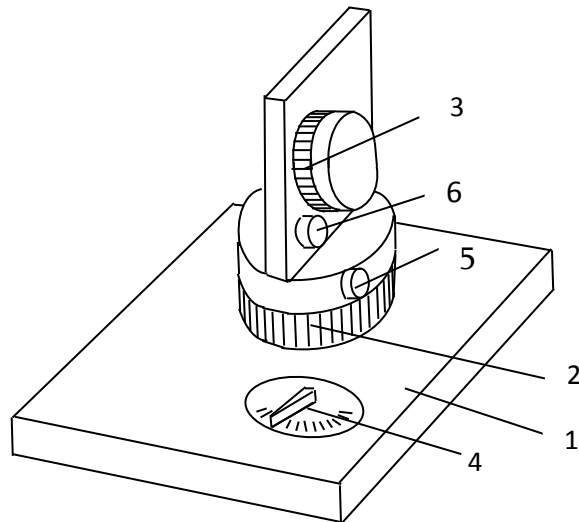
ნახ. 1. მრავალსახსრული მანიპულატორის ერთი სახსარი: ა - წინხედი, ბ - ზედხედი, 1-დეროს გადამხრელი სერვომოტორი; 2-პლატფორმის მაბრუნებელი სერვომოტორი; 3-პლატფორმა; 4-წინა სახსართან დამაკავშირებელი ღერო; 5-უკანა სახსართან დამაკავშირებელი ღერო.

ნახ.2-ზე წარმოდგენილია სრ-ის გამარტივებული ნახაზი საწყის და მუშა მდგომარეობაში.



ნახ. 2 სრ-ის გამარტივებული ნახაზი.  
მარცხნივ - საწყის მდგომარეობაში; მარჯვნივ - მუშა მდგომარეობაში

სრ-ის მმართველი პროგრამის ჩაწერა ხორციელდება ჯოსტიკის მეშვეობით (ნახ.3).

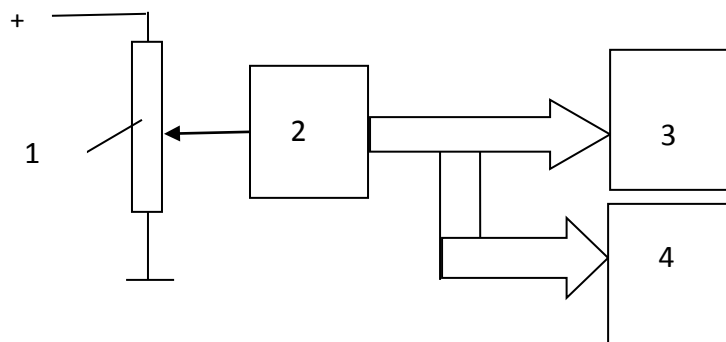


ნახ. 3 ჯოისტიკი.

1- პლატფორმა, 2- მობრუნების კუთხის გადამწოდი, 3- გადახრის კუთხის გადამწოდი, 4- სახსრის ნუმერაციის გადამრთველი, 5- მობრუნების დილაკი, 6- გადახრის დილაკი.

ჯოისტიკში ჩამონტაჟებულია ორი პოტენციომეტრი: ერთი მობრუნების კუთხის გადამწოდში და მეორე გადახრის კუთხის გადამწოდში. ჯოისტიკს აქვს სახსრების ნუმერაციის გადამწოდი, რომლის მეშვეობითაც ხდება დაყენება იმ კონკრეტულ სახსარზე, რომლის მობრუნების პროგრამირებასაც ვახდენთ. საჭირო კუთხით შემობრუნებისას მობრუნების დილაკის მეშვეობით პოტენციომეტრის გამოსასვლელზე არსებული ძაბვის შესაბამისი ციფრული კოდი ანალოგური ციფრული გარდამქმნელიდან მიეწოდება სერვომრავს შესაბამისი კუთხით შემოსაბრუნებლად და მეხსიერების ბლოკს - შემობრუნების დასაფიქსირებლად.

სრ-ის არჩეულ სახსარში გადახრის კუთხის დასაფიქსირებლად ჯოისტიკის გადახრის კუთხის გადამწოდის შემობრუნებისას მასთან დაკავშირებული პოტენციომეტრიდან გამომავალი სიგნალი, ნახ.4-ზე წარმოდგენილი სქემის იდენტური სქემით მიეწოდება შესაბამის მეხსიერების ბლოკს.



ნახ. 4. სრ-ის მმართველი პროგრამის ჩამწერი მოწყობილობა.

1-პოტენციომეტრი; 2- ანალოგურ ციფრული გარდამქმნელი; 3- სერვომრავი; 4- მეხსიერების ბლოკი.

მოცემულ სახსარში საჭირო მობრუნებისა და გადახრის დაფიქსირების შემდეგ, ხდება სახსრის ნუმერაციის გადამრთველის მეშვეობით მომდევნო სახსარზე გადართვა და ამ სახსრის მობრუნებისა და გადახრის კუთხეების ვიზუალურად შერჩევა. ამგვარადვე ხდება ყველა სახსრის გადაადგილებათა ჩაწერა შესაბამის მეხსიერების უჯრედებში.

## Multi-joint industrial robot with angular coordinate control

*D.Purtskhvanidze, M.Tsertvadze, P.Stavriani, V.Bakhtadze, G.Kiknadze, T.Khutsishvili,  
K.Kvirikashvili, M.Gegechkori*

### Summary

The article discusses the general design principles of an industrial robot. A systematic methodology for assessing and controlling the technical level of industrial robots, based on an information model, is proposed, taking into account the necessary and sufficient interconnections of all components. Under discussion is a robotic joint developed by us for the robot, with two servomotors rotating in an orthogonal plane. The design of a joystick required for developing the necessary program for the functioning of the robot is presented. A device for developing and storing the robot's program is also described.

## Многосуставный промышленный робот с угловой координатой управления

*Д. Пурцхванидзе, М. Церцвадзе, П. Ставрианиди, В. Бахтадзе, Г. Кикнадзе,  
Т. Хуцишвили, К. Квирикашвили, М. Гегечкори*

### Резюме

В статье обсуждаются общие принципы проектирования промышленного робота. Предлагается системная методология оценки и контроля технического уровня промышленных роботов, основанная на информационной модели, построенной с учетом необходимых и достаточных взаимосвязей всех компонентов. Рассмотрен разработанный нами шарнир робота с двумя сервомоторами, вращающимися в ортогональной плоскости. Приведена конструкция джойстика, необходимого для составления программы функционирования роботов. Описано устройство для разработки и запоминания программы работы робота.

## ლიტერატურა – References – Литература

1. Д. А. Пурцхванидзе Г. Д. Челидзе МАНИПУЛЯТОР Авторское свидетельство 1077780 опубликовано 07.03.84 Бюлет. № 9.
2. დ. ფურცხვანიძე, ა. ფურცხვანიძე. ახალი ტიპის საწარმოო რობოტი მრავალი სახსრით. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის არჩილ ელიაშვილის სახელობის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული №22, თბილისი, 2018 წ. გვ.88-91.
3. Н. Кавлашвили, О. Лабадзе, П. Ставрианиди, Д. Пурцхванидзе, М. Церцвадзе, Г. Кикнадзе. Модернизированный робототехнический манипулятор. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის არჩილ ელიაშვილის სახელობის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული N22, თბილისი, 2018 წ. გვ.51-53.
4. Авцынов И. А., Битюков В. К. Основы роботизации, гибких производственных систем, организационно- технологического управления и транспортно-складских систем. — Воронеж: Воронежская гос. технол. Академия. 2009. — 94 с. — ISBN 5-89448-196-1.
5. Князьков М. М., Семёнов Е. А., Рачков М. Ю. Многозвенный робот для движения внутри труб разных диаметров // Машиностроение и инженерное образование. 2009. № 1. С. 31—36.
6. О. Лабадзе, П. Ставрианиди, Д. Пурцхванидзе, М. Церцвадзе, М. Ставрианиди. Робототехнический манипулятор. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის არჩილ ელიაშვილის სახელობის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული N21, თბილისი, 2017 წ. გვ.67-70.

---

## წყალბადის სისტემების დანერგვა სატრანსპორტო ინდუსტრიაში

ლევან მაკრახიძე

*Levani.makrakhidze@gmail.com*

### რეზიუმე

სტატია ეხება მსოფლიოში დღეისათვის არსებულ ერთ-ერთ ყველაზე აქტუალურ თემას - ალტერნატიული ენერჯის მოძიებასა და გამოყენებას, კერძოდ წყალბადს, როგორც ეკოლოგიურად სუფთა და საუკეთესო საწვავ ნივთიერებას. განხილულია წყალბადის გამომუშავებისა და გამოყენების გზები და ეკონომიკური სარგებლიანობა.

ნაჩვენებია წყალბადის სისტემების აქტუალობა და პერსპექტივები მომდევნო ათწლეულების მანძილზე, ვინაიდან ალტერნატიული ენერჯის ძიების საკითხი დღეს მწვავედ დგას და დიდ საჭიროებას წარმოადგენს მთელი მსოფლიოსთვის, მითუმეტეს რომ ნავთობზე, გაზზე და სხვადასხვა ენერჯის წყაროებზე მოთხოვნა ყოველდღიურად იზრდება.

### საკვანძო სიტყვები:

*წყალბადი, ენერგორესურსები, იზოტოპი, თბოუნარიანობა, ელექტროლიზი, რეაქცია*

21-ე საუკუნეში პლანეტის ენერგორესურსებით უზრუნველყოფის საკითხი ერთ-ერთი ყველაზე აქტუალური თემაა. კაცობრიობამ ჯერ კიდევ მე-18 საუკუნიდან დაიწყო ნავთობის ინტენსიურად მოპოვება და გამოყენება ენერგეტიკული პრობლემების მოსაგვარებლად, მანამდე კი ხის მერქანს, ქვანახშირსა და სხვადასხვა ცოცხალ ძალას იყენებდა ამ მიზნით. მიუხედავად მიღწეული წარმატებებისა, ენერჯით მომარაგების საკითხი უაღრესად მწვავედ დგას მსოფლიოს და, მათ შორის, საქართველოს წინაშე.

საუკუნეების მანძილზე უწყვეტმა განვითარებამ, შიდაწვის და ელექტროძრავის შექმნამ, სხვადასხვა სატრანსპორტო ინდუსტრიების ჩამოყალიბებამ და კიდევ ძალიან ბევრმა პირობამ ენერგორესურსების კოლოსალური მოხმარება გამოიწვია. საბედნიეროდ, ჩვენს პლანეტას ჯერ კიდევ აქვს სხვადასხვა ენერგორესურსების საკმარისი რაოდენობა იმისთვის, რომ კიდევ რამდენიმე ათწლეულის განმავლობაში უზრუნველყოს თავისი მოსახლეობა, მაგრამ ეს რესურსები ულევია არ არის. ქვანახშირი, ნავთობი და გაზი ის სამი ძირითადი ბუნებრივი ენერგორესურსია, რომლებზეც მოთხოვნა დღეს ყველაზე დიდია. ეს რესურსები ათასობით წლის განმავლობაში ყალიბდებოდა დედამიწის ქერქში. კაცობრიობამ კი ბოლო 100-150 წლის მანძილზე ამ მარაგის თითქმის ნახევარი მოიხმარა, ამიტომ აუცილებელია ალტერნატიული ენერგორესურსების კიდევ უფრო აქტიურად ძიება. რა თქმა უნდა, კაცობრიობისთვის უდიდესი მიღწევაა ატომური ენერჯის, ასევე ქარის, მზის და სხვა ალტერნატიული წყაროების გამოყენება, თუმცა ჯერჯერობით ბუნებრივ ენერგორესურსებზე მოთხოვნა მაინც იზრდება, რაშიც სატრანსპორტო ინდუსტრიის წვლილი უაღრესად დიდია.

ავტომობილი, თვითმფრინავი, საზღვაო ტრანსპორტი და ა.შ. ეს ის სატრანსპორტო საშუალებებია, რომლებიც ჩვენი ცხოვრების განუყოფელი ნაწილია და ყოველდღიურობაში დიდი როლი უკავია, თუმცა მათგან თავდაპირველად, ჯერ კიდევ მე-20 საუკუნეში, საზღვაო ტრანსპორტში დაიწერა ალტერნატიული წყარო ატომური ენერჯის სახით, შემდეგ კი 21-ე

საუკუნეში აქტიურად დაიწყო ავტომობილებში ელექტროძრავის გამოყენება (ჰიბრიდული და ელექტრული), რომელთაც გაცილებით დიდი უპირატესობა აქვთ ეკონომიურობისა და ეკოლოგიური მაჩვენებლით შიდაწვის ძრავიან ტრანსპორტთან შედარებით. ასეთი ძრავების დანერგვა სატრანსპორტო საშუალებებში, ცხადია, მოითხოვს დიდი რაოდენობით ეკოლოგიურად სუფთა ელექტროენერგიას. ამიტომ წყალბადს, როგორც ეკოლოგიურად სუფთა საუკეთესო თბური თვისებების მქონე ნივთიერებას, დიდი პერსპექტივა აქვს.

წყალბადის მიღების ყველაზე გავრცელებული მეთოდია ელექტროლიზი, რასაც, თავის მხრივ, ელექტროენერგია სჭირდება. ამიტომ წყალბადის მიღების სხვადასხვა საშუალებების გამო ორიენტირი აღებულია „მწვანე წყალბადის“ მიღებაზე, რაც გულისხმობს მისი გამომუშავებისთვის ისეთი წყაროებისგან მიღებული ელექტროენერგიის გამოყენებას, რომელიც ბუნებას ნაკლებ ზიანს აყენებს. მაგალითად, მზისგან, ქარისგან ან ჰიდროელექტროსადგურისგან ასეთი ხერხით მიღებული წყალბადი ხელს უწყობს გლობალური დათბობისა და ჰაერის დაბინძურების შეჩერებას.

ზემოთ მოყვანილი მთელი რიგი მიზეზებისა და ჰაერის დაბინძურების ნორმაზე რამდენჯერმე გადამეტებისა, დანარჩენ მსოფლიოსთან ერთად, საქართველოსთვისაც უმნიშვნელოვანესია წყალბადის მოხმარებასა და წარმოებაზე გადასვლა.

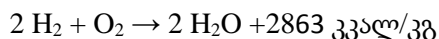
ამ მიზნით 2020 წელს საქართველოს მთავრობასა და EBRD-ს (ევროპის რეკონსტრუქციისა და განვითარების ბანკს) შორის დაიდო ხელშეკრულება, რომლის მიხედვითაც EBRD დახმარებას გაუწევს საქართველოს მტკნარი წყლის უხვი რესურსის საშუალებით წყალბადის წარმოებისა და ინვესტიციების მოზიდვის შესაძლებლობების განსაზღვრაში, რაც კარგი შესაძლებლობაა ეკონომიკის, ენერგოდამოუკიდებლობისა და ეკოლოგიური ფონის გაუმჯობესებაში [1].

რატომ მაინცდამაინც წყალბადი?!

წყალბადის წვის სითბო აჭარბებს ნებისმიერი სხვა საწვავი ელემენტის წვის სითბოს და, რაც მთავარია, იგი ეკოლოგიურად ყველაზე სუფთაა.

როგორც ცნობილია, წყალბადი იწვის და წარმოქმნის წყალს, წყალი იშლება და წარმოქმნის წყალბადს. ეს არის დაუსრულებელი და პრაქტიკულად, რესურსამოუწურავი ციკლი, რომელიც დიდწილად წყვეტს საწვავი ნივთიერებების მოპოვების პრობლემას.

საწვავის უმნიშვნელოვანეს მახასიათებელს წარმოადგენს წვის სითბო. ცნობილია, რომ წყალბადსა და ჟანგბადს შორის რეაქცია მიმდინარეობს სითბოს გამოყოფით:



წყალბადის წონითი თბოუნარიანობა 2,8-ჯერ აჭარბებს ბენზინის თბოუნარიანობას, რასაც ემატება ის, რომ წყალბადის წვისას ჩვენ ვდებულობთ სუფთა წყალს, ანუ იმ ნივთიერებას, რისგანაც საწვავი მივიღეთ [2]. სწორედ ამიტომ წყალბადმა შეიძლება შეცვალოს ნავთობი, ბუნებრივი აირი და ქვანახშირი.

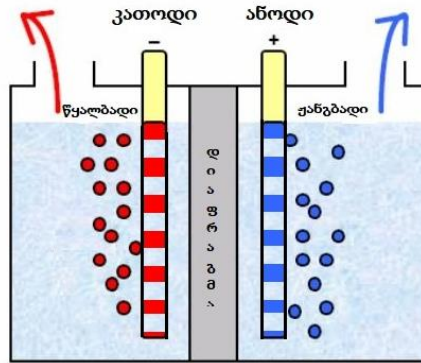
როგორც ცნობილია, წყალბადის მიღების რამდენიმე გზა არსებობს. მათ შორის ერთ-ერთი უმარტივესი მეთოდია წყლის ელექტროლიზი.

მარილების წყლის ხსნარების ელექტროლიზის დროს მიმდინარეობს რეაქცია:



ჩვენს მიერ ჩატარებულ იქნა რამდენიმე ექსპერიმენტი წყლის ელექტროლიზის მეთოდით. ამ ექსპერიმენტებში კლასიკური ელექტროლიზის რეაქტორის კონსტრუქციაში შევიტანეთ გარკვეული ცვლილებები. კერძოდ, ანოდის და კათოდის ფირფიტებში

გაკეთებულ იქნა ნახვერტები, რაც უზრუნველყოფს წყლის უკეთ მიმოქცევას და, შესაბამისად, მის დაშლას (ნახ.1). აღნიშნულ დანადგარზე მიმდინარეობს ექსპერიმენტები. წინასწარმა ექსპერიმენტებმა გვიჩვენეს, რომ კონსტრუქცია პერსპექტიულია.



ნახ.1 წყლის დაშლა ელექტროლიზის გამოყენებით

ამჟამად ინტენსიურად მიმდინარეობს მუშაობა პლაზმური კატალიზის მეთოდის დახვეწაზე, რაც კიდევ უფრო გაადვილებს წყალბადის წარმოებას და გააიფებს მას.

შავი ზღვის აუზის ქვეყნებისთვის, მათ შორის საქართველოსთვისაც, მნიშვნელოვანი ფაქტორია ზღვაში არსებული მილიონობით ტონა გოგირდწყალბადის მარაგი, რომლის გადამუშავებით მიიღება სუფთა გოგირდი (94%) და წყალბადი (6%). აღსანიშნავია, რომ გოგირდწყალბადიდან წყალბადის გამოცალკევება შედარებით მცირე დანახარჯებით შეიძლება, ვიდრე ელექტროლიზით წყლის დაშლის შემთხვევაში.

შავ ზღვაში 1984 წლის მონაცემებით დაახლოებით 75 მლნ ტონა გოგირდწყალბადია, რაც საკმაოდ დიდი ბუნებრივი რესურსია წყალბადის წარმოებისთვის. ამის გამო, შავი ზღვიდან წყალბადის მიღება და გამოყენება უადრესად აქტუალურია როგორც ენერგეტიკული, ასევე ეკოლოგიური თვალსაზრისით [3]. ასე მაგალითად: ცნობილია, რომ შავი ზღვის ზედაპირიდან დაახლოებით 200 მეტრის სიღრმეზე იწყება გოგირდწყალბადის შემცველი ფენა, რომელიც, როგორც დაკვირვებები აჩვენებს, იწევს მაღლა ზედაპირისკენ. აღნიშნულ გოგირდწყალბადოვან ფენაში არავითარი სიცოცხლე არ არსებობს. ამიტომ, ამ ფენის შემცირება ან, უკიდურეს შემთხვევაში, მისი ზრდის დამუხრუჭება უადრესად აქტუალურია. ამასთან, არსებობს მეტისმეტად მცირე ალბათობა იმისა, რომ გარკვეული კატაკლიზმების, მაგალითად ძლიერი მიწისძვრის შედეგად გოგირდწყალბადის შემცველი მასა ამოიტყორცნოს ზღვის სიღრმიდან, რაც უდიდეს კატასტროფას გამოიწვევს (ცნობილია, რომ ასეთი რამ მოხდა აფრიკის ერთ-ერთ პატარა ტბაზე).

ამის გამო შავი ზღვის აუზის ქვეყნების მიერ გოგირდწყალბადოვანი ფენიდან ენერგეტიკის თვალსაზრისით მეტად ეფექტური საწვავის - წყალბადის და ასევე დიდი ოდენობით გოგირდის მიღება ეკონომიკურ და ეკოლოგიურ სარგებლიანობასთან ერთად ზემოხსენებული კატასტროფის თავიდან აცილების ერთ-ერთი საშუალებაც იქნება.

ყოველივე ზემოთქმულიდან შეიძლება დავასკვნათ, რომ წყალბადი, სამყაროში ერთ-ერთი ყველაზე გავრცელებული ელემენტი, წარმოადგენს ეფექტურ წყაროს როგორც ენერგეტიკული, ისე ეკოლოგიური თვალსაზრისით.

ამასთან, უნდა აღინიშნოს, რომ წყალბადი, როგორც ეკოლოგიურად უადრესად სუფთა ენერჯის წყარო, ფართო მასშტაბით შეიძლება იქნეს გამოყენებული სატრანსპორტო საშუალებებში.



## **Implementation of hydrogen systems in the transport industry**

*Levan Makrakhidze*

### **Summary**

One of the urgent issues of today's world - the searching for the ways of getting alternative sources of energy and then its using is discussed in the paper - in particular there are given some considerations about hydrogen as an ecologically friendly energy carrier.

The relevance and prospects of hydrogen systems for the next decades are also shown. The issue of finding alternative energy sources is crucial for the world today, since the demand for traditional energy sources is growing daily.

## **Внедрение водородных систем в транспортной индустрии**

*Леван Макрахидзе*

### **Резюме**

Статья посвящена одной из актуальных проблем, существующих в мире к настоящему времени - изысканию и использованию альтернативного источника энергии в частности водорода как экологически чистого энергоносителя.

Рассмотрены вопросы выработки и использования водорода и экономической выгоды.

Показаны актуальность и перспективы водородных систем в период последующих десятилетий, поскольку вопрос изыскания альтернативной энергии остро стоит в мире, тем более, что потребность в традиционных источниках энергии растет с каждым днем.

## **ლიტერატურა – References – Литература**

1. [https://www.ebrd.com/news/2020/georgia-joins-the-race-to-produce-green-hydrogen.html?fbclid=IwAR1\\_uASmlbMijfQCYRXzvTOWMYcRCSHPnibNRIQcwhXfChzIkLdl19p49o](https://www.ebrd.com/news/2020/georgia-joins-the-race-to-produce-green-hydrogen.html?fbclid=IwAR1_uASmlbMijfQCYRXzvTOWMYcRCSHPnibNRIQcwhXfChzIkLdl19p49o)
2. [http://www.chemistry.ge/periodic\\_table/view.php?numb=1](http://www.chemistry.ge/periodic_table/view.php?numb=1)
3. მერაბ ჯიბლაძე. შავი ზღვიდან წყალბადისა და გოგირდის მიღების პრობლემა, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის N30 გრანტის ანგარიში, 2011წ. გვ. 5-9.

ინფორმატიკა

**INFORMATICS**

**ИНФОРМАТИКА**



---

## “შინაარსი↔ტექსტი” მოდელის განვითარების ზოგი ასპექტი

გიორგი ჩიკოიძე

*gogichikoidze@yahoo.com*

### რეზიუმე

წარმოდგენილი ნაშრომი იმ მდგომარეობების მოკლე მიმოხილვას წარმოადგენს, რომლებსაც, სავარაუდოდ, გარკვეული წვლილის შეტანა შეუძლიათ ენის მოდელირებაში და, კერძოდ, მისი ცალკეული კომპონენტებისა და დონეების განვითარებაში. ასეთებია ლექსიკური ფუნქციების აპარატი [1], მორფოლოგიური გენერაციები [2], ფენობრივი სინტაქსი [3], სემანტიკური როლები [4] და სხვა.

განსაკუთრებული აქცენტი გადატანილია სენტენციურ პრიმიტივებზე (SPR) და მათ როლებრივ სტრუქტურირებაზე შინაარსის წარმოსადგენად, რაც ენის მოდელირების ყველაზე სიღრმისეული დონის ამოცანად გვესახება.

### საკვანძო სიტყვები

*ენის მოდელირება, სენტენციური პრიმიტივები, როლებრივი სტრუქტურა*

როგორც ენას მიიჩნევენ აზროვნების სხეულად, ასევე შეიძლება მივიჩნიოთ კომპიუტერული შემადგენელი ენის მოდელირების სხეულად. ეს უკანასკნელი და მის მიერ ასახული ენის დინამიკა კი იმავე ენობრივი სტატიკის, ანუ ლექსიკონებისა და გრამატიკის შემცველ გარსად. მიმართებათა ამ ჯაჭვის რგოლები ექვემდებარება ზოგად მიმართებას: არსსა და მის გამოვლინებას შორის. მაგალითად, ენის “სტატიკა→დინამიკა” ასახავს იმ როლს, რომელიც ეკისრება დინამიკას; ენობრივი კომუნიკაციის აქტების უშუალო ორგანიზაცია, მათ შორის როგორც ინდივიდებს, ისე შინაგანი ურთიერთობის ერთი და იმავე პიროვნების სიღრმულ, ქვეცნობიერ აზროვნებასა და უფრო გარეგნულ ცნობიერებას შორის. სწორედ ამ ფენათა შორის საკომუნიკაციო პროცესში ხდება აზროვნების პროცესის შედეგების ჩამოყალიბება, სრულყოფა და გაცნობიერება ანუ ხდება იმ პროცესის რეალიზაცია, რომელიც წარმოადგენს ადამიანის ძირითად თვისებას. ამავე დროს კომუნიკაციური პროცესი, მისი დინამიკა ეყრდნობა სტატიკას, ინფორმაციას, რომელიც დაგროვდა და დაილექა ენის სისტემის “სარდაფებში” მისი ათასწლეული განვითარების მსვლელობაში. თუმცა ისიც გასათვალისწინებელია, რომ ინფორმაცია უნდა მთლიანად იყოს ორიენტირებული დინამიკის მხარდაჭერაზე.

ენის ქმედების ყოველი აქტი შინაარსს აკავშირებს ენობრივ გამოხატულებასთან, აკუსტიკურთან (მეტყველება), თუ გრაფიკულთან (ტექსტი). ენის დაუფლება ნიშნავს იმას, რომ პიროვნებას შეუძლია ნებისმიერ შინაარსს შეუფარდოს მისი ამსახველი ენობრივი გამოხატულება და პირიქით, ნებისმიერი ენობრივი გამოხატულებიდან ამოიკითხოს მისი შინაარსი [5].

ანალიზურ მიმართულებას რომ მივყვეთ, მის ტექსტურ უფრო მარტივ ვარიანტში, პირველ ეტაპზე მივიღებთ სიტყვებს, ანუ ცალკეულ სიტყვაფორმების თანმიმდევრობას. ამ ჯაჭვის წევრების პირველადი დამუშავება, ანუ მათი მორფოლოგიური ანალიზი, უზრუნველყოფს პროცესს საწყისი ინფორმაციით, როგორც ლექსიკურით, ისე გრამატიკულთ. პირველი მათგანი ასახულია უშუალოდ ლექსიკონში, უფრო ზუსტად იმ სალექსიკონო ერთეულში, რომლის დადგენა, როგორც წესი, ხდება მოცემული სიტყვაფორმის ფუძის გამოყოფის შედეგად. ნაწილობრივ ამ ფუძის გაფორმების საფუძველზე, ნაწილობრივ კი ამ სიტყვაფორმის დანარჩენი შემადგენლების (აფიქსების) მეშვეობით დგინდება მოცემული ერთეულის გრამატიკული მახასიათებლები (ბრუნვა, რიცხვი სახელებისთვის, პირი, რიცხვი, დრო და ა.შ. ზმნისთვის).

ის გარემოება, რომ გრამატიკული კატეგორიების და მათი გამოხატულების ურთიერთმიმართება არ არის ცალსახა, მორფოლოგიური ანალიზის წარმატებით დასრულებისთვის, საჭიროა ლექსიკონში დამატებითი ინფორმაციის შეტანა, რომლის საფუძველზე მოხდება სალექსიკონო ერთეულების კლასიფიკაცია, რომელიც უზრუნველყოფს მორფოლოგიურ პროცესს სათანადო ინფორმაციით. ასე მაგალითად, განსხვავებულ კლასებს უნდა მიეკუთვნებოდეს:

გოგო: გოგოს, გოგოთი; და ბიჭი: ბიჭის, ბიჭითი,

წყვილის პირველი წევრი (გოგო) მიუთითებს იმაზე, რომ კლასიფიკაცია ზოგ შემთხვევაში არ არის საკმარისი გრამატიკული მახასიათებლების საბოლოოდ დაზუსტებისთვის (ფორმა გოგოს შეესაბამება როგორც ნათესაობითს, ისე მიცემითსაც).

ლექსიკონური ინფორმაციის ამგვარი გამდიდრების მაგალითი მიუთითებს ზოგადი ცვლილებების ერთ-ერთ ნიმუშზე, რომელიც უნდა განიცადოს ტრადიციულმა ლექსიკონმა იმისთვის, რომ ის მოერგოს მოდელის ფუნქციონირებას თუნდაც საწყის მორფოლოგიურ ეტაპზე. ასეთი ლექსიკონის პირველ ნიმუშს წარმოადგენს რუსული ენის განმარტებით-კომბინატორული ლექსიკონი [6]. ანალოგიური ლექსიკონი მუშავდება მართვის სისტემების ინსტიტუტის ენობრივი მოდელირების განყოფილებაში (პროექტი - ქართული ენის კომბინატორული ონლაინ ლექსიკონის შემუშავება).

სიტყვათა თანმიმდევრობის ცალკეული წევრები გამოხატავენ მნიშვნელოვან ინფორმაციას, რომელიც საჭიროა შინაარსის წარმოსადგენად, თუმცა ამ ინფორმაციის ცალკეული, ერთმანეთისაგან დამოუკიდებელი კომპონენტების ჯამი ვერ ამოწურავს სრული გამონათქვამის შინაარსს. შინაარსი წარმოადგენს ამ კომპონენტის სტრუქტურას, რომლის ფარგლებში, ჯამის წევრები, ცალკეული სიტყვაფორმები იძენენ დამატებით მახასიათებლებს, რომლებიც გაპირობებულია ამ სტრუქტურის შემქმნელი მიმართებებით და მხოლოდ მოწესრიგების შედეგად ჩამოყალიბდება გამონათქვამის საბოლოო სემანტიკური წარმოდგენა.

მაგალითად, გამონათქვამს *ნიჭიერმა ბიჭმა დახატა ლამაზი გოგოს პორტრეტი* შეესაბამება ლექსიკური ერთეულების სია: *ხატვა, ბიჭი, გოგო, ნიჭიერი, ლამაზი*.

მორფოლოგიური ანალიზი მოახდენს ამ ერთეულების იდენტიფიკაციას შესაბამის ლექსიკონურ ერთეულებთან და განსაზღვრავს სიტყვაფორმების გრამატიკულ, პირველ რიგში, მორფოლოგიურ მახასიათებლებს. ზოგი მათგანი პირდაპირ განეკუთვნება სემანტიკას: რიცხვი, პირი, დრო, ასპექტი. ზოგს კი, პირველ რიგში - ბრუნვას, არ გააჩნია უშუალო შეხება შინაარსთან. ის ასრულებს გადამწყვეტ როლს იმ მიმართებათა დადგენაში, რომლებიც ცალკეულ კომპონენტებს შეკრავენ შინაარსად; კერძოდ ვლინდება, ვინ არის ნიჭიერი და ვინ - ლამაზი; ვინ ხატავს და ვინ იხატება; დაბოლოს - ვინ აისახება იმაში, რაც დაიხატება. პროცესის შესრულებაში დახმარებას ბრუნვას და ზოგ სხვა გრამატიკულ მახასიათებელს უწევს სიტყვათა რიგი: მაგალითად, *ბიჭმა* უშუალოდ მოსდევს *ნიჭიერმა-ს*, *ლამაზი* კი უშუალოდ უსწრებს *გოგოს*. პროცესის მონაწილეთა ფუნქციების განაწილებაში გადამწყვეტ როლს ასრულებს ზმნური კატეგორიები, როგორცაა სერია, გარდამავლობა და რეგულარობა, რომლებიც ამ კონკრეტულ შემთხვევაში ახლავს *ხატვას*.

ტრადიციული სინტაქსის ტერმინებში შეიძლება ითქვას, რომ ანალიზის ამ ეტაპზე უნდა დადგინდეს რომელი მსაზღვრელი რომელ საზღვრულს განსაზღვრავს; რომელია შემასმენელი, ვინ ქვემდებარე და რომელია პირდაპირი დამატება.

გრამატიკა წარმოადგენს ამ სტრუქტურას როგორც სიტყვათა დაჯგუფებების იერარქიულ კონსტრუქციას, რომელიც პრინციპში აგებულია იმავე მიმართებებზე: წინადადება, პირველ რიგში განიხილება როგორც

ქვემდებარე + შემასმენელი,

ანუ  $S \rightarrow NP_1 + VP_1$ ,

სადაც  $NP_1$  ქვემდებარის ჯგუფია, რომელიც, ჩვენი მაგალითის შემთხვევაში, დაიშლება მსაზღვრელად + საზღვრულად:

$Adj_1 + N_1$ ,

Adj1 - ნიჭიერმა, N1 - ბიჭმა. თავის მხრივ

VP1 → V + NP2;

სადაც V - დახატა

NP2 - ლამაზი გოგოს პორტრეტი

სინტაქსური სტრუქტურის ეს ორივე წარმოდგენა ასრულებს თავის ძირითად ფუნქციას ანუ უზრუნველყოფს გარკვეულ საფუძველს შემდეგი, მეტად მნიშვნელოვანი ნაბიჯისთვის, ანუ სემანტიკური სტრუქტურისაკენ და ამგვარად შინაარსის ასახვისაკენ.

თუმცა, ჩვენი აზრით, ამ ამოცანას უფრო მარტივად და ეფექტურად ემსახურება ე.წ. “ფენობრივი სინტაქსი” Layered Syntax [3], რომლის თანახმად, მარტივი წინადადების სინტაქსური სტრუქტურა შედგება ორი ძირითადი კომპონენტისაგან, ფენისაგან:

S → Core + Periphery

სადაც Core (შუაგული) მოიცავს წინადადების ბირთვს, ანუ ზმნას, და მის ძირითად აქტანტებს (ტრადიციულად - ქვემდებარეს და დამატებებს), რომლებიც უშუალოდ ექვემდებარებიან ზმნას (ბირთვს, პრედიკატს). რაც ეხება მეორე წევრს (Periphery), მისი შემადგენლობა ფაქტობრივად იმეორებს ტრადიციულ გარემოებებს, პირველ რიგში ესენი არიან ადგილის (L) და დროის (T) აღმნიშვნელი ერთეულები.

როგორც ჩანს, ასე წარმოდგენილი სინტაქსური სტრუქტურა ყველაზე ახლოსაა წინადადების შინაარსის ინტუიციური აღქმის სურათთან: შინაარსი, პირველ რიგში, აღიქმება როგორც პროცესი ან მდგომარეობა, რომელსაც გააჩნია თავის მონაწილეთა გარკვეული სიმრავლე. ბუნებრივია, ცენტრალური სტრუქტურის (Core) ბირთვს გამოხატავს ამ პროცესის/მდგომარეობის ამსახველი ზმნა, მონაწილეები კი გამოიხატებიან მათი ამსახველი NP-ების საშუალებით. აქ NP-ების მჭიდრო კავშირი, მათი დაქვემდებარება ბირთვთან (ზმნასთან) ყველაზე ნათლად ვლინდება ისეთი ძლიერი მორფოლოგიის მქონე ენებში, როგორცაა ქართული. კერძოდ, ამ შემთხვევაში შესაძლებლობა ჩნდება ძირითად მონაწილეთა არჩევის ფორმალური გამართლებისაც: ამ სიმრავლეს, მაგალითად, შეიძლება, პირველ რიგში, მივაკუთვნოთ ის წევრები (აქტანტები), რომლებსაც ზმნა ექსპლიციტურად მიმართავს თავისი აფიქსებით.

ასევე ინტუიციას ცალსახად პასუხობს ისე, რომ ძირითადი მოვლენა, პროცესი/მდგომარეობა ვითარდება/მიმდინარეობს რაღაც გარეგან სივრცულ თუ დროით პირობებში, რომლებსაც, პირველ რიგში, პერიფერიული კომპონენტი (LT) ასახავს.

ბუნებრივია, რომ ეს მიდგომა წარმოშობს ძირითად მონაწილეთა ფუნქციებს ანუ აზუსტებს მათ როლებს.

ამოცანის ამოხსნის გზას გვთავაზობს სემანტიკური როლების სქემა: [4]. თითოეულ აქტანტს შეიძლება მივუჩინოთ სახელი, ანუ “როლი”, რომელიც გამოხატავს ზოგადად მის ფუნქციას, ადგილს იმ პროცესში/მდგომარეობაში, რომელიც ასახულია წინადადების ბირთვში (ზმნაში). ასე რეგულარული გარდამავალი ზმნის შემთხვევაში საქმე გვაქვს პროცესის შემსრულებელთან, აგენსთან (AG), ობიექტთან, რომელზეც უშუალოდ მოქმედებს “აგენსი” - OB და შესაძლოა ადრესატთან, რომელსაც (რეგულარულ შემთხვევაში) ეკუთვნის ან საბოლოოდ მიეკუთვნება ობიექტი (AD). კაუზატივის შემთხვევაში სამეულს დაემატება კაუზატორი, ანუ მონაწილე, რომლის გავლენის, სტიმულირების შედეგად აგენსი ასრულებს ზმნით ასახულ პროცესს:

*პეტრემ (CS) პავლეს (AG) დაახატვინა სურათი (OB) ივანესთვის (AD).*

ერთი შეხედვით, ეს მიდგომა გვთავაზობს მხოლოდ სინტაქსური ტერმინების შეცვლას სენსიტივით გაჟღერებული ლექსიკით. მაგრამ ამ ტერმინებს ახლავს უფრო სიღრმისეული ღირსებაც, რომელსაც მოასწავებს ტერმინების სტაბილურობა, სახელდობრ, ე.წ. სუპერ-პარადიგმის ფარგლებში, რომელიც რეგულარულ შემთხვევაში აერთიანებს კაუზატივს, აქტივს და პასივს:

*მან (CS) დაახატვინა მას (AG) ის (OB),*

*მან (AG) დახატა ის (OB),*

*ის (OB) დაიხატა მის (AG) მიერ.*

AG როლის გრამატიკული გაფორმების მიუხედავად, ის ინარჩუნებს თავის სემანტიკურ სტატუსს, პროცესის უშუალო წამყვანის როლს, თუმცა სინტაქსური ტერმინოლოგიის თანახმად გვევლინება ხან ირიბ დამატებად, ხან ქვემდებარედ, ხან უბრალო დამატებად.

სემანტიკური როლების აპარატი შეიძლება მოვარგოთ სინტაქსური სტრუქტურის უფრო მაღალ საფეხურს, სახელდობრ, რთულ წინადადებასაც.

საპილოტე პროექტი გულისხმობს ქართული გამონათქვამის ზოგადი სემანტიკური სტრუქტურის წარმოდგენას, როგორც მისი მარტივი კომპონენტების (სენტენციური პრიმიტივების) როლებრივ მიმართებათა ერთობლიობას. მიდგომის მთავარ პრობლემას წარმოადგენს სწორედ პრიმიტივების არჩევანი, რომლებიც თავისებურად დააკმაყოფილებენ „ოქროს კვეთის“ პირობას: ანუ, ერთი მხრივ, იქნებიან საკმაოდ მარტივი სტრუქტურის მქონე, მაგრამ ამავე დროს, არც რაოდენობრივად და არც თვისობრივად არ გადატვირთავენ გამონათქვამის გამოხატვის საბოლოო სურათს. თვისობრივი შეზღუდვა აქ გულისხმობს როლებრივი მიმართებების სპექტრის გამარტივებას, რომლებიც აუცილებელია და საკმარისია მთავარი სემანტიკური მიმართებების გამოხატვისთვის შინაარსის არსებით კომპონენტებს შორის.

რაც შეეხება თავად პრიმიტივების სიმარტივეს, ყველაზე ადვილად გადასაჭრელ ამოცანას წარმოადგენს სინტაქსურად რთული (ქვე- ან თანწყობილი) წინადადების დაშლა მარტივ წინადადებად:

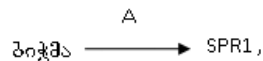
*გოგოს სურათი დახატა ბიჭმა, რომელიც მას ბავშვობიდან იცნობდა;*

ბუნებრივია აქ გამოიყოფა ორი პრიმიტივი (SPR):

SPR0: გოგოს სურათი დახატა ბიჭმა;

SPR1: ბიჭი იცნობდა გოგოს ბავშვობიდან.

SPR1 შეიძლება განიხილებოდეს როგორც *ბიჭის* დამატებითი მახასიათებელი, როგორც მისი (A) ატრიბუტი (ამ შემთხვევაში ატრიბუტის თავისებურების გათვალისწინების გარეშე):



სადაც SPR1 მიბმულია SPR0-ის ერთ-ერთ წევრთან (ბიჭმა).

სწორედ NP-ს როლებრივი სტრუქტურა, რომლის ერთ-ერთ შემადგენელ ნაწილს წარმოადგენს SPR1, ზოგჯერ გარკვეულ პრობლემებს ქმნის. მსგავსი მაგალითია იმავე საწყისი გამონათქვამის ობიექტის (OB) როლის ამსახველი წევრი - *სურათი*, რომელიც ამავე დროს ასრულებს მოთავე წევრის ფუნქციას სტრუქტურაში - Ng+N.

ამ კომბინაციის Ng წევრს გააჩნია სემანტიკურ მნიშვნელობათა საკმაოდ ფართო სპექტრი: დაწყებული მთლიანობის გამოხატვიდან, რომლის ნაწილს ასახავს N წევრი (მაგიდის ფერი); აქ პირველი საფეხურის მეტაფორად შეიძლება მივიჩნიოთ მესაკუთრე (მამის სახლი) და ა.შ.

ჩვენი კონკრეტული მაგალითი (გოგოს სურათი) კონტექსტის გარეშე ხდება ომონიმურიც: *სურათი* შეიძლება ეკუთვნოდეს *გოგოს* ან იყოს მის მიერ შექმნილი ანუ დახატული. თუმცა მოცემულ კონტექსტში *გოგოს* აქვს *სურათის* შინაარსის მნიშვნელობა, რომელიც ახასიათებს სხვა კონსტრუქციებსაც: *მან უთხრა/მოუყვა/აღუწერა/ ... მას ის (MN), სადაც MN წარმოადგენს შინაარსის სიმბოლოს (Meaning).*

ეს ახალი MN როლი შეიძლება განვიხილოთ როგორც არსებული OB როლის კერძო ვარიანტი როგორც მისი შინაარსობრივი მეტაფორა OBMN, თუმცა, ნებისმიერ შემთხვევაში, ღიად რჩება საკითხი - იმსახურებს თუ არა ეს კერძო შემთხვევა Ng+N კონსტრუქციის ფარგლებში სენტენციური პრიმიტივის სტატუსს - SPR2: *სურათი ასახავს გოგოს, თუ საკმარისია მივანიჭოთ გოგოს MN როლი Ng+N კონსტრუქციაში, რომელიც, ამ შემთხვევაში, წარმოადგენს NP1, რომლის მსაზღვრელია - N (სურათი).*

ფორმალურად ორივე ვარიანტი დასაშვებია და ამ ალტერნატივის გადაჭრა უნდა დაეყრდნოს ინტუიციურ შეფასებას, სახელდობრ, იმას რამდენად დიდია ამ კონსტრუქციის წვლილი გამონათქვამის შინაარსში.

აქვე უნდა აღინიშნოს ისიც, რომ MN როლი ზოგ სხვა სტრუქტურაში აშკარად მოითხოვს ცალკე SPR-ად გამოცხადებას:

*ის დაგვიბრდა, რომ სალამოს გვეწვევა,*

SPR0: *ის დაგვიბრდა,*

SPR1: *ის სალამოს გვეწვევა;*

რაც ჯამში შეიძლება გამოიხატოს კონსტრუქციაში:

*ის დამპირდა რომ SPR1 (MN).*

ანალოგიურად, SPR სტატუსს მოითხოვენ გამონათქვამის კომპონენტები, რომლებიც გამოხატავენ მიზეზის (CAUS) ან მიზნის (PRP) სტატუსს:

*ჯანმრთელობის გაუარესების გამო (CAUS) მივმართე ექიმს რეკომენდაციების მისაღებად (PRP).*

SPR0: *მივმართე ექიმს;*

SPR1: *ჯანმრთელობა გამიუარესდა;*

SPR2: *მივიღებ რეკომენდაციებს,*

რის საფუძველზე შეიძლება აიგოს სტრუქტურა:

SPR1(CAUS) SPR0 SPR2(PRP).

თუმცა გარკვეულ სირთულეებს ვაწყდებით. მაგალითად ზოგ კვაზი-სინონიმურ წყვილში ერთი და იგივე ზოგადი სიტუაციის მონაწილე ვლინდება ხან როგორც მიზეზი, ხან როგორც აგენსი (AG):

*სახლი დაინგრა მიწისძვრის გამო (CAUS)↔მიწისძვრამ (AG) დაანგრია სახლი;*

*გადავრჩი ამ წამლის წყალობით და ამ წამალმა გადამარჩინა.*

ამ როლების სემანტიკა მჭიდროდ გადახლართულია ერთმანეთთან: ერთადერთ შედარებით დამახასიათებელ ფაქტორად შეიძლება მივიჩნიოთ ის, რომ AG უფრო მჭიდროდ უკავშირდება პროცესის არსს და მის ობიექტს (OB), ვიდრე - CAUS. თუმცა, ეს დაპირისპირებაც არ არის მთლად მკვეთრი და ცალსახა.

პირველი შემთხვევა (მოხდა) შეესაბამება ლექსიკურ ფუნქციას - Funco; მეორე კი (მივიღე) ალბათ მოითხოვს ახალი ფუნქციის ჩამოყალიბებას.

ამ და სხვა პრობლემების არსებობის მიუხედავად, ეს მიდგომა იმსახურებს განვითარებას, რადგანაც ის უკავშირდება შინაარსის საკვანძო ამოცანის გადაჭრას შიდაენობრივი, ბუნებრივი საშუალებით: გამონათქვამის შინაარსი წარმოგვიდგება ელემენტარული ფაქტების ნაკრების სახით, რომელშიც ყოველი ცალკეული ფაქტი ასახულია რეგულარული როლებრივი სტრუქტურის მქონე პრიმიტიული წინადადებით, მათი ჯამი კი შეკრულია ერთობლივ როლებრივ სტრუქტურაში, რომელიც მთლიანი გამონათქვამის სტრუქტურას ასახავს.

თუკი მივყვებით შინაარსის განსაზღვრას, რომლის თანახმად ის წარმოადგენს სინონიმურ გამონათქვამთა ერთობლიობას ან საერთო თვისებას, მაშინ სენტენციური პრიმიტივების როლებრივი სტრუქტურა შეიძლება მივიჩნიოთ იმ საწყის, ბაზისურ წარმოდგენად, რომლისგანაც იწარმოება ყველა დანარჩენი, იმავე კვაზი-სინონიმური შინაარსის გამომხატველი გამონათქვამი. ასეთი მიდგომა კი მოითხოვს ტრანსფორმაციების ჩამოყალიბებას, რომლებიც გააერთიანებენ, გარდაქმნიან და ერთმანეთს მთავრებენ საწყისი სტრუქტურის კომპონენტებს (SPR) მათი შინაარსის და მათ შორის არსებული სემანტიკური მიმართებების დაცვით.

კვაზი-სინონიმური გამონათქვამების ასეთი წარმოშობა ყველაზე გამჭვირვალედ უკავშირდება სინთეზის პროცესს, რომელმაც უნდა მართოს და ჩამოაყალიბოს შინაარსის გამოხატვის ვარიანტი, რომელიც ყველაზე ახლოსაა პირვანდელ ჩანაფიქრთან. კერძოდ, ყველაზე კარგად ესადაგება პირვანდელ პრაგმატიკულ განზრახვებს.

პროცესის ერთ-ერთ ძირეულ საფუძველს წარმოადგენს ლექსიკური ფუნქციების აპარატი [1], რომელიც გვთავაზობს იმ სემანტიკურ სპექტრს, რომელიც უკავშირდება



ცალკეულ ლექსიკურ ერთეულებს; კერძოდ, მათ ინდივიდუალურ სინონიმებს (Syn), კონვერსიებს (Conv), ანტონიმებს (Anti) და დერივატებს (DER). ეს სისტემა მოიცავს აგრეთვე წევრებს, რომლებიც გამოხატავენ მოცემული ლექსიკური ერთეულის ზოგი არასტანდარტული გამოხატვის ნიმუშებს: Magn, Bon, Ver - უფრო ორიენტირებული ზედსართავებზე; Caus, Incep, Cont, Fin, Result, ... რომლებიც ასახავენ პროცესებისა და მათი ამსახველი ზმნების თავისებურებებს.

რაც ეხება ლექსიკის შინაგან სემანტიკურ სტრუქტურას, მისი დაფიქსირების და გამოვლენის ყველაზე პერსპექტიულ საშუალებად მივიჩნით სემანტიკური მწკრივების ცნება [7] (რადგანაც ლექსიკის დაშლა პრიმიტივებად გვეჩვენება ძალიან რთულ, თითქმის ფანტასტიკურ მიდგომად).

ინფორმაცია ლექსიკური მწკრივების და ფუნქციების შესახებ არსებითად გაამდიდრებს არსებულ ლექსიკონებს და მოარგებს მათ მოქმედ ენობრივ მოდელებს. მაგალითად, Gener ფუნქცია დაეხმარება ანალიზის პროცესს OB და AD როლების გარჩევაში I სერიის ზმნის კონტექსტში, სადაც ორივე ეს როლი ფორმდება მიცემითით:

*აჩუქებს/ მიართმევს/ ეტყვის/ უბრძანებს/ ... ის (AG) მას მას,*

სადაც AD მონაწილე წესით უნდა იყოს წარმოდგენილი პიროვნებით ან პიროვნებათა ჯგუფით ე.ი. ლექსიკური ერთეულით, რომლის Gener ფუნქციას გააჩნია სწორედ ეს მნიშვნელობა. საპირისპირო (სინთეზური) მიმართულებისას თვალსაჩინო მაგალითს წარმოადგენენ სინონიმური მწკრივები: თუკი საწყისი ინფორმაცია მოიცავს სათანადო პრაგმატიკულ მითითებებს, შეიძლება, მოხდეს არჩევანი ისეთ ერთეულებს შორის როგორცაა, მაგალითად:

*ლამაზი/ მშვენიერი/ კობტა/ ეშხიანი/ დახვეწილი/ საყვარელი/ მიძვიდველი/ ...*

მოქმედი მოდელის ფარგლებში ამ ლექსიკონის წარმატებით გამოყენებისთვის აუცილებელია აგრეთვე მითითება ძირითად პოტენციურ მიმართებებზე, რომლებშიც შეიძლება მონაწილეობდეს მოცემული ერთეული (Oper, Func, Labor ფუნქციები) და რა სემანტიკურ როლებს შეიძლება ითხოვდეს ის.

კერძოდ, მხოლოდ ასე აგებულმა ლექსიკონმა შეიძლება უზრუნველყოს სათანადო საფუძველი ზემოთ შემოთავაზებული შინაარსის წარმოდგენისას. მიუხედავად იქვე მოხსენებული სირთულეებისა, ვვარაუდობთ, რომ გამართლებულია მუშაობა ამ მიმართულებით, რადგანაც ამ საბოლოო მიზნად დასახულ წარმოდგენას უნდა ჰქონდეს არსებითი უპირატესობები. არსებითად გვესახება ამ წარმოდგენის ბუნებრიობა და სიმარტივე, რადგანაც მისი ძირითადი შემადგენელი ნაწილები (SPR) გამოხატულია პრიმიტიული, მაგრამ მაინც ყველაზე ჩვეული ადამიანური კომუნიკაციის ერთეულებით, ანუ გამონათქვამებით, რომელთა დაშლა წარმოადგენს უკვე არაბუნებრივ კვლევით პროცესს (ასეთია სინტაქსური შემადგენლების უარყოფა), თუმცა ეს პრიმიტივები, როგორც შინაგანად, ისე ერთმანეთთან მიმართებაში მონიშნულნი არიან სემანტიკური როლების სიმბოლოებით. ეს ნიშნები კრავენ ამ წარმოდგენას ერთობლივ ორდონიან (შიდა და გარე) სტრუქტურაში და ამგვარად ასრულებენ მთლიანობის თავისებურ სინტაქსს, რომელიც, ტრადიციულისაგან განსხვავებით, გამსჭვალულია შინაარსით ანუ სემანტიკით.

ნიშანდობლივია, რომ ეს მიდგომა ძირითად ფუნდამენტურ ორიენტაციასთან ერთად გვირდება გარკვეულ პერსპექტივას გამოყენებითი სისტემების უფრო მარტივი და ეფექტური განხორციელებისთვის. კერძოდ მისი ბუნებრიობა დადებითად უნდა აისახოს ენის მასწავლი სისტემების შედეგიანობაში.

რაც ეხება ენის მოდელირებას და საერთოდ კომპიუტერული ლინგვისტიკის „ფუძემდებელს“, ანუ მანქანურ/ავტომატურ თარგმანს, პრიმიტივების (SPR) დონეზე ეს პროცედურა უნდა გამარტივდეს და ამავე დროს დაზუსტდეს. შემდეგი ნაბიჯის საიმედოობა კი, ანუ პრიმიტივების გაერთიანება ერთობლივ გამონათქვამში, უზრუნველყოფილი უნდა იყოს როლებრივი მიმართებების სავარაუდო კროს-ლინგვისტიკური სტაბილურობით, რომლის ცალკეული რხევები (თუკი ასეთები

გაჩნდა) დიდ პრობლემას არ შექმნიან მათი დარეგულირებისთვის ამ მიმართებების გამჭვირვალე შინაარსობრივი ხასიათის გათვალისწინებით.

### **Some aspects of „meaning↔text“ model development**

*George Chikoidze*

#### **Summary**

The present paper is a brief overview of the conditions that are likely to contribute to the modeling of language and, in particular, to the development of its individual components and levels. These are the apparatus of lexical functions [1], morphological generations [2], layered syntax [3], semantic roles [4] etc.

Particular emphasis is on sentential primitives (SPRs) and their role-structuring in order to reveal the content, making it the most in-depth level task in language modeling.

### **Некоторые аспекты разработки модели “смысл↔текст”**

*Георгий Чикоидзе*

#### **Резюме**

Настоящая статья представляет собой краткий обзор условий, которые могут способствовать моделированию языка и, в частности, развитию его отдельных компонентов и уровней. Это: аппарат лексических функций [1], морфологические генерации [2], многослойный синтаксис [3], семантические роли [4] и другие.

Особый акцент переходит на сентенционные примитивы (SPR) и их ролевое структурирование для представления содержания, что является наиболее глубокой задачей моделирования языка.

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

1. Мельчук И. Ф. Опыт теории лингвистических моделей “смысл↔текст”, Москва, 1999.
2. Чикоидзе Г. Б. Сетевое представление морфологических процессоров. Институт Систем Управления им. А. И. Элиашвили Груз. АН (типография «Интеллекти»), Тбилиси, 2004 (монография).
3. Van Valin R. et al. (1999), Co-author: R. J. Lapolla. Syntax. Structure, Meaning and Function. Cambridge University Press
4. Fillmore 1968. The Case for Case. In “Universals of Linguistic Theory”, Publ. Holt Rimebort and Winston Inc
5. Humboldt 1820. Über das vergleichende Sprachstudium in Beziehung auf die verschiedenen Epochen der Sprachentwicklung. In Sammelwerk „Wilhelm von Humboldt“. Über die Sprache, DTV, 1985
6. Мельчук И. Ф., Жолковский А.К. Толково-Комбинаторный Словарь русского языка, Вена, 1984
7. Апресян Ю. 1995. Лексическая семантика. Синонимические средства языка. Избранные труды, том. 1. Школа «Языки русской культуры», изд. «Восточная литература» РАН.

## ზმნური ფუძეები განმარტებით-კომბინატორულ ლექსიკონში

ნინო ჯავაშვილი

ninojavashvili@yahoo.com

### რეზიუმე

სტატიაში მოცემულია ზმნური ფუძეების აღწერა ქართული ენის განმარტებით-კომბინატორული ლექსიკონისთვის. ასეთი ლექსიკონი ძალიან საჭირო და მნიშვნელოვანია ნებისმიერი ენის სრული აღწერისთვის. სხვა ლექსიკონებისაგან განსხვავებით, კომბინატორული ლექსიკონის მიზანია მომხმარებელს მიაწოდოს ინფორმაცია მოცემული სიტყვის სხვა სიტყვებთან სემანტიკური და კომბინატორული მიმართებების შესახებ.

ნაშრომში სალექსიკონო ერთეულებად განხილული ზმნები აღწერილია განმარტებით-კომბინატორული ლექსიკონისთვის დამახასიათებელი ზონების მიხედვით. კერძოდ, გამოყენებულია ლექსიკური ფუნქციები და მართვის მოდელები. ლექსიკონის სიტყვა-სტატიის აღწერაში პირველად ხდება მართვის მოდელის ჩართვა. სტატიის ბოლოს მოცემულია გამოყენებული ლექსიკური ფუნქციების ახსნა.

### საკვანძო სიტყვები:

*განმარტებით-კომბინატორული ლექსიკონი, ლექსიკონის ზონები, მართვის მოდელი, ლექსიკური ფუნქციები*

იგორ მელჩუკის „შინაარსი↔ტექსტი“ [1] თეორიის მთავარი თეზისის თანახმად, ბუნებრივი ენა თავისებური ტიპის გარდამქმნელია, რომელიც ერთმანეთს უთანადებს შინაარსის გამომხატველი სიტყვების სიმრავლეს/ტექსტს და სიტყვებით გამოხატული მნიშვნელობების სიმრავლეს. იმისთვის, რომ მოდელმა (შინაარსი↔ტექსტი) შეძლოს მოცემული მნიშვნელობიდან მის გამომხატველ ტექსტზე გადასვლის პროცესის განხორციელება და პირიქით, საჭიროა უზარმაზარი ინფორმაცია მოცემული ენისა და ცალკეული სიტყვების ყველა საჭირო თვისების შესახებ, რომელიც თავმოყრილია რუსული ენის განმარტებით-კომბინატორულ ლექსიკონში [2]. ასეთი ლექსიკონის სიტყვა-სტატია ათი სხვადასხვა ზონისგან შედგება. მათ შორისაა: მორფოლოგიური ცნობები; სიტყვის განმარტება; მართვის (გრამატიკული) მოდელი; ლექსიკური ფუნქციები; ინფორმაცია, რომელიც საჭიროა ამოსავალი ლექსემის სწორად გამოყენებისთვის; სიტყვათშეთანხმებები, იდიომები და სხვ.

ენობრივი მოდელირების განყოფილებაში პერიოდულად მიმდინარეობდა სხვადასხვა სიტყვების, ძირითადად არსებითი სახელების, ლექსიკური ფუნქციების საშუალებით აღწერა [3-15]. ასევე შესრულდა შოთა რუსთაველის ფონდის მიერ დაფინანსებული პროექტი „ავტომატური განმარტებით-კომბინატორული ლექსიკონი როგორც ქართული ენის მოდელირების საფუძველი“, სადაც აღიწერა ოცამდე სალექსიკონო ერთეული. დასრულების პროცესშია პროექტი - ქართული ენის კომბინატორული ონლაინ ლექსიკონის შემუშავება. ამ სამუშაოს ფარგლებშია მოცემული სტატია, რომელშიც ქართული სალექსიკონო ერთეულის სემანტიკურ-სინტაქსური აღწერისას პირველად გამოიყენება მართვის მოდელი.

ზემოთ ნახსენები ზონებიდან სტატიაში გამოყენებულია მხოლოდ ოთხი ზონა შემდეგი რიგითობით: სიტყვის განმარტება, მართვის მოდელი, ლექსიკური ფუნქციებით აღწერა და ბოლოს ის შესიტყვებები, სადაც ეს სალექსიკონო ერთეულია გამოყენებული (შესიტყვებები მოცემულია ქართული ენის განმარტებითი ლექსიკონის [16] მიხედვით).

აღწერაში წარმოდგენილი ლექსიკური ფუნქციების განმარტება მოცემულია სტატიის ბოლოს დანართის სახით. ლექსიკური ფუნქციების საერთო სია კი [17]-ში.

ხშირად ერთ სალექსიკონო ერთეულში გაერთიანებული ლექსემების განმარტებებს მნიშვნელოვანი საერთო შინაარსი აქვთ, მაგრამ მათ შორის არ არის საკმარისი რეგულარული სემანტიკური კავშირი, ან შესაძლოა რომელიმე ლექსემას გადატანითი მნიშვნელობები ჰქონდეს. ამის გასარჩევად ისინი რომაული და არაბული ციფრებით აღინიშნება.

მართვის მოდელს ცხრილის სახე აქვს, სადაც თითოეული სვეტი ლექსემის ერთ სემანტიკურ აქტანტს შეესაბამება, თითოეული სტრიქონი კი სინტაქსური აქტანტის გაფორმებას. ყოველ ზმნას შეიძლება დაუკავშირდეს აქტანტების გარკვეული რაოდენობა. აქტანტები მოწესრიგებულ სიმრავლეს ქმნიან: I აქტანტი არის ქვემდებარე, II აქტანტი – პირდაპირი დამატება, III აქტანტი კი ირიბი დამატება. ზმნის შინაარსიდან გამომდინარე, მოდელს შეიძლება დაემატოს სვეტი ან სტრიქონი.

ქართული ზმნის სტრუქტურიდან გამომდინარე, მართვის მოდელები, ძირითადად, საერთოა გრამატიკული გვარებისა და ვალენტობების მიხედვით. თითოეული ზმნის სემანტიკის გათვალისწინებით, შეიძლება მართვის მოდელის შეცვლა, თუმცა ძირითადი სქემა საერთო რჩება.

ნიმუშისთვის *ჭრა* ზმნის უზმნისწინო ფორმების მაგალითზე სტატიამში მოცემულია მართვის მოდელების ზოგადი სქემა.

**სალექსიკონო სტატია *ჭრის***

**ლექსემა *ჭრის*I**

განმარტება: საზიარო აწმყო ზმნური ერთეულებისა: *გაჭრის, დაჭრის, მოჭრის, ამოჭრის, გადაჭრის...*

მართვის მოდელი: X *ჭრის* Y-ს (Z-ით)

X ახდენს Y ფიზიკური სხეულის ან მყარი/მკვრივი ნივთიერების დეფორმაციას (და Y-ს ყოფს W ნაწილად/) (ბასრი პირის მქონე Z-ის საშუალებით)

X ⇔ I [ვინც <i>ჭრის</i> ]	Y ⇔ II [რასაც <i>ჭრის</i> ]	Z ⇔ III [რითაც <i>ჭრის</i> ]	W ⇔ IV [რამდენად <i>ჭრის</i> ]
I სერია: X სახ. ბრ. II სერია: X მოთხ. ბრ. III სერია: X მიც. ბრ.	I სერია: Y მიც. ბრ. II სერია: Y სახ. ბრ. III სერია: Y სახ. ბრ.	Z მოქმ. ბრ.	W ვით. ბრ.

**ლექსემა (ს)*ჭრის* I2**

განმარტება: საზიარო აწმყო ზმნური ერთეულებისა: *გამოსჭრის, მოსჭრის...*

მართვის მოდელი: X (ს)*ჭრის* Y-ს W-ს (Z-ით)

X (ს)*ჭრის* W-ადამიანს, მცენარეს Y-ის რაღაც ნაწილს (ბასრი პირის მქონე Z-ის საშუალებით)

X ⇔ I [ვინც <i>სჭრის</i> ]	Y ⇔ II [რასაც <i>სჭრის</i> ]	W ⇔ III [ვისაც/რასაც <i>სჭრის</i> ]	Z ⇔ IV [რითაც <i>სჭრის</i> ]
I სერია: X სახ. ბრ. II სერია: X მოთხ. ბრ. III სერია: X მიც. ბრ.	I სერია: Y მიც. ბრ. II სერია: Y სახ. ბრ. III სერია: Y სახ. ბრ.	I სერია: W მიც. II სერია: W მიც. III სერია: W ნათ.თვის	Z მოქმ. ბრ.

სალექსიკონო სტატია **იჭრება**

ლექსემა **იჭრება I**

განმარტება: საზიარო აწმყო ზმნური ერთეულებისათვის: ამოიჭრება, გადაიჭრება, გაიჭრება, დაიჭრება, მოიჭრება, შეიჭრება;

მართვის მოდელი: Y **იჭრება** (X-ის მიერ)

ხდება Y ფიზიკური სხეულის ან მყარი/მკვრივი ნივთიერების დეფორმაცია/დაყოფა (X კალხატორის მიერ) (Z ბასრი იარაღის საშუალებით) (და Y იყოფა W ნაწილად)

Y ⇔ I [ვინც/რაც იჭრება]	X ⇔ II [ვის მიერ იჭრება]	Z ⇔ III [რითაც იჭრება]
I სერია: Y სახ. ბრ. II სერია: Y სახ. ბრ. III სერია: Y სახ. ბრ.	X ნათ. ბრ.	Z მოკმ. ბრ.

ეს არის ქართული ზმნის მართვის მოდელის ზოგადი სქემა, მაგრამ ზმნისწინების დართვით მიღებული ფორმებისთვის, ზმნის სემანტიკიდან გამომდინარე, შესაძლოა მოდელში ცვლილებების შეტანა.

დაბოლოს, ნიმუშად წარმოდგენილია ორი სალექსიკონო სტატიის, ორი ზმნის (ამოჭრის, გამოაცხობს) აღწერა:

სალექსიკონო სტატია **ამოჭრის**

ლექსემა **ამოჭრის I**

განმარტება: ჭრით ამოიღებს რასმე, – ამოკვეთს. ამოიღებს

მართვის მოდელი: X ამოჭრის Y-ს (Z-ით)

X ⇔ I [ვინც ამოჭრის]	Y ⇔ II [რასაც ამოჭრის]	Z ⇔ III [რითაც ამოჭრის]
I სერია: X სახ. ბრ. II სერია: X მოთხ. ბრ. III სერია: X მიც. ბრ.	I სერია: Y მიც. ბრ. II სერია: Y სახ. ბრ. III სერია: Y სახ. ბრ.	Z მოკმ. ბრ.

**Syn** : ამოკვეთს, ამოიღებს

**Gener** : მთლიანობის დარღვევა, რაღაც ნაწილის მოშორება

**DerA<sub>0</sub>** : ამომჭრელი, ამოჭრილი, ამოსაჭრელი, ამოუჭრელი, ამონაჭერი

**DerS<sub>0</sub>** : ამოჭრა

**DerV<sub>0</sub>** : ამოაჭრის, ამოიჭრის, ამოუჭრის, ამოიჭრება, ამოეჭრება, ამოაჭრევენებს

ორმოს ... **S<sub>2</sub>** : ორმო, ჭა

**S<sub>2-loc</sub>** : მიწა

**S<sub>2-instr</sub>** : ბარი, ნიჩაბი

სტატიის... **S<sub>1</sub>** : რედაქტორი, ცენზორი, დაინტერესებული პირი

**S<sub>2</sub>** : სტატია, სურათი, ტექსტი, კადრი

**S<sub>2-loc</sub>** : გაზეთი, წიგნი, ფილმი

**S<sub>2-instr</sub>** : მაკრატელი

**Bon=Ver** : აკურატულად

ორგანოს... **S<sub>1</sub>** : ქირურგი

**S<sub>2</sub>** : ორგანო, სიმსივნე, ხორცმეტი

**S<sub>2-loc</sub>** : სხეული

**S<sub>2-instr</sub>** : სკალპელი, ლაზერი

**Bon=Ver** : სუფთად, კარგად, წარმატებით

**Imper** : ამოჭერი!

შესიტყვებები:

გულში ამოჭრა (რაიმესი) - რასაც გულში ამოიჭრიდა, საშველი აღარ ჰქონდა, უსათუოდ უნდა აესრულებინა (გ. წერეთ.).

ლექსემა **ამოჭრისI2**

განმარტება: ამოკვეთს, გამოსახავს

მართვის მოდელი: X ამოჭრის Y-ს (Z-ით) (W-ზე, W-ში)

X პირი ამოკვეთს, ამოჭრის ფიგურა/გამოსახულება/წარწერა...Y-ს (ბასრი იარაღი Z-ით) (W მასალაზე)

X ⇔ I [ვინც ამოჭრის]	Y ⇔ II [რასაც ამოჭრის]	Z ⇔ III [რითაც ამოჭრის]	W ⇔ IV [რაზეც ამოჭრის]
I სერია: X სახ. ბრ. II სერია: X მოთხ. ბრ. III სერია: X მიც. ბრ.	I სერია: Y მიც. ბრ. II სერია: Y სახ. ბრ. III სერია: Y სახ. ბრ.	Z მოქმ. ბრ.	W-ზე, W-ში

**Syn** : ჭრეთა, გამოსახვა

**Gener** : გრავირება

**DerA<sub>0</sub>** : ამომჭრელი, ამოჭრილი, ამოსაჭრელი, ამოუჭრელი

**DerS<sub>0</sub>** : ამოჭრა

**DerV<sub>0</sub>** : ამოუჭრის, ამოიჭრება, ამოაჭრევენებს

**S<sub>i</sub>** : ოსტატი

**S<sub>instr</sub>** : საჭრეთელი, სატეხი, ლაზერი

**S<sub>loc</sub>** : ლითონი, ხე, ქვა, მინა

**S<sub>res</sub>** : გრავირება, წარწერა, გამოსახულება

**Bon=Ver** : ოსტატურად, შესანიშნავად, კარგად

ლექსემა **ამოჭრისI3**

განმარტება: მოაჭრის და ისე ამოაცლის

მართვის მოდელი: ისეთივეა, როგორც **(ს)ჭრისI2**

**Syn** : ამოკვეთა

**Gener** : მთლიანობის დარღვევა

**DerA<sub>0</sub>** : ამომჭრელი, ამოჭრილი, ამოსაჭრელი

**DerS<sub>0</sub>** : ამოჭრა

**DerV<sub>0</sub>** : ამოუჭრის, ამოაჭრის, ამოიჭრის, ამოიჭრება, ამოეჭრება, ამოაჭრევენებს

**S<sub>instr</sub>** : დანა, მაკრატელი, ხანჯალი, სკალპელი

**S<sub>res</sub>** : ამონაჭერი

**Bon=Ver** : ოსტატურად, შესანიშნავად, კარგად

**Imper** : ამოჭერი

შესიტყვება:

კბილმა ამოსჭრა კბილი ამოუვიდა (ჩვილ ბავშვს).

ლექსემა **ამოჭრისIII1**

განმარტება: მოკლეზე ამოვა, ამოივლის

მართვის მოდელი: ისეთივეა, როგორც **ამოჭრისI1**

X შეიმოკლებს Y სავალს ქვემოდან ზემოთ მიმართულებით (Z-ით)

**Gener** : შემოკლება/დამოკლება (გზისა)

**DerA<sub>0</sub>** : ამომჭრელი, ამოსაჭრელი

**DerS<sub>0</sub>** : ამოჭრა

**S<sub>instr</sub>** : სხვადასხვა სახის ტრანსპორტი  
**Bon=Ver** : სწრაფად  
**AntiBon=AntiVer** : ნელა, დინჯად

სალექსიკონო ერთეული **გამოაცხობს**

ლექსემა **გამოაცხობსI**

განმარტება: ცომს გახურებულ ღუმელში (თონეში, კეცზე...) მოათავსებს, გამოშუმავს და საჭმელად ვარგისს გახდის.

მართვის მოდელი: X აცხობს Y-ს (Z-ისგან W -ში/-ზე)

X აცხობს Y-ს (Z-ისგან W-ში): X ამზადებს Y საკვებს Z პროდუქტისგან, რომელზეც მოქმედებს W დახურულ სივრცეში არსებული მაღალი ტემპერატურა

X ⇔ I [ვინც აცხობს]	Y ⇔ II [რასაც აცხობს]	Z ⇔ III [რისგანაც შედგება Y]	W ⇔ IV [სივრცე, სადაც არის Z]
I სერია: X სახ. ბრ. II სერია: X მოთხ. ბრ. III სერია: X მიც. ბრ.	I სერია: Y მიც. ბრ. II სერია: Y სახ. ბრ. III სერია: Y სახ. ბრ.	Z-ისგან	W -ში/-ზე

**Gener** : საკვების (ცომეულის) მომზადება  
**DerA<sub>0</sub>** : გამომცხობელი, გამოსაცხობი, გამოუცხობი, გამოცხობილი,  
**DerS<sub>0</sub>** : გამოცხობა  
**DerV<sub>0</sub>** : გამოიცხობს, გამოუცხობს, გამოაცხობინებს  
**S<sub>1-პური</sub>** : პურის მცხობელი, ხაბაზი, მეპურე, მეფურნე  
**S<sub>1-loc</sub>** : თონე, ფურნე, პურის ქარხანა  
**S<sub>1-კონდ.</sub>** : კონდიტერი  
**S<sub>1-loc</sub>** : საკონდიტრო, საცხობი  
**S<sub>2</sub>** : გამომცხვარი პროდუქცია  
**SingS<sub>2</sub>▷** : ცალობითი (ნაჭერი, ნატეხი ნამცხვრის, პურის...)  
**MultS<sub>2</sub>◁** : პურფუნთუშეული, ფქვილოვანი/საკონდიტრო ნაწარმი  
**S<sub>res</sub>** : ცომისგან გამომცხვარი  
 სხვადასხვა Z-ისგან მომზადებული **S<sub>res</sub>** : პუდინგი, მოზრანულა  
**S<sub>loc-instr</sub>** : კეცი, ტაფა, ფორმა, ფურცელი(თუნუქის, რკინის)  
**A<sub>2</sub>Result** : გამომცხვარი  
 ახალგამომცხვარი **A<sub>2</sub>Result** : ცხელ-ცხელი პური  
 ცოტა ხნის წინ გამომცხვარი **A<sub>2</sub>Result** : თბილი, რბილი, ფაფუკი  
 ძველი გამომცხვარი **A<sub>2</sub>Result** : ძველი, მაგარი, ქვასავით, ობიანი  
**Ver** : (სრულ) მზადყოფნამდე  
**F<sub>1</sub>=Ver-ზე მეტად=ძალიან** : ზედმეტად გამოცხობა  
**Conv<sub>2</sub>F<sub>1</sub>** : დაწვა  
**Perf=Real<sub>1</sub>** : გამოცხვება  
**Imper** : გამოაცხვე!

ანდაზა: ვის გამოუცხვეს და ვინ შექამაო

ლექსემა **გამოაცხობსIII**

განმარტება: სახელდახელოდ შეთხზავს, შეითხზის.

მართვის მოდელი: X „აცხობს“ Y-ს

X თავისი წარმოსახვით იგონებს, თხზავს Y ამბავს/ინფორმაციას

X ⇔ I [ვინც აცხობს]	Y ⇔ II [რასაც აცხობს]
I სერია: X სახ. ბრ. II სერია: X მოთხ. ბრ. III სერია: X მიც. ბრ.	I სერია: Y მიც. ბრ. II სერია: Y სახ. ბრ. III სერია: Y სახ. ბრ.

**Gener** : ინფორმაციის შეთხზვა/მოგონება

**DerA<sub>0</sub>** : გამომცხვარი

**DerS<sub>0</sub>** : გამოცხობა

**DerV<sub>0</sub>** : გამოცხვება

**S<sub>1</sub>** : ავტორი (ტყუილის, წერილის, ამბის ...)

**S<sub>2</sub>** : ტყუილი, ცრუ ინფორმაცია, ჭორი, ამბავი ...

**S<sub>loc</sub>** : სოციალური ქსელი, პრესა, საჯარო სივრცე

**Perf** : გამოაცხო

შესიტყვებები:

ძილს გამოაცხობს კარგად დაიძინებს, გამოიძინებს.

ტყუილს გამოაცხობს სახელდახელოდ მოიგონებს რაიმე სიცრუეს.

### ლექსემა გამოცხვებაI1

განმარტება: გახურებულ ღუმელში (თონეში...) მოთავსებული ცომი გამოშუშდება და საჭმელად ვარგისი გახდება

მართვის მოდელი: Y ცხვება/საჭმელად მზადდება (X-ის საშუალებით)

Y ⇔ I [რაც ცხვება]	X ⇔ II [ვინც კაუზირებს]
I სერია: Y სახ. ბრ. II სერია: Y სახ. ბრ. III სერია: Y სახ. ბრ.	X ნათ. ბრ.

**Gener** : საკვების (ცომეულის) მომზადება

**DerA<sub>0</sub>** : გამოცხობილი

**DerS<sub>0</sub>** : გამოცხობა

**S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>loc</sub>, S<sub>res</sub>, S<sub>instr</sub>, Ver, Conv** ისეთივეა, როგორც გამოაცხობსI1

**Perf** : გამოცხვა

ანდაზები:

ობლის კვერი ცხვა, ცხვა, გვიან გამოცხვა, მაგრამ კარგად გამოცხვაო.

მინამ თორნე ცხელია – პური უნდა გამოცხვესო.

### დანართი

სტატიაში გამოყენებული ლექსიკური ფუნქციების განმარტებები:

**Gener** [Lat. genus] – ამოსავალი C<sub>0</sub> სიტყვის წარმომავლობის ზოგადი დასახელება  
*მატარებელი-ტრანსპორტი, სკამი-ავეჯი;*

**Syn** [Lat. synonymum] – სიტყვა, რომელიც შინაარსით ემთხვევა ამოსავალ სიტყვას  
(სინონიმი) *მსუბუქი-მჩატე;*

**Anti** [Lat. antonymum] – სიტყვა, რომელიც აღნიშნავს C<sub>0</sub> ამოსავალი სიტყვის საპირისპირო მნიშვნელობას (ანტონიმი): *ცხელი-ცივი, შორს-ახლოს, ჩაცმა-გახდა.*

**Der** [Lat. derivatus] – ამოსავალი სიტყვისგან ნაწარმოები სიტყვა, რომელიც ეკუთვნის სხვა მეტყველების ნაწილს: S<sub>0</sub> *ხმაური*, V<sub>0</sub> *ხმაურობს*, A<sub>0</sub> *ხმაურიანი*;



- Si** i-ური აქტანტის დასახელება:  $C_0$  ლექცია,  $S_1C_0$  ლექტორი,  $S_2C_0$  თემა,  $S_3C_0$  მსმენელი,  $S_4C_0$  აუდიტორია.
- Sc** სიტუაციის მეორეხარისხოვანი კომპონენტების დასახელება, როგორცაა: ადგილი, იარაღი, შედეგი და სხვ.:  $C_0$  კრივი –  $Sloc(C_0)$  რინგი;  $C_0$  ბრძოლა –  $Sinstr(C_0)$  იარაღი;  $C_0$  ცხოვრება –  $Smod(C_0)$  – წესი, სტილი;  $C_0$  კოპირება –  $Sres(C_0)$  – ასლი.
- Conv** [Lat. conversivum] – სიტყვა, რომელიც იმავე დამოკიდებულებას ასახავს, რასაც  $C_0$  სიტყვა, ანუ იმავე სიტუაციას ასახავს, ოღონდ სხვა მიმართულებით: გადასცამილო.
- Ver** [Lat. Verus] – ჭეშმარიტი, დანიშნულებასთან შესაბამისი,  $C_0$  ეჭვი –  $Ver(C_0)$  საფუძვლიანი. შდრ. Anti Ver:  $C_0$  ეჭვი –  $Anti Ver(C_0)$  უსაფუძვლო.
- Bon** [Lat. Bonus] – ‘კარგი’;  $C_0$  წინადადება –  $Bon(C_0)$  სახარბილო.
- Sing** [Singulus] – გარკვეული  $C_0$ -ის ერთი “ცალის” ტიპური სახელი;
- Mult** [Multum] – ‘სიმრავლე’, ‘მრავლობა’)  $C_0$  სიმრავლის, ერთობლიობის ტიპური სახელი:  $C_0$  თოვლი –  $Sing(C_0)$  ფიფქი;  $C_0$  ცხენი –  $Mult(C_0)$  რეზა.
- Perf** [Perfectus] – მოქმედების დასრულება (არა შეწყვეტა), თავისი ბუნებრივი ზღვარის მიღწევა. სრული ასპექტის ფორმებით გადმოიცემა: იცვამს – ჩაიცვა, ტეხს – გატეხა და ა. შ.
- Ai** i-ური აქტანტის ტიპური განსაზღვრა სიტუაციაში მისი რეალური როლის მიხედვით:  $C_0$  ვნებს –  $A_1(C_0)$  მავნე;  $C_0$  ცოდნა –  $A_2(C_0)$  ცნობილი.
- Imper** [Lat. imperāre] – ბრძანების მნიშვნელობა;  $C_0$  სვლა –  $Imper(C_0)$  ნაბიჯით იარ!

## Verb Stems in the Explanatory-Combinatorial Dictionary

Nino Javashvili

### Summary

A description of verb stems for the Georgian explanatory-combinatorial dictionary is given in the paper. Such a dictionary is very useful and important for the complete description of any language. Unlike other dictionaries, a combinatorial dictionary aims to provide the user with information about the semantic and combinatorial relations of a given word to the other words.

Verbs considered as lexical units in the paper are described according to the dictionary characteristic fields. In particular, lexical functions and control models are used. For the first time, a control model is included in the word-article description. An explanation of the used lexical functions is given at the end of the paper.

## Основы глаголов в толково-комбинаторном словаре

Нино Джавашвили

### Резюме

В статье дается описание основ глаголов для толково-комбинаторного словаря. Такой словарь очень нужен и важен для полного описания любого языка. В отличие от других словарей, комбинаторный словарь предназначен для предоставления пользователю информации о семантических и комбинаторных отношениях данного слова с другими словами.

Глаголы, рассматриваемые в статье как лексические единицы, описываются по зонам, характерным для словаря. В частности, используются лексические функции и модели управления. В словарной статье впервые включено описание модели управления. В конце статьи приведено объяснение используемых лексических функций.

ლიტერატურა – References – Литература

1. Мельчук И. Ф. Опыт теории лингвистических моделей “смысл↔текст”, Москва, 1999.
2. Мельчук И. Ф., Жолковский А.К. Толково-Комбинаторный Словарь русского языка, Вена, 1984
3. მარგველანი ლ., ჯავაშვილი ნ. სალექსიკონო ერთეულთა აღწერა ლექსიკური ფუნქციების მიხედვით. სსიპ არჩილ ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული #10, თბილისი, 2006, გვ. 181-186;
4. მარგველანი ლ., მასალები ქართული ენის ექსპერიმენტული განმარტებით-კომბინატორული ლექსიკონისათვის; “Машинный перевод” изд-ство “Мецниереба”, Тбилиси, 1975, XIV:3, გვ. 5-18;
5. ჯავაშვილი ნ. კვაზისინონიმების კომბინატორული მიმართებები. სსიპ არჩილ ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული N11, თბილისი, 2007;
6. ჩიკოიძე გ., დოკვაძე ე., ჩუტკერაშვილი ა. ლექსიკური ფუნქციები როგორც კვაზისინონიმური გარდაქმნების საშუალება. საერთაშორისო კონფერენცია “ქართული ენა და თანამედროვე ტექნოლოგიები \_ 2011”, თბილისი, 2011. გვ. 144-149;
7. Маргвелани Л. П.; Грузинские Выражения, обозначающие чувства и их описание в терминах лексических функций, сб. Языковые процессоры и распознавание речи, изд-ство “Мецниереба”, Тбилиси, 1978, стр. 5-16;
8. დოკვაძე ე. სიტყვა “ქარის” აღწერა ლექსიკური ფუნქციებით. სსიპ არჩილ ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული N11, თბილისი, 2007, გვ. 252-256;
9. დოკვაძე ე. “წვიმის” აღწერა ლექსიკური ფუნქციებით. არჩილ ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული N12, თბილისი, 2008, გვ.236-241;
10. დოკვაძე ე. “ღრუბლის” აღწერა ლექსიკური ფუნქციებით. სსიპ არჩილ ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული N13, თბილისი, 2009, გვ. 167-171;
11. დოკვაძე ე. “ნისლის” აღწერა ლექსიკური ფუნქციებით. არჩილ ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული N14, თბილისი, 2010, გვ. 209-214;
12. დოკვაძე ე. ზოგიერთი არსებითი სახელის აღწერა ლექსიკური ფუნქციებით. სსიპ არჩილ ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული #15, თბილისი, 2011, გვ. 209-214;
13. დოკვაძე ე. ლექსემა “თოვლის” აღწერა ლექსიკური ფუნქციებით. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის არჩილ ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული #16, თბილისი, 2012, გვ. 171-176;
14. ჯავაშვილი ნ. ლექსიკური ერთეული „კლდე“ განმარტებით-კომბინატორულ ლექსიკონში. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის არჩილ ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული N19, თბილისი, 2015, გვ. 109-114;
15. სამსონაძე ლ. სიტყვა “მიწის” აღწერა განმარტებით-კომბინატორული ლექსიკონისთვის. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის არჩილ ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული N21, თბილისი, 2017, გვ. 133-137;
16. ქართული ენის განმარტებითი ლექსიკონი <http://ena.ge/explanatory-online>;
17. ჩიკოიძე გ., ამირეზაშვილი ნ., ლორთქიფანიძე ლ., სამსონაძე ლ., ჩუტკერაშვილი ა., ჯავაშვილი ნ. ლექსიკური ფუნქციები - კომბინატორული ლექსიკონის მნიშვნელოვანი კომპონენტი. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის არჩილ ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული N19, თბილისი, 2015, გვ. 98-104.

---

## GeWordNet თესაურუსის გამოყენება ქართულენოვან დიალოგურ სისტემაში

ლიანა ლორთქიფანიძე

*l\_lordkipanidze@yahoo.com*

### რეზიუმე

სტატიაში გამოკვლეულია ქართული ენის ავტომატური დამუშავების ძირითადი ეტაპები: მორფოლოგიური, სინტაქსური და სემანტიკური ანალიზი. ნაჩვენებია კავშირი GeWordNet თესაურუსის სემანტიკური მოდელის, საძიებო მოთხოვნის, მონაცემთა ბაზის შიდა წარმოდგენის და დიალოგური სისტემის სუბიექტებს შორის.

შემოთავაზებულია GeWordNet თესაურუსის სემანტიკური მოდელის გამოყენება მონაცემთა ბაზებთან ქართულენოვანი სამომხმარებლო ინტერფეისის დასაკავშირებლად. ნაჩვენებია სემანტიკურ მოდელში მოცემული მონაცემების გარდაქმნა მოთხოვნის შუალედურ K-რეპრეზენტაციაში და შემდგომ მისი SQL ბაზის მოთხოვნად გარდაქმნა წინასწარგანსაზღვრული შაბლონის საფუძველზე.

აღწერილია GeWordNet თესაურუსის სემანტიკური მონაცემთა ბაზის მოდელის გამოყენების მაგალითი მომხმარებლის ქართულენოვანი ინტერფეისით. ნაჩვენებია NL (Natural Language) ბუნებრივენოვანი შეკითხვის მონაცემთა ბაზის SQL მოთხოვნაზე გადაყვანის მაგალითი.

შემოთავაზებული მიდგომის საფუძველზე გადაწყდება მომხმარებლის ბუნებრივენოვან შეკითხვაზე დაფუძნებული მოთხოვნის შესაბამისი ინფორმაციის GeWordNet თესაურუსის მონაცემთა ბაზაში მოძიების საკითხი.

### საკვანძო სიტყვები

*ქართული GeWordNet თესაურუსი, მომხმარებლის ინტერფეისი, ბუნებრივენოვანი მოთხოვნა, მონაცემთა ბაზა, სემანტიკური მოდელი, SQL მოთხოვნა*

დღეს მსოფლიოში გაჩნდა პროგრამული უზრუნველყოფის კლასი, სადაც ადამიანის და კომპიუტერის ურთიერთქმედება ყველაზე ეფექტურია ბუნებრივენოვანი ინტერფეისის გამოყენებით. ვირტუალური ასისტენტები, როგორცაა Siri, Google Assistant (Google Now), Amazon Alexa, Microsoft Cortana, Bixby, Voice Mate, Алиса იყენებენ ინტერნეტ-რესურსებს და ბევრ სხვადასხვა სახის შეკითხვაზე შეუძლიათ პასუხის გაცემა [1]. ასევე, ბოლო პერიოდში ფართოდ გავრცელდა ჩათ-ბოტები, რაც მომხმარებელს საშუალებას აძლევს პროგრამულ სისტემასთან ბუნებრივი ენის გამოყენებით დაამყაროს კავშირი. ბუნებრივენოვანი სამომხმარებლო ინტერფეისი აქტიურად გამოიყენება დიალოგურ სისტემებში, სადაც მომხმარებლის კითხვაზე პასუხის მისაღებად ინფორმაცია იძებნება შესაბამის მონაცემთა ბაზაში. ამ დროს მომხმარებელს არ უნდა ესაჭიროებოდეს მონაცემთა ბაზის შიდა სტრუქტურის ცოდნა და SQL მოთხოვნების ხელით შექმნა. მოცემული პრობლემის გადასაწყვეტად, უპირველეს ყოვლისა, უნდა მოხდეს ბუნებრივ ენაზე მოლაპარაკე მომხმარებლის მიერ დასმული შეკითხვის (მოთხოვნის) სტრუქტურირებული მონაცემთა ბაზის მოთხოვნად გარდაქმნა.

მომხმარებლის ინტერფეისი წარმოადგენს პროგრამული უზრუნველყოფის სისტემას, რომელიც ახორციელებს ინფორმაციის მოძიებას, მიღებას და დამუშავებას გარე მეხსიერებიდან – სტრუქტურირებული მონაცემთა წყაროდან [2]. ამავე დროს, ბუნებრივენოვანი ინტერფეისი არის ერთგვარი მომხმარებლის ინტერფეისი, რომელიც იღებს და ამუშავებს მოთხოვნებს ბუნებრივ ენაზე და ასევე შეუძლია გამოიყენოს ბუნებრივი ენა მომხმარებლისთვის ნაპოვნი ინფორმაციის მისაწოდებლად.

მკვლევარები მთელ მსოფლიოში აქტიურად ავითარებენ ბუნებრივენოვან სამომხმარებლო ინტერფეისებს. ცნობილია სხვადასხვა მიდგომა. ადრეული განხორციელებისას შემოთავაზებული იყო ლექსიკონებისა და გრამატიკების აქტიური გამოყენება, აგრეთვე მომხმარებლის მიერ შეკითხვის ეტაპობრივი ფორმირება [3]. NaLIR (Natural Language Interface for querying Relational databases - ბუნებრივი ენის ინტერფეისი რელაციური მონაცემთა ბაზების მოთხოვნებისთვის) პროექტი [4] გულისხმობს დამოკიდებულების ხის აგებას ბუნებრივენოვანი მოთხოვნის ანალიზისას წესებისა და ევრისტიკის გამოყენებით. თავის მხრივ, პროექტი Sqlizer [5] იყენებს მანქანური სწავლების მეთოდებს SQL მოთხოვნების შესაქმნელად ბუნებრივენოვანი წარმოდგენის საფუძველზე.

ბუნებრივენოვანი მომხმარებლის ინტერფეისის ერთ-ერთი ყველაზე მნიშვნელოვანი კომპონენტია სემანტიკური მოდელი, რომელიც აღწერს გამოყენებულ მონაცემთა ბაზაში არსებულ შიდა სტრუქტურასა და ურთიერთობებს [6].

ჩვენს განყოფილებაში 2015-2017 წლებში დამუშავდა შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის მიერ დაფინანსებული პროექტი – "ქართულ სიტყვათა ქსელის კომპაილერი - GeWordNet", რომლის ფარგლებში შეიქმნა ქართული ენის დიდი სემანტიკური ქსელი.

ამ ნაშრომში ჩვენ შემოგთავაზებთ ახალ მიდგომას, რომლის მიხედვით მომხმარებლის ქართულენოვანი შეკითხვის შესაბამისი SQL მოთხოვნის შესაქმნელად დამუშავდება GeWordNet-ის მონაცემთა ბაზის სემანტიკური მოდელი. ქართული ენის მოქნილობა და პოლისემია მნიშვნელოვნად ართულებს შეკითხვების ინტერპრეტაციას. მაგრამ, მონაცემთა ბაზის სემანტიკური მოდელი შეიძლება გამოყენებულ იქნას ქართულენოვანი მორფოლოგიური ომონიმის მოსახსნელად და მომავალში ორაზროვნებასთან [7] დაკავშირებული მრავალი სხვა პრობლემების გადასაჭრელად.

### **ქართულენოვანი მოთხოვნის მონაცემთა SQL ბაზის მოთხოვნად გარდაქმნა**

მომხმარებლის ქართულენოვანი მოთხოვნის დამუშავების პროცესი შედგება მორფოლოგიური, სინტაქსური და სემანტიკური ანალიზის თანმიმდევრული შესრულებისგან [8].

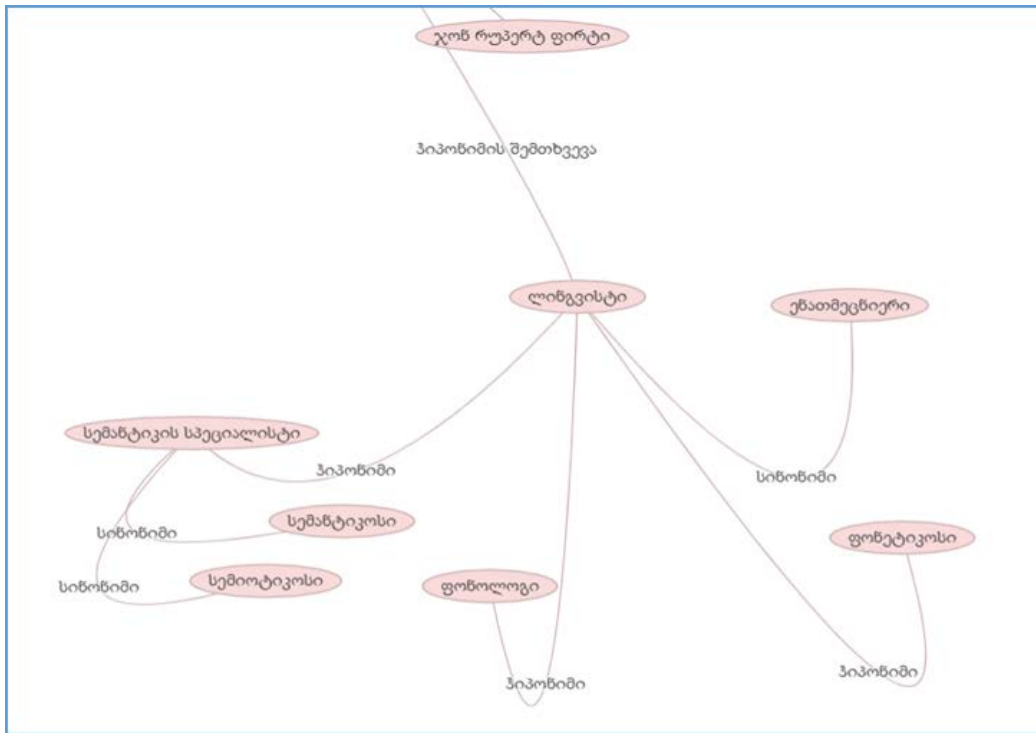
მომხმარებლის მოთხოვნის დამუშავების პირველ ეტაპზე ტარდება მორფოლოგიური ანალიზი. წინადადების თითოეული სიტყვისთვის ფორმალურ აღნიშვნაში იქმნება კავშირები, რომლებიც განსაზღვრავენ შესაბამისობას გრამატიკული კატეგორიების მნიშვნელობებისთვის [9]. მორფოლოგიური ანალიზის შედეგად განისაზღვრება თითოეული სიტყვის მორფოლოგიური მახასიათებლები, მაგალითად, ბრუნვა, უღლება, მეტყველების ნაწილი და სხვა.

სინტაქსური ანალიზის ეტაპზე წინადადებაში გამოიყოფა სიტყვათა შორის მიმართებები. შემდეგ განისაზღვრება წინადადების ძირითადი და მეორადი წევრები და წინადადების ტიპი. სინტაქსური ანალიზი ტარდება ეტაპობრივად: წინადადების ფორმალური სტრუქტურის აღწერისას გამოიყენება მორფოლოგიური ანალიზის ეტაპზე მიღებული ინფორმაცია და ქართული ენის სინტაქსური და ლექსიკური წესები [10].

ბუნებრივენოვანი მოთხოვნის დამუშავების შემდეგი ნაბიჯი მისი სემანტიკური წარმოდგენის აგებაა. ამ შემთხვევაში მომხმარებლის ქართულენოვანი მოთხოვნის სემანტიკური წარმოდგენა ემყარება GeWordNet თესაურუსის მონაცემთა ბაზის სემანტიკური მოდელის მონაცემებს [11]. ასეთი წარმოდგენა სტანდარტული კონცეპტუალური ენის გამოხატულებაა. ამრიგად, ყალიბდება მოთხოვნის K-რეპრეზენტაცია (Knowledge representations) [12]. მომავალში, მოთხოვნის K-რეპრეზენტაცია გადაისახება SQL მოთხოვნაში, რომელიც იგზავნება მონაცემთა ბაზაში. შედეგად, სურ. 1-ზე წარმოდგენილი პროცესის მონაცემთა გარდაქმნა ასე გამოიყურება:

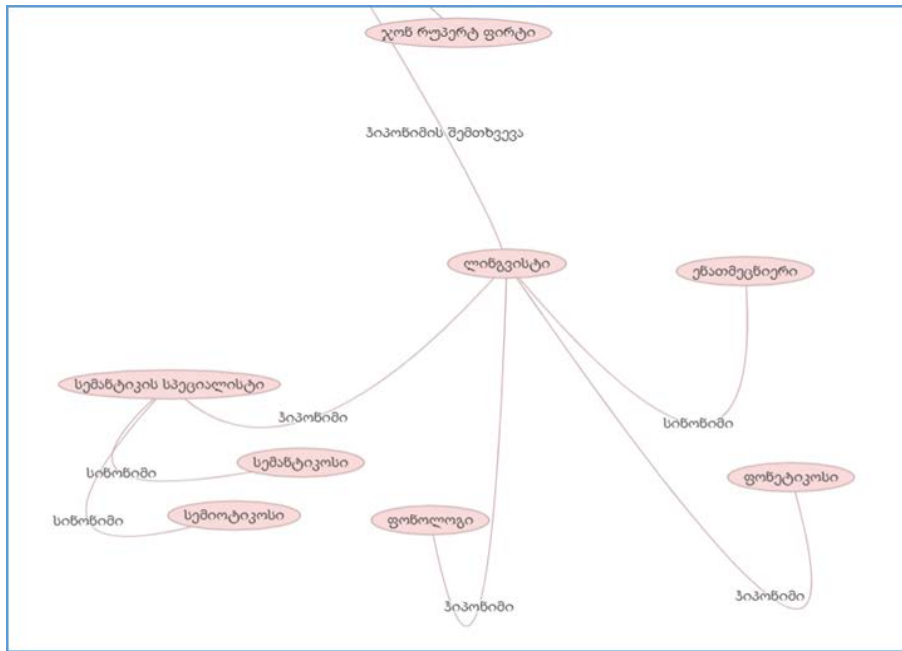
მომხმარებლის NL მოთხოვნა → მოთხოვნის K-რეპრეზენტაცია → SQL მოთხოვნა

GeWordNet თესაურუსის სემანტიკურ მოდელში აღწერილი ცნებები და მათ შორის კავშირების სახეები - სინსეტები [იხ. 13, 14] შენახულია რელაციურ ბაზაში. ცნებებს შორის კავშირები ასახავენ ER (Entity→Relationship ერთეული →კავშირის სახე) სინსეტს GeWordNet თესაურუსის შესაბამის დიაგრამაში. ერთეულს (E) შეუძლია წარმოადგინოს ადამიანების, საგნების, მოვლენების, ადგილმდებარეობების ან კონცეპტების კატეგორია განსახილველ სფეროში. ერთეულის ნიმუში არის გარკვეული კავშირის ცნების (R) კონკრეტული მაგალითი. მაგალითად, ჯონ სმიტი (E) არის ერთ-ერთი დასაქმებული (R) სუბიექტი. კავშირები შეიძლება იყოს ერთი ერთთან 1: 1, ერთი ბევრთან 1: N, ან ბევრი ბევრთან N:M.



სურ.1. ქართულენოვანი მოთხოვნის დამუშავების პროცესი GeWordNet თესაურუსის მონაცემთა ბაზის სემანტიკური მოდელის გამოყენებით

მაგალითად, წითელის კავშირების აღსაწერად ნაჩვენებია სინსეტები სურათ 2-ზე. დიაგრამის კავშირებიდან გამომდინარე, შესაძლებელია გამოთვლილი ცნების არსებობა [15]. ამ დროს ცნების მნიშვნელობა დამოკიდებულია დაკავშირებული ცნებების მნიშვნელობებზე. მაგალითად, ბოლშევიკების სინონიმებად წარმოდგენილია წითლები და მარქსისტები. ხოლო სურ. 3-ზე წარმოდგენილი ჰიპონიმური კავშირიდან გამომდინარე, სემანტიკურ მოდელში შესაძლებელია აღიწეროს თანმიმდევრობა, რომელიც წარმოადგენს ელემენტების ჩამონათვალს. ამ შემთხვევაში, თანმიმდევრობის ფარგლებში მიეთითება ბოლშევიკური პარტიის წევრები: ლენინი, ბუხარინი და სხვ.



სურ.2.

მონაცემთა ბაზის სემანტიკურ მოდელში ასევე შეიძლება შევიდეს მიმდევრობები, რთული და შედგენილი SQL მოთხოვნების ფორმირების გამარტივების მიზნით [16]. მიმდევრობა განსაზღვრავს კონკრეტული კლასის ნიმუშების ერთობლიობას. მაგალითად, ბოლშევიკური პარტიის წევრების ნაკრები შეიძლება განისაზღვროს, როგორც იმ პიროვნებების ნაკრების ქვესიმრავლე, რომელთა ჰიპონიმი არის ბოლშევიკი, ან მარქსისტი, ან წითელი.

უმარტივეს შემთხვევაში მომხმარებლის მოთხოვნის K-წარმომადგენა შეიძლება მოცემული იყოს როგორც ობიექტი, რომელსაც მოჰყვება ამ ობიექტის თვისებები (გასაღები, მნიშვნელობა) სახით:

პარტიის წევრი (პარტია, ბოლშევიკური)

ფორმალური მოთხოვნა ასე შეიძლება გამოიყურებოდეს:

მოთხოვნილი ობიექტი (მოთხოვნა 1, პარტიის ყველა წევრი (ერთეული, M1), აღწერა 1 (პარტია \* ((ერთეული, M1): p1, პარტია (p1, ბოლშევიკური)))

ამ შემთხვევაში "პარტიის ყველა წევრი" არის მონაცემთა ბაზაში განსაზღვრული პოლიტიკური კლასი, "პარტია" არის ველი პოლიტიკურ კლასში და მონაცემთა ბაზის ველის შესაბამისობა ბუნებრივ ენაზე არსებულ სახელთან არის მითითებული მონაცემთა ბაზის სემანტიკურ მოდელში. საბოლოოდ, ასეთი მოთხოვნა გარდაიქმნება SQL მოთხოვნად:

```
select * from political_group where political_group.party = 'Bolshevist'
```

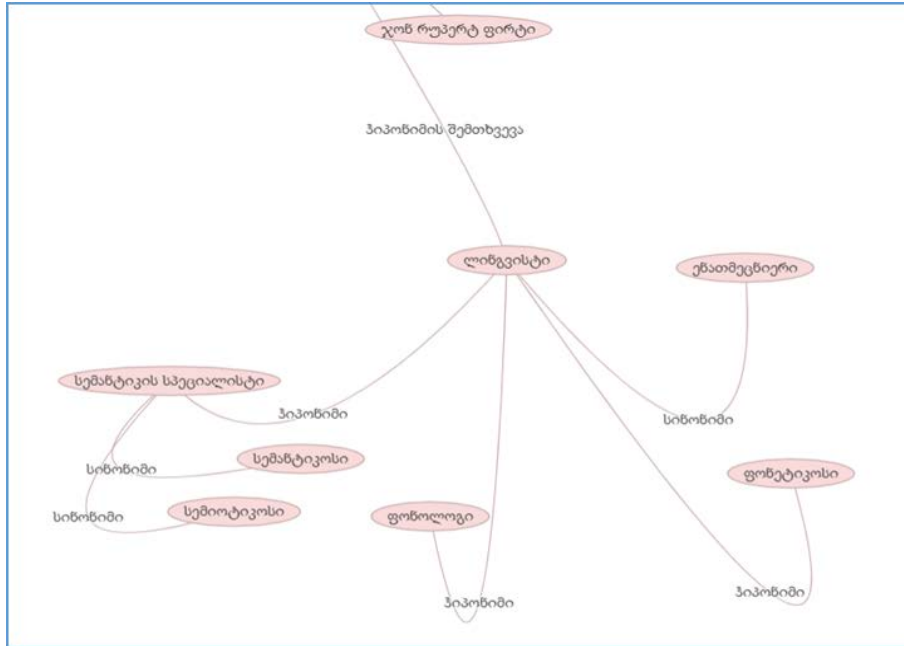
### მოთხოვნის დამუშავება, რომელიც შეიცავს თანწყობილ წინადადებებს

სემანტიკურ მონაცემთა ბაზის მოდელის გამოყენებით ბუნებრივენოვანი მოთხოვნების დამუშავების შემოთავაზებული მიდგომის ერთ-ერთი უპირატესობა არის უფრო რთული SQL მოთხოვნების დამუშავების და ფორმირების უნარი. მოთხოვნა შეიძლება შეიცავდეს თანწყობილ წინადადებებს. მსგავსი მოთხოვნები საკმაოდ ხშირია, განსაკუთრებით მონაცემთა ბაზის სხვადასხვა ცხრილიდან საერთო მონაცემების მოძებნის დროს.

განვიხილოთ შემდეგი შეკითხვის მაგალითი:

ყველა ლინგვისტი, ვინც წვლილი შეიტანა სემანტიკის მიმართულელებაში.

კონკრეტულ შემთხვევაში GeWordNet თესაურუსის კავშირები წარმოდგენილია სურ. 3-5-ზე.



სურ. 3.

Firth, J. R. Firth, John Rupert Firth  
ფირტი, ჯ. რ. ფირტი, ჯონ რუპერტ ფირტი  
არსებითი სახელი  
ადამიანების აღმნიშვნელი სახელი  
English linguist who contributed to linguistic semantics and to prosodic phonology and who was noted for his insistence on studying both sound and meaning in context (1890-1960)  
გრაფიკული კავშირების ნახვა   გრაფიკული კავშირების ნახვა (ქართული)  
კავშირები: 1  
შთავარი გვერდი | ჩვენ შესახებ | დეველოპერი: Manvel Kloyan

სურ. 4.

**ჰიპონიმი:**

- არსებითი სახელი: [computational linguist](#)
- არსებითი სახელი: [grammarian, syntactician](#)
- არსებითი სახელი: [Hebraist](#)
- არსებითი სახელი: [lexicographer, lexicologist](#)
- არსებითი სახელი: [neurolinguist](#)
- არსებითი სახელი: [phonetician](#) / [ფონეტიკოსი](#)
- არსებითი სახელი: [phonologist](#) / [ფონოლოგი](#)
- არსებითი სახელი: [psycholinguist](#)
- არსებითი სახელი: [semanticist, semiotician](#) / [სემანტიკის სპეციალისტი, სემანტიკოსი, სემიოტიკოსი](#)
- არსებითი სახელი: [sociolinguist](#)

სურ. 5.

სემანტიკურ ბაზაში მონაცემთა შენახვის სტრუქტურის გათვალისწინებით, მომხმარებლის მოთხოვნა შეიძლება დაიშალოს შემდეგ ეტაპებად:

1. მუშაობის მიმართულებების/სპეციალობების იდენტიფიკატორების შერჩევა, რომელთა სახელი შეესაბამება მოთხოვნას;
2. იმ პირების პოვნა, რომლებიც არიან ლინგვისტები;
3. ნაპოვნი ლინგვისტებიდან იმ პირების ამორჩევა, რომლებიც სემანტიკოსები არიან.

შემოთავაზებული მიდგომა ითვალისწინებს მონაცემთა ბაზის საკმაოდ მოქნილ მიზმას GeWordNet თესაურუსის სინსეტებთან. ბუნებრივი ენის ცნებებისა და რელაციური ბაზის შესაბამისი ცხრილის ველების დასაკავშირებლად შესაძლებელია შუალედური ცხრილების გამოყენება. ამ დროს კავშირი შეიძლება იყოს პირდაპირი (პარტიის ველი შეესაბამება ველს party), ან შეიძლება ფორმატირებული იყოს მონაცემთა ბაზაში ჩასმული მოთხოვნის სახით, რაც შესაძლებელი იქნება, მიღებული გამოსახულების K-წარმოდგენის მონაცემთა ბაზის SQL-მოთხოვნად გარდაქმნით, წინასწარ განსაზღვრული შაბლონის გამოყენებით.

### დასკვნა

ჩვენს ნაშრომში პირველადაა შემოთავაზებული მონაცემთა ბაზის სემანტიკური მოდელის გამოყენება ქართულენოვან დიალოგურ სისტემაში. სისტემის ფორმირებისა და მისი დამუშავების პროცესში გაღრმავდება GeWordNet თესაურუსის სინსეტების კავშირების შესწავლა ქართული ენისთვის. კვლევის ძირითადი სიახლეა დიალოგური სისტემის ინტერფეისების ფორმირების ახალი მეთოდი, რომელიც ემყარება მომხმარებლის თავდაპირველი მოთხოვნების შესაბამისი სემანტიკური სტრუქტურების მრავალფეროვანი მათემატიკური მოდელების აგებას. მოდელებში გამოიყენება SK (Subject Knowledge) ენების გამომხატველი მექანიზმები, რომლებიც განისაზღვრება K-წარმოდგენების თეორიით. შემოთავაზებული ტექნოლოგიით მონაცემთა სემანტიკურ მოდელზე დაფუძნებული K- წარმოდგენის ფორმირებით შეიქმნება ბუნებრივენოვანი ინტერფეისი მომხმარებლის მოთხოვნის ანალიზისა და დამუშავებისათვის. ამრიგად, სემანტიკური მოდელის გამოყენებით ადამიანის მიერ მიწოდებული ტექსტი გარდაიქმნება ავტომატურად დამუშავებისთვის შესაფერ XML ან JSON ფორმატად [17]. შემუშავებული მეთოდის დანერგვა GeWordNet თესაურუსის რესურსის პოპულარობის გაზრდის კიდევ ერთი ეფექტური გზაა..

## Using the GeWordNet thesaurus in Georgian dialogue system

*Liana Lortkipanidze*

### Summary

The article discusses the main steps of automatic processing of the Georgian language are described in the paper: morphological, syntactic and semantic analysis. The connection between the semantic model of GeWordNet thesaurus, search query, inner representation of the database and the dialogue system is shown.

The use the semantic model GeWordNet thesaurus in order to connect Georgian language user interface to the databases is also proposed. The paper shows that the data of the semantic model is transformed into an intermediate K-representation of a query, and then transformed into its SQL database query that is based on in advance defined template.

An example of using the semantic database model of GeWordNet thesaurus with a Georgian language interface user is described in the paper. There also is an example of converting a natural language (NL) database queries into an SQL query.



The problem of finding relevant information in the GeWordNet thesaurus database according to the user's request that is made in natural language is solved based on the proposed approach.

## Использование тезауруса GeWordNet в Грузино-языковых диалоговых системах

*ლიანა ლორთქიფანიძე*

### Резюме

В статье рассматриваются основные этапы автоматической обработки грузинского языка: морфологический, синтаксический и семантический анализ. Показана связь между семантической моделью GeWordNet тезаурусом, поисковым запросом, внутренним представлением базы данных и диалоговой системой.

Предлагается использовать семантическую модель GeWordNet тезаурус для подключения Грузино-языковых пользовательских интерфейсов к базам данных. Показано, что данные семантической модели преобразуются в промежуточное K-представление запроса, а затем преобразуются в его запрос базы данных SQL на основе заранее определенного шаблона.

Описан пример использования модели семантической базы данных GeWordNet тезаурус с пользовательским интерфейсом на грузинском языке. Показан пример преобразования базы данных естественно-языковых NL (Natural Language) запросов в запрос SQL.

На основе предложенного подхода будет решена проблема поиска релевантной информации по запросу пользователя на естественном языке в базе данных GeWordNet тезауруса.

### ლიტერატურა – References – Литература

1. Llopis M., Ferrandez A. How to make a natural language interface to query databases accessible to everyone: an example // Computer Standards and Interfaces. 2013. V. 35. N 5. P. 470–481. doi: 10.1016/j.csi.2012.09.005;
2. Zhou L., Mohammed A.S., Zhang D. Mobile personal information management agent: supporting natural language interface and application integration // Information Processing and Management. 2012. V. 48. N 1. P. 23–31. doi: 10.1016/j.ipm;
3. Codd E. Seven steps to rendezvous with the casual user. In Data Base Management. Eds. J. Kimbie, K. Koffeman. NorthHolland Publ., 1974, pp. 179–200;
4. Li F., Jagadish H.V. NaLIR: an interactive natural language interface for querying relational databases. Proc. 2014 ACM SIGMOD Int. Conf. on Management of Data. Snowbird, USA, 2014. P. 709–712. doi: 10.1145/2588555.2594519;
5. Mikolov T., Sutskever I., Chen K., Corrado G., Dean J. Distributed representations of words and phrases and their compositionality // Proc. 26th Int. Conf. on Neural Information Processing Systems. 2013. P. 3111–3119;
6. Giordani A., Moschitti A. Semantic mapping between natural language questions and SQL queries via syntactic pairing // Lecture Notes in Computer Science. 2009. V. 5723. P. 207 – 221. doi: 10.1007/978-3-642-12550-8\_17;
7. ლორთქიფანიძე ლ.: ტექსტურ კორპუსებში ომონიმის ავტომატური მოხსნის მოდელი. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის არჩილ ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული N18 2014 წ. გვ. 187-193;

8. ლორთქიფანიძე ლ.: ქართველური ენების მორფოლოგიური ანალიზატორი. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის არჩილ ელიაშვილის სახელობის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული N21, 2017, გვ. 108-111;
9. ლორთქიფანიძე ლ., ჯავაშვილი ნ.: საერთაშორისო სტანდარტი EAGLES ქართული ტექსტური კორპუსის ანოტირებისთვის. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის არჩილ ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული N17 2013 წ. გვ. 118-130.
10. დოკვაძე ე. სიტყვა “ქარის” აღწერა ლექსიკური ფუნქციებით. სსიპ არჩილ ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული #11, თბილისი, 2007, გვ. 252-256;
11. Lortkipanidze L., Amirezashvili N., Chutkerashvili A., Javashvili N., Samsonadze L.: Syntax Annotation of the Georgian Literary Corpus. Theoretical Computer Science and General Issues. 11th International Tbilisi Symposium on Logic, Language, and Computation, Tbilisi, Georgia, 21-26 September, 2015, Revised Selected Papers. Publisher: Springer- Verlag Berlin Heidelberg, 2017;
12. Vladimir A. Fomichov, Theory of K-representations as a Comprehensive Formal Framework for Developing a Multilingual Semantic Web, 2010. <https://www.researchgate.net/publication/220166167>;
13. ლ. ლორთქიფანიძე, ნ. ჯავაშვილი: ჰიპონიმური ხის ავტომატური ფორმირება ქართულ WordNet-ში. სემიოტიკის VII საერთაშორისო კონფერენცია „ქაოსის და კოსმოსის სემიოტიკა“. ბათუმი, 21-23 ოქტომბერი, 2016. [http://bsu.edu.ge/upload/semiotika\\_2016.pdf](http://bsu.edu.ge/upload/semiotika_2016.pdf);
14. ლორთქიფანიძე ლ.: ქართული ენის GeWordNet ლექსიკონისთვის ჰიპონიმური ხის ავტომატური ფორმირების ალგორითმი. ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მესამე საფაკულტეტო სამეცნიერო კონფერენცია ზუსტ და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებებში. თბილისი, 25-28 იანვარი, 2016. <http://conference.ens-2016.tsu.ge/lecture/view/494>.
15. Nihalani M.N., Silakari S., Motwani M. Natural language interface for database: a brief review // International Journal of Computer Science Issues. 2011. V. 8. N 2. P. 600–608;
16. Pan S., Shaw J. Natural language query recommendation in conversation systems // Proc. 20th Int. Joint Conf. on Artificial Intelligence. Hyderabad, India, 2007. P. 1701–1706;
17. Tablan V., Damljanovic D., Bontcheva K. A natural language query interface to structured information // Lecture Notes in Computer Science. 2008. V. 5021. P. 361–375. doi: 10.1007/978-3-540-68234-9\_28..

## ქართული ენის კომბინატორული ლექსიკონი

ლიანა ლორთქიფანიძე

*l\_lordkipanidze@yahoo.com*

### რეზიუმე

სტატიაში აღწერილია ქართული ენის კომბინატორული ლექსიკონის ერთეულებს შორის პარადიგმატული, სინტაქსური და სინტაგმატური კავშირები. ლექსიკონი ამჟამად შეიცავს 3 მილიონ კავშირს მის 100,000 ჩანაწერს შორის. ბმულები პარადიგმატულია (ძირითადად მორფოლოგიური), სინტაქსური (ზმნურ-აქტანტური მიმართებები) ან სინტაგმატური (ლექსიკური ფუნქციები). ლექსიკონის სიტყვა-სტატიები ერთი ან მრავალსიტყვიანია (შესიტყვებები). ისინი ეკუთვნის მეტყველების ოთხ ძირითად ნაწილს: სახელი, ზმნა, ზედსართავი სახელი, ზმნიზედა. სალექსიკონო ერთეულები წარმოადგენენ ეგრეთ წოდებულ გრამატიკულ ფორმებს და არა ლექსემებს: მაგ., სახელები წარმოადგენილია სახელობითი ბრუნვის მხოლოდით რიცხვში; ზმნები წარმოადგენილია საწყისებად და მასთან დაკავშირებული ზმნის მყოფადის მხოლოდითი რიცხვის მესამე პირის ფორმით. სალექსიკონო ერთეულებად წარმოდგენილი შესიტყვებები, თავის მხრივ, შეიძლება იყოს იდიომატურად თავისუფალი.

### საკვანძო სიტყვები

*ქართული ენის კომბინატორული ლექსიკონი, ლექსიკური ფუნქციები, სალექსიკონო სტატია, პარადიგმატული, სინტაქსური და სინტაგმატური კავშირები*

### შესავალი

თანამედროვე ლექსიკონების ჩანაწერები, როგორც წესი, ლექსემებია და ლექსებს შორის სემანტიკური ურთიერთობები მხოლოდ ჩანაწერის მორფოლოგიური წარმოშობაა. მაგალითად, ვებსტერის უნივერსალური კოლეჯის ინგლისური ენის ლექსიკონში სიტყვა-სტატიასთან წარმოება განმარტებასთან ერთად მოცემულია ამ სიტყვიდან ნაწარმოები ფორმები: მწარმოებელი, წარმოებული, წარმოებადი, ნაწარმოები, რომლებიც ცალკე სალექსიკონო ერთეულად აღარ არის წარმოდგენილი ლექსიკონში.

საკმაოდ მნიშვნელოვანი გამონაკლისია WordNet [1]. ის იძლევა პარადიგმატულ სემანტიკურ ბმულებს: სინონიმები, ანტონიმები (მსგავსი და საპირისპირო მნიშვნელობები), XPOS (ერთი და იგივე მნიშვნელობის სხვადასხვა გრამატიკული კატეგორიები - POS) ბმულები და ა.შ.

სხვა გამონაკლისებია BBI [2] და ბევრად უფრო დიდი OCDSE [3], რომლებიც მხოლოდ ბეჭდური სახით არსებობს. მათში მოცემულია კოლოკაციები, ანუ სტაბილური და იდიომატური სიტყვების კომბინაციები, რომლებიც დაკავშირებულია სინტაქსური (უშუალო ან დამხმარე სიტყვების საშუალებით) და სემანტიკური კავშირებით, კერძოდ, სინტაგმატური ტიპის (მაგალითად, ზმნა და მისი ვალენტობის შემავსებლები, არსებითი სახელი თავისი მოდიფიკატორებით და ა.შ.).

სალექსიკონო სტატიები, როგორც წესი, ცალკეული სიტყვებია, ხოლო ბუნებრივი ენა ასევე გვთავაზობს შესიტყვებებს, რომლებიც შეიძლება იყოს განუყოფელი იდიომატური ცნებები, ან მჭიდროდ დაკავშირებული და ხშირად გამოყენებული ტერმინები, როგორიცაა: კომპიუტერული ლინგვისტიკა; გადაცემათა კოლოფი (ტრანსმისია - КОРОВКА СКОРОСТЕЙ); მკვდარი სივრცე (МЕРТВОЕ ПРОСТРАНСТВО) და სხვა.

ნაშრომში მოკლედ არის აღწერილი ქართული ენის კომბინატორული ონლაინ-ლექსიკონი შემდეგი ძირითადი მახასიათებლებით:

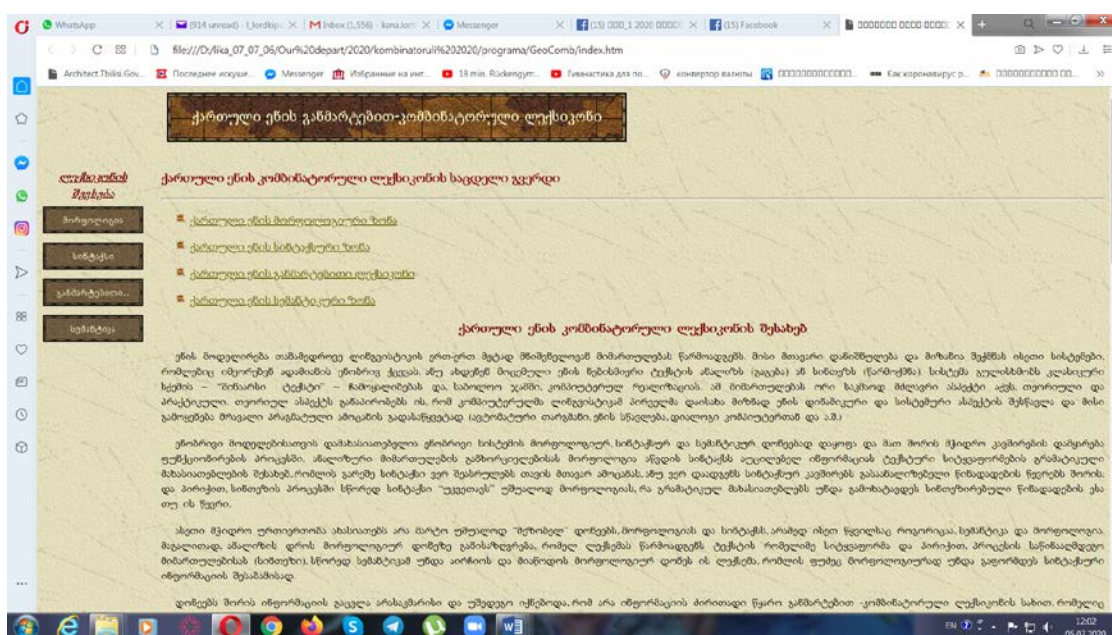
– სალექსიკონო სტატია შედგება მხოლოდ შინაარსით ავტონომიური, სემანტიკურად იდენტური ერთი სიტყვის ან შესიტყვებისაგან; ეს უკანასკნელი დამატებით შეიძლება წარმოდგენილი იყოს მის კომპონენტებს შორის კავშირებით.

– კომბინატორული ლექსიკონი მოიცავს სამი კლასის ბმულებს: მორფოლოგიურ, სინტაგმატურ და სემანტიკურს. ეს უკანასკნელი ლექსიკონებში ახალია: ის აკავშირებს სალექსიკონო ერთეულს ე.წ. ლექსიკურ ფუნქციებთან.

ლექსიკონი ენობრივი მოდელირების განყოფილებაში მიმდინარე პროექტის<sup>1</sup> შედეგია და ძირითადად სწორედ ლექსიკურ ფუნქციებზეა ორიენტირებული.

## ჩანაწერების სახეები და მახასიათებლები

კომბინატორულ ლექსიკონში წარმოდგენილია მორფოლოგიური, სინტაქსური და სემანტიკური ზონები (იხ. სურ. 1).



სურ. 1. ქართული ენის კომბინატორული ლექსიკონის საწყისი გვერდი.

ამასთან, შესაძლებელია არსებულ ონლაინ განმარტებით ლექსიკონზე ლინკით გადასვლა.

ყოველ ზონას საკუთარი ჩანართი გააჩნია. მათგან ერთ-ერთი, მორფოლოგიური ზონა მთლიანადაა დამუშავებული და მასში შესულია თანამედროვე ქართული ენის 100000 ამოსავალი სიტყვა.

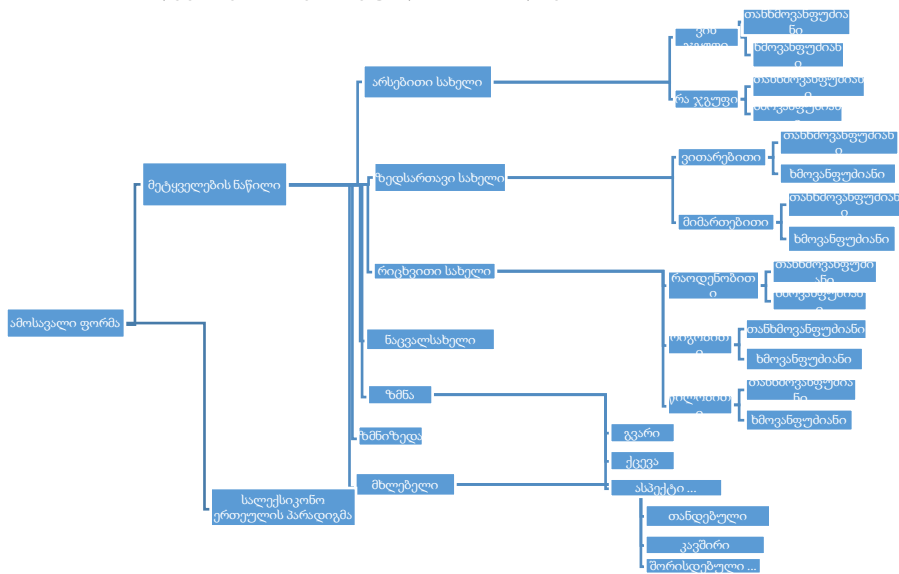
სალექსიკონო ერთეულის მორფოლოგიური ზონის ფორმა-წარმოების კომპონენტი ამომწურავი გრამატიკული ინფორმაციითაა შევსებული (იხ. სურ. 2). სალექსიკონო ერთეულის მორფოლოგიურ ზონაში შედის:

ამოსავალი ფორმა;

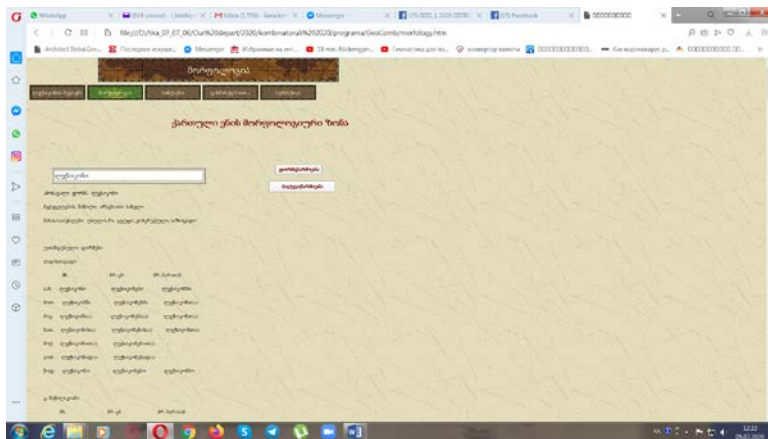
1. მეტყველების ნაწილი;
2. მეტყველების ნაწილების შესაბამისი მახასიათებლების ჩამონათვალი:
  - 2.1. არსებითი სახელისთვის – ჯგუფები ლექსიკური შინაარსის მიხედვით;
  - 2.2. ზედსართავი სახელისთვის – ვითარებითი ან მიმართებითი;

<sup>1</sup> - „ქართული ენის კომბინატორული ონლაინ ლექსიკონის შემუშავება“

- 2.3. რიცხვითი სახელისთვის – რაოდენობითი, რიგობითი ან წილობითი;
- 2.4. ნაცვალსახელისთვის – ლექსიკური შინაარსის მიხედვით;
- 2.5. ზმნისთვის – გარდამავლობის, გვარის, ქცევის, კონტაქტის, ასპექტის, ტიპის, მიმღეობის და ა.შ.;
- 2.6. ზმნიზედისთვის – ლექსიკური შინაარსის მიხედვით;
- 2.7. მხლებლის შემთხვევაში მიეთითება მისი სახე: თანდებული, კავშირი, ნაწილაკი, შორისდებული;
3. ამოსავალ ფორმათა ფუძის სახე: სახელებისთვის: თანხმოვანფუძიანი ან ხმოვანფუძიანი; ზმნისთვის: თემის ნიშნის მიხედვით;
4. ბრუნების ან უღლების ტიპი;
5. სალექსიკონო ერთეულის პარადიგმა.

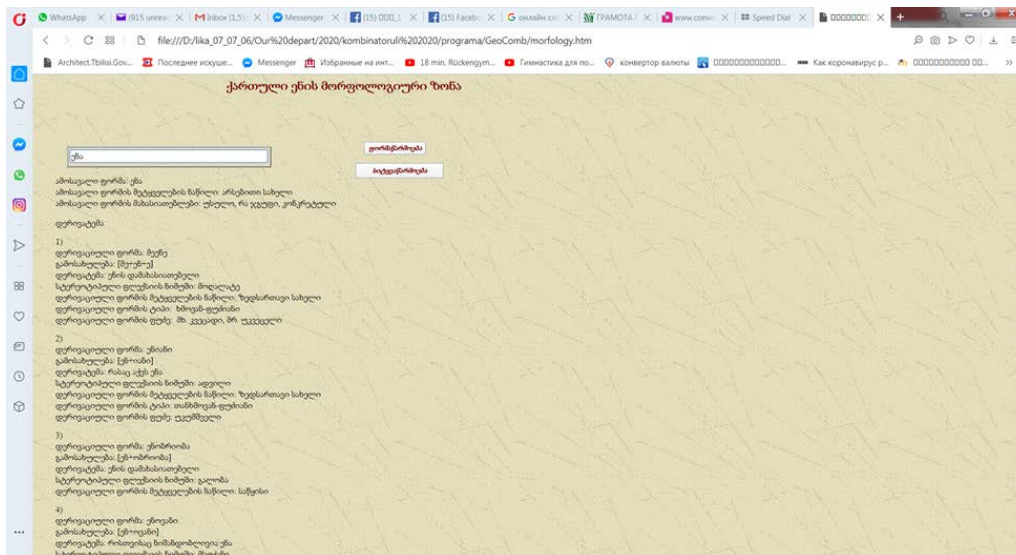


აღნიშნული ლექსიკონი მომხმარებელს აწვდის საჭირო ინფორმაციას მისთვის მისაღები და კომფორტული ფორმით. ყოველი სალექსიკონო ერთეულის მორფოლოგიური ზონის ინტერფეისის ფუნქციონირება ეყრდნობა გენერატორის ფუნქციონირების შედეგებს, რომელიც, თავის მხრივ, დამოკიდებულია იმ მორფო-ტაქტიკურ მონაცემებზე, რომლებიც თან ახლავს ფუძეთა სალექსიკონო ბაზის თითოეულ ერთეულს, რომელთა დახმარებითაც ხდება როგორც ცალკეული სიტყვაფორმის, ისე მისი პარადიგმის გენერირება.



სურ. 3. ქართული ენის კომბინატორული ლექსიკონის მორფოლოგიური ზონა. ფორმა-წარმოება.

მომხმარებელს შეუძლია ლექსიკონს მიაწოდოს ამოსავალი ფორმა. ამასთან ერთად შესაძლებელია ამოსავალი სიტყვიდან როგორც ფორმა-წარმოებითი (იხ. სურ. 3), ისე სიტყვაწარმოებითი (იხ. სურ. 4) ფორმების მიღება. სისტემა მიმართავს პარადიგმის გენერატორს და მისი დახმარებით ხდება შესაბამისი პარადიგმის გენერირება. შემდეგ მართვა გადაეცემა ინტერფეისის გენერატორს, რომლის მორფოლოგიური ზონის კომპონენტის დახმარებით ხდება კომპიუტერული ლექსიკონის მორფოლოგიური ზონის წარმოდგენა.



სურ. 4. ქართული ენის კომბინატორული ლექსიკონის მორფოლოგიური ზონა. სიტყვაწარმოება.

სინტაქსურ ზონაში თითოეულ სალექსიკონო ერთეულს ახლავს ინფორმაციული მონაცემები პერიფერიული ზმნურ-აქტანტური მიმართებების (peripheral) წევრების შესახებ.

1. -ში/-ზე თანდებულებით გაფორმებული ადგილი (Location):

-ში – L – როლის მარკერი ყველა სამგანზომილებიანი ობიექტის აღმნიშვნელ არსებითებთან;

ორგანზომილებიან ობიექტებს (ზედაპირებს, მიწის ნაკვეთებს), რომლებსაც შედარებით მაღალი ზედაფენა გააჩნიათ: ვენახი, ბაღი, ტყე, ბოსტანი, ...

შეზღუდული ზედაპირის შემთხვევები: ეზო, ქუჩა, ჩიხი, ... ზედაპირი, რომელიც აღიქმება როგორც უსაზღვრო – “უზარმაზარი”:

2. -ზე

ორგანზომილებიანი ზედაპირი, რომელიც არ ექვემდებარება ზემოხსენებულ პირობებს: მოედანი, კედელი, იატაკი, ჭერი, მაგიდა (ზედაპირი), ...

3. -ში/-ზე

მრავალ ზემოხსენებულ შემთხვევაში ორივე თანდებულია შესაძლებელი. თუმცა 1-პუნქტში ხსენებული შემთხვევებისათვის –ში-ს ხმარება უფრო ხშირია და ბუნებრივი, მეორე პუნქტში მოყვანილი მაგალითებისათვის კი უფრო მაღალი პრიორიტეტი –ზე თანდებულს გააჩნია. ამ “მერყეობის” შესაძლებლობაც უნდა მიეთითოს ყოველი არსებითის ინფორმაციაში, მაგრამ სათანადო არჩევის პირობას, როგორც წესი, განსაზღვრავს პრედიკატი, ანუ მისი გამომხატველი ზმნა, და ამრიგად ინფორმაციაც ამის შესახებ სათანადო ზმნებს უნდა ახლდეს (იხ. სურ. 5).

კატეგორია	მომზადება
სხური	სომხადე
რეგრ-სარდოქს	სომხადე
Super P	სომხადე
მომზადება	სომხადე
1	სომხადე
2	სომხადე
3	სომხადე
4	სომხადე
5	სომხადე
6	სომხადე
7	სომხადე
8	სომხადე
9	სომხადე
10	სომხადე
11	სომხადე
12	სომხადე
13	სომხადე
14	სომხადე
15	სომხადე
16	სომხადე
17	სომხადე
18	სომხადე
19	სომხადე
20	სომხადე
21	სომხადე
22	სომხადე
23	სომხადე
24	სომხადე
25	სომხადე
26	სომხადე
27	სომხადე
28	სომხადე
29	სომხადე
30	სომხადე
31	სომხადე
32	სომხადე
33	სომხადე
34	სომხადე
35	სომხადე
36	სომხადე
37	სომხადე
38	სომხადე
39	სომხადე
40	სომხადე
41	სომხადე
42	სომხადე
43	სომხადე
44	სომხადე
45	სომხადე
46	სომხადე
47	სომხადე
48	სომხადე
49	სომხადე
50	სომხადე
51	სომხადე
52	სომხადე
53	სომხადე
54	სომხადე
55	სომხადე
56	სომხადე
57	სომხადე
58	სომხადე
59	სომხადე
60	სომხადე
61	სომხადე
62	სომხადე
63	სომხადე
64	სომხადე
65	სომხადე
66	სომხადე
67	სომხადე
68	სომხადე
69	სომხადე
70	სომხადე
71	სომხადე
72	სომხადე
73	სომხადე
74	სომხადე
75	სომხადე
76	სომხადე
77	სომხადე
78	სომხადე
79	სომხადე
80	სომხადე
81	სომხადე
82	სომხადე
83	სომხადე
84	სომხადე
85	სომხადე
86	სომხადე
87	სომხადე
88	სომხადე
89	სომხადე
90	სომხადე
91	სომხადე
92	სომხადე
93	სომხადე
94	სომხადე
95	სომხადე
96	სომხადე
97	სომხადე
98	სომხადე
99	სომხადე
100	სომხადე

სურ. 5. ქართული ენის კომბინატორული ლექსიკონის სემანტიკური ზონა. ლექსიკური ფუნქციები.

განმარტებითი, სინტაქსური და სემანტიკური ზონების შევსება ჩვენს მიერ უკვე დაწყებულია [4-16], მაგრამ ამ მეტად შრომატევადი საქმისათვის პროექტით თავიდანვე იყო განსაზღვრული ლინგვისტების უფრო ფართო ჯგუფების ჩართვა. აქედან გამომდინარე „ლექსიკონის შევსების“ ჩანართის დახმარებით შემდეგში მოხდება ლექსიკონის ყველა ზონის შევსება-გამდიდრება. ლექსიკური ფუნქციების შევსების ჩანართში მომხმარებელი გაცნობა ლექსიკური ფუნქციების სრულ ჩამონათვალს და აღწერას. სალექსიკონო ერთეულების ლექსიკური ფუნქციებით აღწერა უნდა შესრულდეს EXCEL-ის კომპიუტერულ ფაილში, რომელიც შეიძლება ჩამოიტვირთოს ლექსიკური ფუნქციების შევსების ჩანართიდან. ხოლო გამზადებული სახით ასევე შეიძლება აიტვირთოს ლექსიკონის ვებ-გვერდზე.

რუსული ენის განმარტებით-კომბინატორულ ლექსიკონზე [17,18] დაფუძნებული ქართული ენის კომბინატორული ლექსიკონის შექმნის გამოცდილებამ აჩვენა, რომ ამ მიმართულებით შედარებით მცირე დანახარჯების დროსაც კი შეიძლება მიღებულ იქნას სამეცნიერო თვალსაზრისით საინტერესო და პრაქტიკული გამოყენების პერსპექტიული შედეგები. როგორც ჩანს, პროგრამისტებისა და ენათმეცნიერების მცირე ჯგუფმაც კი ძალზე შეზღუდულ და გარკვეულ ვადებში შეიძლება მოახდინოს ონლაინ კომბინატორული ლექსიკონის კომერციულ დონეზე დაყვანა, როგორც შინაარსობრივი, ისე გარეგნულად სამომხმარებლო გაგებით. მაგალითად, ეს და სხვა მსგავსი ონლაინ-ლექსიკონები, რომლებიც დაფუძნებულია იმავე ქართული ენის კომბინატორულ, განმარტებით [19] და გრამატიკულ [20-22] ლექსიკონებზე, შეიძლება გახდეს პირველი ზოგადი გამოყენების უაღრესად სასარგებლო პროდუქტი ქართული ენის შემსწავლელთათვის. მეორეც, ასეთი ლექსიკონები შეიძლება გახდეს ხელსაყრელი ინსტრუმენტული გარემო ენათმეცნიერების და მასთან დაკავშირებული პროფესიების მკვლევარებისთვის. მესამე, კომბინატორული ლექსიკონები შეიძლება გახდეს უნივერსალური სემანტიკური (ონტოლოგიური) ქსელების საფუძველი, რომლის მხარდაჭერის გარეშე წარმოუდგენელია სერიოზული პროგრესი ბუნებრივი ენის ავტომატური დამუშავების სფეროში.

## Combinatorial Dictionary of Georgian Language

*Liana Lortkipanidze*

### Summary

Paradigmatic, syntactic and syntagmatic relations between the units of Georgian language Combinatorial Dictionary are considered in the paper. The dictionary currently contains 3 million links between 100,000 entries. Links are paradigmatic (mostly morphological), syntactic (verb- actants relations), or syntagmatic (lexical functions). Dictionary entry words can be single or verbose (idioms). They refer to the four main parts of the speech: noun, verb, adjective, and adverb. Dictionary units are not lexemes, but so-called grammatical forms: for example, nouns are represented in singular form of the nominative case; Verbs are presented by infinitives and the future tense form of the third person singular. Phrases presented as lexical units, in turn, can be idiomatically free forms. The parts of these phrases are the units of the same dictionary.

## Комбинаторный словарь Грузинского языка

*Лиана Лорткипанидзе*

### Резюме

В статье описаны парадигматические, синтаксические и синтагматические связи между единицами комбинаторного словаря грузинского языка. В настоящее время словарь содержит 3 миллиона ссылок между 100 000 записей. Ссылки бывают парадигматическими (в основном морфологические), синтаксическими (глагол-актантные отношения) или синтагматическими (лексические функции). Словарные слова-статьи бывают одно или многословные (идиомы). Они относятся к четырем основным частям речи: существительному, глаголу, прилагательному, причастию. Словарные единицы - это так называемые грамматические формы, а не лексемы: например, существительные представлены в именительном падеже единственного числа; Глаголы представлены как инфинитивы и в форме третьего лица единственного числа будущего времени. Идиомы, представленные как лексические единицы, в свою очередь, могут быть идиоматически свободными формами, части которых являются единицами того же словаря.

## ლიტერატურა – References – Литература

1. Ch. Fellbaum (Ed.). 1998. WordNet: An Electronic Lexical Database. MIT Press.
2. M. Benson, E. Benson, R. Ilson. 1986. The BBI Combinatory Dictionary of English, JBP.
3. OCDSE. 2003. Oxford Collocations Dictionary for Students of English. Oxford University Press.
4. მარგველანი ლ., ჯავახვილი ნ. სალექსიკონო ერთეულთა აღწერა ლექსიკური ფუნქციების მიხედვით. სსიპ არჩილ ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული #10, თბილისი, 2006, გვ. 181-186;
5. მარგველანი ლ., მასალები ქართული ენის ექსპერიმენტული განმარტებით-კომბინატორული ლექსიკონისათვის; “Машинный перевод” изд-ство “Мецниере-ბა”, Тбилиси, 1975, XIV:3, გვ. 5-18;
6. ჯავახვილი ნ. კვაზისინონიმების კომბინატორული მიმართებები. სსიპ არჩილ ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული N11, თბილისი, 2007;
7. ჩიკოიძე გ., დოკვაძე ე., ჩუტკერაშვილი ა. ლექსიკური ფუნქციები როგორც



- კვაზისინონიმური გარდაქმნების საშუალება. საერთაშორისო კონფერენცია “ქართული ენა და თანამედროვე ტექნოლოგიები \_ 2011”, თბილისი, 2011. გვ. 144-149;
8. Маргвелани Л. П.; Грузинские Выражения, обозначающие чувства и их описание в терминах лексических функций, сб. Языковые процессоры и распознавание речи, изд-ство “Мецниереба”, Тбилиси, 1978, стр. 5-16;
  9. დოკვაძე ე. სიტყვა “ქარის” აღწერა ლექსიკური ფუნქციებით. სსიპ არჩილ ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული #11, თბილისი, 2007, გვ. 252-256;
  10. დოკვაძე ე. “წვიმის” აღწერა ლექსიკური ფუნქციებით. სსიპ არჩილ ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული #12, თბილისი, 2008, გვ. 236- 241;
  11. დოკვაძე ე. “ღრუბლის” აღწერა ლექსიკური ფუნქციებით. სსიპ არჩილ ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული #13, თბილისი, 2009, გვ. 167- 171;
  12. დოკვაძე ე. “წისლის” აღწერა ლექსიკური ფუნქციებით. სსიპ არჩილ ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული #14, თბილისი, 2010, გვ. 209- 214;
  13. დოკვაძე ე. ზოგიერთი არსებითი სახელის აღწერა ლექსიკური ფუნქციებით. სსიპ არჩილ ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული #15, თბილისი, 2011, გვ. 209-214;
  14. დოკვაძე ე. ლექსემა “თოვლის” აღწერა ლექსიკური ფუნქციებით. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის არჩილ ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული #16, თბილისი, 2012, გვ. 171-176.
  15. ჯავაშვილი ნ. ლექსიკური ერთეული „კლდე“ განმარტებით-კომბინატორულ ლექსიკონში. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის არჩილ ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული N19, თბილისი, 2015, გვ. 109-114.
  16. ჩიკოიძე გ., ამირეზაშვილი ნ., ლორთქიფანიძე ლ., სამსონაძე ლ., ჩუტკერაშვილი ა., ჯავაშვილი ნ. ლექსიკური ფუნქციები - კომბინატორული ლექსიკონის მნიშვნელოვანი კომპონენტი. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის არჩილ ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული N19, თბილისი, 2015, გვ. 98-104.
  17. Мельчук И. Ф. Опыт теории лингвистических моделей “смысл↔текст”, Москва, 1999.
  18. Мельчук И. Ф., Жолковский А.К. Толково-Комбинаторный Словарь русского языка, Вена, 1984
  19. ქართული ენის განმარტებითი ლექსიკონი <http://ena.ge/explanatory-online>
  20. Лорткипанидзе Л. Л. Программные инструменты для морфологического аннотирования корпуса. Труды международной конференции «Корпусная лингвистика–2011», Санкт-Петербург 2011. Сс. 243-248.  
<https://www.ozon.ru/context/detail/id/138917959/>
  21. ლორთქიფანიძე ლ., ამირეზაშვილი ნ., სამსონაძე ლ., ჩუტკერაშვილი ა., ჯავაშვილი ნ.: ქართული ენის გრამატიკული ონლაინ ლექსიკონი. „არნოლდ ჩიქობავას საკითხავები XXVI“. თსუ არნოლდ ჩიქობავას სახელობის ენათმეცნიერების ინსტიტუტი. თბილისი. 2015.
  22. ლორთქიფანიძე ლ.: ქართულ-ინგლისური გრამატიკული ლექსიკონის კომპაილერი. საერთაშორისო კონფერენცია „ენა და თანამედროვე ტექნოლოგიები V \_ ისტორიული და ეტიმოლოგიური ლექსიკოგრაფიის საკითხები“, ISBN 978-9941-13-900-0

## სიტყვების ლექსიკური ფუნქციებით აღწერის ნიმუშები ქართულში

*ნ. ამირეზაშვილი*

*ninomaskh@yahoo.com*

### რეზიუმე

სტატიაში განხილულია განმარტებით-კომბინატორული ლექსიკონის მოკლე აღწერა და ი. ა. მელჩუკისა და ა. კ. ჟოლკოვსკის მიერ დამუშავებულ ლექსიკონში ТОЛКОВО-КОМБИНАТОРНЫЙ СЛОВАРЬ СОВРЕМЕННОГО РУССКОГО ЯЗЫКА გამოყოფილი ლექსიკური ფუნქციების საშუალებით ქართული ენის აღწერის მცდელობა. ლექსიკური ფუნქციები უზრუნველყოფენ ენაში სიტყვის ბუნებრივი გარემოს ცოდნას. საკითხი განხილულია კონკრეტულ მაგალითებზე, კერძოდ, ნიმუშად აღწერილია სამი სიტყვა: *აგრესიული*, *აგრესია* და *აგრესორი*. სიტყვის შესაფერისი ბუნებრივი გარემოს ცოდნა საშუალებას გვაძლევს თავიდან ავიცილოთ ისეთი შეცდომები, როგორც ხშირად უშვებენ ენის არასრულყოფილად ფლობისას.

### საკვანძო სიტყვები

*განმარტებით-კომბინატორული ლექსიკონი, ლექსიკური ფუნქციები, სინონიმია, ომონიმია*

როგორც ცნობილია, მრავალი ტიპის სპეციალიზირებული ლექსიკონები არსებობს: განმარტებითი, სინონიმური, ფრაზეოლოგიური, სიტყვაწარმოებითი, იდეოლოგიური და ა.შ. სხვა ლექსიკონებისაგან განსხვავებით, ი. ა. მელჩუკისა და ა. კ. ჟოლკოვსკის მიერ დამუშავებულ ლექსიკონში ТОЛКОВО-КОМБИНАТОРНЫЙ СЛОВАРЬ СОВРЕМЕННОГО РУССКОГО ЯЗЫКА გამოიყენება სიტყვის ფორმალური აღწერა, ე. წ. ლექსიკური ფუნქციები. ჩვენ შევეცადეთ მათ მიერ გამოყოფილი ლექსიკური ფუნქციები გამოგვეყენებინა ქართული ენის აღსაწერად. ასეთი სახით აღწერა საშუალებას გვაძლევს თავიდან ავიცილოთ ისეთი შეცდომები, როგორც ხშირად უშვებენ ენის არასრულყოფილად ფლობისას, მაგალითად, *ბოდიში გადაიხდა (მოიხდას ნაცვლად), მადლობა მოიხდა (გადაიხდას ნაცვლად), ფილმი გააკეთა (გადაიღოს ნაცვლად)* და ა.შ.

განმარტებით-კომბინატორული ლექსიკონი (გკლ) წარმოადგენს ნებისმიერი ბუნებრივი ენის სრული აღწერის განუყოფელ, აუცილებელ ნაწილს, რომელიც ხორციელდება ლინგვისტური მოდელის „შინაარსი <=> ტექსტი“ თეორიის ფარგლებში. მისი ძირითადი თეზისის მიხედვით, ბუნებრივი ენა განიხილება როგორც ერთგვარი გარდამქმნელი, რომელიც ნებისმიერ კონკრეტულ აზრს მიუსადაგებს ამ აზრის გამომხატველ ერთმანეთის სინონიმური ტექსტების სიმრავლეს ბუნებრივ ენაზე და პირიქით, ნებისმიერ მოცემულ ტექსტს კი მის შესაბამის ერთმანეთის ომონიმური აზრების სიმრავლეს [1]. ამ ლექსიკონზე დაყრდნობით ენობრივი მოდელირების განყოფილებაში იქმნება ქართული ენის განმარტებით-კომბინატორული ონლაინ ლექსიკონი, რომლის ფარგლებში სრულდება მოცემული სტატია.

მოდელის განსახორციელებლად საჭიროა გვექონდეს მოცემული ენის შესახებ სრულყოფილი, ამომწურავი ინფორმაცია. გკლ-ში შეგროვილია ცალკეული სიტყვის თვისებების შესახებ ინფორმაციის ყველაზე მნიშვნელოვანი ნაწილი. ამავე დროს, ლექსიკონში დაწვრილებით და საკმაოდ ფორმალურად არის აღწერილი მოცემული კონკრეტული სიტყვის სხვადასხვა ტიპის შეთანადებები ენაში არსებულ სხვა სიტყვებთან ანუ მათი ბუნებრივი გარემო.

გვლ შეიცავს:

1. სიტყვის განმარტებას;
2. მის სინონიმებს, ანტონიმებს, მისგან წარმოებულ და აზრობრივად მასთან დაკავშირებულ სხვა სიტყვებს;
3. მისი მართვის აღწერას და ლექსიკურ შეთანადებებს.

გვლ წარმოადგენს წმინდა თეორიული სახის ლექსიკონს, რომელშიც მოცემულია სიტყვებს შორის კავშირების სამი ძირითადი ტიპი:

1. სემანტიკური, ანუ პარადიგმატული, როგორცაა ზუსტი და არაზუსტი (მიახლოებითი) სინონიმია, სემანტიკური სიახლოვე და ა. შ.
2. სინტაქსური, ანუ სინტაგმატური, კავშირი პრედიკატთან და მასზე სინტაქსურად დამოკიდებულ აქტანტებთან. ეს კავშირები გამოხატულია მართვის მოდელის საშუალებით. მართვის მოდელი მიუთითებს სამ რამეზე: რომელი სინტაქსური აქტანტითაა გადმოცემული მოცემული სიტყვის თითოეული სემანტიკური აქტანტი; როგორ უნდა იყოს გაფორმებული თითოეული სინტაქსური აქტანტის ზედაპირული სტრუქტურა, და ბოლოს, რომელი სინტაქსური აქტანტებია შეუთავსებელი.
3. ლექსიკური, ანუ პარადიგმატული და სინტაგმატური, სიტყვის კავშირები ისეთ სიტყვებთან, რომელსაც შეიძლება ტექსტში ჩაენაცვლოს მოცემული სიტყვა ან აწარმოოს მათთან ფრაზეოლოგიური კავშირები.

სწორედ აქ გამოიყენება ლექსიკური ფუნქციები (ლფ). თითოეული ლფ არის ფუნქცია მათემატიკური გაგებით, რომელსაც აქვს თავისი არგუმენტი და მნიშვნელობა. იგი აღნიშნავს ზოგად აზრს, რომელიც სხვადასხვა სახით გამოიხატება სალექსიკონო ერთეულებში. როგორცაა მაგ., 'მალიან', 'დაწყება' ან 'შესრულება', მან შეიძლება აგრეთვე აღნიშნოს სიტყვის გარკვეული სემანტიკო-სინტაქსური როლი (იყოს ქვემდებარე, არის რა პირველი აქტანტი მოცემულ სიტუაციაში და ა.შ.). მაგალითად, ლექსიკური ფუნქცია Magn (ლათ. Magnus 'დიდი') თავად სიტუაციის ან მისი აქტანტის მაღალ ინტენსივობას აღნიშნავს. ლფ Magn(მალიან) სიტყვასთან 'ძაბვა' ან 'ტემპერატურა' გამოიხატება სიტყვით 'მაღალი' (მაღალი ძაბვა), სიტყვასთან, 'სიმაღლე' – 'მნიშვნელოვანი' (მნიშვნელოვანი სიმაღლე), ხოლო 'ვიზრაციასთან' იქნება 'ინტენსიური' (ინტენსიური ვიზრაცია). არ შეიძლება მაღალი ვიზრაცია ან მალიან ძაბვა.

მეორე მაგალითი: გვაქვს ფუნქცია Real, რომელიც რეალიზებას, შესრულებას აღნიშნავს. მისი მნიშვნელობა სიტყვა 'კანონთან' იქნება 'დაცვა' (კანონი დაიცვა), სიტყვა 'ზრმანებასთან' - 'შესრულება'(ზრმანება შეასრულა), ხოლო სიტყვა 'რჩევასთან' კი 'მიყოლა' (რჩევას მიჰყვა). არ იხმარება რჩევა დაიცვა ან კანონი შეასრულა.

ერთი და იგივე ფუნქციის შემცველი სიტყვები გაერთიანებულია ერთ ვოკაბულაში. ვოკაბულის სახელი იწერება ყველა ინფორმაციის წინ. თუ ვოკაბულები გრაფიკულად ემთხვევა (ომონიმურია), განვასხვავებთ ინდექსებით. მაგ., ბარი<sup>1</sup> (სამუშაო იარაღი) და ბარი<sup>2</sup> (გეოგრაფიული ერთეული).

რომაული ციფრებით აღინიშნება ლექსემები, რომლებსაც საერთო აქვთ ძირითადი განმარტება, მაგრამ მათ შორის არის აზრობრივი განსხვავება. მაგ., სიმაღლეI ნიშნავს ვერტიკალურ სიმაღლეს, ხოლო სიმაღლეII - ხმის სიმაღლეს.

არაბული ციფრებით მითითებულია საკმარისად რეგულარული სემანტიკური კავშირები (რეგულარული მრავალმნიშვნელოვნება): მაგ., ძილი<sup>1</sup>I.1 - პირდაპირი გაგებით ძილი, ხოლო ძილი<sup>1</sup>I.2 - უმოქმედობა, თითქოს სძინავს.

ქართული ენისთვის მორგებული ლექსიკური ფუნქციების ჩამონათვალი და ლექსიკური ფუნქციების აღწერა მოცემულია სტატიაში [2].

განვიხილოთ სიტყვების ლექსიკური ფუნქციებით აღწერის ნიმუშები:

L= აგრესიული (ზედსართავი სახელი)

1a

აგრესიული: A<sub>0</sub> (აგრესია)

აგრესიული აქტი, ომი, პოლიტიკა, გეგმა, ჩანაფიქრი.  
 Syn  $\cap$  ექსპანსიური, დამპყრობლური, მტაცებლური.  
*აზერბაიჯანელები გმობენ სომხეთის არმიის აგრესიულ ქმედებებს.*

1b  
 აგრესიული: ვისაც შეუძლია აგრესიის ჩადენა [= Able1(აგრესია)].  
 აგრესიული ბლოკი, სახელმწიფო, ძალები, ქვეყანა.

*იუნაიტედიის გულშემატკივრები მსოფლიოში ყველაზე აგრესიულ ქომაგებად დასახელდნენ.*

2a  
 აგრესიული: ვისაც შეუძლია თავდასხმა.  
 აგრესიული ადამიანი, მოთამაშე, პიროვნება.  
 Syn  $\cap$  : შარიანი, ჭინჭყლი, ჩხუბისთავი.  
 Anti  $\cap$  : მშვიდი, წყნარი, თვინიერი, დამთმობი, რბილი, უწყინარი.  
 Qual : ავი, ბოროტი, ღვარძლიანი  
 Magn : ძალიან, უკიდურესად, სასტიკად, საშინლად.  
*მამა შემტვე, აგრესიულ კაცად მესახებოდა (ა. სულავა).*

2b  
 Y-ის X აგრესიულობა: Y-ის X მოქმედება ან თვისება, რომელშიც გამოვლინდება აგრესია. გარეგნობის, მიმიკის, შესტის და ა.შ. აღმნიშვნელი.

აგრესიული გამოხედვა, ტონი, შესტი, ქცევა, მანერა,... თამაში.  
*წინასასეზონო შეკრებისას ასეთი სპორტულად აგრესიული თამაში სასიამოვნო იყო.*  
 Syn  $\cap$  : მტრული, შარიანი | G = ტონი; მუქარანარევი, მრისხანე, ... | G = მიმიკა ან შესტი; შემტვეი ხასიათის | G - მოქმედება, ჩვეულებრივ სპორტულ თამაშებში, უხეში, უკომპრომისო.

Anti  $\cap$  : მშვიდი, წყნარი.  
 Magn : ძალიან, უკიდურესად.  
*N ყოველთვის აგრესიულად თამაშობს. რა აგრესიულ განწყობაზე ხარ! რას გულისხმობს აგრესიული ქცევა? და ა.შ.*

**აგრესია** (არსებითი სახელი, მრავლობითი არ იხმარება).  
 X-ის აგრესია Y-ის წინააღმდეგ: X სახელმწიფოს სამხედრო ჯარების შეჭრა Y სახელმწიფოს ტერიტორიებზე, საერთაშორისო სამართლის საწინააღმდეგოდ, რაც ნიშნავს X და Y ქვეყნებს შორის ომის დაწყებას.

X $\Leftarrow$ I	Y $\Leftarrow$ II
[ვისი ჯარი იჭრება]	[ვის ტერიტორიაზე იჭრება]
1. X -ის მხრიდან 2. A	1. Y-ის წინააღმდეგ

- 1) Y სახელმწიფო ან Y სახელმწიფოს ხალხი
- 2) A = A0(S) = რუსეთის რუსეთის აგრესია (საქართველოს მიმართ), აგრესია (რუსეთის მხრიდან) (საქართველოს წინააღმდეგ).

Syn  $\subset$  : შეჭრა; თავდასხმა  
 Anti : თავდაუსხმელობა  
*ანანომ როგორც კი მახსენა, მამაჩემი გატყდა, უცებ დაჰკარგა წელანდელი აგრესიულობა («მნათ.»).*  
 A0 : აგრესიული1a [გეგმა, პოლიტიკა, ომი]  
 S1  $\cap$  : აგრესორი1, 2

- S2 : ობიექტი  
 S2 $\supset$  : მსხვერპლი [ობიექტი (ჩატარებული) აგრესიის]  
 Sres : შედეგები  
 Sing : აქტი, [აგრესიული1a] აქტი [ X-ის მიერ ძალის გამოყენება, რაც არღვევს Y-ის სუვერენიტეტს].  
 Able1 : აგრესიული1b  
 S1Able1 : ძალები, [აგრესიული1b] ძალები  
 Qual1 : საომარი, მილიტარისტური  
 Magn[‘უკანონობა’] : არაპროვოცირებული; დაუფარავი, ღია, პირდაპირი სახეზე გვაქვს დაუფარავი, ღია აგრესია რუსეთის მხრიდან.  
 [AntiBon + Magn [‘უკანონობა’]] : დანაშაულებრივი; თავხედური  
 [AntiBon + Magn[‘მტრობა’]] : ბარბაროსული, სისხლიანი  
 Magn<sup>temp</sup> : ხანგრძლივი, გაწელილი  
 F1=IncepPredPlus<sup>refl</sup> : გაძლიერებული  
 SoF1 : გაძლიერება, ესკალაცია  
 IncepPredPlus2<sup>refl</sup> : გაფართოებული  
 F2 = Caus1PredPlus2<sup>refl</sup> : გაფართოება  
 Adv : აგრესიულად  
 აგრესიულად მოქმედების ჩვევა აყალიბებს პიროვნებაში განსაკუთრებულ თვისებას - აგრესიულობას.  
 Oper1 : ჩადენა, განხორციელება  
 IncepOper1 : დაწყება, გაჩაღება  
 ContOper1 : გაგრძელება  
 FinOper1 : შეწყვეტა  
 მხარს ვუჭერთ ხალხის მოწოდებას, რუსეთის აგრესიის შეწყვეტის და დემოკრატიისკენ.  
 CausOper1 : ბიძგება //მისევა//წაქეზება//აგულიანება//ამხედრება  
 Oper2 : განსაცდელში ჩავარდა  
 Func0 : ხდება, მიმდინარეობს  
 აღმოსავლეთ უკრაინაში რუსეთის დივერსიული ჯგუფების მიერ ფართომასშტაბიანი სამხედრო აგრესია მიმდინარეობს.  
 F3 = IncepFunc0: დაწყება  
 Sloc(PredAble1)F3 : კერა [ დენთით სავსე კასრი]  
 CausFunc0 : პროვოცირება  
 PermFunc0 : ნებაზე მიშვება, წაქეზება  
 AntiPermFunc0 : ალაგმვა, თავის შეკავება, არ დაშვება  
 LiquFunc0 : შეჩერება, გზის მოჭრა, ბოლოს მოღება, დამთავრება  
 Func2 : მიმართული (წინააღმდეგ)  
 SresReal1 : ნაყოფი  
 AntiReal2 : მოგერიება  
 S0AntiReal2 : უკუგდება  
 Prepar1I : გეგმის გულით ტარება  
 Prepar1II : მზადება, მომზადება  
 S0Prepar1I : მომზადება (განხორციელებული ავიაციით): საჰაერო ორმხრივი შეთანხმება რაიმე A - ზე უარის თქმის შესახებ://პაქტი (ხელშეკრულება) თავდაუსხმელობის შესახებ.

აგრესორი (არსებითი სახელი)

1a.

[X] აგრესორი [ Y]-ის წინააღმდეგ: სახელმწიფო X, რომელმაც ჩაიდინა აგრესია Y სახელმწიფოს მიმართ, ან X სახელმწიფოს სამხედრო ჯარები, რომლებიც უშუალოდ მონაწილეობდნენ აგრესიაში.[= S1I(აგრესია)]

X <=> I [ვინც განახორციელა აგრესია]	Y <=> II [ვის წინააღმდეგაც განხორციელდა აგრესია]
—	—

Syn : სახელმწიფო-აგრესორი, ქვეყანა-აგრესორი

Figur : ხელი | უპირატესად მიმდევრობაში LiguFunc0 LiguFunc0(Figur) [ხელი]

*ხელები შორს ვიეტნამისაგან!*

F1 = [AntiBon +Magn[‘უკანონობა’]] : გათავხედებული, გაკადნიერებული, თავს გასული

IncepPredPlusreflF1 : გათავხედება, გაკადნიერება, თავს გასვლა

Able1Func0 : პოტენციური

PermFunc0 : ნებაზე მიშვება, წაქეზება

AntiPermFunc0 : ალაგმვა, შეკავება

LiguFunc0 : შეჩერება

*პენტაგონმა ევროპაში რუსული აგრესიის შეჩერება დაასახელა თავის პირველ ამოცანად.*

AntiReal2 : მოგერიება, საკადრისი პასუხის გაცემა

AntiFact0 : ‘საკადრისი მიეზლო’

AntiFact0[‘შეჭრა’] : აბარგება, ბრძოლის მიტოვება, უკან დახევა

AntiFact2 : წინააღმდეგობასთან შეხვედრა

*მსოფლიო საზოგადოებრივი აზრის ზეგავლენის გამო აგრესორი იძულებული გახდა დაეტოვებინა მიტაცებული ტერიტორიები. შეაჩერეთ აგრესორის ხელი! (ბოლო მოუღეთ აგრესიას!)*

2a.

[X] აგრესორი [ Y]-ის წინააღმდეგ: X სახელმწიფოს სამხედრო მოსამსახურეები, აგრესიის უშუალო მონაწილეები Y სახელმწიფოს წინააღმდეგ.

IncepPredPlusreflF1, AntiReal2, AntiFact0, AntiFact0[‘შეჭრა’] და AntiFact2 – ისევე, როგორც 1a-თან.

SynI : დამპყრობელი, ოკუპანტი, აგრესორი1

*დანიური სერდისტი სერიოზულ წინააღმდეგობას წააწყდა: ნახევარსაათიანი ბრძოლის შემდეგ მან მნიშვნელოვანი დანაკლისი განიცადა, აგრესორები იძულებული გახდნენ უკან დაბრუნებულიყვნენ.*

[X] აგრესორი [ Y]-ის წინააღმდეგ: X სახელმწიფოს ხელმძღვანელები, რომლებმაც აგრესია ჩაიდინეს Y სახელმწიფოს წინააღმდეგ

IncepPredPlusreflF1, AntiReal2, AntiFact0, AntiFact0[‘შეჭრა’] და AntiFact2 – ისევე, როგორც 1a-თან.

SynI : აგრესორი1

*დადგება დღე, როდესაც აგრესორები მოიმკიან თავიანთი უგუნური პოლიტიკის მწარე ნაყოფს.*

სტატიაში ლექსემის ახსნისას გამოყენებულია ქართული ენის განმარტებით ლექსიკონში [3] მოცემული განმარტებები და მაგალითები, სიტყვების სინონიმების ჩამოთვლისას გამოყენებულია [4] ქართულ სინონიმთა ლექსიკონი.

## Samples of word description with lexical functions in Georgian

*N. Amirezashvili*

### Summary

The article discusses a brief description of the explanatory-combinatory dictionary and an attempt to describe the Georgian language through the lexical functions developed by Zholkovsky A.K. and Melchuk I.A, in the COMBINATORY DICTIONARY OF MODERN RUSSIAN LANGUAGE. Lexical functions provide knowledge of the natural environment of the word in the language.

The issue is discussed on concrete examples, namely, the sample is described by three words: aggressive, aggression and aggressor. Knowledge of the appropriate natural environment of the word allows us to avoid the mistakes that are often made when the language is incompletely mastered.

## Образцы описания слов с лексическими функциями на грузинском языке

*Н. Амirezашვილი*

### Резюме

В статье рассматриваются краткое описание толково-комбинаторного словаря и попытка описания грузинского языка через лексические функции, разработанные Жолковским А.К. и Мельчуком И.А., В КОМБИНАТОРНОМ СЛОВАРЕ СОВРЕМЕННОГО РУССКОГО ЯЗЫКА. Лексические функции обеспечивают знание естественного окружения слова в языке. Вопрос обсуждается на конкретных примерах, а именно описывается тремя словами: агрессивный, агрессия и агрессор. Знание соответствующего естественного окружения слова позволяет избежать ошибок, которые часто допускаются при неполноценном знании языка.

## ლიტერატურა – References – Литература

1. Мельчук И. Ф., Жолковский А.К. Толково-Комбинаторный Словарь русского языка, Вена, 1984.
2. ჩიკოიძე გ., ამირეზაშვილი ნ., ლორთქიფანიძე ლ., სამსონაძე ლ., ჩუტკერაშვილი ა., ჯავახიშვილი ნ. ლექსიკური ფუნქციები - კომბინატორული ლექსიკონის მნიშვნელოვანი კომპონენტი. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის არჩილ ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული, N 19, თბილისი, 2015. გვ. 98-103.
3. ქართული ენის განმარტებითი ლექსიკონი <http://ena.ge/explanatory-online>.
4. ნეიმანი, ალექსანდრე. ქართულ სინონიმთა ლექსიკონი, თბილისი, 1978.

---

## სიტყვა „ხელოვნების“ ლექსიკური გარემოს განსაზღვრა

ლიანა სამსონაძე

*liasams@yahoo.com*

### რეზიუმე

ნაშრომში მოკლედ არის გადმოცემული „ლექსიკური ფუნქციების“ არსი და მისი მნიშვნელობა.

ლექსიკური ფუნქციების მეშვეობით შესაძლებელი ხდება სიტყვის ბუნებრივი გარემოს შექმნა და მისი მოქმედების სფეროს განსაზღვრა, რაც მდგომარეობს იმაში, რომ გაირკვეს არჩეული სიტყვა სემანტიკურად რომელ სიტყვებთან კავშირშია თავსებადი და როგორი ლექსიკური მიმართებები აქვს დანარჩენ სიტყვებთან.

სტატიაში წარმოდგენილია სიტყვა „ხელოვნება“. შერჩეულია მისი სემანტიკის შესაბამისი ლექსიკური ფუნქციების კატეგორიები, რომელთა მეშვეობით განსაზღვრულია ამ სიტყვასთან მისადაგებული ლექსიკური გარემო.

### საკვანძო სიტყვები:

#### *ლექსიკური ფუნქციები, კატეგორიები, ლექსიკური გარემო*

„პირველად იყო სიტყვა ...“

სიტყვას აქვს ფუნდამენტური მნიშვნელობა და ცენტრალური ადგილი უჭირავს ადამიანის აზროვნების ფორმირებაში. სიტყვა, როგორც ენის ელემენტი, აღნიშნავს საგანს ან მოვლენას, თვისებას ან დამოკიდებულებას. თვითონ ენა შედგება რთული კოდებისაგან, რომლებსაც აღნიშნული საგანი ან მოვლენა შეჰყავთ კავშირებისა და დამოკიდებულებების სისტემაში [1].

ცალკეული სიტყვის მნიშვნელობის გასაგებად (რამდენიმე გამონაკლისის გარდა), საჭიროა მისი სემანტიკურად შესაბამისი სხვა სიტყვის (სიტყვების) თანხლება. მაგალითად, სიტყვა „დალევა“ მოითხოვს განმარტებას - რისი დალევა? სიტყვა „ლამაზი“ - თხოულობს განმარტებას - რა ან ვინ არის ლამაზი? სიტყვა „სწრაფად“ რას ეხება - სიარულს, მოვლენას თუ სხვა რამეს. ენის შესწავლისა და ენის ცოდნის გაღრმავებისათვის უდიდესი მნიშვნელობა აქვს ახალი ტიპის განმარტებით-კომბინატორული ლექსიკონის შექმნას, სადაც საძიებო ლექსემასთან, სხვა გრამატიკულ მახასიათებლებთან ერთად, მითითებული იქნება მასთან შინაარსობრივად დაკავშირებული სიტყვები ან სიტყვათშეერთებანი და არსებული „სინონიმური რიგები“.

თუ არ იქნა სიტყვებს შორის სემანტიკური კავშირი, თუ სიტყვას მისი სემანტიკის შესატყვის სიტყვებს არ მივუსადაგებთ, ფრაზა ვერ აიგება. განმარტებით-კომბინატორულ ლექსიკონში თითოეული სიტყვის სალექსიკონო სტატიაში მოცემული უნდა იყოს ამოსავალი სიტყვის ( $C_0$ ) განმარტება, ინფორმაცია სიტყვის სემანტიკური და სინტაქსური ვალენტობების შესახებ, სიტყვის მორფოლოგიური დახასიათება, მითითება იმაზე, მონაწილეობს თუ არა სიტყვა იდიომატურ გამოთქმაში. სრულად უნდა იყოს წარმოდგენილი ყველა მისი ლექსიკური კორელატი და უნდა აღიწეროს ის დამოკიდებულებები, რომლებითაც სიტყვა უკავშირდება მის ლექსიკურ კორელატებს [2].

სხვადასხვა სიტყვას სხვადასხვა რაოდენობის სიტყვებთან კავშირი სჭირდება. სირთულეს წარმოადგენს ისეთი ლექსიკონის შედგენა, რომ თითოეულ სიტყვას ჰქონდეს სემანტიკურად მისი შესაბამისი სიტყვების ჩამონათვალი. ენობრივი მოდელირების განყოფილებაში დამუშავებულმა პროექტმა „ავტომატური განმარტებით-კომბინატორული



ლექსიკონი როგორც ქართული ენის მოდელირების საფუძველი“, 2009 წ. მოიპოვა რუსთაველის ფონდის გრანტი.

ცნობილი მეცნიერის, ი. მელჩუკის [3] მიერ შემუშავებული იქნა გარკვეული სემანტიკური დაჯგუფებები, კატეგორიები ე.წ. „ლექსიკური ფუნქციები“, რომელთა გამოყენება და მისადაგება არჩეულ სიტყვასთან შესაძლებელს ხდის იმ ლექსიკური კავშირის დამყარებას, რომელიც სჭირდება ფრაზის აგებას. ასეთი სემანტიკური დაჯგუფებები ანუ „ლექსიკური ფუნქციები“, ადვილბენ მეთაურ სიტყვასა და მის მომდევნო შესაძლებელ სიტყვებს შორის კავშირის მოძებნას.

ლექსიკური ფუნქციების კატეგორიები წარმოადგენს აზრობრივად ერთნაირი მნიშვნელობის ცნებების გაერთიანებას. მაგალითად, დილა თენდება, მზე ამოდის და ლექცია იწყება. ვხედავთ, რომ სიტყვები - თენდება, იწყება, ამოდის - დაწყების პროცესს აღნიშნავს, დაწყებასთან ასოცირდება და ამიტომ ისინი ერთი კატეგორიით განისაზღვრება, რომელსაც „დაწყება“ „Incep“ ჰქვია. ასევეა ლექსიკური ფუნქცია „Fin“, რომელიც დამთავრებასთან ასოცირდება (ცეცხლი ჩაქრა, ზამთარი გავიდა, ლექცია დამთავრდა) [4].

ლექსიკური ფუნქცია არის დამოკიდებულება, რომელიც აკავშირებს სიტყვას მის ლექსიკურ კორელატებთან (თანაფარდ ცნებებთან). აქედან გამომდინარე, სიტყვას, გარდა ზემოჩამოთვლილისა, შეუძლია ჰქონდეს სემანტიკური ფუნქცია, რომელიც ასე გამოისახება:  $Y=f(C_0)$ , სადაც  $C_0$  მეთაური სიტყვაა [3].

განყოფილების მეცნიერების მიერ მრავალი საინტერესო ნაშრომი იქნა შესრულებული ლექსიკური ფუნქციების საშუალებით სიტყვების აღწერისა და დამუშავების შესახებ [6-10]. ამჟამად, განყოფილებაში მუშავდება პროექტი - „ქართული ენის კომბინატორული ონლაინ ლექსიკონის შემუშავება“. პროექტის წარმატებით დასრულების წინაპირობაა ის დიდი გამოცდილება, რომელიც განყოფილების თანამშრომლებს აქვთ.

ვიხელმძღვანელებთ რა, ი. მელჩუკისა და ა. ჟოლკოვსკის განმარტებით-კომბინატორული ლექსიკონში [5] სიტყვის ლექსიკური გარემოს აღწერის მეთოდით, ნაშრომში მეთაურ სიტყვად შევარჩიეთ ლექსემა „ხელოვნება“, რომლის აღწერასაც წარმოგიდგინებთ ნიმუშის სახით.

ხელოვნება, ვრცელი გაგებით, ადამიანის შემოქმედებისა და წარმოსახვის ფიზიკური გამოხატვაა ნაწარმოებებში, რომელიც აერთიანებს სინამდვილისა თუ მოგონილის მხატვრული გამოხატვის სხვადასხვა ფორმებს. თანამედროვე ინტერპრეტაციით, ხელოვნების განსაზღვრებები ასახავენ ესთეტიკურ კრიტერიუმებს. ტერმინი ერთნაირად შეეხება ლიტერატურას, მუსიკას, ცეკვას, დრამატურგიას, მხატვრობას, სკულპტურასა და არქიტექტურას.

1. **Syn** – (სიტყვა, რომელიც შინაარსით ემთხვევა ამოსავალ სიტყვას ( $C_0$ ))  
**Syn** ∩ - შემოქმედება [11]
2. **Gener** - ამოსავალი  $C_0$  სიტყვის გვარის ცნების დასახელება  
**Gener(α)** - მხატვრული შემოქმედება  
**Gener(α)∩** - ხელოვნების მსახურება (ამაღლ.)  
**Gener(β)** - კონკრეტულად მხატვრული ხელოვნების მემკვიდრეობა, პროდუქცია.
3. **Figur** - (ფიგურალური გამოხატვა) -  $C_0$ -ისთვის მიღებული მეტაფორა.  
**Figur** - მუზა  
**Figur(β)** - მხატვრული ხელოვნების საუნჯე
4.  $A_i=i$ -ური აქტანტის ტიპური განსაზღვრა, სიტუაციაში მისი რეალური როლის მიხედვით.  
**A0** ∩ - ესთეტიკური
5.  $S_i=i$ -ური აქტანტის ტიპური დასახელება.  
**S1**(პიროვნება) - შემოქმედი, მხატვარი, ხელოვნების მსახური, არტისტი  
**S2** - თემატიკა, პრობლემატიკა  
**S3** - აუდიტორია  
**S4** - სახეობა, ჟანრი, ხელოვნების ფორმა

6. **Bon** – კარგი  
**BonS<sub>1</sub> = VerS<sub>1</sub>**- ოსტატი
7. **S<sub>inst</sub>** – მოცემულ სიტუაციაში გამოყენებული ინსტრუმენტის ტიპური სახელი. ამ შემთხვევაში გულისხმობენ ხელოვნების სხვადასხვა დარგისადმი მისადაგებულ საშუალებას.  
**S<sub>inst</sub>** - იკონოგრაფიული ენა
8. **Sing(y)** – ერთ-ერთი ნაწარმოები. ხელოვნების ქმნილება, ხელოვნების ნიმუში.  
**BonSing(y)**- შედეგრი, მარგალიტი, ხელოვნების მწვერვალი
9. **Able<sub>i</sub>** – *i*-ური აქტანტის ტიპური დასახელება, მისი პოტენციური როლის მიხედვით  
**Able<sub>i</sub> ⊃** - ტალანტი, ნიჭიერი
10. **Ver** – დანიშნულებასთან შესაბამისი, სწორი, როგორც უნდა იყოს.  
**Ver = Bon**- ნამდვილი, ჭეშმარიტი.
11. **Incep** – დაწყება  
**IncepPredMelior** - გაუმჯობესება, განვითარება, გაფურჩქვნა
12. **Adv**- ზმნასთან განსაზღვრების როლში მყოფი სიტუაციის ასახვა.  
**Adv<sub>1</sub>**-ხელოვნების ასპარეზზე, სარბიელზე გამოსვლა
13. **Caus** - კაუზაცია (გაკეთო ისე, რომ რაღაც ხდებოდეს...)  
**Caus<sub>1</sub>Func<sub>0</sub>**- მოღვაწეობა ხელოვნებაში, დაკავება ხელოვნებით
14. **Magn** – თავად სიტუაციის ან მისი *i*-ური აქტანტის მაღალი ინტენსივობის აღნიშვნა.  
**Magn<sub>1</sub>** -- თავდადება ხელოვნებისადმი, თავის მიძღვნა ხელოვნებისათვის.  
**Magn = Bon**- (შთაგონება)-უმადლესი, მაგიური
15. **Fin** – შეწყვეტა, დანებება  
**FinOper<sub>1</sub>(α)** - ხელოვნების მიტოვება, წასვლა ხელოვნებიდან
16. **Func<sub>i</sub>** – ზმნა, რომლის აქტანტები განსაზღვრულია სიტუაციის შესაბამისად.  
**Caus<sub>1</sub>Func<sub>0</sub>** - ხელოვნების საფუძვლის ჩაყრა  
**S<sub>1</sub>Caus<sub>1</sub>Func<sub>0</sub>** -ხელოვნების ფუძემდებელი (კონკრეტული პიროვნება)  
**Func<sub>2</sub>**- ჩვენება (S-ის) ნამუშევრების, მოყოლა ცხოვრების შესახებ.  
**FinFunc<sub>0</sub>**- კვდომა (ხელოვნების)
17. **Real** – რეალიზება, შესრულება (მოთხოვნა, რომელსაც მოიცავს C<sub>0</sub>).  
**Real (C<sub>0</sub>)** - გაცნობა ხელოვნებასთან  
**Real<sup>II</sup>** - ხელოვნების სიყვარული, აღტაცება, ხელოვნებით ტკბობა  
**S<sub>1</sub> Real** - მოყვარული, თავგანიმცემელი დმფასებელი
18. **Degrad** - დეგრადაცია, გადაგვარება  
**S<sub>1</sub>Degrad** - სტაგნაცია, უმოქმედობა, დეგრადაცია
19. **Loc** – ტიპური ლოკალიზაციის ადგილი (სივრცობრივი, დროის ან აბსტრაქტული)  
**Locin** - ხელოვნებაში  
**S<sub>0</sub> Caus<sub>Loc</sub>** -ხელოვნების დაცვა, საუნჯის დაცვა  
**S<sub>1</sub> Caus<sub>Loc</sub>** - პიროვნება მფარველი, მეცენატი

სიტყვა „ხელოვნანს“ მეტაფორული მნიშვნელობითაც იყენებენ და იგი აღნიშნავს ცოდნის, დახელოვნების, საშემსრულებლო ოსტატობის მაღალ დონეს. მაგალითად, საექიმო ხელოვნება, კარგად მართვის ხელოვნება, ნამცხვრების ცხობის ხელოვნება, კერვის ხელოვნება, დალაგების ხელოვნება, ხეხილის გაშენების ხელოვნება, ბადის მოვლის ხელოვნება, ჩოხის კერვის ხელოვნება, დირიჟორობის ხელოვნება, სამხედრო ხელოვნება, ...

ამ ასპექტში სიტყვა „ხელოვნების“ ლექსიკური გარემო ასე გამოიყურება.

1. **Syn** - კვალიფიკაცია, ოსტატობა, ტექნიკა, გაწაფულობა, სიმარჯვე
2. **A<sub>0</sub> = A<sub>1</sub>**- მოხერხებული, გაწაფული, მარჯვე, დაოსტატებული

3. **Bon+** ( $S_1(Y)$ ) როდესაც ძალიან აქებენ ადამიანს  $S_1(Y)$  რომელიღაც საქმის გამო - ოსტატი, დახელოვნებული (მაგ., დიდი კომბინატორი - კომბინაციების დიდი ოსტატი)
4. **FigurS<sub>1</sub>** - ოქროს ხელები (ხელნაკეთობების ოსტატი)
5. **SingSinstrSmod**- გამოყენებული მეთოდი
6. **Culm** - ხელოვნების საიდუმლო, ხერხი, პათოსი
7. **PredMagn** - მთელი ხელოვნება (მაგ. ტორტის გამოცხობა)
8. **Magn=Bon** - საუკეთესო, შეუდარებელი
9. **MagnPerf** - (აბაღ.) მწვერვალების დაპყრობა
10. **Adv<sub>1</sub>Real** - პროფესიონალურად, შესანიშნავად, გამოგნებლად
11. **IncepPredPlus** - გაუმჯობესება, განვითარება
12. **F<sub>1</sub>=Caus<sub>1</sub>PredPlus** - საქმიანობის განვითარება, დახელოვნება თავის სპეციალობაში
13. **F<sub>1</sub>Real<sub>1</sub>** - (დახელოვნების მიზნით) პრაქტიკის მიღება, ვარჯიში დასახელოვნებლად.
14. **Ver** - ნამდვილი, რეალური
15. **Loc<sub>m</sub>** - საკუთარ საქმეში
16. **Oper<sub>1</sub>** - ხელოვნობის ფლობა
17. **F<sub>2</sub>=Caus<sub>1</sub>Oper<sub>1</sub>** - ხელოვნების დაუფლება, ხელოვნებამდე მიღწევა.
18. **Real<sub>1</sub>=Caus<sub>1</sub>Manif** - ნახელავის ჩვენება (რამდენადაც შესაძლებელია)
19. **BonSingResultReal** - (შეფასება) ნიმუში, საუკეთესო, სასწაული
20. **FinOper<sub>1</sub>** - თავის დანებება
21. **Facto Manif-II→Z-** (ყველას თანდასწრებით დასცინა ადამიანს)
22. **Bon+** ( $S_1(Y)$ ) - ხალხის დაცინვის ხელოვნება, ადამიანის გამწარების ხელოვნება, სხვისი დაჩაგვრის ხელოვნება (აქ (Y)-ში იგულისხმება  $S_1$ -ის ნეგატიური საქციელი).

დაბოლოს, გავიხსენოთ ცნობილი ადამიანების ცნობილი ფრაზები ხელოვნების შესახებ:

- ჰიპოკრატე** „ცხოვრება ხანმოკლეა, ხელოვნება მარადიული“;
- ოსკარ უაილდი** „ხელოვანი მშვენიერების შემოქმედი“;
- პაბლო პიკასო** „ხელოვნება გაცილებით უფრო აბსტრაქტულია, ვიდრე ჩვენ ვფიქრობთ“
- ალბერ კამიუ** „ხელოვნება რეცხავს და აშორებს სულს ყოველგვარ სიბინძურესა და ჭუჭყს“;
- „ყველა ბავშვი ხელოვანია, მაგრამ მთავარია, ამ ნიჭიდან გარკვეული ნაწილი შემორჩეს მას, როცა გაიზრდება“;
- კონსტანტინე გამსახურდია** „ხელოვნებაა თვით უკვდავება“.

აქვე მოგაწვდით ინტერნეტსაიტებზე მოძიებულ სხვადასხვა ადამიანების შეხედულებებს ხელოვნების არსისა და მნიშვნელობის შესახებ [12-15].

- ხელოვნება არის საშუალება, ადამიანმა აისრულოს ცხოვრების გაგრძელების სასუკვარი ოცნება;
- ხელოვნება გულისხმობს ვიზუალური, აუდიო ან გამომხატველობითი ნამუშევრების შექმნას, ავტორის წარმოსახვის ნიჭის გადმოცემას;
- ხელოვნება საყოველთაოა, არ გააჩნია დრო, საზღვრები, ენა, ეროვნება, სქესი და მხოლოდ ემოციის ჯაჭვით გადაეცემა ერთიდან მეორეს;

- ხელოვნება ადამიანის მიერ სამყაროს შემოქმედებითი აღქმაა;
- ჭეშმარიტი ხელოვნება ადამიანის ინტელექტს ამაღლებს, აძლიერებს, სულიერად ასაზრდოებს. ხელოვნება ცხოვრების განუყოფელი ნაწილია;
- ხელოვნებაში იგულისხმება ხელოვნების კრიტიკა, ხელოვნების ისტორიის შესწავლა და ხელოვნების ესთეტიკის გავრცელება;
- ხელოვნება და სინამდვილე განუყოფელი ცნებებია, მაგრამ ხელოვნება სინამდვილეს პირდაპირ კი არა, მხატვრული სახეებით გადმოსცემს;
- ხელოვნება, ვრცელი გაგებით, ადამიანის შემოქმედებისა და წარმოსახვის ფიზიკური გამოხატვა ნაწარმოებებში, რომელიც აერთიანებს სინამდვილისა თუ მოგონილის მხატვრული გამოხატვის სხვადასხვა ფორმებს.
- ხელოვნება ადამიანის სულიერი საზრდოა, მის გარეშე კაცობრიობა ვერ იარსებებდა;
- ხელოვანი ადამიანი ვერ გახდება თუ ბუნებით, დაბადებიდანვე არ გააჩნია ამის ნიჭი, ვერ გახდება თუ მატერიალური სამყარო გზიბლავს, თუ არ გიყვარს ოცნება.
- ხელოვნება შეიძლება დაეფუძნოს ფორმას, ფიგურას (ფერწერა, სკულპტურა), სიტყვას (ლიტერატურა), ზგერას (მუსიკა), მოძრაობას (ცეკვა) ან მათ ჰიბრიდს (თეატრი, კინო, ოპერა).
- ხელოვნება, ეს ნიჭიერი ადამიანის მიერ სამყაროს შემოქმედებითი აღქმაა. ამ აღქმის ნაყოფი ეკუთვნის არა მხოლოდ მის შემქმნელს, არამედ პლანეტა დედამიწაზე მცხოვრებ კაცობრიობას.

### **On the Lexical environment of the Word "Art"**

*L. Samsonadze*

#### **Summary**

The essence and the meaning of "Lexical Functions" are briefly considered in the paper.

With the help of lexical functions, it is possible to create natural environment for words and to determine the area of its usage - with which words are given units collocated, or what kind of lexical relations are found with the other words.

The paper considers the word "Art". Semantically appropriate categories have been selected, with the help of which the lexical environment of this word is determined in terms of lexical functions.

### **Определение лексической среды слова «искусство»**

*Л. Самсонадзе*

#### **Резюме**

В статье вкратце переданы значение и суть „Лексических функций“.

С помощью лексических функций возможно создание естественной среды слова, определить область его употребления – с какими словами сочетается данное слово и в каком лексическом соотношении находится оно с другими словами.

В статье представлено слово «искусство». Подобраны семантически соответствующие категории, с помощью которых определена лексическая среда этого слова в терминах лексических функций.

ლიტერატურა – References – Литература

1. Лурия А.Р. Язык и сознание — М., 1979.
2. ჩიკოძე გ., დოკვაძე ე., ჩუტკერაშვილი ა. ლექსიკური ფუნქციები როგორც კვაზისინონიმური გარდაქმნების საშუალება. საერთაშორისო კონფერენცია “ქართული ენა და თანამედროვე ტექნოლოგიები \_ 2011”, თბილისი, 2011. გვ. 144-149;
3. Мельчук И. Ф. Опыт теории лингвистических моделей “смысл↔текст”, Москва, 1999.
4. Апресян Ю.Д. Избранные труды. Т. 1. Лексическая семантика (1995)
5. Мельчук И. Ф., Жолковский А.К. Толково-комбинаторный словарь русского языка: Опыты семантико-синтаксического описания русской лексики. — 2-е изд., испр. — М.: Издательский Дом ЯСК, 2016.
6. გ. ჩიკოძე, ნ. ამირეზაშვილი, ლ. ლორთქიფანიძე, ლ. სამსონაძე, ა. ჩუტკერაშვილი, ნ. ჯავახიშვილი. ლექსიკური ფუნქციები - კომბინატორული ლექსიკონის მნიშვნელოვანი კომპონენტი. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის არჩილ ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული, N 19, გვ.98-103. თბილისი, 2001
7. დოკვაძე ე. ზოგიერთი არსებითი სახელის აღწერა ლექსიკური ფუნქციებით. სსიპ არჩილ ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული #15, თბილისი, 2011, გვ. 209-214;
8. დოკვაძე ე. ლექსემა “თოვლის” აღწერა ლექსიკური ფუნქციებით. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის არჩილ ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული #16, თბილისი, 2012, გვ. 171-176.
9. ჯავახიშვილი ნ. ლექსიკური ერთეული „კლდე“ განმარტებით-კომბინატორულ ლექსიკონში. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის არჩილ ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული N19, თბილისი, 2015, გვ. 109-114.
10. სამსონაძე ლ. სიტყვა “მიწის” აღწერა განმარტებით-კომბინატორული ლექსიკონისთვის. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის არჩილ ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული N21, თბილისი, 2017, გვ. 133-137.
11. ნეიმანი ა., ქართულ სინონიმთა ლექსიკონი, 1978.
12. <http://www.davidkenchadze.ge/ka/motivation/367>
13. <https://droni.ge/?m=5&AID=11302>
14. <https://ng53.wordpress.com/2012/02/25/%E1%83%AE%E1%83%94%E1%83%9A%E1%83%9D%E1%83%95%E1%83%9C%E1%83%94%E1%83%91%E1%83%90>
15. <https://ka.wikipedia.org/wiki/%E1%83%9D%E1%83%9E%E1%83%94%E1%83%A0%E1%83%90>

---

## On Particle *ai* in Georgian Language Information Structure

Anna Chutkerashvili

*annachutkerashvili@yahoo.com*

### Abstract

A general description and the meaning of the 'ai' particle are considered in the paper. There is also discussed the characteristics of particle 'ai' and distinguished some its functions in terms of Georgian language information structure. Particles underline, emphasize a certain piece of information; Also, they add a specific semantic 'colour' to the sentence and have lexical meaning to some extent; they usually form specific morphosyntactic constructions. Consequently, the role of particles in the formation of the information structure of a sentence is very important.

### Key Words:

*particles, information structure, emphatic function*

The term Information Structure was first introduced by M.A.K. Holiday. However, some scholars use other terms instead. For example, Chafe uses packaging instead of Information Structure, which refers to the process of information packaging that corresponds to the communication requirements of the speakers for a particular moment of communication. Each language has its own information structure, in other words, how old and new information is arranged. For example, in English language the theme (old information) is often placed in the initial position of the sentence and this fact should be considered when determining it.

If communication means the information transmission and its optimization according to the temporary requirements of the people involved in communication, then we should adopt a model of information exchange that uses the concept of common ground (background). Initially, the notion of a common ground was thought as already modeled information that both parties know that it has to be shared and that constantly modifies in the process of communication. This allows to distinguish between presuppositions - requirements for a common ground entry and statements or selected content (preferred content) - proposed changes to the common ground output. This difference is worth in terms of information packaging, as the common ground is constantly changing and the information needs to be properly packaged according to what the common ground is directly at the time of speaking.

e.g.

a) *me mqavs žayli da momixda misi saseirnod c'aqvana*  
"I have a dog and I had to take it for a walk."

b) *me momixda čemi žaylis saseirnod c'aqvana da me mqavs žayli.*  
"I had to take my dog for a walk, and I have a dog."

The first of the given examples is correct, the second is not. In the example (a) first clause introduces information that the speaker has a dog, and the presupposition of the second clause refers to this very information. There is a different situation in example (b), where the second clause sentence introduces information that the speaker has a dog, although this information is already known at the entrance to the given common ground that is why sentence (b) is unnatural.

Participants of communication can change the common ground by adding presuppositions. This means that non-contradictory facts can be implicitly added to the common ground, the input of that must be of a certain type. It is for this reason that the first of the following sentences is more likely to be expected than the second one.

e.g.

a) *me momixda čemi žaylis dabana, imitom, rom is č'uč'qiani iqo*  
"I had to wash my dog because it was dirty."

b) *me momixda čemi niangis dabana, imitom, rom is č'uč'qiani iqo*

"I had to wash my crocodile because it was dirty."

The notion of common ground was first applied to factual information, though it was soon extended to discourse references. Thus, a common ground does not consist only of a set of provisions that are shared equally (or from the conjunction of those statements that make up a single statement), but also of units that have been included in the common ground long before. Such units can be explicitly represented by the indefinite noun phrase (NP), or it is somehow introduced as it is in the first example above. They are referred to by pronouns, or definite noun phrases, which, at the same time, express requirements to a common ground. The choice of anaphoric statement depends on how new the antecedent is, with this notion we again come to Chafe's interpretation of *packaging*.

In general, the role of particles in the formation of the information structure of a sentence is well known, although in the Georgian special literature almost nothing is said about this function of particles. Particles underline, emphasize a certain piece of information; In they add a specific semantic nuance to the sentence and have lexical meaning to some extent; Therefore their interpretation as definitely morphological markers of the topic cannot be considered. Particles usually form specific morphosyntactic constructions. In the paper particle *ai* its place in the Georgian language information structure is discussed.

According to the Explanatory Dictionary of the Georgian language, particle *ai* :

1. Indicates what is happening or what has to happen.
2. Same as interjection *hai*;

Shanidze considers *ai* as an indicative particle.

Three main functions of the particle have been distinguished;

1. Indicative function, (demonstrative):  
e.g. *ai, deda modis.*  
Here comes mother.
2. Adversative function, (contrastive):  
e.g. *ai es, martla k'argia.*  
As for this one, it is really good.
3. Emphatic function:  
e.g. *ai, naxati!*  
That is the painting!

Let's consider other examples where the above mentioned characteristics and functions of the particle are expressed.

e.g., *ai ia*

Here's a violet

*ai titi*

Here's a finger

These famous phrases of Iakob Gogebashvili are the best example to show the indicative function of *ai* particle. Because of this function particle *ai* is an essential component of early forms of speech in children. The speaker using the particle, points at, or shows the listener someone or something. Such sentences are neutral in their meaning; they only serve as a pointer or indicator. However, below is shown that similar prepositions may also acquire an additional emphatic function.

e.g., *ai ,es uk've sxva ambavia!*

Oh, that's absolutely different thing!

In the example, the particle is represented as an adversative as well as an emphatic function. Here the speaker emphasizes the contrast through the particle. What the addressee has done, in the speaker's opinion, is different from what he did or used to do before. Here the particle *ai* implicitly refers to the preceding phrase, which by its meaning contradicts with the one that is uttered by the speaker.

Particle *ai* when it is represented by the adversative function often occurs together with the particle *k'i* in sentences, thus highlighting the contrastive meaning.

e.g., *ai, es k'i uk've sxva ambavia!*

As for this, this is absolutely different thing!

It's worth mentioning that the adversative function of *ai* particle is often also an emphatic one.

One sentence can be neutral and emphatic by meaning at the same time. In oral speech, the emphatic function is caused by placing an accent on a particle or pronouncing it with its specific intonation. In written form, punctuation marks serve with this function.

e.g., *ai, naxat'i* (Neutral)

This is a painting

*ai, naxat'i!* (Emphatic)

As for this one, this is the painting!

In the first case, the particle in the sentence is neutral, the speaker simply points at the picture, shows it to someone. In the second sentence, it is emphatic and has an adversative meaning. The speaker emphasizes that what he is referring to is really a painting, in its form or quality, and at the same time, through the particle, he opposes an object that is not a painting or is, but the speaker considers it so low quality that he does not consider it a painting as a work of art. These are all implicitly expressed in the sentence by particle *ai*.

In English, particle *ai* is given by different words or particles depending on cases. While indicating this function of the particle is mainly expressed by the words *this is* and *Look!* When functioning as an emphatic or adversative particle *as for* is used instead.

In negative and interrogative sentences, the particle does not have different properties. In negative sentences *ai* particle is often used to highlight the threat, i.e. it is emphatic.

e.g. *ai, ar dagic'eria davaleba da mere naxav!*

If you don't do your homework, you'll see what will happen to you!

As we see *ai* is a multifunctional particle and it is rather important for creating information structure. It may occur in a sentence alone as well as together with the other particles. Some examples are given above when *ai* is together with the particle *k'i* in a sentence. There are also some cases when *ai* occurs with particle *sc'ored*. Using two particles for the same meaning makes text more emphatic and easier to understand.

## ‘აი’ ნაწილაკის როლი ქართული ენის საინფორმაციო სტრუქტურაში

ანა ჩუტკერაშვილი

რეზიუმე

სტატიაში მოცემულია ‘აი’ ნაწილაკის ზოგადი აღწერა, განხილულია მისი მნიშვნელობა და რამდენიმე ფუნქცია ქართული ენაში საინფორმაციო სტრუქტურის თვალსაზრისით. ნაწილაკები ხაზს უსვამენ, გამოკვეთენ ინფორმაციის გარკვეულ ნაწილს; ამასთანავე, ისინი სპეციფიკურ სემანტიკურ ელფერსაც მატებენ წინადადებას და, გარკვეული თვალსაზრისით, ლექსიკური შინაარსითაც არიან დატვირთულნი; ისინი, როგორც წესი, ქმნიან სპეციფიკურ მორფოსინტაქსურ კონსტრუქციებს. შესაბამისად, ნაწილაკების როლი წინადადების საინფორმაციო სტრუქტურის ფორმირებაში ძალიან მნიშვნელოვანია.



## **Роль частицы 'аи' в информационной структуре Грузинского языка**

*Анна Чуткерашвили*

### **Резюме**

В статье дается общее описание частицы «аи», рассматривается ее значение и некоторые функции с точки зрения информационной структуры на грузинском языке. Частицы подчеркивают, выделяют определенную часть информации; В то же время, пидают предложению особый семантический оттенок и в некоторой степени они носят лексический смысл; Они как правило создают специфические морфосинтаксические конструкции. Следовательно, роль частиц в формировании информационной структуры предложения очень важна.

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

1. Asatiani, R. The Main Devices of Foregrounding in the Information Structure of Georgian Sentences. Proceedings of Tbilisi Symposium on language, Logic and Computation, Amsterdam: Spriger, 2005.
2. Beaugrande R. de, Dressler, W. Introduction to Text Linguistics, Longman, 1983.
3. Chafe, W. L., Meaning and the Structure of Language. Chicago and London: Chicago University Press. 1971.
4. Erteschic-Shir, N. Information Structure. The Syntax-Discourse Interface, Oxford University press, 2007.
5. Halliday, M.A.K. Intonation and Grammar in British English, The Hague, 1967.
6. Krifka, M. "Language, Logic, Computation". Main Notions of Information Structure. Tbilisi, 2008. (Georgian edition)
7. Lambrecht, K. Information Structure and Sentence Form. Topics, Focus, and the mental representation of discourse referents, Cambridge University Press, 1994.
8. Shanidze, A. Basics of Georgian Grammar; Tbilisi, 1973. (Georgian edition)
9. Shengelaia, N. Incomplete Words and Semantic Wholeness of the Text. Tbilisi, 2000. (Georgian edition)

## In-Memory მონაცემთა ბაზები

მანველ კლოიანი

manvel.kloyan@gmail.com

### რეზიუმე

დღევანდელ პირობებში თანამედროვე სისტემებისგან მოითხოვება ძალიან სწრაფი რეაგირება (მაგ., 1 წამზე ნაკლები). დისკზე დაფუძნებულ სტანდარტულ მონაცემთა სისტემებს არ შეუძლიათ უზრუნველყონ ასეთი სწრაფი პასუხი მათთან წვდომის დროის შეზღუდვის გამო. თუ სრული ბაზა შეიძლება იყოს შენახული ძირითად მეხსიერებაში, წვდომის დრო საგრძნობლად შემცირდება. In-memory მონაცემთა ბაზები ინახება სერვერის ოპერატიულ მეხსიერებაში. ეს უზრუნველყოფს დიდ უპირატესობას სიჩქარეში, რადგანაც ოპერაციები მონაცემებზე მეხსიერებაში სრულდება პროცესორის ნაკლები რაოდენობის ინსტრუქციით, ხოლო მონაცემებთან seek ტიპის ოპერაციებით წვდომის დრო გაცილებით მეტია - ოპერატიული მეხსიერება გლობალურად უგებს მყარ დისკს.

სტატიაში აღწერილია არსებული რამდენიმე In-Memory მონაცემთა ბაზა, მათი უპირატესობები და უარყოფითი მხარეები. ასევე განხილულია ასეთი ბაზის შექმნის მაგალითი და ჩატარებული ექსპერიმენტების შედეგი.

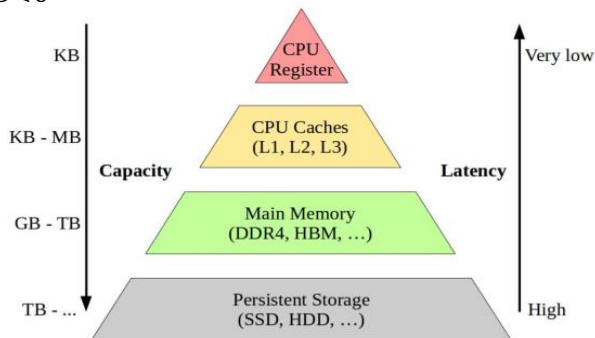
### საკვანძო სიტყვები:

*თანამედროვე სისტემები, In-Memory მონაცემთა ბაზები, უპირატესობები, უარყოფითი მხარეები.*

დღეს მსოფლიოში ყველაფერი უნდა იყოს ძალიან სწრაფი. ამასთან, გასათვალისწინებელია, რომ მონაცემების მოცულობა სულ უფრო და უფრო იზრდება. თანამედროვე სამყაროში თითქმის ყველაფერი იმეზნება სხვადასხვა სისტემების მიერ. მაგალითად, არაფერია განსაკუთრებული ონლაინ მაღაზიიდან გამოწერილი ამანათის მდგომარეობის თვალყურის დევნებაში.

ასეთ ინფორმაციას ღირებულება რომ ჰქონდეს, საჭიროა შედეგები რაც შეიძლება სწრაფად იყოს მოწოდებული. თუ ინფორმაციის მოსაპოვებლად საჭიროა დიდი დრო, ასეთ ინფორმაციას არ ექნება არანაირი ღირებულება. სტანდარტული დიდი მონაცემთა ბაზის და კომპლექსური query-მოთხოვნების გამოყენება ვერ უზრუნველყოფს ასეთ სწრაფ პასუხებს.

შემდეგ სურათზე ნაჩვენებია თუ როგორ იზრდება წვდომის დრო ცენტრალური პროცესორისგან CPU (Central Processing Unit) დისტანციის გაზრდასთან ერთად. რაც უფრო დიდია ეს დისტანცია, მით უფრო დიდია შეყოვნება, და შესაბამისად, ინფორმაცია კარგავს ღირებულებას.



წინამდებარე ნაშრომში აღწერილი იქნება თუ რა არის In-Memory ბაზა, რა განსხვავებაა

სტანდარტულ ბაზებსა და In-Memory ბაზებს შორის, რა განსხვავებაა main In-Memory და In-Memory ბაზებს შორის, In-Memory ბაზების უპირატესობები და უარყოფითი მხარეები, როგორ უნდა იყოს შექმნილი In-Memory ბაზა და არსებული პროდუქტები.

**In-Memory მონაცემთა ბაზები**

In-Memory მონაცემთა ბაზა ინახავს ინფორმაციას კომპიუტერის RAM მეხსიერებაში (Random Access Memory). ინფორმაციის შერჩევასა ხდება მხოლოდ main მეხსიერებასთან მიმართება. ეს მონაცემებზე უფრო სწრაფი წვდომის საშუალებას იძლევა დისკზე დაყრდნობილ სისტემებთან შედარებით. In-Memory ბაზები გამოიყენება ისეთ აპლიკაციებში, რომლებიც დამოკიდებულნი არიან სწრაფ პასუხზე და მონაცემთა მართვაზე რეალურ დროში. In-Memory ბაზებისგან სარგებელს ნახულობენ ისეთი ინდუსტრიები, როგორცაა ტელეკომუნიკაციები, ბანკინგი, სათამაშო ბიზნესი. In-Memory ბაზას ასევე მოიხსენიებენ როგორც main მეხსიერების ბაზას (MMDB – Main Memory DataBase), real-time ბაზას (RTDB – Real-Time DataBase) და In-Memory ბაზის სისტემას (IMDB – In-Memory database).

**როგორ მუშაობს In-Memory ბაზა**

მონაცემთა საცავი In-Memory ბაზაში ეყრდნობა კომპიუტერის RAM მეხსიერებას ან main მეხსიერებას. მონაცემები იტვირთება In-Memory ბაზაში შეკუმშულ და არარელაციურ ფორმატში. მონაცემები გამოიყენებად ფორმატშია შეკუმშვის ან დაშიფვრის ბარიერის გარეშე. ეს საშუალებას იძლევა პირდაპირ შესრულდეს ინდექსიდან ველზე ან სტრიქონზე ნავიგაცია.

In-Memory ბაზის სიჩქარე შესაძლებელია ტრანზაქციის და ქეშირების ნაკლებობის გამო. ინფორმაცია გამოიყენება იგივე ფორმით, როგორცაა შეიცავს აპლიკაცია. მონაცემებთან წვდომა იმართება In-Memory ბაზის მართვის სისტემის მიერ.

In-Memory ბაზამ ასევე შეიძლება ითამაშოს read-only ანალიტიკური ბაზის როლი, რომელშიც ინახება ისტორიული ინფორმაცია BI (Business intelligence) აპლიკაციების მაჩვენებლების შესახებ. ეს გამორიცხავს მონაცემების ინდექსირებას, რამაც შესაძლებელია შეამციროს IT დანახარჯები. მრავალბირთვიანმა სისტემებმა, 64 ბიტანმა კომპიუტერებმა და RAM - ის დაბალმა ღირებულებამ In-Memory ანალიტიკა უფრო გავრცელებული გახადა.

**რატომ უნდა გამოვიყენოთ In-Memory ბაზა?**

აპლიკაციებმა, რომლებიც მართავენ დიდი რაოდენობის ინფორმაციას და მათგან მოითხოვება სწრაფი პასუხი, შეიძლება ისარგებლონ In-Memory ბაზის არქიტექტურით. მონაცემების ანალიზის ინდუსტრია სულ უფრო და უფრო ხშირად ეყრდნობა In-Memory ბაზის სისტემებს.

In-Memory ბაზის სარგებელი შეიცავს:

- უფრო სწრაფ ტრანზაქციებს
- მრავალ მომხმარებელთა პარალელიზმს

In-Memory ბაზებს ძირითადად იყენებენ:

- ბანკინგში, საცალო გაყიდვებში, სამედიცინო ანალიტიკურ დევეისებში, მანქანური სწავლებისთვის და ბილინგურ/აბონენტურ სისტემებში
- ონლაინ ინტერაქტიულ თამაშებში
- GIS დამუშავებისათვის
- სტრუქტურული სენსიტიური ინფორმაციის დამუშავებისთვის
- ჩამოყალიბებული პროგრამული სისტემების დამუშავებისთვის
- ტრანსპორტული სისტემების აპლიკაციებში, ქსელურ როუტერებში და სვიტჩებში
- E-კომერციის აპლიკაციების მოთხოვნების შესრულებისათვის

**განსხვავება In-Memory და ტრადიციულ ბაზებს შორის**

In-Memory და ტრადიციულ ბაზებს შორის განსხვავება არის სისწრაფე, მოცულობა და არასტაბილურობა. In-Memory ბაზა ინახავს სრულ ინფორმაციას კომპიუტერის main

მეხსიერებაში ან RAM-ში. ტრადიციული მონაცემთა ბაზა ინფორმაციას იღებს დისკ დრაივიდან.

In-Memory ბაზები ტრადიციულ ბაზებზე სწრაფია, რადგან მოითხოვენ ნაკლებ CPU ინსტრუქციას. ასევე In-Memory ბაზებს არ ეხარჯებათ დრო დისკიდან ინფორმაციის წამოღებაზე.

In-Memory ბაზები არასტაბილურია ტრადიციულ ბაზებთან შედარებით, რადგან დენის ან ოპერატიული მეხსიერების ავარიული გათიშვისას იკარგება ინფორმაცია. ინფორმაციის აღდგენა კი უფრო მარტივია ტრადიციული ბაზის დისკიდან.

ტრადიციული მონაცემთა ბაზები ფორმატირებულია დისკ დრაივების მიერ, სადაც იკითხება და იწერება ინფორმაცია. როცა ტრადიციული მონაცემთა ბაზის ერთი ნაწილი მიმართავს სხვა ნაწილს, დისკიდან უნდა წაიკითხოს განსხვავებული ბლოკი. In-Memory მონაცემთა ბაზებში სხვადასხვა ნაწილები შეიძლება იმართებოდეს პირდაპირი მიმითებლებით.

In-Memory მონაცემთა ბაზები real-time ანალიტიკის და დაზუსტებული ინფორმაციის მიღების საშუალებას იძლევა.

ტრადიციული მონაცემთა ბაზები შეიცავენ ზედმეტ ინფორმაციას, რადგან სისტემაში ყოველი კომპონენტის დამატებისას იქმნება ინფორმაციის ასლი.

### **In-Memory მონაცემთა ბაზების უპირატესობები**

In-Memory მონაცემთა ბაზების ყველაზე მნიშვნელოვანი უპირატესობა ალბათ არის მონაცემებზე უფრო სწრაფი წვდომა. როგორც კი ინფორმაცია ჩაიტვირთება ძირითად მეხსიერებაში, რანდომული წვდომა მონაცემებზე შესაძლებელია წვდომის დროის შეუცვლელად. დიდი რაოდენობის მონაცემებზე გამოთვლები სრულდება გაცილებით უფრო სწრაფად სტანდარტულ დისკზე ორიენტირებულ მონაცემთა ბაზებთან შედარებით. In-Memory მონაცემთა ბაზებში არ არის აუცილებელი, რომ ერთ გვერდზე იწერებოდეს ერთი ტრანზაქცია მოცემულ მომენტში, რადგან აქ არ არსებობს გამოყენებული გვერდის კონცეფცია.

### **In-Memory მონაცემთა ბაზების უარყოფითი მხარეები**

ძირითადი მეხსიერება წარმოადგენს ე.წ. მეხსიერების არამდგრად ტიპს. თუ გაითიშება შუქი, ძირითად მეხსიერებაში შენახული ინფორმაცია დაიკარგება. მომხმარებელთა უმრავლესობას უნდა შეინახოს ინფორმაცია უფრო ხანგრძლივი პერიოდით იმის მიუხედავად გაითიშება თუ არა შუქი. ამ უარყოფითი მხარის თავიდან ასაცილებლად არსებობს სამი მიდგომა.

ერთ-ერთი შესაძლებლობაა, NVRAM (Non-Volatile Random Access - ელექტრონერგისაგან დამოუკიდებელი შემთხვევითი წვდომა) ძირითადი მეხსიერების გამოყენება. ის ინახავს ინფორმაციას მაშინაც კი, როცა კვება არ არის. სხვა შესაძლებლობაა მონაცემების სარეზერვო ასლის (backup) გაკეთება ერთ ან მრავალ დისკზე, ან სისტემების დაქვემდებარებულ მონაცემთა ბაზის (slave database) დისკზე შენახვა განსხვავებული ელექტრომომარაგებით. იმ შემთხვევაში, თუ კვება არ იქნება, მონაცემები დაიკარგება, მაგრამ მათი აღდგენა შეიძლება დისკიდან ან დაქვემდებარებული მონაცემთა ბაზის სისტემიდან. უწყვეტი სარეზერვო ასლების გაკეთების სიხშირის მიხედვით, შესაძლებელია მონაცემების მეტ-ნაკლები დანაკარგები.

მესამე შესაძლებლობაა უწყვეტი კვების წყაროს (ups) გამოყენება, შეუწყვეტელი კვების მიწოდება. ამით შესაძლებელია კვების მოკლე გამორთვით გამოწვეული პრობლემების თავიდან არიდება. კვების ხანგრძლივი გამორთვის შემთხვევაში ეს მიდგომა ინფორმაციის სარეზერვო ასლის დაქვემდებარებულ მონაცემთა ბაზის სისტემაში შენახვის საშუალებას იძლევა და სისტემა რომ დიდი ხნით გაითიშოს, საბოლოოდ, ups - ებს შეიძლება გამოეღიოთ კვება და ინფორმაცია დაიკარგოს.

In-Memory მონაცემთა ბაზის სხვა უარყოფითი მხარე ჩნდება ინფორმაციის ქსელით გაგზავნისას. წვდომის დრო იზრდება. ასეთ შემთხვევაში In-Memory მონაცემთა ბაზის ინფორმაცია უნდა გამოყენებული იქნას ლოკალურად.

ბაზის სისტემისა და არქიტექტურის მიხედვით, შეიძლება ვერ მოხდეს იგივე In-Memory მონაცემთა ბაზის გამოყენება. ეს იმას ნიშნავს, რომ შეიძლება აუცილებელი გახდეს პროგრამული კოდის ცვლილება, რაც მოითხოვს დამატებით ხარჯს.

მონაცემების მოცულობა, რომელიც შეიძლება შენახული იქნას In-Memory მონაცემთა ბაზაში, დამოკიდებულია კომპიუტერის ძირითადი მეხსიერების მოცულობაზე. როგორც კი ძირითადი მეხსიერება სრულად იქნება გამოყენებული, მონაცემთა ბაზა უნდა გადაერთოს ნელ დისკზე ან უკან დააბრუნოს ტრანზაქცია.

### როგორ მოვახდინოთ In-Memory მონაცემთა ბაზის იმპლემენტაცია?

ინფორმაციის დაკარგვის რისკის თავიდან აცილების მიზნით In-memory მონაცემთა ბაზა შეიძლება გაუმჯობესებულ იქნას NVRAM - ის საშუალებით. რისთვისაც ხშირად გამოიყენება ფლეშ მეხსიერება, მისი მაღალი ღირებულების და მეხსიერების გადაწერის რაოდენობის შეზღუდვის მიუხედავად. დენის გათიშვისას ის ეხმარება In-Memory მონაცემთა ბაზის ინფორმაციის შენახვას. ფლეში არის ერთ-ერთი საშუალება, მაგრამ მისი მთავარი ნაკლია: ფლეშ-მეხსიერების წაშლის და გადაწერის რაოდენობების ლიმიტი.

ფლეშიდან წაკითხვა უფრო სწრაფია ვიდრე CD დისკიდან. სწორედ ამიტომ ბოლო დროს ვითარდება NVRAM ჩიპები, რომლებიც უზრუნველყოფენ უფრო მდგრად მეხსიერებას, ვიდრე ფლეში.

IMDB მონაცემთა ბაზების უმრავლესობა, ერთ მონაცემთა ცენტრში მონაცემთა დაკარგვის საწინააღმდეგოდ, მონაცემების ასლებს ასევე ინახავს კლასტერის მრავალ კომპიუტერში (ბაზების ასლების გადაღება - replication). ეს უზრუნველყოფს იმას, რომ ჩანაწერები არ დაიკარგება რომელიმე კომპიუტერის გათიშვის გამო.

### არსებული პროდუქტები

მოცემული დროისთვის არსებობს In-Memory მონაცემთა ბაზების მთელი სია. აღწერილია რამდენიმე მათგანი:

#### Redis

Redis არის open source In-Memory მონაცემთა სტრუქტურის საცავი, რომელიც გამოიყენება როგორც მონაცემთა ბაზა, ქეში და message broker - ი. ის მხარს უჭერს ისეთ მონაცემთა ტიპებს, როგორცაა string, hash, list, set, სორტირებული set - ები, bitmap, hyperloglog, გეოსპექტური ინდექსები. Redis - ს გააჩნია ინტეგრირებული რეპლიკაცია, LUA სკრიპტინგი, LRU eviction - ი, ტრანზაქციები და on-disk პერსისტენტულობის სხვადასხვა დონეები. ის უზრუნველყოფს მაღალ ხელმისაწვდომობას Redis Sentinel - ის საშუალებით და ავტომატურ partitioning - ს Redis Cluster - ით. Redis წარმოადგენს key-value საცავს.

#### Memcached

Memcached წარმოადგენს უფასო open source, მაღალი წარმადობის, ობიექტების კეშირების სისტემას განაწილებული მეხსიერებით. ის განკუთვნილია დინამიური ვებ აპლიკაციების ასაჩქარებლად მონაცემთა ბაზაზე დატვირთვის შემცირების ხარჯზე.

Memcached არის key-value (გასაღები-მნიშვნელობა) In-Memory საცავი მონაცემების (string-ების და ობიექტების) პატარა პორციებისთვის. Memcached მარტივია, მაგრამ ძლიერი.

#### MongoDB

MongoDB წარმოადგენს document-based, distributed მონაცემთა ბაზას, რომელიც შექმნილია თანამედროვე აპლიკაციების დეველოპერებისათვის და cloud - ისთვის.

ჩვენი In-Memory მონაცემთა ბაზის რეალიზაციისთვის ავირჩიეთ NodeJS პლატფორმა. ჩვენი პროგრამა შედგება ოთხი მოდულისგან: ოპერატიული მეხსიერების მართვა, ფაილურ სისტემაში მეხსიერების მართვა, CLI (Command line interface) - პროგრამის მართვა კონსოლში, ჩართული კავშირის მართვის მოდული.

პროგრამაში რეალიზებულია შემდეგი ფუნქციონალი: ბაზის შექმნა, ბაზის წაშლა, ბაზის სახელის გადარქმევა, კოლექციის შექმნა ბაზაში, კოლექციის წაშლა, კოლექციისთვის

სახელის გადარქმევა, key-value (გასაღები-მნიშვნელობა) ჩანაწერის დამატება კოლექციაში, ჩანაწერის წაშლა key (გასაღების) და value-ს (მნიშვნელობის) მიხედვით. ჩანაწერების ძებნა key და value-ს მიხედვით.

პროგრამას აქვს მუშაობის ორი რეჟიმი: CLI და ჩართული კავშირის მოდული ან მარტო CLI (ზემოთ აღნიშნული მთლიანი ფუნქციონალი ხელმისაწვდომია). კავშირის მოდული საშუალებას გვაძლევს, რომ კლიენტ აპლიკაციებმა გამოიყენონ ბაზის მონაცემები თავიანთ აპლიკაციებში (სიმულაციისთვის გვაქვს გამოყენებული websocket პროტოკოლი).

მონაცემთა ბაზის სტრუქტურა წარმოდგენილია JSON ფორმატში. ასევე ფაილურ სისტემაში ჩაწერა ხდება ამავე JSON ფორმატში.

ექსპერიმენტების შედეგები აღწერილია ცხრილებში. ექსპერიმენტი ჩატარდა შემდეგ მონაცემთა ბაზებზე:

მონაცემთა ბაზა	მოდელი	ვერსია
MongoDB	Document store	4.2.0
Redis	Key-value store	6.0.1
Memcached	Key-value store	1.6.5
ჩვენი DB	Key-value store	1.0.0

Key-value წყვილის ჩაწერის დროები (მწ)

ბაზა	ჩანაწერების რაოდენობა			
	1,000	10,000	100,000	1,000,000
Redis	34	214	1666	14.638
MongoDB	904	3482	26.030	253.898
Memcached	23	100	276	2813
ჩვენი DB	2.023	20.753	83.021	2.000.236

In-memory ბაზების გამოყენება მუხსიერება ჩაწერის ოპერაციისთვის (MB).

ბაზა	ჩანაწერების რაოდენობა			
	1,000	10,000	100,000	1,000,000
Redis	2.5	3.8	4.3	62.7
MongoDB	56.9	263.6	365	155.9
Memcached	5.3	27.2	211	264.9
ჩვენი DB	19.9	25.4	45.2	93.3

მოცემული key - ის მიხედვით ჩანაწერის წაკითხვის დრო (მწ)

ბაზა	ჩანაწერების რაოდენობა			
	1,000	10,000	100,000	1,000,000
Redis	8	6	8	8
MongoDB	8	10	11	13
Memcached	9	14	14	30
ჩვენი DB	12	18	19	46

## In-Memory მონაცემთა ბაზები

In-memory ბაზების გამოყენება მესხიერების წაკითხვის ოპერაციისთვის (MB)

ბაზა	ჩანაწერების რაოდენობა			
	1,000	10,000	100,000	1,000,000
Redis	1.3	1.3	1.3	1.3
MongoDB	1.3	2.5	2.5	1.3
Memcached	1.3	2.5	1.3	2.5
ჩვენი DB	1.9	3.1	3.6	3.9

მოცემული key - ის ჩანაწერის წაშლა ბაზაში (მწ)

ბაზა	ჩანაწერების რაოდენობა			
	1,000	10,000	100,000	1,000,000
Redis	0	1	0	0
MongoDB	75	88	92	355
Memcached	17	17	16	13
ჩვენი DB	204	220	1023	9053

In-memory ბაზების გამოყენება მესხიერების წაშლის ოპერაციისთვის (MB)

ბაზა	ჩანაწერების რაოდენობა			
	1,000	10,000	100,000	1,000,000
Redis	0	0	0	0
MongoDB	10	10	10	11.3
Memcached	2.2	2.1	2.2	2.2
ჩვენი DB	22.2	22.5	32.2	45.4

### დასკვნა

ჩვენს მიერ რეალიზებულია In-memory მონაცემთა ბაზები, რომლებიც ინფორმაციას ინახავდა კომპიუტერის ძირითად მესხიერებაში, ჩატარებულმა ექსპერიმენტებმა დაადასტურა, რომ:

- მათ ესაჭიროებათ ნაკლები დრო დიდი რაოდენობის ინფორმაციის დამუშავებისათვის, ვიდრე სტანდარტულ მონაცემთა ბაზებს;
- მათ გააჩნიათ სქემისაგან დამოუკიდებელი მონაცემთა სტრუქტურა;
- ისინი უზრუნველყოფენ მაღალ performance - ს და დაბალ შეყოვნებას.
- In-memory მონაცემთა ბაზები არ იყენებენ დისკს non-change ოპერაციებისთვის (როცა ხდება მხოლოდ წაკითხვა), და იყენებენ დისკს change ოპერაციებისთვის უსწრაფესი შესაძლო გზით.
- სტანდარტული მონაცემთა ბაზების in-memory მონაცემთა ბაზებით ჩანაცვლება მიზანშეწონილია მაშინ, როცა სისტემისთვის აუცილებელი არაა კონსისტენციურობა (მონაცემთა ურთიერთშეთანხმებულობა).

## **In-Memory databases**

*Manvel Kloyan*

### **Summary**

Today, modern systems are required to respond very quickly (for example, less than 1 second). Standard disk-based database systems cannot provide such a fast response due to the limited access time. If the complete database can be stored in main memory, access times will be greatly reduced. In-memory databases are stored in the server's RAM. This gives a huge speed advantage, since data operations in memory are performed with fewer processor instructions, and data access times with seek operations are much longer - RAM globally beats hard disks. The article describes several existing In-Memory databases, their advantages and disadvantages. An example of creating such a database and the results of experiments are also discussed.

## **База данных In-Memory**

*Манвел Клоян*

### **Резюме**

Сегодня от современных систем требуют очень быстрого реагирования (например, менее 1 секунды). Стандартные системы базы данных основанные на дисках не могут обеспечить такой быстрый отклик из-за ограниченного времени доступа к ним. Если полную базу данных можно сохранить в основной памяти, время доступа будет значительно сокращено. Базы данных типа In-мемогу хранятся в оперативной памяти сервера. Это дает огромное преимущество в скорости, поскольку операции с данными в памяти выполняются с меньшим количеством инструкций процессора, а время доступа к данным с операциями типа seek намного дольше – оперативная память глобально побеждает жесткие диски. В статье описаны несколько существующих баз данных In-Мемогу типа, их преимущества и недостатки. Обсуждается также пример создания такой базы данных и результаты экспериментов.

## **ლიტერატურა – References – Литература**

1. <https://www.omnisci.com/learn/resources/technical-glossary/In-memory-database/>
2. [https://en.wikipedia.org/wiki/In-memory\\_database](https://en.wikipedia.org/wiki/In-memory_database)
3. <https://haselcast.com/glossary/In-Memory-database/>
4. [https://www.mobject.com/in\\_memory\\_databases/](https://www.mobject.com/in_memory_databases/)
5. <http://redis.io>
6. <https://memcached.org/>
7. <https://www.mongodb.com/>



---

## სამედიცინო დიაგნოსტიკების ამოცანის გადაწყვეტა “K უახლოესი მეზობლის” ალგორითმის გამოყენებით

*ნათელა ანანიშვილი, მია მიქელაძე*

*Email: ia.ananiashvili@gmail.com, mikeladzemaia@yahoo.com*

### რეზიუმე

განიხილება სამედიცინო დიაგნოსტიკების ამოცანა რამდენიმე ენდოკრინოლოგიური დაავადებისათვის. შემოთავაზებულია დიაგნოსტიკების ამოცანის გადაწყვეტა Data Mining-ის ერთ-ერთი მეთოდის - “K უახლოესი მეზობლის” მეთოდის გამოყენებით. ენდოკრინოლოგიური დაავადებების კლინიკური მონაცემების თვისობრივი ხასიათიდან გამომდინარე, “K უახლოესი მეზობლის” ალგორითმში გამოყენებულ იქნა ჰემინგის მანძილი. ამასთან, დიაგნოსტიკების სიზუსტის გასაუმჯობესებლად მოხდა K პარამეტრის მნიშვნელობის შერჩევა და ამ ალგორითმის მოდიფიცირებული ვერსიის გამოყენება შეწონილი ხმების დათვლით.

### საკვანძო სიტყვები:

*სამედიცინო დიაგნოსტიკა, Data mining, K უახლოესი მეზობლის ალგორითმი*

## I. შესავალი

სამედიცინო მეცნიერების განვითარებასთან ერთად მნიშვნელოვანი ხდება ახალი მდგომარეობების შემუშავება. ინფორმაციული ტექნოლოგიების გამოყენება შესაძლებლობას იძლევა მოვახდინოთ დიდი მონაცემების სწრაფი ანალიზი და მის საფუძველზე მივიღოთ სწორი გადაწყვეტილება, რომელიც გავლენას მოახდენს დაავადების პროგნოზირებაზე, მის მიმდინარეობაზე და შედეგებზე. შესაბამის სამედიცინო ინფორმაციულ სისტემებს სამკურნალო-დიაგნოსტიკურ პროცესში გადაწყვეტილების მიღების მხარდაჭერის დანიშნულება აქვთ, მათ შორისაა თანამედროვე სამედიცინო ექსპერტული სისტემები. ეს სისტემები სხვადასხვა ამოცანების გადაწყვეტის საშუალებას იძლევა: დიაგნოზის დასმა, დაავადების რისკების განსაზღვრა, გართულების პროგნოზირება, მკურნალობის შერჩევა, ავადმყოფის მდგომარეობის მონიტორინგი და ა.შ. დღეისათვის მსოფლიოში არსებობს 250-მდე ექსპერტული სისტემა, ზოგი მათგანის გამოყენება შესაძლებელია ონლაინ რეჟიმშიც. ეს სისტემები თავისი მოქნილი ალგორითმების და მომხმარებლისათვის მოსახერხებელი ინტერფეისის წყალობით შესაძლებელია გამოიყენონ დამწყებმა ექიმებმაც.

ბოლო წლებში მედიცინაში ისეთ ინტელექტუალურ სისტემებს ენიჭებათ უპირატესობა, რომლებიც იყენებენ მონაცემთა ინტელექტუალური ანალიზის (Data Mining) მეთოდებს: გადაწყვეტილებების ხეების მეთოდს, „K უახლოესი მეზობლის“ მეთოდს, ასოციაციების ძიების მეთოდს, გენეტიკურ ალგორითმებს და სხვ. [1, 2].

წინამდებარე ნაშრომში შემოთავაზებულია სამედიცინო დიაგნოსტიკების ამოცანის გადაწყვეტა “K უახლოესი მეზობლის” ალგორითმის გამოყენებით. ეს მეთოდი ეფუძნება არსებულ და ახალ მონაცემებს შორის მანძილების გამოთვლას.

## II. ამოცანის დასმა

სამედიცინო დიაგნოსტიკების ამოცანა განეკუთვნება კლასიფიკაციის ამოცანების რიცხვს. გვაქვს სასწავლო ნაკრები - პაციენტები, რომელთაც აქვთ დაავადების გარკვეული

სიმპტომები და თითოეულ მათგანს დასმული აქვს დიაგნოზი, რომელიც წარმოადგენს შესაბამისი კლასის დასახელებას. ჩვენი ამოცანაა ახალ პაციენტს მისი სიმპტომების მიხედვით და სასწავლო ნაკრების ანალიზის საფუძველზე დაუუსვათ სწორი დიაგნოზი, ანუ მივაკუთნოთ ერთ-ერთ კლასს.

საკვლევი ამოცანისათვის შექმნილი ჩვენი მონაცემთა ბაზა შეიცავს I და II ტიპის შაქრიანი დიაბეტის კლინიკურ სურათებს. მონაცემთა ბაზაში საწყისი სამედიცინო ინფორმაცია წარმოდგენილია ბინარულად, მონაცემთა ბაზის თითოეული  $S$  ველი წარმოადგენს დაავადების კონკრეტულ სიმპტომს, ხოლო თითოეული ჩანაწერი – კონკრეტულ პაციენტს. თითოეული ველი მნიშვნელობის სახით შეიცავს ან 1-ს – შესაბამისი სიმპტომი აღენიშნება ავადმყოფს, ან 0-ს – შესაბამისი სიმპტომი არ აღენიშნება ავადმყოფს. დიაგნოზების ჩასაწერად კი გამოყოფილია მონაცემთა ბაზის ორი ველი –  $D_1$ ,  $D_2$ . ანუ, გვაქვს ველების 2 კატეგორია: სიმპტომები (20-მდე ბინარული  $S$  ნიშან-თვისება) და დიაგნოზები ( $D_1$  და  $D_2$  კლასი).

### III. ალგორითმი

დასმული ამოცანის გადასაწყვეტად გამოვიყენეთ “K უახლოესი მეზობლის” ალგორითმი [3]. ზოგადად კლასიფიკაციის ამოცანების ამოხსნისას მონაცემთა ინტელექტუალური ანალიზი წარმოადგენს პროცედურას, რომელიც მონაცემთა სასწავლო ნაკრების საფუძველზე ახდენს კლასიფიკაციური მოდელის ფორმირებას. შემდგომ მონაცემთა სატესტო ნაკრების საფუძველზე ხდება მოდელის სიზუსტის შეფასება. მიღებული მოდელი შეიძლება წარმოდგენილი იყოს კლასიფიკაციური წესის, ან გადაწყვეტილების ხის ანდა მათემატიკური ფორმულის სახით.

“K უახლოესი მეზობლის” მეთოდი ერთადერთი მეთოდი, რომლის დროს არ ხდება კლასიფიკაციური მოდელის აგება. კლასიფიკაცია ხორციელდება უშუალოდ მონაცემთა სასწავლო სიმრავლის გამოყენებით. “K უახლოესი მეზობლის” (K Nearest Neighbours), ან შემოკლებით KNN ალგორითმი ეს არის შედარებით მარტივი ალგორითმი როგორც აღქმის, ასევე რეალიზაციის თვალსაზრისით. “K უახლოესი მეზობლის” ალგორითმს საფუძველად უდევს ობიექტების მსგავსების იდეა. ამ ალგორითმით სასწავლო ნაკრებიდან გამოიყოფა K ობიექტი, რომელიც მსგავსია ახალი ობიექტისა. შემდეგ ეტაპზე ხდება „ხმების დათვლა“ და ახალი ობიექტი მიეკუთვნება იმ კლასს, რომელსაც მიეკუთვნება „უახლოესი მეზობლების“ უმეტესობა. თუ რამოდენიმე კლასმა მიიღო ხმების ტოლი რაოდენობა, ამ შემთხვევაში თითოეულ „ხმას“ მიეწერება წონა, რომელიც შესაბამისი მანძილის უკუპროპორციულია, და ხელახლა ხდება ხმების დათვლა.

მსგავსების ზომა დამოკიდებულია მონაცემების ტიპზე. რეალური მონაცემებისათვის შესაძლებელია გამოყენებული იქნას მანძილის სხვადასხვა მეტრიკები: ევკლიდური მანძილი, მანჰეტენის მანძილი, ჰემინგის მანძილი და სხვ. ჩვენ შემთხვევაში, რადგან ბინარული მონაცემები გვქონდა. გამოვიყენეთ ჰემინგის მანძილი. თუ გვაქვს ორი ობიექტი  $P^r$  და  $P^t$  მათ შორის ჰემინგის მანძილი გამოითვლება შემდეგი ფორმულით:

$$d_h(P^r, P^t) = \sum_{i=1}^n |P^r - P^t| \quad (1)$$

ფაქტობრივად, მანძილი პაციენტებს შორის განსხვავებული სიმპტომების რაოდენობაა.

ორი  $P^r$  და  $P^t$  ობიექტი ჩავთვალოთ „უახლოეს მეზობლად“ თუ:

$$d_h(P^r, P^t) = \min\{d_h(P^r, P^t), \forall r, r = 1, 2, \dots, M, t = 1, 2, \dots, M, r \neq t\} \quad (2)$$

ახალი ობიექტის კლასიფიკაციისათვის უნდა განვახორციელოთ შემდეგი ბიჯები:

1. გამოვთვალოთ მანძილი სასწავლო ნაკრების ყოველი ობიექტიდან ახალ ობიექტამდე;
2. ამოვირჩიოთ  $K$  უახლოესი ობიექტი, ანუ რომლებთანაც მანძილი მინიმალურია;
3. ახალი ობიექტის კლასი განვსაზღვროთ შემდეგნაირად - ის მიეკუთვნება ამორჩეულ  $K$  მეზობლებიდან იმ კლასს, რომელ კლასსაც მიეკუთვნება უმეტესი მათგანი;

ამ ალგორითმისთვის მნიშვნელოვანია  $K$  კოეფიციენტის სწორად შერჩევა.

ამ მეთოდის საილუსტრაციოდ განვიხილოთ შემდეგი მაგალითი: ვთქვათ გვყავს 7 პაციენტი, სიმპტომების რაოდენობა 10, დიაგნოზი ორი. გამოვსახოთ ეს მონაცემები ცხრილის სახით:

სიმპტომები

	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$	$S_6$	$S_7$	$S_7$	$S_9$	$S_{10}$	დიაგნოზი
1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	$D_1$
2	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	$D_1$
3	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	$D_2$
4	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	$D_1$
5	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	$D_2$
6	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	$D_2$
7	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	$D_2$

**ცხრილი 1.** პაციენტების სიმპტომები და დიაგნოზები

სიმარტივისათვის გამოვიკვლიოთ 1 პაციენტი, რომელსაც აღენიშნება შემდეგი სიმპტომები:

$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$	$S_6$	$S_7$	$S_7$	$S_9$	$S_{10}$
1	1	0	1	0	1	0	0	0	0

დავითვალოთ ჰემინგის მანძილი საკვლევ პაციენტსა და დანარჩენ პაციენტებს შორის:

პაციენტები	1	2	3	4	5	6	7
ჰემინგის მანძილები	4	3	5	1	6	8	6

$K=3$  -ისათვის უახლოესი პაციენტები არიან მე-4, მე-2 და პირველი, ამ პაციენტებს ყველას დიაგნოზი აქვთ  $D_1$ , ამიტომ საკვლევ პაციენტის დიაგნოზი იქნება  $D_1$ ,  $K=4$  -ისათვის უახლოესი პაციენტები არიან პირველი, მე-2, მე-3 და მე-4 პაციენტი, აქედან 3 მათგანის დიაგნოზია  $D_1$ , მხოლოდ ერთს აქვს დიაგნოზი  $D_2$ , ამიტომ საკვლევ პაციენტის დიაგნოზი კვლავ იქნება  $D_1$ .

რეალურ ამოცანაში ჩვენ ჩავატარეთ ექსპერიმენტები სხვადასხვა  $K$ -სათვის, ამ ექსპერიმენტებმა აჩვენა რომ  $K=1$ -ისათვის მიღებული შედეგები ნაკლებად სანდოა, უკეთესია თუ ავიღებთ  $K \geq 3$ .

ჩვენ განვიხილეთ აგრეთვე ამ ალგორითმის მცირე მოდიფიკაცია, როდესაც დიაგნოზი ისმება არა ამორჩეული პაციენტების დიაგნოზების სიხშირის მიხედვით, არამედ წონების ჯამის მიხედვით, ანუ გამოვიანგარიშეთ თითოეული დიაგნოზისათვის წონების ჯამი, მაგალითად  $D_1$ -დიაგნოზისათვის:

$$\sum_{i, \text{სადაც გვაქვს } D_1} \omega_i \quad (3)$$

აქ  $\omega_i$  არის წონა, რომელიც საკვლევი პაციენტიდან  $D_1$  დიაგნოზის მქონე  $i$ -ურ პაციენტამდე ჰემინგის მანძილის ტოლია. ამორჩეულ ნაკრებში მე-4 ფორმულით ვითვლით თითოეული დიაგნოზის სასარგებლოდ წონების ჯამს და ბოლოს ვირჩევთ მინიმალურად შეწონილის დიაგნოზს.

ზემოთ განხილულ მაგალითში  $K=3$  -ისათვის, რადგან მხოლოდ  $D_1$  დიაგნოზის მქონე პაციენტებია უახლოესები, აწონილშიც ახალ პაციენტს ექნება  $D_1$  დიაგნოზი.  $K=4$  -ისათვის  $4+3+1=7$   $D_1$  დიაგნოზის სასარგებლოდ და  $5$  -  $D_2$  დიაგნოზის სასარგებლოდ, აქ დიაგნოზი იქნება  $D_2$ .  $K=5$  -ისათვის  $4+3+1=7$   $D_1$  დიაგნოზის სასარგებლოდ და  $5+6=11$   $D_2$  დიაგნოზის სასარგებლოდ, აქ დიაგნოზი კვლავ  $D_1$  იქნება. მაშასადამე აქედანაც ჩანს რომ რეალურ ამოცანებში მნიშვნელოვანია როგორც კრიტერიუმის არჩევა - ვირჩევთ აუწონავი თუ შეწონილი კრიტერიუმით, ასევე მნიშვნელოვანია  $K$ - კოეფიციენტის შერჩევა.

#### IV. დასკვნა

KNN - კლასიფიკაციის ერთ-ერთი მარტივი ალგორითმია, ჩამოვთვალოთ მისი ღირსებები და ნაკლოვანი მხარეები:

დადებით მხარედ შეიძლება ჩაითვალოს შემდეგი:

1. ალგორითმი მდგრადია ანომალურ შემთხვევებთან, რადგან ასეთი ჩანაწერის მოხვედრა  $K$ -უახლოეს მეზობელს შორის ნაკლებალბათურია, ამიტომ კლასიფიკაციის შედეგზე ის გავლენას ვერ მოახდენს;
2. ალგორითმის მუშაობის შედეგის ინტერპრეტაცია ადვილია;
3. ალგორითმის მოდიფიკაცია მეტრიკის შეცვლის შემთხვევაში არ წარმოადგენს სირთულეს;

ალგორითმის ნაკლია:

1. ყოველი ახალი ობიექტის კვლევისას უნდა გამოვიყენოთ მთელი სასწავლო ნაკრები;
2.  $K$  პარამეტრის ან/და მეტრიკის შეცვლა გავლენას ახდენს კლასიფიკაციის შედეგებზე.

რაც შეეხება ალგორითმის დროით სირთულეს, ალგორითმი პოლინომიალური დროითი სირთულით ხასიათდება. კერძოდ, თუ სასწავლო ნაკრებში  $N$  ობიექტია, ხოლო  $M$  სატესტო ამონაკრების რაოდენობა,  $K$  არის კრიტერიუმის ამორჩევის რაოდენობა, მაშინ KNN ალგორითმის დროითი სირთულე შეიძლება შევაფასოთ როგორც  $O(K*M*N)$  რიგის.

## **Solving the problem of medical diagnostics using the "K nearest neighbors" algorithm**

*Natela Ananiashvili, Maia Mikeladze*

### **Summary**

The problem of medical diagnostics of several endocrinological diseases is considered. To solve the diagnostic problem, one of the Data Mining methods is used - the "K nearest neighbors" method. Due to the qualitative nature of the clinical data of endocrinological diseases, the Hamming distance was used in the "K-nearest neighbors" algorithm. To improve the diagnostic accuracy, the K parameter value was selected and a modified version of this algorithm with weighted voting was applied.

## **Решение проблемы медицинской диагностики с помощью алгоритма «К ближайших соседей»**

*Натела Ананиашвили, Майя Микеладзе*

### **Резюме**

Рассмотрена задача медицинской диагностики нескольких эндокринологических заболеваний. Для решения диагностической задачи используется один из методов Data Mining - метод «К ближайших соседей». Ввиду качественного характера клинических данных эндокринологических заболеваний в алгоритме «К ближайших соседей» использовалось расстояние Хемминга. Для повышения точности диагностики был осуществлен подбор значения параметра К и применена модифицированная версия этого алгоритма со взвешенным голосованием.

## **ლიტერატურა – References – Литература**

1. Макаренко С. И., Интеллектуальные информационные системы, Учебное пособие, Ставрополь, СФ МГГУ им. М. А. Шолохова, 2009
2. მიქელაძე მ., რაძიევსკი ვ., ჯალაბოვა ნ., ანანიაშვილი ნ., რაძიევსკი დ. სამედიცინო ინტელექტუალური მხარდაჭერი სისტემის შემუშავება ასოციაციების ძიების საფუძველზე, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის აელაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული №23, თბ, 2019, გვ. 136-141.
3. *k*-nearest neighbors algorithm  
[https://en.wikipedia.org/wiki/K-nearest\\_neighbors\\_algorithm](https://en.wikipedia.org/wiki/K-nearest_neighbors_algorithm)

---

## Применение деревьев решений в задаче дифференциальной диагностики форм сахарного диабета

Майя Микеладзе, Вадим Радзиевский

mikeladzemaia@yahoo.com, v\_radzievski@yahoo.com

### Резюме

Рассматривается задача дифференциальной диагностики форм сахарного диабета. Для решения этой задачи применяется один из методов интеллектуального анализа данных – метод деревьев решений. Деревья решений широко используются для задач медицинского диагностирования, что обусловлено такими их достоинствами, как: интерпретируемость классификационных правил; возможность работы как с числовыми, так и с категориальными данными; возможность автоматического отбора существенных признаков; быстрый процесс обучения; достаточно высокая точность классификационной модели. В данной работе при построении диагностического дерева решений, в качестве критерия разбиения предложено использовать эвристический критерий информативности признака. Сравнение полученного дерева с деревом, построенным с использованием индекса Gini, показало, что многие фрагменты деревьев идентичны, хотя глубина у дерева с критерием информативности меньше, чем у дерева с индексом Gini. При этом оба дерева показали идентичную и достаточно высокую точность диагностирования на тестовой выборке, что указывает на определенное преимущество предложенного критерия разбиения.

### Ключевые слова:

*медицинская диагностика, деревья решений, критерий разбиения, информативность признака*

### I. ВВЕДЕНИЕ

На современной стадии развития общества информационно-коммуникационные технологии широко используются в различных сферах деятельности человека. Одной из этих сфер является медицина, где все более активно используются различные медицинские информационные системы: системы поддержки принятия медицинских решений (Clinical Decision Support System – CDSS); электронные медицинские записи о пациентах (Electronic Health Record - EHR); данные медицинских исследований в цифровой форме - лабораторные информационные системы (Laboratory Information Management Systems - LIMS), радиологические информационные системы (Radiology Information System - RIS), системы сохранения медицинских изображений (Picture Archiving and Communication System - PACS); системы биомониторинга; аптечные информационные системы (Pharmacy Information System (PIS); системы, обеспечивающие общение между соратниками и поддержку финансово-административных функций в лечебном учреждении. В совокупности они могут реализовывать комплексную медицинскую информационную систему лечебного учреждения.

Что касается систем поддержки принятия медицинских решений (CDSS) – это интеллектуальные информационные системы, предназначенные для расширения возможностей врачей в сложном процессе принятия решения на разных этапах лечения. Как правило, база знаний такой системы содержит экспертные знания, накопленные в конкретной сфере медицины, на основе которых система и выдает клинические рекомендации. Хотя, в последнее время, при разработке CDSS все чаще используются технологии Data Mining, позволяющие выявлять скрытые знания и закономерности из больших массивов клинических данных. Особенно эта тенденция прослеживается при разработке диагностических CDSS.

В данной работе рассматривается задача медицинской диагностики, для решения которой применяется один из методов Data Mining – метод деревьев решений. При построении диагностического дерева решений, в качестве критерия разбиения предлагается использовать

эвристический критерий информативности признака, который успешно выявляет существенные диагностические признаки и обеспечивает достаточно высокую точность диагностирования.

## II. ЗАДАЧА МЕДИЦИНСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

Задача медицинской диагностики представляет собой задачу классификации и заключается в отнесении состояния пациента к конкретному заболеванию (классу) на основе симптомов и результатов обследований.

Большое количество симптомов, которые необходимо учитывать, вынуждает врача разделить эти симптомы на категории. Для каждого конкретного заболевания, по диагностической значимости различают специфические, неспецифические и патогномоничные симптомы [1].

Диагностика заболевания обычно основана на выявлении синдрома заболевания - стойкого сочетания специфических и неспецифических симптомов, которые представляют характерную картину болезни. На первом этапе диагностирования врач ставит предварительный диагноз, точнее, несколько вероятных диагнозов с соответствующей оценкой „вероятности“. Исходя из предварительного диагноза, врач планирует комплекс инструментально-лабораторных обследований, результаты которого позволят поставить окончательный диагноз. Для постановки правильного диагноза также необходимо провести дифференциальную диагностику - это метод диагностики, который исключает заболевания со сходными картинами проявления, не подходящие по каким-либо симптомам, что в конечном счёте должно свести диагноз к единственно вероятной болезни. Симптом, по которому происходит исключение сходного заболевания, называется дифференциальным симптомом.

Как уже было сказано, задача медицинской диагностики представляет собой задачу классификации. В этом случае применяется сценарий обучения с учителем: набор исходных клинических данных разбивается на два множества - обучающее и тестовое. На основе обучающего множества строится классификационная модель, а тестовое множество используется для оценки точности модели. Полученная модель может быть представлена классификационными правилами, деревом решений или математической формулой. Очевидно, что классификационная модель, построенная для задачи бинарной классификации на основе клинических данных двух сходных заболеваний, позволит осуществить дифференциальную диагностику этих заболеваний. Существует множество методов Data Mining, предназначенных для решения задачи классификации. В данной работе рассматривается метод деревьев решений.

## III. МЕТОД ДЕРЕВЬЕВ РЕШЕНИЙ

Метод деревьев решений является одним из наиболее часто используемых методов в задачах классификации. Этот метод позволяет представить правила классификации в виде иерархического дерева, каждый узел которого проверяет один атрибут (признак). В зависимости от результата проверки будет осуществлен переход в один из узлов следующего уровня, а затем будет проверено условие, связанное с этим узлом. Процесс проверки продолжается до самого нижнего уровня, узлам которого приписаны имена классов. Существует множество алгоритмов построения деревьев решений, например, ID3, CART, C4.5 [2].

Достоинства деревьев решений:

- интерпретируемость классификационных правил;
- возможность работы как с числовыми, так и с категориальными данными;
- возможность автоматического отбора существенных признаков;
- быстрый процесс обучения;
- достаточно высокая точность классификационной модели.

Следует также отметить, что деревья решений дают полезные результаты только в случае, если независимых признаков. Кроме того, построение деревьев решений затрудно при очень большом объеме исходной информации.

Когда объекты описываются качественными признаками, для решения задачи классификации используют бинарные деревья решений (рис. 1). В этом случае из каждого узла выходят только 2 ветви: левая - соответствующая выполнению условия, размещенного в узле, и правая - соответствующая невыполнению условия. В случае медицинских данных в качестве атрибутов выступают симптомы, а условие проверяет, имеется ли у пациента соответствующий симптом.

Для построения бинарных деревьев решений используется алгоритм *CART*. На каждом шаге этого алгоритма в узле дерева размещается атрибут (признак), обеспечивающий наилучшее

разбиение обучающей выборки. Деление считается наилучшим, если в левой части узла большинство объектов принадлежат одному классу, а в правой части - второму классу.

Для оценки качества разбиения в алгоритме CART используется индекс *Gini* [3]:

$$Gini(T) = 1 - \sum_{i=1}^n p_i^2,$$

где  $T$  – обучающая выборка,  $n$  – количество классов,  $p_i$  – вероятность  $i$ -го класса в выборке  $T$ .

Качество разбиения выборки  $T$  на два множества  $T_1$  и  $T_2$  оценивается по формуле:

$$Gini_{split}(T) = \frac{N_1}{N} Gini(T_1) + \frac{N_2}{N} Gini(T_2),$$

где  $N_1$  и  $N_2$  – количество объектов во множествах  $T_1$  и  $T_2$  соответственно,  $N = N_1 + N_2$  – количество объектов в выборке  $T$ . Наилучшим разбиением выборки  $T$  будет считаться разбиение, на котором достигается минимум индекса  $Gini_{split}(T)$ .

Для узла бинарного дерева индекс *Gini* примет следующий вид [3]:

$$Gini_{split} = \frac{L}{N} \left[ 1 - \sum_{i=1}^n \left( \frac{l_i}{L} \right)^2 \right] + \frac{R}{N} \left[ 1 - \sum_{i=1}^n \left( \frac{r_i}{R} \right)^2 \right] \rightarrow \min,$$

где  $L$  и  $R$  – количество объектов в левом и правом потомке узла соответственно ( $L + R = N$ ), а  $l_i$  и  $r_i$  – количество объектов  $i$ -го класса в левом и правом потомке узла соответственно,  $i = 1 \dots n$ .

В результате упрощения формулы критерий оценки качества разбиения окончательно будет выглядеть так [3]:

$$\tilde{G}_{split} = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^n l_i^2 + \frac{1}{R} \sum_{i=1}^n r_i^2 \rightarrow \max.$$

Реже в алгоритме CART используются другие критерии разбиения: Twoing, Symmetric Gini и др.

В данной работе при построении диагностического дерева решений, в качестве критерия разбиения предлагается использовать эвристический критерий информативности признака в том виде, в каком он определен в работе [4]:

$$I(x_i) = \sqrt{P(x_i) \cdot D(x_i)}, \quad i = 1, \dots, k,$$

где

$$P(x_i) = \frac{p_c(x_i)}{P_c}, \quad D(x_i) = 1 - \frac{n_c(x_i)}{N_c},$$

$P_c$  – количество объектов в выборке, принадлежащих классу  $c$ ;

$N_c$  – количество объектов в выборке, принадлежащих остальным классам;

$p_c(x_i)$  – количество объектов в выборке, принадлежащих классу  $c$ , для которых выполняется условие  $x_i = 1$ ;

$n_c(x_i)$  – количество объектов в выборке, принадлежащих остальным классам, для которых выполняется условие  $x_i = 1$ .

Очевидно, симптом (признак)  $x$  характеризуется высокой информативностью по отношению к классу  $c$ , если он наблюдается у большинства пациентов класса  $c$  и почти не встречается у пациентов из других классов. Ясно, что информативность признака удовлетворяет условию, обеспечивающему выбор наилучшего разбиения выборки.

Запишем формулу информативности для случая двух классов в обозначениях алгоритма *Cart*:

$$P_1(x) = \frac{l_1}{l_1 + r_1}, \quad D_1(x) = \frac{r_2}{l_2 + r_2}, \quad I_1 = \sqrt{\frac{l_1 \cdot r_2}{(l_1 + r_1) \cdot (l_2 + r_2)}} \rightarrow \max$$

$$P_2(x) = \frac{l_2}{l_2 + r_2}, \quad D_2(x) = \frac{r_1}{l_1 + r_1}, \quad I_2 = \sqrt{\frac{l_2 \cdot r_1}{(l_1 + r_1) \cdot (l_2 + r_2)}} \rightarrow \max$$

С точки зрения вычислений, формула информативности сравнительно проще индекса *Gini*.



IV. БИНАРНЫЕ ДЕРЕВЬЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ ФОРМ САХАРНОГО ДИАБЕТА

Практическая реализация алгоритма *CART* была осуществлена для решения задачи дифференциальной диагностики форм сахарного диабета – диабета I и II типа. Как было выше отмечено, дерево решений для бинарной классификации, где в качестве классов выступают два сходных заболевания, фактически решает задачу дифференциальной диагностики этих заболеваний. При этом признаком адекватности (с медицинской точки зрения) полученного диагностического дерева является наличие в узлах дерева специфических и, особенно, дифференциальных симптомов заболевания. Из всех симптомов, могущих описать состояние пациента, были выбраны 20 симптомов, включающих в себя 9 неспецифических и 11 специфических симптомов, из них 5 дифференциальных симптомов. Клинические данные содержали данные 60 пациентов с диагнозом диабета I и 40 пациентов с диагнозом диабета II. С учетом качественного характера симптомов были построены бинарные деревья решений с использованием как индекса *Gini*, так и критерия информативности, и проведен сравнительный анализ полученных результатов.

Как оказалось, при малых объемах обучающей выборки оба критерия разбиения дают идентичные деревья решений. В случае обучающей выборки большого объема, деревья решений, построенные по разным критериям, содержали как идентичные, так и различные фрагменты. В то же время дерево, построенное по критерию информативности, содержало меньше уровней (рис.1,2).

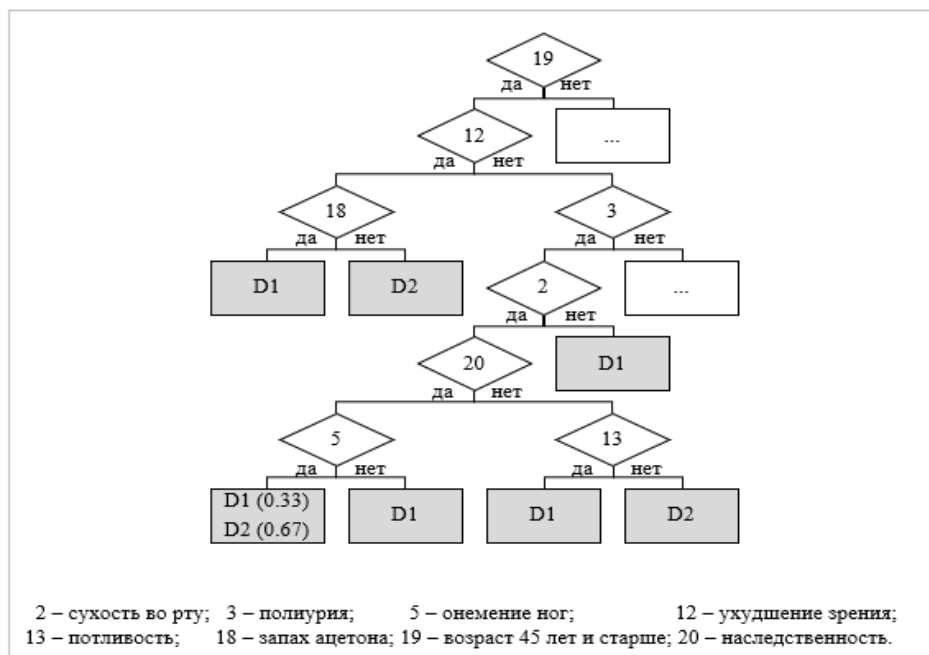


Рис. 1. Классификационное дерево решений для диабета I и II типа, построенное на основе критерия информативности.

В обоих случаях были выделены одни и те же симптомы: 4 симптома из 9 неспецифических, 9 симптомов из 11 специфических, в том числе 4 симптома из 5 дифференциальных, что указывает на адекватность полученных результатов с медицинской точки зрения. В то же время, при проверке точности классификации на тестовой выборке оба дерева дали идентичную и довольно высокую точность - 83%. Все это указывает на определенное преимущество нашего критерия.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Деревья решений успешно используются для решения задач медицинского диагностирования. Основные достоинства деревьев решений - интерпретируемость классификационных правил; возможность работы как с числовыми, так и с категориальными

данными; возможность автоматического отбора существенных признаков; быстрый процесс обучения; достаточно высокая точность классификационной модели.

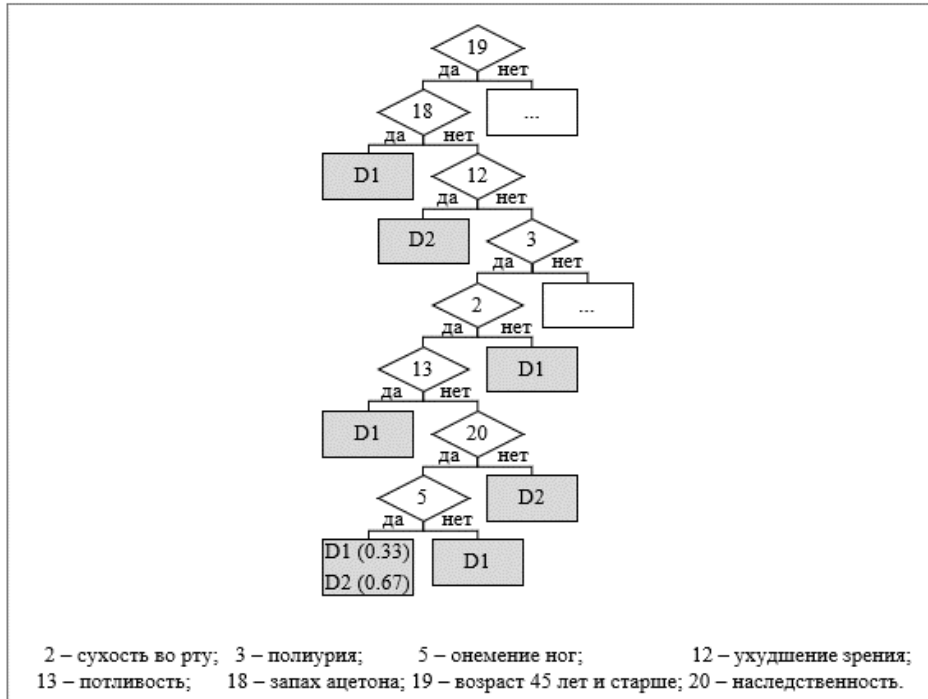


Рис. 2. Классификационное дерево решений для диабета I и II типа, построенное на основе индекса Gini.

Задача дифференциальной диагностики фактически является задачей бинарной классификации, где в качестве классов выступают два сходных заболевания. С учетом качественного характера симптомов, с данной задачей успешно справляется алгоритм *CART*, предназначенный для построения бинарных деревьев решений.

Одной из важных характеристик алгоритмов построения деревьев решений является критерий разбиения. В данной работе в качестве критерия разбиения предложено использовать критерий информативности признака. Сравнение результатов построения бинарных деревьев с использованием как индекса Gini, так и критерия информативности показало, что многие фрагменты деревьев идентичны и содержат большинство специфических и дифференциальных симптомов, хотя глубина у дерева с критерием информативности меньше, чем у дерева с индексом Gini. При этом оба дерева показали идентичную и достаточно высокую точность диагностирования на тестовой выборке, что указывает на определенное преимущество предложенного критерия разбиения.

### გადაწყვეტილების ხეების გამოყენება შაქრიანი დიაბეტის ფორმების დიფერენციალური დიაგნოსტიკის ამოცანის გადასაჭრელად

*მაია მიქელაძე, ვადიმ რაძიევსკი*

#### რეზიუმე

განიხილება შაქრიანი დიაბეტის ფორმების დიფერენციალური დიაგნოსტიკის პრობლემა. ამ პრობლემის გადასაჭრელად გამოიყენება მონაცემთა ინტელექტუალური ანალიზის ერთ-ერთი მეთოდი - გადაწყვეტილების ხეების მეთოდი. გადაწყვეტილების ხეები ფართოდ გამოიყენება სამედიცინო დიაგნოსტიკის პრობლემების გადასაჭრელად, რაც გამოწვეულია ისეთი უპირატესობებით, როგორცაა: კლასიფიკაციის წესების ინტერპრეტაციის შესაძლებლობა; როგორც რიცხვით, ისე თვისობრივ მონაცემებთან

მუშაობის შესაძლებლობა; არსებითი ნიშან-თვისებების ავტომატური შერჩევის შესაძლებლობა; სწავლების სწრაფი პროცესი; კლასიფიკაციური მოდელის საკმაოდ მაღალი სიზუსტე. ამ ნაშრომში, დიაგნოსტიკური გადაწყვეტილების ხის აგებისას, დაყოფის კრიტერიუმად შემოთავაზებულია ნიშან-თვისების ინფორმატიულობის ევრისტიკული კრიტერიუმის გამოყენება. მიღებული ხის შედარებამ Gini-ს ინდექსის გამოყენებით აშენებულ ხესთან აჩვენა, რომ ხეების მრავალი ფრაგმენტი იდენტურია, თუმცა ინფორმატიულობის კრიტერიუმით აგებული ხის სიღრმე ნაკლებია, ვიდრე Gini-ს ინდექსით აგებული ხის. ამასთან, სატესტო ამონაკრეფზე ორივე ხემ გამოავლინა დიაგნოსტიკების იდენტური და საკმაოდ მაღალი სიზუსტე. ყოველივე ეს მიუთითებს შემოთავაზებული დაყოფის კრიტერიუმის გარკვეულ უპირატესობაზე.

## **Application of Decision Trees in the Problem of Differential Diagnosis of Diabetes Mellitus Forms**

*Maia Mikeladze, Vadim Radziewski*

### **Summary**

The problem of differential diagnosis of diabetes mellitus forms is considered. To solve this problem, one of the Data Mining methods is used - the decision trees method. Decision trees are widely used for problems of medical diagnostics, due to such advantages as: interpretability of classification rules; the ability to work with both numerical and categorical data; the ability to automatically select essential features; fast learning process; sufficiently high accuracy of the classification model. In this paper, when constructing a diagnostic decision tree, it is proposed to use a heuristic criterion of the informativeness of a feature as a splitting criterion. Comparison of the resulting tree with the tree built using the Gini Index showed that many tree fragments are identical, although the depth of the tree with the informativeness criterion is less than that of the tree with the Gini Index. Moreover, both trees showed identical and sufficiently high diagnostic accuracy on the test sample, which indicates a certain advantage of the proposed splitting criterion.

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

1. მ. მიქელაძე, ვ. რაძიევსკი, ნ. ჯალიაბოვა, ნ. ანანიაშვილი, დ. რაძიევსკი. სამედიცინო ინტელექტუალური მხარდამჭერი სისტემის შემუშავება ასოციაციების ძიების საფუძველზე. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ა. ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული №23, თბ, 2019, გვ. 136-141.
2. М. Микеладзе, В. Радзиевский, Г. Бесиашвили, Н. Джалябова, П. Карчава, Д. Радзиевский. Задачи, методы и системы интеллектуального анализа данных в медицине. Юбилейная сессия, посвященная 60-летию Института систем управления. Сборник трудов Института систем управления А.Элиашвили Грузинского технического университета №20., Тб., 2016, с. 45-52.
3. Андреев И.М. Описание алгоритма CART. Exponenta Pro. Математика в приложениях. №3-4, 2004, стр.48-53.
4. М. Микеладзе, В. Радзиевский, Н. Джалябова, Г. Бесиашвили, П. Карчава, Д. Радзиевский. Применение методов Machine Learning и Data Mining в задачах анализа медицинских данных и построения систем поддержки принятия решений. Международная научно-техническая конференция „Информационное общество и технологии интенсификации образования“ (ISITE'18), Сборник трудов Грузинского технического университета „Автоматизированные системы управления“ №2(26), Тб., 2018, с. 222-228.

---

## Интеллектуальная диагностическая подсистема поддержки принятия врачебного решения

Дмитрий Радзиевский

*dradzievski@gmail.com*

### Резюме

Предложена и практически реализована интеллектуальная диагностическая подсистема для интеллектуальной системы поддержки принятия врачебного решения. Для решения задачи медицинского диагностирования используется метод поиска ассоциаций. Дается описание построения базы данных, используемой для интеллектуального анализа данных (Data Mining). Данная идея построения базы данных позволяет создавать относительно универсальную программу, которая может быть использована во многих системах поддержки принятия решения. Небольшие технические изменения базы данных и самого текста программы позволяет доработать программу для диагностики требуемых заболеваний. Приводится краткое описание работы подсистемы. Объясняется принцип, позволяющий подсистеме вырабатывать решение, связанное с постановкой диагноза пациента.

### Ключевые слова:

*Система поддержки принятия решений, база данных, диагностика.*

В последние годы информационно-коммуникационные технологии все более активно используются в медицине. Это касается не только компьютерной и электронной медицинской техники, но и различных медицинских информационных систем. Особенное внимание уделяется системам поддержки принятия врачебного решения (Clinical Decision Support System – CDSS), в частности, интеллектуальным системам медицинской диагностики.

Как и любая интеллектуальная система, CDSS работает в двух режимах: в режиме приобретения знаний и в режиме решения задач. В режиме приобретения знаний база знаний интеллектуальной системы заполняется экспертными знаниями, которые позволяют ей в режиме решения самостоятельно решать задачи из области экспертизы. При разработке CDSS также используются технологии Data Mining, позволяющие выявлять скрытые знания и закономерности в больших массивах клинических данных. Для получения этих знаний используются различные методы: метод поиска ассоциаций, метод деревьев решений и др. [1-3]. В режиме решения задач осуществляется процесс диагностирования, при котором данные о задаче пользователя поступают в интеллектуальную систему, которая, в свою очередь, выдает соответствующее диагностическое решение.

В этой статье будет рассмотрена практическая реализация интеллектуальной диагностической подсистемы для интеллектуальной системы поддержки принятия врачебного решения. Для решения задачи медицинского диагностирования используется метод поиска ассоциаций, модифицированный для решения задачи медицинского диагностирования [1].

В результате обработки клинических данных этим методом мы получаем наборы признаков следующего типа:

$$S_{i_1} S_{i_2} \dots S_{i_k} D_j ,$$

где  $S_{i_1} S_{i_2} \dots S_{i_k}$  – симптомы, часто встречающиеся при диагнозе  $D_j$ . На основе этих наборов формируются ассоциативные правила, которые имеют вид:

$$(S_{i_1} S_{i_2} \dots S_{i_k} \rightarrow D_j) - \text{“если имеются симптомы } S_{i_1} S_{i_2} \dots S_{i_k}, \text{ тогда ставится диагноз } D_j\text{”}.$$

Эти правила вносятся в базу знаний интеллектуальной диагностической подсистемы для осуществления процесса диагностирования. В качестве степени уверенности в диагнозе, поставленном по данному правилу, можно рассматривать достоверность этого правила:

$$Conf(S_{i_1} S_{i_2} \dots S_{i_k} \rightarrow D_j) = P(D_j | S_{i_1} S_{i_2} \dots S_{i_k})$$

Таким образом мы используем продукционную модель представления знаний, точнее, схему Шортлиффа для учета нечеткости, неопределенности и неполноты данных и знаний [4]. Как было выше сказано, в качестве коэффициента уверенности продукции мы берем достоверность соответствующего ассоциативного правила, а в качестве коэффициента уверенности факта – вероятностную интерпретацию степени выраженности симптома, которую задаёт врач.

В системе производится диагностика четырёх заболеваний, связанных с нарушением эндокринной системы человека, а именно, сахарного диабета первого и второго типа, и двух типов нарушения деятельности щитовидной железы – гипертиреоза и гипотиреоза.

Опишем интерфейс и примерный сценарий работы диагностической подсистемы. Программа работает в режиме диалога с пользователем. Пользователю последовательно задаётся вопрос относительно наличия или отсутствия у больного конкретного симптома. При ответе *да* (*დიახ*), пользователю предлагается ввести коэффициент уверенности, с которым он отвечает на данный вопрос. После ввода коэффициента уверенности, ответ пользователя со своим коэффициентом уверенности выводится на экран. При ответе *нет* (*არა*) выводится следующий вопрос. И так до тех пор, пока не наберётся достаточное количество присутствующих симптомов для постановки диагноза. На основании введённых пользователем симптомов ставится вероятностный диагноз. В случае, если информация, введённая пользователем, окажется недостаточной для постановки диагноза, выдаётся сообщение, что диагноз поставлен быть не может из-за недостаточного количества данных.

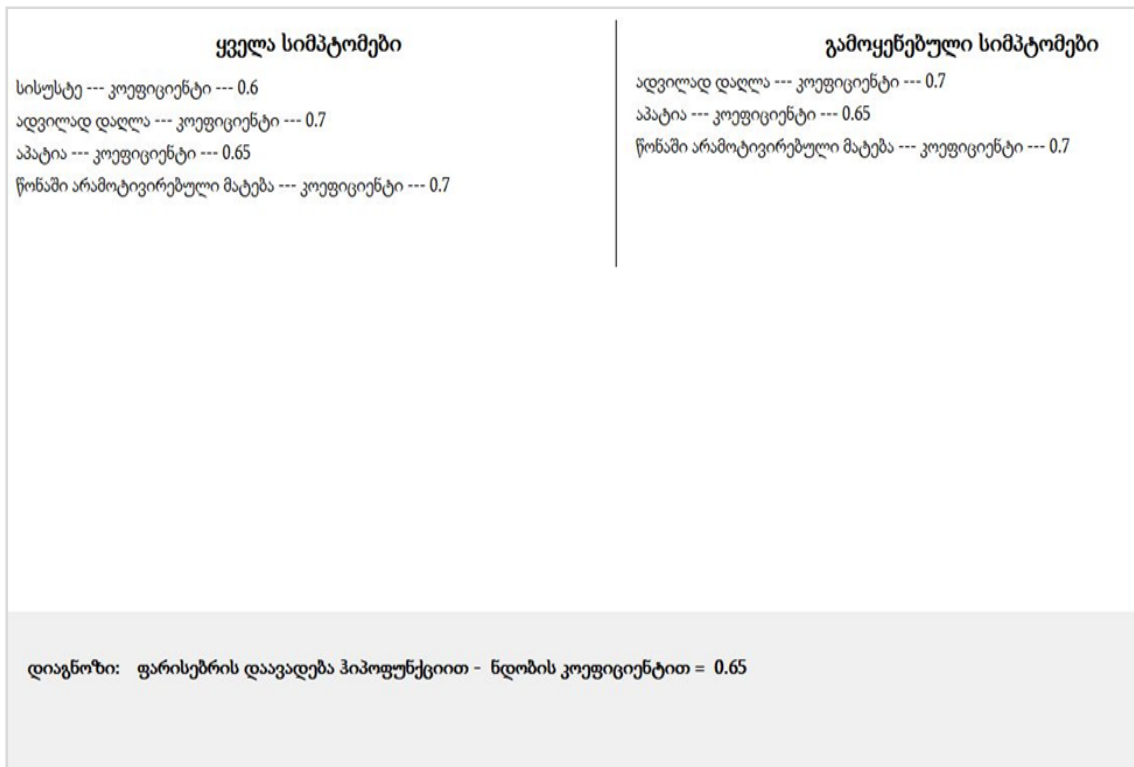


Рис. 1

На рис. 1 показан снимок экрана программы, который отображается уже после ввода симптомов. В левой части отображены все введённые пользователем симптомы. А в правой – симптомы, которые используются программой для постановки диагноза. Такое разделение обусловлено тем, что некоторые из симптомов пациента оказались не характерными для заболевания, выявленного у пациента. Однако врачу предоставляется возможность видеть, как

всю совокупность симптомов пациента, так и только симптомы, связанные с выявленным заболеванием. Это позволяет врачу больше сконцентрироваться на симптомах, связанных с данным заболеванием пациента и тем самым разработанная программа поможет лучше продиагностировать пациента. В нижней части рисунка отображается диагноз, поставленный данной программой с некоторой степенью уверенности. В данном случае, степень уверенности в диагнозе равна 0,65.

Программа написана на языке C++ Builder 10 Seattle с использованием базы данных Access. Разработанная конструкция базы данных позволила создать упомянутую выше универсальную программу. База данных состоит из двух таблиц – таблица *symptoms* и таблица *Names*. В таблице *symptoms* имена полей являются симптомами исследуемых заболеваний, представленных на грузинском языке и написанных латинскими буквами. Например, *daghiloba* – დაღლილობა – усталость. Латинские буквы в именах полей обязательны. Помимо симптомов заболеваний, имеется имя поля *diagnosis* (диагноз). В это поле записываются все рассматриваемые в программе диагнозы. В поля же симптомов записываются единицы или нули в зависимости от присутствия или отсутствия данного симптома при данном заболевании. Таким образом, в таблице *symptoms* получается двумерная структура, которая и обеспечивает универсальность разработанной программы. Помимо этого, в таблице *symptoms* имеется ещё и поле *confid*, в котором записаны значения степеней уверенности диагноза по наличию у пациента данных симптомов.

Таблица *Names* служит неким словарём. В ней имеются поля *fldnames* и *Nnames*. В поля *fldnames* записываются имена полей из таблицы *symptoms*, а в поля *Nnames* записываются их грузинские названия (рис. 2). В программе имеется функция, которая, используя эту таблицу базы

fldnames	Nnames
sqesi	სქესი
2 asaki	ასაკი
3 sisuste	სისუსტე
4 daghiloba	დაღლილობა
5 advilad_daghla	ადვილად დაღლა
6 shenelebuloba	შენეღებულობა
7 oflianoba	ოფლიანობა
8 shemcivneba	შემცივნება
9 alebi	ალები
10 gulis_tsasvla	გულის წასვლა
11 subfebriliteti	სუბფებრილიტეტი
12 febriliteti	ფებრილიტეტი
13 mada_normaluri	მადა ნორმალური
14 mada_daqveitebuli	მადა დაქვეითებული
15 mada_gadzlierebuli	მადა გაძლიერებული
16 tkivili_mucelshi	ტკივილი მუცელში
17 gulis_reva	გულისრევა
18 ghebineba	ღებინება
19 boyini	ბოყინი
20 meteorizmi	მეტეორიზმი
21 diarea	დიარეა
22 kqabzoba	ყაზობა
simdzime_kuchis_areshe	სიმძიმე კუჭის არეშე

Рис. 2

данных, ставит в соответствие названия полей и грузинские названия симптомов. Эти названия симптомов используются в выводе вопросов, предложенных пользователю, а также в выводе симптомов и в постановке диагноза (рис. 1).

Принцип работы программы основан на использовании упомянутой выше базы данных. В таблицу *diagnosis*, как было упомянуто выше, были введены значения 0 или 1 для каждого симптома. В каждой строчке может храниться информация только об одном заболевании. Тогда как, информация об одном заболевании может занимать не только одну, а две, три и более строчек. Допустим, что для первого заболевания в таблице *symptoms* имеется 3 строчки, для второго – 4, для третьего – 5, а для четвёртого – 6. Тогда мы начинаем двигаться с первой строчки. Выводим первый симптом заболевания, у которого для этой первой строчки значение равно 1. Далее программа задаёт пользователю вопрос, имеется ли этот симптом. В случае

утвердительного ответа программа выводит следующий симптом из первой строки, значение которого равно 1. При дальнейшем утвердительном ответе переходит на следующий симптом из этой строки, значение которого равно 1 и так далее до окончания этой строки таблицы. Если перехода на следующую строку не было, то устанавливается приблизительный диагноз из этой первой строки таблицы с коэффициентом уверенности, о котором речь пойдёт далее. В случае же отрицательного ответа пользователя относительно наличия у него очередного симптома, осуществляется переход на следующую строку таблицы и всё повторяется снова. При достижении конца строки, устанавливается диагноз, записанный в этой строке. Иначе производится переход на следующую строку до достижения конца всей таблицы. Если же отрицательный ответ пользователя будет и на последней строке таблицы, то переход на следующую строку таблицы уже будет невозможен. В этом случае происходит завершение программы с сообщением, что программе не достаёт данных для диагностики данного заболевания, о чём было сказано выше.

Коэффициент уверенности диагноза вычисляется как произведение коэффициента уверенности правила и коэффициента уверенности предпосылки. Коэффициент уверенности правила вычисляется в программе, рассмотренной в [1] и записывается в базу данных в таблицу *symptoms* в поле *confid*. Коэффициент уверенности предпосылки есть минимальное значение из введённых пользователем коэффициентов уверенности в объективном существовании данного признака.

Разработанная программа является универсальной, поскольку может использоваться в интеллектуальных системах диагностики любых заболеваний, причём для неё не имеет значение количество заболеваний. Количество диагностируемых заболеваний зависит только от базы данных, включённой в программу. В данном случае программа используется для диагностики четырёх заболеваний.

Помимо медицины, разработанная программа с небольшими доработками может быть использована во многих других интеллектуальных системах поддержки принятия решений, таких как техническая диагностика, в экономике и во многих других областях, в которых может быть использована интеллектуальная система поддержки принятия решений.

## სამედიცინო გადაწყვეტილების მიღების მხარდაჭერისთვის განკუთვნილი ინტელექტუალური დიაგნოსტიკური ქვესისტემა

დimitრი რადიევსკი

რეზიუმე

შემოთავაზებულია და პრაქტიკულად განხორციელებულია ინტელექტუალური დიაგნოსტიკური ქვესისტემა სამედიცინო გადაწყვეტილების მიღების მხარდაჭერი ინტელექტუალური სისტემისთვის. სამედიცინო დიაგნოსტიკის პრობლემის გადასაჭრელად გამოიყენება ასოციაციების ძიების მეთოდი. მოცემულია მონაცემთა ბაზის აგების აღწერა, რომელიც გამოიყენება მონაცემთა ინტელექტუალური ანალიზისთვის (Data Mining). მონაცემთა ბაზის შექმნის ეს იდეა შედარებით უნივერსალური პროგრამის შექმნის საშუალებას იძლევა, რომელიც შეიძლება გამოიყენებულ იქნას გადაწყვეტილების მხარდაჭერ მრავალ სისტემაში. მონაცემთა ბაზასა და პროგრამის ტექსტში მცირე ტექნიკური ცვლილებების ხარჯზე შესაძლებელია პროგრამის დახვეწა საჭირო დაავადებების დიაგნოსტიკის მიზნით. მოცემულია ქვესისტემის მუშაობის მოკლე აღწერა. განმარტებულია პრინციპი, რომელიც საშუალებას აძლევს ქვესისტემას შეიმუშაოს პაციენტის დიაგნოზთან დაკავშირებული გადაწყვეტილება.

**Intelligent Diagnostic Subsystem to Support Clinical Decision Making**

*Dimitri Radziewski*

**Summary**

The diagnostic part of the program of the intelligent medical decision support system is considered. A description of the construction of the database used in the program is given. This idea of building a database allows you to create a relatively universal program that can be used in many decision support systems. Minor technical changes to the database and the text of the program itself allow you to refine the program for diagnosing the required diseases. A brief description of how the program works is given. Explains the principle that allows the program to develop a decision related to the diagnosis of a patient.

**ლიტერატურა – References – Литература**

1. მიქელაძე მ., რაძიევსკი ვ., ჯალიაბოვა ნ., ანანიაშვილი ნ., რაძიევსკი დ. სამედიცინო ინტელექტუალური მხარდამჭერი სისტემის შემუშავება ასოციაციების ძიების საფუძველზე. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის არჩილ ელიაშვილის სახელობის მართვის სისტემების ინსტიტუტი შრომათა კრებული. №23, თბ, 2019 წ. გვ. 136 – 141.
2. რაძიევსკი ვ., მიქელაძე მ., ჯალიაბოვა ნ., რაძიევსკი დ. გადაწყვეტილების ბინარული ხის გამოყენება სამედიცინო დიაგნოსტიკის ამოცანაში. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის არჩილ ელიაშვილის სახელობის მართვის სისტემების ინსტიტუტი შრომათა კრებული. №22, თბ, 2018 წ. გვ. 151 – 156.
3. რაძიევსკი ვ., მიქელაძე მ., რაძიევსკი დ., ოკონიანი ი. სამედიცინო დიაგნოსტიკის არაფორმალური ამოცანები და მათი ამოხსნის მეთოდები. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის არჩილ ელიაშვილის სახელობის მართვის სისტემების ინსტიტუტი შრომათა კრებული. №23, თბ, 2019 წ. გვ. 148 – 151.
4. მიქელაძე მ., რაძიევსკი ვ., ჯალიაბოვა ნ., რაძიევსკი დ. ცოდნის ორგანიზება ინტელექტუალურ საინფორმაციო სისტემებში დიაგნოსტიკის არაფორმალური ამოცანების გადაწყვეტისას. ვახტანგ გომელაურისა და არჩილ ელიაშვილის ხსოვნისადმი მიძღვნილი საიუბილეო სესია “ენერგეტიკა და მართვის პროცესები”, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის არჩილ ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული №18, თბ, 2014, გვ. 50-56.



---

**დაავადების გამოვლინების ინდივიდუალური თავისებურებების  
გათვალისწინებით სამკურნალო პრეპარატების შერჩევის ინტელექტუალური  
სისტემა**

*ვადიმ რადიევსკი, მაია მიქელაძე, დიმიტრი რადიევსკი, ილია ოკონიანი*  
*v\_radzievski@yahoo.com, mikeladzemaia@yahoo.com, dradzievski@gmail.com,*  
*i.okonian@gmail.com*

**რეზიუმე**

განიხილება პაციენტის დაავადების გამოვლინების ინდივიდუალური თავისებურებების გათვალისწინებით ეფექტიანი წამლის შერჩევის ამოცანა. შეთავაზებულია ამოცანის ამოხსნის ორი მეთოდი. პირველში შეთავაზებულია წამლის შერჩევა დარღვევებზე მისი ზემოქმედების ეფექტიანობის მიხედვით, რომლებიც გამოხატული აქვს კონკრეტულ ავადმყოფს. მეორეში შეთავაზებულია წამლის შერჩევა იმ „იდეალურ“ წამალთან მისი აღწერის სიახლოვის საფუძველზე, რომელიც განკუთვნილია მოცემული დარღვევების სამკურნალოდ. ორივე შემთხვევაში წამალთა შეფასება ხორციელდება მრავალი კრიტერიუმის საფუძველზე.

**საკვანძო სიტყვები:**

*ინტელექტუალური სისტემა, მკურნალობა, დაავადება, მრავალკრიტერიული არჩევა*

ადამიანის ზემოქმედების მრავალ სფეროში ხშირად გვხვდება ობიექტების არსებული ნაკრებიდან საუკეთესოს არჩევის ამოცანა. ეს არჩევა ხორციელდება მრავალი კრიტერიუმის საფუძველზე, რომელთაგან თითოეული წარმოადგენს ობიექტის რომელიღაც კონკრეტული თვისების შეფასებას. მოცემული სამუშაო ეხება სამედიცინო სფეროს. მედიცინის ერთ-ერთ ძირითად ამოცანას წარმოადგენს ავადმყოფის მკურნალობა. ამ ამოცანის განხორციელებისთვის, უპირველეს ყოვლისა, უნდა დაისვას დიაგნოზი და ამის საფუძველზე შეირჩეს მკურნალობის რაციონალური ვარიანტი. სამუშაოებში [1,2,3,4] იყო განხილული და დამუშავებული დიაგნოზის დასმის მეთოდები. ამ მეთოდების გამოყენებით იყო დასმული სხვადასხვა დაავადების დიაგნოზები

მოცემული სამუშაო ეძღვნება მკურნალობის შერჩევის საკითხებს. მკურნალობა ხორციელდება ავადმყოფის ორგანიზმზე ზემოქმედებით სამკურნალო პრეპარატების მეშვეობით. წამლების გამოყენება ხშირად თხოვლობს მოცემული წამლების სიმრავლიდან კონკრეტული ავადმყოფისათვის ყველაზე ეფექტური წამლის არჩევას. წამალი მოქმედებს დაავადების გამომწვევ მიზეზზე ან პათოლოგიური პროცესების მექანიზმებზე. ამ ზემოქმედების შედეგად უნდა მოხდეს ავადმყოფის განკურნება და სიმპტომების ალაგება.

ცნობილია, რომ ყოველი სამკურნალო პრეპარატი წარმოადგენს, ერთის მხრივ, რთულ ქიმიურ შენაერთს, რომელიც შედგება დიდი რაოდენობის კომპონენტებისგან, და მეორეს მხრივ, ყოველი სამკურნალო პრეპარატი შეიძლება დახასიათდეს მისი ზემოქმედებით ორგანიზმის დარღვევებზე. მაშასადამე, წამალი შეიძლება იყოს წარმოდგენილი ვექტორის სახით. ამ ვექტორის კომპონენტები მიგვითითებენ, რომელ დარღვევებზე ხორციელდება ზემოქმედება.

მოცემულ სამუშაოში განიხილება წამლების შერჩევა კონკრეტული ავადმყოფისთვის. ძირითადი დაავადების მკურნალობისას ექიმმა უნდა შეარჩიოს ისეთი მედიკამენტები, რომლებიც არ დააზიანებენ სხვა ორგანოებს და არ გამოიწვევენ დამატებით დარღვევებს

ორგანიზმში. ამისათვის ექიმმა მხედველობაში უნდა მიიღოს პაციენტის მიმდინარე მდგომარეობა (თანმხლები დაავადებები, ალერგიული რეაქციები და ა.შ.), ე.ი. საჭიროა ობიექტზე ზემოქმედებისთვის პრეპარატების შერჩევა ერთი ან რამდენიმე კრიტერიუმის გათვალისწინებით. სწორედ ამას აკეთებს ექიმი წამლის შერჩევისას. ცხადია, რომ მსგავსი შესაძლებლობა უნდა ჰქონდეს შესაბამის ინტელექტუალურ სისტემას. სამუშაო [5]-ში ამ ფუნქციების განხორციელებისათვის იყო გამოყენებული მეთოდი, რომელიც დაფუძნებულია არამკაფიო სიმრავლეთა თეორიაზე. ამ მეთოდში ყოველი პრეპარატის ეფექტიანობა შეფასებულია სხვადასხვა კრიტერიუმის საფუძველზე და წარმოიდგინება არამკაფიო სიმრავლის სახით. ყველა წამლის შეფასებათა სიმრავლეებზე ხორციელდება ე.წ. ინტერსექციის ოპერაცია. გადაწყვეტილების სახით აირჩევა მიღებული არამკაფიო სიმრავლის ელემენტი, რომელსაც მაქსიმალური მიკუთვნების ხარისხი გააჩნია.

მოცემულ სამუშაოში განიხილება წამლების არჩევის კიდევ ერთი მეთოდი, რომელშიც, როგორც ზემოთ მოყვანილ მეთოდში, არჩევა ხდება რამდენიმე კრიტერიუმის მიხედვით. ვთქვათ, დაავადების  $R$  შესაძლო სიმპტომების სიმრავლე წარმოიდგინება  $S$  ვექტორის კომპონენტების  $s_1, s_2 \dots s_m$  სახით. ყოველი წამალი ფასდება ავადმყოფის ორგანიზმში სხვადასხვა დარღვევებზე დადებითი ზემოქმედების ეფექტიანობით. ესე იგი კრიტერიუმები, რომელთა საფუძველზე ფასდება წამალი, შეიძლება იყოს შემდეგი: ეფექტიანობა  $s_1$  დარღვევის ან სიმპტომის მოცილების ან შემცირების თვალსაზრისით; და ა.შ. ეფექტიანობა  $s_n$  დარღვევის ან სიმპტომის მოცილების ან შემცირების თვალსაზრისით. ყოველი  $j$ -ური წამლის ზემოქმედების ეფექტიანობა  $s_j$  სიმპტომზე მოიცემა კოეფიციენტით  $c_{ij}$ , რომელიც ღებულობს მნიშვნელობას (0-1)-ის შუალედში.

ვთქვათ სისტემა ღებულობს ინფორმაციას ავადმყოფის შესახებ, რომელიც წარმოადგენს ავადმყოფის დიაგნოზს და სიმპტომების ნაკრებს. არის აგრეთვე ნუსხა იმ წამლების, რომელთა მიღება ნაჩვენებია ამ დაავადებისას. ჩვენ უნდა ავირჩიოთ წამალი, რომელიც მაქსიმალურად დადებითი ეფექტით მოქმედებს კონკრეტული ავადმყოფის დარღვევებზე. ანალოგიურად უნდა იმოქმედოს ინტელექტუალურმა სისტემამ, რომელიც ახორციელებს წამლის ოპტიმალურ არჩევას.

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, დაავადების  $R$  შესაძლო სიმპტომები წარმოიდგინება  $S$  ვექტორის  $s_1, s_2 \dots s_m$  კომპონენტების სახით. კონკრეტულ ავადმყოფს შეიძლება ჰქონდეს მხოლოდ ზოგიერთი სიმპტომი ამ ნუსხიდან. იმის საჩვენებლად, რა სიმპტომები გააჩნია ავადმყოფს, გამოიყენება (0,1) ვექტორი, რომელიც აჩვენებს სიმპტომების არსებობას – 1 და არარსებობას – 0. ამ ამოცანის გადასაწყვეტად ავაგოთ  $C$  მატრიცა, რომელშიც ყოველი  $A_j$  წამლის ეფექტიანობა მოიცემა  $c_{ij}$  კოეფიციენტის მეშვეობით. აშკარაა, რომ კონკრეტული ავადმყოფისთვის ეფექტიანი წამლის ასარჩევად ყველა სვეტში უნდა შევკრიბოთ იმ სტრიქონების კოეფიციენტები, რომლებიც ზემოქმედებენ ამ კონკრეტული ავადმყოფის დარღვევებზე და რომლებიც იწვევენ სიმპტომებს. ფაქტობრივად, ხორციელდება ვექტორის გამრავლება  $C$  მატრიცაზე და მიღებულ ვექტორში მაქსიმალური ელემენტის არჩევა. ამ ელემენტის რიგითი ნომერი მიუთითებს ყველაზე ეფექტიან წამალზე არსებული ნუსხიდან.

$$C = \begin{bmatrix} A_1 & A_2 & \dots & A_n \\ c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{m1} & c_{m2} & \dots & c_{mn} \end{bmatrix}$$

ნახ. 1

$$S \cdot C = (s_1 c_{11} + s_2 c_{21} + \dots + s_m c_{m1} = D_1, s_1 c_{12} + s_2 c_{22} + \dots + s_m c_{m2} = D_2, \dots, s_1 c_{1n} + s_2 c_{2n} + \dots + s_m c_{mn} = D_n);$$

$\max(D_1, D_2, \dots, D_n)$  მიუთითებს წამალზე, რომელიც ნაჩვენებია კონკრეტული ავადმყოფისთვის.

განვიხილოთ მაგალითი. ვთქვათ, ავადმყოფის სიმპტომები წარმოიდგინება ასე:  $s_1 = 1$ ,  $s_2 = 0$ ,  $s_3 = 1$ ,  $s_4 = 1$ . ინფორმაცია წამლების შეფასების შესახებ წარმოიდგინება შემდეგი მატრიცის სახით:

$$C = \begin{matrix} & \begin{matrix} A_1 & A_2 & A_3 & A_4 & A_5 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 0,7 \\ 0,1 \\ 0,5 \\ 0,3 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0,2 & 0,6 & 0,3 & 0,5 \\ 0,8 & 0,2 & 0,4 & 0,7 \\ 0,2 & 0,8 & 0,7 & 0,8 \\ 0,5 & 0,2 & 0,6 & 0,4 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

ნახ. 2

მაშინ ვექტორი 1011 უნდა გამრავლდეს მატრიცაზე (ნახ. 2). მიღებული ვექტორის მაქსიმალური ელემენტი მიუთითებს ოპტიმალურ წამალზე. ჩვენ შემთხვევაში მიღებული ვექტორი იქნება: 1.2, 0.4, 1.4, 0.1, 1.3. ვექტორის მაქსიმალური მნიშვნელობა 1.4 შეესაბამება  $A_3$  წამალს.

მოცემულ სამუშაოში შეთავაზებულია კიდევ ერთი მეთოდი. ამ მეთოდის მეშვეობით, ისევე, როგორც განხილულ მეთოდში, შესაძლებელია წამალთა არჩევა კონკრეტული ავადმყოფისთვის მრავალი კრიტერიუმის საფუძველზე. ვთქვათ,  $U$  დაავადების მქონე ავადმყოფის შესაძლო სიმპტომების სიმრავლე წარმოიდგინება  $X = (x_1, x_2 \dots x_m)$  ვექტორის სახით. როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, კონკრეტულ ავადმყოფს შეიძლება ჰქონდეს მხოლოდ ზოგიერთი სიმპტომი ამ ნუსხიდან. ამ ამოცანის გადასაწყვეტად ავადმყოფი (0,1) ბინარული ვექტორი, რომელიც მიგვითითებს რა სიმპტომები გააჩნია კონკრეტულ ავადმყოფს. მაშინ 1 მიგვითითებს სიმპტომის არსებობაზე და 0 არარსებობაზე. ავადმყოფი აგრეთვე  $C$  მატრიცა, რომელშიც ყოველი  $A_j$  წამლის ეფექტიანობა  $x_1, x_2 \dots x_m$  სიმპტომების მიმართ მოიცემა  $c_{ij}$  კოეფიციენტების მეშვეობით. ცხადია, რომ თუ ავადმყოფს გააჩნია კონკრეტული სიმპტომები, მისი განკურნებისთვის უნდა გამოვიყენოთ წამალი, რომლის ეფექტიანობა ამ სიმპტომების მიმართ იქნება მაქსიმალური. ასეთი წამალი  $P$  წარმოადგენს “იდეალურ” წამალს. ეს წამალი, ისევე როგორც რეალური წამლები, წარმოიდგინება

$$P = (p_1, p_2, \dots, p_m)$$

ვექტორის სახით, სადაც  $p_1, p_2, \dots, p_m$  წარმოადგენს რიცხვებს, რომლებიც აჩვენებენ იდეალური წამლის ეფექტიანობას სიმპტომების მიმართ. იმისათვის, რომ განვხორციელოთ რეალური წამლებით ზემოქმედება კონკრეტულ ავადმყოფზე, რეალურად არსებული წამლების სიმრავლიდან უნდა ამოვარჩიოთ წამალი, რომელიც ეფექტიანობის თვალსაზრისით ყველაზე ახლოსაა იდეალურთან. ე.ი. მანძილი იდეალურ და რეალურ ვექტორს შორის უნდა იყოს მინიმალური.

არსებობს მანძილის განსაზღვრება სხვადასხვა მეტრიკულ სივრცეში. ერთ-ერთი ფორმულა, რომელიც განსაზღვრავს მანძილის ცნებას  $X$  და  $Y$  ვექტორებს შორის მეტრიკულ სივრცეში  $R_1^n$  [6], არის შემდეგი:

$$R(X, Y) = \sum_{k=1}^n |x_k - y_k| \quad (1)$$

ვინაიდან, ჩვენ უნდა განვსაზღვროთ იდეალურ და რეალურ წამალთა შორის მანძილი ყველა წამლისთვის ფორმულა (1) მიიღებს სახეს:

$$R(P, Y_j) = \sum_{k=1}^m |p_k - y_{kj}| \quad (2)$$

სადაც  $j = 1 \dots n, i = 1 \dots m$ , ჩვენ შემთხვევაში  $n$  წამლების რაოდენობაა,  $m$  – სიმპტომების რაოდენობა და  $j$  – წამლის ნომერია. ფორმულა (2)-ში წარმოდგენილი ოპერაციები დაიყვანება მატრიცის და ვექტორებს შორის ოპერაციებზე. მატრიცის სვეტებში წარმოდგენილი იქნება რიცხვები (0-1) შუალედში, რომლებიც აჩვენებენ რეალურ წამალთა კომპონენტების ეფექტიანობას. იდეალური წამალი წარმოდგენილია  $P$  ვექტორის სახით და მისი კომპონენტები იცვლება ყოველი ახალი ავადმყოფისათვის. იდეალური ვექტორის კომპონენტები უნდა შევადაროთ რეალური ვექტორების ყოველ კომპონენტთან. ე.ი. უნდა ავიღოთ სხვაობა იდეალურ და რეალურ ვექტორებს შორის, ავიღოთ ამ სხვაობათა მოდულების ჯამი ყოველი

წამლისათვის და მიღებულ ვექტორში ავირჩიოთ მინიმალური ელემენტი. ეს ელემენტი მიგვითითებს წამალზე, რომელიც ნაჩვენებია კონკრეტული ავადმყოფისათვის.  $R(P, Y_1) = (p_1 - y_{11}) + (p_2 - y_{21}) + \dots + (p_m - y_{m1})$ ,  $R(P, Y_2) = (p_1 - y_{12}) + (p_2 - y_{22}) + \dots + (p_m - y_{m2})$ ,  $R(P, Y_n) = (p_1 - y_{1n}) + (p_2 - y_{2n}) + \dots + (p_m - y_{mn})$ .

$\min(R(P, Y_1), R(P, Y_2) \dots R(P, Y_n))$  მიუთითებს წამალზე, რომელიც ნაჩვენებია კონკრეტული ავადმყოფისათვის.

გამოვიყენოთ მოყვანილი მეთოდი კონკრეტულ მონაცემებზე. ავიღოთ წინა მაგალითის მატრიცა და ჩავატაროთ გამოთვლები ფორმულა (2)-ის მიხედვით.

ვთქვათ ავადმყოფს აქვს შემდეგი სიმპტომები:  $s_1 = 1, s_2 = 0, s_3 = 1, s_4 = 1$ . ვინაიდან სიმპტომი  $s_2$  ავადმყოფს არ გააჩნია, სტრიქონი, რომელიც შეესაბამება  $s_2$ -ს, დათვლებში არ დებულობს მონაწილეობას. დანარჩენ სტრიქონებზე ტარდება ზემოთ მოყვანილი ოპერაციები.

$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	$Y_4$	$Y_5$
0,7	0,2	0,6	0,3	0,5
0,1	0,8	0,2	0,4	0,7
0,5	0,2	0,8	0,7	0,8
0,3	0,5	0,2	0,6	0,4

ნახ. 3

მივიღებთ შემდეგ რიცხვებს 1,5; 2,1; 1,0; 1,4; 1,3. აქედან მინიმალური იქნება მესამე, რომელიც შეესაბამება წამალს  $Y_3$ . მაშასადამე, ისევე როგორც წინა მეთოდის გამოყენებით, მივიღებთ, რომ წამალი  $Y_3$  კონკრეტული ავადმყოფისათვის აღმოჩნდა ყველაზე ეფექტიანი ამ წამალთა ნუსხიდან.

ბაქტერიული ინფექციის შემთხვევაში საჭირო ხდება ავადმყოფის მკურნალობა ანტიბიოტიკებით. ინტელექტუალურმა სისტემამ უნდა აირჩიოს ანტიბიოტიკი, რომელიც ყველაზე ეფექტიანი იქნება ამ კონკრეტულ პაციენტში გამოვლენილი მიკროორგანიზმების მიმართ. ამისათვის ინტელექტუალურ სისტემას უნდა ჰქონდეს ცოდნა იმის შესახებ, როგორ მოქმედებენ პრეპარატები სხვადასხვა სახის ბაქტერიებზე. მაგალითისათვის განვიხილოთ ყველასათვის ცნობილი დაავადება სინუსიტი. ამ დაავადებისას ავადმყოფს შეიძლება ჰქონდეს საზიანო მიკროორგანიზმები. ცხრილში (ნახ. 4) წარმოდგენილია ინფორმაცია სამი პრეპარატის ბაქტერიებზე ზემოქმედების შესახებ. ეს პრეპარატებია ამოქსიცილინი – A, კლარიტრომიცინი – K და აზიტრომიცინი – Az. ვთქვათ ავადმყოფს აღმოუჩინეს საზიანო ბაქტერიები, რამლებიც ცხრილში წარმოდგენილია ბინარული ვექტორის მეშვეობით. ამ ვექტორის გამრავლებით მატრიცაზე მივიღებთ შემდეგ რიცხვებს: A – 0,36; K – 0,19; Az – 0,65. აქედან 0,65 – მაქსიმალური მნიშვნელობა შეესაბამება Az. მაშასადამე აზიტრომიცინი ამ ავადმყოფისთვის არის ყველაზე ეფექტიანი წამალი.

		A	K	Az
Streptococcus pneumoniae	1	0,12	0,01	0,03
Streptococcus pyogenes	0	0,12	0,01	0,03
Staphylococcus aureus	1	0,12	0,06	0,12
Haemophilus influenzae	0	0,5	8-16	4
Moraxella catarrhalis	0	0,06	0,25	0,25
Legionella pneumophila	1	0,12	0,12	0,5

Mycoplasma pneumoniae	0	0,01	0,03	0,01
Chlamydoiphila pneumoniae	0	0,5	0,01	0,06
ნახ. 4				

### The Intelligent Drug Selection System Reflecting the Individual Characteristics of the Manifestation of the Disease

*Vadim Radzievski, Maia Mikeladze, Dimitri Radzievski, Iliia Okonian*

#### Summary

The problem of choosing the most effective drug is considered, reflecting the individual characteristics of the manifestation of the disease in a patient. Two methods for solving this problem are proposed. In the first of the methods, the choice of the drug is proposed according to its effect on the disorders manifested in a particular patient. In the second, the choice of a drug is proposed based on the closeness of its description to the „ideal“ drug intended for the treatment of these disorders. In both cases, drug evaluations are used according to several criteria.

### Интеллектуальная система выбора лекарственных препаратов с учетом индивидуальных особенностей проявления заболевания

*Вадим Радзиевский, Майя Микеладзе, Дмитрий Радзиевский, Илья Оконян*

#### Резюме

Рассматривается задача выбора наиболее эффективного лекарственного препарата с учетом индивидуальных особенностей проявления заболевания у пациента. Предложены два метода решения этой задачи. В первом из методов предлагается выбор препарата по эффективности его воздействия на нарушения, проявляющиеся у конкретного больного. Во втором предлагается выбор препарата на основе близости его описания к „идеальному“ лекарству, предназначенному для лечения данных нарушений. В обоих случаях используются оценки лекарств по нескольким критериям.

### ლიტერატურა – References – Литература

1. რადიევსკი ვ., მიქელაძე მ., ჯალიაბოვა ნ., რადიევსკი დ. სამედიცინო დიაგნოსტიკის არაფორმალიზებული ამოცანის გადაწყვეტა კუჭის გასტრიტის კლასის დაავადებათა მაგალითზე საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის არჩილ ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული, №17, თბილისი, 2013 წ., გვ. 157 – 162.
2. მიქელაძე მ., რადიევსკი ვ., ჯალიაბოვა ნ., რადიევსკი დ. ცოდნის ორგანიზება ინტელექტუალურ საინფორმაციო სისტემებში დიაგნოსტიკის არაფორმალიზებული ამოცანების გადაწყვეტისას. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის არჩილ ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული, №18, თბილისი, 2014 წ., გვ. 50 – 56.

3. Радзиевский В., Микеладзе М., Джалябова Н., Радзиевский Д. Причинно-следственная модель знаний в интеллектуальной системе медицинской диагностики. ა. ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის 60 წლისთავისადმი მიძღვნილი საიუბილეო კონფერენცია, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ა. ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული №20, თბ., 2016., გვ. 163 – 169.
4. Микеладзе М., Радзиевский В., Джалябова Н., Радзиевский Д. Методы искусственного интеллекта для решения неформализованных задач диагностики сложных систем на примере медицины. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის დაარსებიდან 90 წლისთავისადმი მიძღვნილი საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია “21-ე საუკუნის მეცნიერებისა და ტექნოლოგიების განვითარების ძირითადი პარადიგმები”, საქართველო, თბილისი 19 – 21 სექტემბერი, 2012 წელი, გვ. 403 – 406.
5. ვ. რაძიევსკი, მ. მიქელაძე, ნ. ჯალიაბოვა, გ. ბესიაშვილი, პ. ქარჩავა, დ. რაძიევსკი. კონკრეტული ავადმყოფისთვის სამკურნალო პრეპარატების არჩევის ინტელექტუალური სისტემა. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ა. ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის 60 წლისთავისადმი მიძღვნილი საიუბილეო კონფერენცია, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ა. ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული №20, თბ., 2016 წ., გვ. 169 – 174.
6. Колмогоров А.Н., Фомин С. В. Элементы теории функций и функционального анализа. Москва. Наука. Главная редакция физико-математической литературы. 1968.

---

## Метод сокращения перебора при поиске информации в базе знаний и его использование в задачах медицинской диагностики

*Вадим Радзиевский, Майя Микеладзе, Нора Джалябова, Дмитрий Радзиевский,  
Илья Оконян*

*v\_radzievski@yahoo.com, mikeladzemaia@yahoo.com, dradzievski@gmail.com,  
i.okonian@gmail.com*

### Резюме

Рассматривается задача поиска информации в продукционной базе знаний. Решение этой задачи осуществляется путём сопоставления входной информации с условными частями продукций, что позволяет получить ответ на поставленный запрос. Решение этой задачи требует точного совпадения описания входной ситуации и описания, хранящегося в условной части продукции. Это практически редко осуществимо, так как входная информация исходит от человека и не стандартизована. В работе показано, что во многих случаях для разрешения этой проблемы можно обойтись без лингвистического анализа предложений. Эта задача решается путём структурирования описаний, заданных в продукциях, которое осуществляется с использованием деревьев решений и выявления так называемых ключевых слов.

### Ключевые слова:

*Поиск информации, база знаний, диагностика, медицина*

При решении задач распознавания, диагностики, прогнозирования, управления, а также многих задач, связанных с анализом ситуации и принятием решений, человек использует свои знания, полученные в результате приобретенного опыта. Очевидно, что искусственные интеллектуальные системы также должны использовать знания, полученные от специалиста соответствующей предметной области, и использовать эти знания при решении поставленных перед ними задач. Знания, полученные от специалистов, должны быть формализованы и представлены в компьютере в виде соответствующих моделей. Существует множество моделей представления знаний в компьютере. Это правила продукций, семантические сети, фреймы, модели, основанные на логике предикатов и другие. В данной работе будем использовать один из методов представления знаний, а именно, правила продукций. Продукция представляет собой правило, имеющее вид «если-то», или  $\alpha \rightarrow \beta$ , где  $\alpha$  означает некоторое условие или совокупность условий (условная часть продукции), представленных обычно на естественном языке или на формализованном языке, близком к естественному, а  $\beta$  означает новый факт (заключительная часть продукции), выведенный из условий  $\alpha$ . Этот факт может рассматриваться как заключение вывода, либо как оператор, производящий некоторое действие. Из этих элементарных правил формируется база знаний.

Если знания в базе знаний представлены в виде продукций, то для получения заключения необходимо входную информацию сопоставить с условными частями продукций, хранящихся в базе знаний. Следует, однако, отметить, что для того, чтобы сработала правая часть продукции и было принято решение или сделано заключение, необходимо точное совпадение описания входной ситуации и описания, хранящегося в условной части продукции. В противном случае продукция не сработает. Только совпадение входного описания с одним из описаний условной части одной из продукций в базе знаний позволит продукции сработать и решение будет принято.[1]

Обращение к базе знаний происходит с помощью предложений или высказываний, исходящих от пользователя. Следует, однако отметить, что один и тот же смысл входного предложения может быть выражен по-разному. Это прежде всего зависит от того, какие из синонимов были использованы. Поэтому при сопоставлении входного предложения с описаниями, хранящимися в базе знаний, необходимо чтобы слова входного предложения были идентичны

соответствующим словам базы знаний, т.е. были бы понятны компьютеру. Это требует проведения так называемой канонизации, т.е. замены слов входных предложений синонимами понятными компьютеру, что осуществляется посредством соответствующего словаря. Однако осуществление операции канонизации не гарантирует совпадения входного предложения с условной частью одной из продукций. В предложении может быть изменена последовательность слов, могут отсутствовать некоторые слова или присутствовать некоторые дополнительные слова, что не позволит осуществить сопоставление с благоприятным исходом. Сопоставление даст результат, если смысл предложения будет записан в стандартной форме. Для разрешения этой проблемы используются различные формальные языки представления знаний Я.П.З., характеризующиеся однозначностью и единообразием представления одного и того же смысла.

Согласно данным лингвистики существует несколько уровней языка. Один из уровней представляет уровень поверхностной структуры языка. На этом уровне представляются сами реальные предложения. Другой уровень называется уровнем глубинных структур или семантический уровень. На этом уровне представляется смысловое содержание предложения. Предложения могут быть похожими на поверхностном уровне, в то время как на глубинном уровне им соответствует разный смысл, и наоборот. Ясно, что для базы знаний существенен именно глубинный уровень. Если предложения имеют разную поверхностную структуру, но один и тот же смысл, то на глубинном уровне они будут одинаково представляться. Поэтому преобразовав поверхностную структуру предложения и задав его смысловое описание, т.е. глубинную структуру, представленную в стандартной форме, можно упростить осуществление поисковой процедуры.

Существуют различные методы преобразования поверхностной структуры предложений в глубинную структуру. Эти методы требуют проведения лингвистического анализа, опираются на многие положения лингвистики, и их осуществление связано с трудностями. Если база знаний достаточно велика, то поисковая процедура может столкнуться с большим перебором несмотря на использование Я.П.З. Однако в некоторых не очень сложных случаях для осуществления поисковой процедуры удаётся сократить перебор при поиске, используя подходы, не требующие лингвистического анализа. В частности, иногда удаётся решить эту проблему, используя поверхностный уровень предложений, не переходя к глубинной структуре. Для исключения перебора, при решении задачи необходимо каким-то образом упорядочить или структурировать описания, заданные в продукциях. В данной работе такое структурирование осуществляется с использованием ключевых слов или словосочетаний, полученных с помощью деревьев решений [1,2].

Пусть имеется база знаний с множеством описаний каких-либо ситуаций (условные части продукций) и решений, принимаемых при этих ситуациях (заключительные части продукций). Все описания перенумерованы. Для построения дерева найдём слово, которое входит приблизительно в половину всего множества описаний и этим самым осуществляет разбиение множества на два подмножества. Слово, осуществляющее это деление, будет первым ключевым словом. Каждое из этих подмножеств, в свою очередь, также делится на два подмножества с помощью других ключевых слов и т.д. Окончательно каждому терминальному узлу дерева будет соответствовать номер какого-то одного из описаний. Дерево на рис. 1 иллюстрирует процесс поиска ключевых слов.

Входное предложение, после проверки на наличие в нём конкретных ключевых слов, получает номер, совпадающий с номером одного из описаний. Пусть, например, имеем 10 описаний, каждое из которых описывает некоторую ситуацию. Эти описания представлены в условных частях соответствующих продукций и каждому из них соответствует некоторое решение по управлению, представленное в заключительной части продукции. Для простоты слова в описаниях обозначим буквами *a, b, k, c, d, l* и т.д. Тогда описания будут иметь вид: 1) *abcdv* 2) *kont* 3) *pznl* 4) *adtv* 5) *aklmz* 6) *ndzm* 7) *aklm* 8) *pztb* 9) *aknd* 10) *onps*. Каждой левой ветви дерева приписываются номера описаний, в которых присутствуют ключевые слова, а правой – номера описаний в которых соответствующих ключевых слов нет.

В качестве примера рассмотрим описание 3. После определённой перестановки слов это описание может иметь вид *lzpl*. Проверим на наличие ключевых слов:

*a* есть – есть; переходим на левую ветвь;



$d$  есть – нет; переходим на правую ветвь

$z$  есть – есть; переходим на левую ветвь, где указан номер 3.

Таким образом, проверка на наличие ключевых слов указывает, что это описание также соответствует описанию 3 в базе знаний, что соответствует их идентичности.

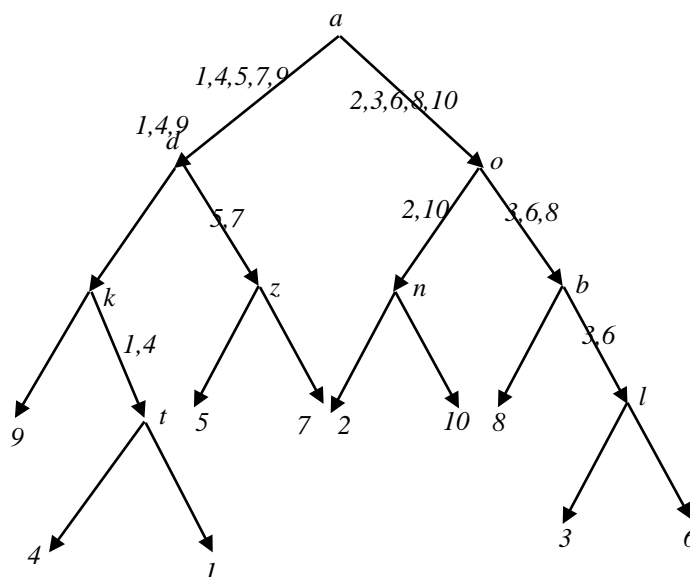


Рис. 1

Представление описаний с помощью ключевых слов инвариантно относительно перестановки слов в описании. Это освобождает пользователя от необходимости соблюдения определенного порядка слов во входном предложении. Система будет опознавать также неполные или частичные описания.

Используем этот метод для решения задачи медицинской диагностики [1]. В задачах медицинской диагностики на основе наблюдаемых нарушений - симптомов строится заключение о заболеваниях, вызвавших эти симптомы. Соответствующие знания наиболее эффективно можно представить в виде продукции. Здесь наблюдаемые нарушения хранятся в условной части, а диагноз дается в заключительной части продукции. Для решения задачи используем разбиение множества описаний болезни на подмножества, как это было упомянуто выше. Такая классификация представлена в виде дерева. Слова, находящиеся в вершинах дерева, будут представлять множество ключевых слов. С помощью этих ключевых слов происходит поиск соответствующих описаний заболеваний в базе знаний.

Решение задачи проиллюстрируем на задаче диагностики некоторых заболеваний эндокринной системы, конкретнее на заболеваниях паращитовидной железы. Выпишем названия этих заболеваний :

- 1) Хроническая надпочечниковая недостаточность, или болезнь Аддисона,
- 2) Первичный гиперальдостеронизм синдром Конна
- 3) Гормонально-активные опухоли надпочечников
- 4) Гиперпаратиреоз
- 5) Гипопаратиреоз

Представим эти заболевания и соответствующие им симптомы в виде продукционных правил [ 3 ] и построим соответствующее дерево (рис2).

- 1) **Если у больного наблюдается:** хроническая усталость, мышечная слабость, потеря веса и аппетита, тошнота, рвота, понос, боли в животе, низкое артериальное давление, гиперпигментация кожи в виде пятен «мелазмы Аддисона», дисфория,

раздражительность, депрессия; жажда, гипогликемия, тетания, избыточное количество мочи, тахикардия, **то у него хроническая надпочечниковая недостаточность, или болезнь Аддисона.**

- 2) **Если у больного наблюдается:** повышение артериального давления, ноющая сердечная боль, аритмия, ослабление зрительной функции, утомляемость, слабость в мышцах нарушения чувствительности кожи, полидипсия, полиурия, судороги, периодические ложные параличи, **то у него первичный гиперальдостеронизм синдром Конна.**
- 3) **Если у больного наблюдается:** повышение артериального давления, гипокалиемия, слабость, ухудшение работоспособности, судороги, боли в мышцах, **то у него гормонально-активные опухоли надпочечников.**
- 4) **Если у больного наблюдается:** снижение прочности, хрупкость костей, формирование камней в почках, боли в суставах, костях, слабость, быстрая утомляемость, боли в животе, тошнота, рвота, снижение аппетита, депрессия, снижение памяти, повышение артериального давления. **то у него гиперпаратиреоз.**
- 5) **Если у больного наблюдается:** боли в мышцах, судороги, нарушение дыхания, слабость, утомляемость, головные боли, депрессия, **то у него гипопаратиреоз.**

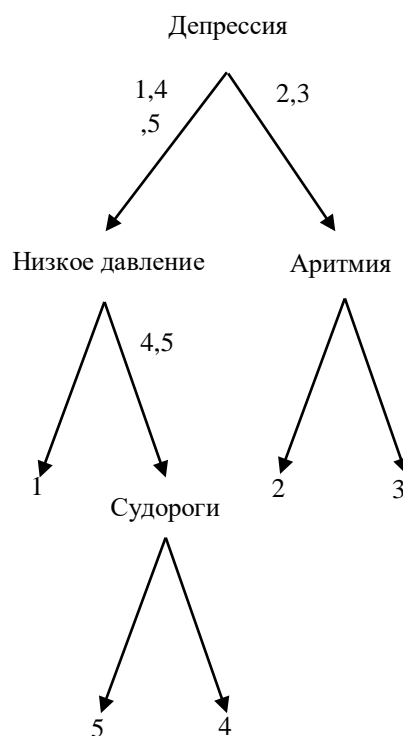


Рис. 2

У конкретного больного, естественно, может не быть всех симптомов, представленных в приведённых выше продукциях. Некоторые симптомы могут отсутствовать, могут быть симптомы, не учтённые в продукциях. Поэтому в этих данных не будет полного совпадения с описаниями в продукциях базы знаний. Рассмотрим несколько таких примеров поиска информации в базе знаний. Пусть у больного имеются следующие симптомы: повышение артериального давления, судороги, боли в мышцах, депрессия. Проверим на наличие ключевых слов:

депрессия есть – да, переходим на левую ветвь,  
 давление понижено – нет, переходим на правую ветвь,

судороги есть – да, переходим на левую ветвь, где указана цифра 5, т.е. номер продукции, хранящейся в базе знаний под номером 5, что соответствует заболеванию **гипопаратиреоз**.

Аналогично выполним подобную процедуру для второго больного. Пусть у больного имеются следующие симптомы: хроническая усталость, мышечная слабость, депрессия, тошнота, низкое артериальное давление. Проверим на наличие ключевых слов:

депрессия есть – да, переходим на левую ветвь;

низкое давление есть – да, переходим на левую ветвь, где указана цифра 1, что соответствует заболеванию **хроническая надпочечниковая недостаточность или болезнь Аддисона**. Это также соответствует действительности.

Пусть у больного имеются следующие симптомы: боли в мышцах, нарушение дыхания, судороги, слабость, утомляемость, головные боли, депрессия

Проверим на наличие ключевых слов:

депрессия есть – да, переходим на левую ветвь;

низкое давление есть – нет, переходим на правую ветвь,

судороги есть – да, переходим на левую ветвь,

давление есть – нет, переходим на правую ветвь, где указана цифра 5, что соответствует заболеванию **Гипопаратиреоз**, что также соответствует действительности.

Таким образом, использование ключевых слов и полученных с их помощью деревьев решений позволяет найти продукцию, соответствующую заболеванию пациента, даже по нескольким признакам. Поиск информации с помощью ключевых слов позволит сократить перебор при решении задачи диагностики. Для обнаружения адекватного описания, не требуется сравнения всех слов описания, что особенно важно при анализе материалов анамнеза.

## **ცოდნის ბაზაში ინფორმაციის ძიებისას გადარჩევის შემცირების მეთოდი და მისი გამოყენება სამედიცინო დიაგნოსტიკის ამოცანებში**

*ვადიმ რადიევსკი, მაია მიქელაძე, ნორა ჯალიაბოვა, დიმიტრი რადიევსკი, ილია ოკონიანი.*

### **რეზიუმე**

განიხილება ინფორმაციის ძიების ამოცანა პროდუქციულ ცოდნის ბაზაში. ამ ამოცანის ამოხსნა ხდება შესავალი ინფორმაციის და პროდუქციის პირობითი ნაწილების შედარების გზით. ამ ამოცანის ამოხსნა მოითხოვს შემავალი სიტუაციის აღწერილობის და პროდუქციის პირობითი ნაწილის ზუსტ დამთხვევას. ეს, პრაქტიკულად, იშვიათად არის შესაძლებელი, რადგან შემავალი ინფორმაცია მომდინარეობს ადამიანისგან და არ არის სტანდარტიზებული. სამუშაოში ნაჩვენებია, რომ ბევრ შემთხვევაში ამ პრობლემის გადაჭრა შესაძლებელია წინადადებათა ლინგვისტური ანალიზის გარეშე. სამუშაოში ეს ამოცანა იხსნება პროდუქციებში შემავალი აღწერილობების სტრუქტურირების გზით, რაც ხორციელდება გადაწყვეტილების ხეების გამოყენებით და ე.წ. გასაღები სიტყვების გამოვლენით.

## **Search space reduction method for knowledge base and its use in problems of medical diagnostics**

*Vadim Radzievski, Maia Mikeladze, Nora Jaliabova, Dimitri Radzievski, Iliia Okonian*

### **Summary**

The problem of information search in the production knowledge base is considered. The solution to this problem is carried out by comparing the input information with the conditional parts of the productions, which allows you to get an answer to the query. This requires an exact match

between the description of the input situation and the description stored in the conditional part of the production, which is practically impossible, since the input information comes from a person and is not standardized. It is shown that in some cases, to solve this problem, one can do without the linguistic analysis of sentences, but by structuring the descriptions given in the production rules, which is carried out using decision trees and the identifying of so - called keywords.

### ლიტერატურა – References – Литература

1. რაძიევსკი ვ. პარალელური და თანამიმდევრული კლასიფიცირება სახეთა გამოცნობის და დიაგნოსტიკის ამოცანებში. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ა. ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული №19, თბ., 2015 გვ. 141 – 145.
2. Микеладзе М., Радзиевский В., Бесиашвили Г., Джалябова Н., Карчава П., Радзиевский Д. Задачи, методы и системы интеллектуального анализа данных в медицине. а. ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის 60 წლისთავისადმი მიძღვნილი საიუბილეო კონფერენცია, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ა. ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული №20, თბ., 2016. გვ. 45 – 52.
3. რაძიევსკი ვ., მიქელაძე მ., ჯალიაბოვა ნ., რაძიევსკი. გადაწყვეტილების ბინარული ხის გამოყენება სამედიცინო დიაგნოსტიკის ამოცანაში. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ა. ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული №22, თბ., 2018. გვ. 151 – 156.

## ციფრული ჰუმანიტარიის აქტუალური ამოცანის - სამეცნიერო ელექტრონული გამოცემების თავისებურებები

*მაია ცერცვაძე, ვერიკო ბახტაძე*

*maiatsercvadze@yahoo.com, verona64@mail.ru*

### რეზიუმე

სტატიაში განხილულია ციფრული ჰუმანიტარიის ერთ-ერთ აქტუალური საკითხი - სამეცნიერო-ლიტერატურული ტექსტების გაციფრებისა და სამეცნიერო ელექტრონული გამოცემების მომზადების სპეციფიკა.

სამეცნიერო ელექტრონული გამოცემების მომზადება, ბუნებრივია, უნდა მოხდეს როგორც ჰუმანიტარული მეცნიერებების სპეციალისტთა, ასევე მაღალკვალიფიციური პროგრამისტებისა და საინფორმაციო ტექნოლოგიების სპეციალისტების მონაწილეობით. დარგის მკვლევრების მიერ დასმული ამოცანების გადაწყვეტას ისინი შეძლებენ შესაბამისი მონაცემთა ბაზების შექმნის, ალგორითმებისა და პროგრამების დამუშავების გზით.

სტატიაში დასახული მიზნისთვის განხილულია კონკრეტულ მაგალითი - ერთი მწერლის ნონფიქშენური ტექსტის - პირადი წერილების ელექტრონული გამოცემის მომზადების სპეციფიკა, დასმულია ამოცანა და ჩამოყალიბებულია კონკრეტული რეკომენდაციები პროგრამისტებისათვის. ეს რეკომენდაციები შეიძლება განზოგადდეს როგორც სხვა ავტორის იმავე ხასიათის ტექსტის, ასევე ზოგადად მწერალთა აკადემიური გამოცემების ნონფიქშენური ნაწილისთვის.

### საკვანძო სიტყვები:

*დიגיტალიზაცია, ციფრული ჰუმანიტარია, ელექტრონული აკადემიური გამოცემები, მონაცემთა ბაზა, სპეციალური მონაცემთა ბაზები.*

დიგიტალიზაცია ანუ ციფრულ ფორმატში ყველა სახის ინფორმაციის გადაყვანა კვლავ რჩება თანამედროვეობის ერთ-ერთ აქტუალურ ამოცანად და იგი მეცნიერების დარგების განვითარების ხელშემწყობ მძლავრ ფაქტორს წარმოადგენს.

ინფორმაციის ყოველ სახეობას თავისი ხასიათიდან გამომდინარე, გაციფრების თავისი სპეციფიკა გააჩნია.

ბუნებრივია, სპეციფიკური თავისებურებებით გამოირჩევა ისეთი უმთავრესი სახის ინფორმაციის დიგიტალიზაციის ამოცანა, როგორცაა ტექსტი. იგი განსხვავდება, მაგალითად, აუდიო-ვიზუალური ფორმით არსებული ინფორმაციის გაციფრების ამოცანისაგან. ტექსტებში იგულისხმება იურიდიული, სამეცნიერო, ლიტერატურული, ფოლკლორული და სხვა სახის ტექსტები. თავის მხრივ, ტექსტების ამ ქვესახეობებს ასევე გააჩნიათ გაციფრების თავისი სპეციფიკა.

სტატიაში შევხებით ციფრული ჰუმანიტარიის ერთ-ერთ ძირითად საკითხს - სამეცნიერო-ლიტერატურული ტექსტების გაციფრების ამოცანასა და მის თავისებურებებს, კერძოდ, სამეცნიერო ელექტრონული გამოცემების სპეციფიკას.

სამეცნიერო ლიტერატურულ ტექსტებს განეკუთვნებიან როგორც მწერალთა აკადემიური გამოცემები, ასევე სხვა გამოცემები, რომელთაც ახლავს სამეცნიერო აპარატი.

აკადემიურია ის გამოცემა, რომელშიც წარმოდგენილია ტექსტები, დაზუსტებული ტექსტოლოგიური კვლევის შედეგად, მათი ვარიანტები და რედაქციები, რომელშიც მოცემულია ინფორმაცია წყაროების შესახებ და რომელსაც ერთვის მრავალმხრივი სამეცნიერო აპარატი.

წიგნის სამეცნიერო აპარატი ესაა დანართების კომპლექსი, ყოველგვარი დამატებითი მასალა, მოთავსებული ტექსტის შემდეგ, რომლის მიზანია დახმარება გაუწიოს მკითხველს ტექსტზე მუშაობისას. ამ დანართებში იგულისხმება უპირველესად საძიებლები - კონკრეტული ტექსტებიდან, ან ტექსტური კორპუსებიდან ამოღებული და ანბანურ რიგზე დალაგებული ტერმინები, თემები, სახელები, სათაურები, ავტორები, გრამატიკული ფორმები და სხვა, რომლებსაც ახლავს იმ გვერდების მითითება, სადაც ისინი გვხვდება. საძიებლის სახეობებს შორის ერთ-ერთი უპირველესია პირთა საძიებელი, ანუ ტექსტებში ნახსენებ პირთა ანბანური ჩამონათვალი. არსებობს ანოტირებული საძიებლები, რომლებსაც ახლავს ანოტაცია და გვერდების მითითება [1].

მწერალთა აკადემიური გამოცემა უნდა მოიცავდეს მწერლის სრულ ლიტერატურულ მემკვიდრეობას, როგორც მის ფიქშენს, ასევე ნონფიქშენს.

ლიტერატურული ტექსტების კლასიფიკაცია, როგორც ცნობილია, მრავალი ნიშნის მიხედვითაა შესაძლებელი. ერთ-ერთ ასეთ საკლასიფიკაციო ნიშანს წარმოადგენს მათი კუთვნილება ფიქშენისა თუ ნონფიქშენისადმი ანუ მხატვრულ და არამხატვრულ ტექსტებად მისი დაყოფა.

ორიოდე სიტყვა ნონფიქშენზე.

ტერმინით „ნონფიქშენი“ აღინიშნება ყველა სახის არამხატვრული, გამოყენებითი ლიტერატურა. ესენია: დღიურები, პირადი წერილები, მემუარები, ჩანაწერები, უბის წიგნაკები, ენციკლოპედიები, ცნობარები და სხვ. ნონფიქშენის ერთ-ერთ გამორჩეულ სახეობას მემუარული ანუ ისეთი ლიტერატურა შეადგენს, რომელიც აგებულია დოკუმენტურ მასალაზე, ე. ი. რომლის ფაბულა თუ სიუჟეტი ნამდვილ ამბებს ეყრდნობა და მხატვრულ გამონაგონს არ წარმოადგენს.

თუ ადრე ფიქშენს მიკუთვნებული ტექსტები მარგინალურ ტექსტებად მიიჩნეოდა, დღესდღეობით მათდამი დამოკიდებულება დიამეტრალურად შეცვლილია და მათდამი ინტერესი მნიშვნელოვნადაა გაზრდილი [2].

ნონფიქშენისადმი ასეთი ინტერესის დასტურად შეიძლება მოვიხმოთ ის ფაქტი, რომ 2015 წლის ნობელის პრემია ლიტერატურის დარგში მიენიჭა სწორედ ნონფიქშენური ტექსტების ავტორს, ბელორუს რუსულენოვან მწერალ-დოკუმენტალისტს სვეტლანა ალექსიევიჩს.

რაც შეეხება ნონფიქშენის დღევანდელი ასეთი პოპულარობის მიზეზს, მართებულად მიჩნეულია, რომ ეს არის ამ და გასული საუკუნის ის ეპოქალური, მეტად ტრაგიკულ-დრამატული, საბედისწერო თუ ლამის ფანტასტიკის ჟანრის მოვლენები, რომლითაც ხასიათდება დროის ეს მონაკვეთი - მსოფლიო და სამოქალაქო ომები, რევოლუციები, სახელმწიფო გადატრიალებები, სტიქიური უბედურებები, კატასტროფები და ნაირგვარი კატაკლიზმები, რომელთაც ღრმა კვალი დააჩნიეს კაცობრიობის ცნობიერებასა და ფსიქიკას და მრავალ ადამიანურ განცდათა პირველმიზეზნი გახდნენ. ო. ბალზაკმა მართებულად შენიშნა, ყველა ის საშინელება, რომელსაც რომანისტები სთხზავენ, სინამდვილეზე დაბლა დგასო.

ნონფიქშენური ტექსტების (დღიურების, მემუარების, პირადი წერილების...) სამეცნიერო კვლევისას განსაკუთრებული როლი აკისრია პირთა საძიებლებს, რადგან მათ შესაძგენად აუცილებელია ისეთი კვლევითი სამუშაოს ჩატარება, როგორცაა ტექსტებში ამა თუ იმ ანთროპონიმით ნახსენებ პირთა იდენტიფიკაცია. პირთა იდენტიფიკაციის ამოცანა მით უფრო რთულია, რაც მეტი დრო ამორებს ტექსტს ჩვენგან. ეს სირთულე განსაკუთრებით ეხება პირადი წერილების კვლევას და იგი იმაში მდგომარეობს, რომ ადრესატ-ადრესანტები თავიანთ ბარათებში ასახელებენ პირთ, რომელთაც თვითონ კი იცნობენ, მაგრამ რადგან ეს წერილები პირადი მოხმარებისაა და ფართო საზოგადოებისა და სხვა მკითხველთათვის არ არის განკუთვნილი, ისინი ხშირ შემთხვევაში სრულიად უცნობია მათთვის და მათი ამოცნობა ხდება მკვლევართა მიერ ურთულესი კვლევითი სამუშაოს ჩატარების გზით. ეს სამუშაო გულისხმობს და მოიცავს ავტორის ახლო გარემოცვის, მისი კულტურულ-საზოგადოებრივი გარემოს, თანადროული ეპოქისა და სხვა მრავალი დაკავშირებული საკითხის კომპლექსურ კვლევას და მისი ხარისხი მკვლევრის კვალიფიკაციაზე ბევრად არის

დამოკიდებული. ხშირად პირები მოიხსენიებიან დაქარაგმებულად, შინაურული თუ საალერსო სახელებით, მეტსახელებით, ფსევდონიმებით, ინიციალებით ან სხვაგვარად დაშიფრული კრიპტონიმებით. ამის გამო პირთა იდენტიფიკაცია, რომელიც შემდეგ საფუძვლად უნდა დაედოს პირთა საძიებელს, საკმაოდ შრომატევადი ამოცანაა და დიდ დროს მოითხოვს.

ამ მიმართულებით მკვლევართა შრომა მნიშვნელოვნად გამარტივდება, თუ მიზნად დავისახავთ და შევქმნით პირთა ერთიან მონაცემთა ბაზებს. მაგალითად, თუ შევქმნით მე-19 საუკუნის პირველი ნახევრის რომელიმე მწერლისთვის იმ პირთა მონაცემთა ბაზას, რომლებიც მის ტექსტებში იხსენიებიან, ეს ბაზა შემდგომ შეიძლება საფუძვლად დაედოთ და წარმატებით გამოვიყენოთ ამავე ეპოქის მეორე მწერლის გარემოცვის საკვლევად. პირობითად, თუ გვექნება ნიკოლოზ ბარათაშვილის პირად წერილებში ნახსენებ პირთა ბაზა, ის შეიძლება გამოდგეს მისივე თანამედროვე სხვა მწერლის, მაგალითად, გრიგოლ ორბელიანის, ვახტანგ ორბელიანის და სხვ. ნაწერების პირთა იდენტიფიკაციისათვისაც, რადგან მათ საერთო გარემოცვა ჰყავდათ. სხვა მწერალთა ტექსტების შესწავლისას ბაზას, ცხადია, დაემატება ის ახალი პირნი, რომლებიც აღნიშნულ ეპოქას კი განეკუთვნებიან, მაგრამ არ გვხვდებიან ნიკოლოზ ბარათაშვილის ტექსტებში და ა.შ.

გარდა ამისა, სასურველია, ამ მონაცემთა ბაზის ჩანაწერების დალაგება შესაძლებელი იყოს სხვადასხვა ნიშნის მიხედვით. მაგალითად, ნიკოლოზ ბარათაშვილის გარემოცვა საინტერესოა და შეიძლება დალაგდეს სხვადასხვა ისტორიულ მოვლენებში მათი მონაწილეების ნიშნის მიხედვით.

სამეცნიერო აპარატის კიდევ ერთ მნიშვნელოვან სახეს წარმოადგენს გენეალოგიური ტაბულები, რომლებიც იძლევიან ინფორმაციას პირთა ნათესაური კავშირების შესახებ, რომელთა დადგენა ხშირად მეტად აქტუალურია და საფუძვლად ედება სხვა ზედნაშენ კვლევებს. ამ კონტექსტში სასურველია თავადაზნაურთა საგვარეულოების მონაცემთა ბაზის დაკავშირება პირთა საერთო ბაზასთან.

როგორც ცნობილია, ნაბეჭდ აკადემიურ გამოცემებთან ერთად სულ უფრო და უფრო აქტუალური ხდება მათი ელექტრონული ანალოგების - ელექტრონული აკადემიური გამოცემების მომზადება, რისი პროცესიც გასული საუკუნის 80-იანი წლებიდან დაიწყო. უნდა აღინიშნოს, რომ ეს ელექტრონული გამოცემები, მართალია, იმეორებენ მათი ბეჭდური ანალოგების ბევრ მახასიათებელს, მაგრამ თვისობრივად მნიშვნელოვნად განსხვავდებიან მათგან. თანამედროვე საინფორმაციო ტექნოლოგიები იძლევიან მათი ფუნქციური შესაძლებლობების გაფართოებისა და სრულყოფის საშუალებას. მათი ტექსტების სიბრტყე მრავალგანზომილებიანია, ითავსებს ჰიპერტექსტურ ორგანიზაციას, საძიებო სისტემებს და სხვა. ელექტრონული გამოცემის არსებობა მნიშვნელოვნად აადვილებს შემდგომში მათში ცვლილებების შეტანის პროცესს.

წარმოდგენილ სტატიაში ჩვენ შევეცდებით ბოლოდროინდელი კვლევებისა და შესაბამისი ბეჭდური გამოცემების მაგალითზე ვაჩვენოთ მისი ელექტრონულ გამოცემად მომზადების სქემა, განვიხილოთ ამ პროცესის სპეციფიკური თავისებურებანი და დავსახოთ რეკომენდაციები მისი შემდგომი გაუმჯობესების მიზნით. მხედველობაში გვაქვს ნიკოლოზ ბარათაშვილის პირადი წერილების ბოლოდროინდელი კვლევები და მათზე დაფუძნებული გამოცემები [3], [4].

დასახელებული გამოცემები მოიცავს სამეცნიერო აპარატს, კერძოდ, კომენტარებსა და შენიშვნებს, საძიებლებს (პირთა და გეოგრაფიულ სახელთა...), ხოლო მეორე მათგანი - ასევე ჩვენი კვლევითი მიზნებისათვის სპეციალურად მომზადებულ თუ გამოკრეფილ გენეალოგიურ ტაბულებს, რომლებიც შედგენილია საქართველოში გენეალოგიური კვლევების ფუძემდებლის, ქართული გენეალოგიური საზოგადოების დამფუძნებლისა და პრეზიდენტის, საერთაშორისო გენეალოგიური აკადემიის ნამდვილი წევრის იური ჩიქოვანის უახლესი კვლევებისა და ტაბულების საფუძველზე, ასევე ფოტოალბომს, რომლის ფოტოთა უმრავლესობა სწორედ პოეტის გარემოცვის ფოტოებს წარმოადგენს.

მკვლევართა განსაკუთრებული ყურადღება პოეტის ეპისტოლარული მემკვიდრეობის (სულ შემორჩენილია 18 პირადი წერილი) ბოლოდროინდელი სამეცნიერო შესწავლისას

დაეთმო პერსონალის მომზადებას, ე. ი. წერილთა ადრესატებს, მათ ტექსტებში დასახელებულ პირებს, ამ პირთა ბიოგრაფიული ცნობების (დაბადება-გარდაცვალების, ქორწინების წლების, ნეკროპოლისა და სხვ.) მოძიებასა და არსებულის დაზუსტებას და პოეტთან მათი მიმართებისა და ამა თუ იმ ისტორიულ მოვლენაში მათი მონაწილეობის საკითხებს.

მწერალთა ნონფიქშნური ტექსტების პერსონალის მომზადების საკითხი სპეციფიკურ მიდგომას მოითხოვს. მაგალითად, თუ საუბარია მე-19 საუკუნის პირველი ნახევრის ქართველ მწერალთა გარემოცვის შესწავლაზე, სასურველია ეს მოხდეს მათი ისეთ ისტორიულ მოვლენებში მონაწილეობის მიხედვით, როგორებიცაა 1832 წლის შეთქმულება და რუსეთ-კავკასიის ომი [5], ამავე საუკუნის მეორე ნახევრის მწერალთა პერსონალის მომზადება საინტერესოა სხვა ნიშნებით, მაგალითად, მათი კუთვნილებით წერა-კითხვის გამავრცელებელი საზოგადოებისადმი, მათი მონაწილეობით „მამათა“ და „შვილთა“ ბრძოლის სახელით ან „ბანკობიადის“ სახელით ცნობილ, ასევე სხვა საზოგადოებრივ პროცესებში.

განვიხილოთ სამეცნიერო აპარატით აღჭურვილი ნიკოლოზ ბარათაშვილის პირადი წერილების ელექტრონული გამოცემის მომზადების ჩვენეული სქემა. აქვე გვინდა დავძინოთ შემდეგი:

რომანტიკოსი პოეტის ლიტერატურული მემკვიდრეობა (თუ მის მცირერიცხოვან თარგმანებს არ ჩავთვლით) უმთავრესად ორ ნაწილად იყოფა: ესაა მისი ფიქშენი, ანუ პოეტური მემკვიდრეობა - ლექსები და პოემა და ნონფიქშენი - უაღრესად მნიშვნელოვანი პირადი წერილები. ნიკოლოზ ბარათაშვილის პირადი წერილების ელექტრონული გამოცემის მომზადების აქ განხილული სქემა, ალგორითმი და რეკომენდაციები სამომავლოდ შეიძლება გამოყენებული იქნას ნიკოლოზ ბარათაშვილის ახალი აკადემიური ელექტრონული გამოცემის ნონფიქშნური ნაწილისათვის.

ციფრული ელექტრონული გამოცემა, ბუნებრივია, ვერ განხორციელდება მხოლოდ ერთი დარგის სპეციალისტების მონაწილეობით. მაგალითად, ჩვენს შემთხვევაშიც მისი მომზადება უნდა მოხდეს როგორც ფილოლოგი და ისტორიკოსი მკვლევრების, ტექსტოლოგების და სხვა ჰუმანიტარული დარგების სპეციალისტების, ასევე მაღალკვალიფიციური პროგრამისტების მონაწილეობით, რომლებიც დარგის მკვლევრების მიერ დასმული ამოცანების გადაწყვეტას შეძლებენ შესაბამისი მონაცემთა ბაზების შექმნის, ალგორითმებისა და პროგრამების დამუშავების გზით.

უკვე ჩატარებულ კვლევებში სხვა საკითხებთან ერთად დადგენილ იქნა პირთა თავადაზნაურთა ამა თუ იმ საგვარეულოსადმი კუთვნილების, პოეტთან მათი ნათესაობის, ზემოხსენებულ მნიშვნელოვან ისტორიულ მოვლენებში მათი მონაწილეობის საკითხები და სხვა.

თუ ბეჭდურ გამოცემებში ეს ინფორმაცია მოთავსებულია კომენტარებსა და სქოლიოებში, ელექტრონულ გამოცემაში შესაძლებელი გახდება მათი წერილების ტექსტებთან ბმის უფრო მოსახერხებელი ორგანიზაცია. ამისათვის საჭიროა შეიქმნას სპეციალური მონაცემთა ბაზები და ციფრული გამოცემის ტექსტის შესაბამისი ადგილები ჰიპერბმულებით დაუკავშირდეს მათ.

ყოველივე ზემთქმულის გათვალისწინებით ჩვენი სქემა და რეკომენდაციები ნიკოლოზ ბარათაშვილის ეპისტოლური მემკვიდრეობის ციფრული გამოცემის მოსამზადებლად და შესაბამისად პოეტის სრული აკადემიური ციფრული გამოცემის ნონფიქშნური ნაწილისადმი არის შემდეგი:

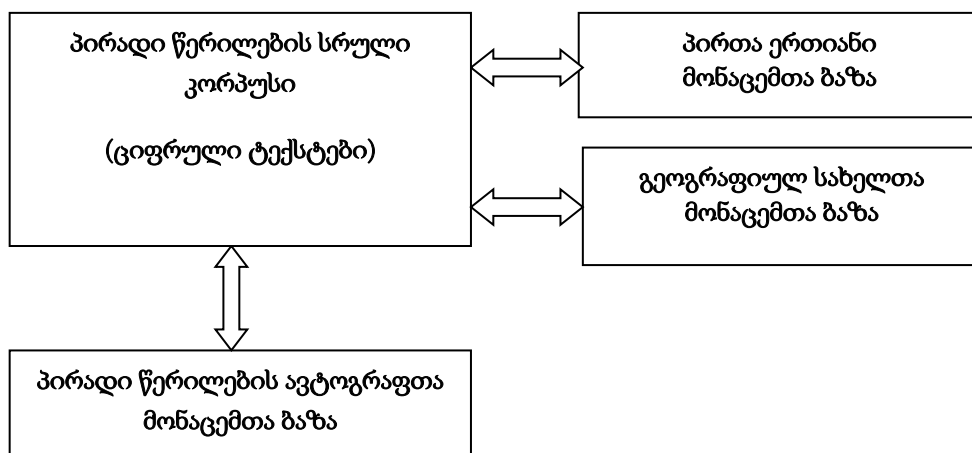
1. პირად წერილთა სრული კორპუსის ტექსტების - ტექსტოლოგთა მიერ დადგენილი ავთენტური ტექსტების გაციფრება;
2. მათი დაკავშირება შემორჩენილი ავტოგრაფების მონაცემთა ბაზასთან;
3. პოეტის პირადი წერილების ადრესატებისა და ფიგურანტების ერთიანი მონაცემთა ბაზის შექმნა, რომელშიც შესაძლებელი იქნება 1832 წლის შეთქმულების მონაწილეთა, რუსეთ-კავკასიის ომში მონაწილეთა და სხვა ქვებაზების გამოყოფა;



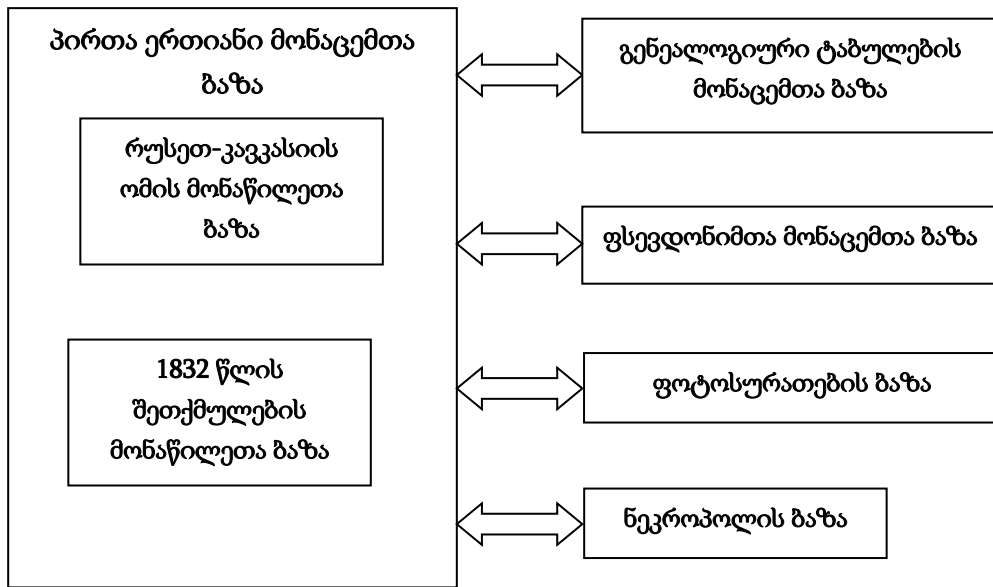
4. პოეტის ახლობელი სათავადაზნაურო საგვარეულოების (ბარათაშვილების, ორბელიანების, ქსნის ერისთავების...) გენეალოგიური ტაბულების მონაცემთა ბაზის შექმნა, რომელიც იძლევა ინფორმაციას პირთა ნათესაური კავშირების შესახებ;
5. ტექსტში ნახსენებ გეოგრაფიულ სახელთა მონაცემთა ბაზის შექმნა;
6. წერილების ტექსტების სათანადო ლექსიკური ერთეულების (პირთა, ტოპონიმთა) ჰიპერბმულებით დაკავშირება შესაბამის მონაცემთა ბაზების ერთეულებთან, რაც შეამცირებს ჩანაწერთა რაოდენობას. ვგულისხმობთ იმას, რომ თუ ერთი და იგივე პირი არის წერილის ადრესატიც და არა ერთი, არამედ რამდენიმე წერილის ფიგურანტიც, რაც არცთუ იშვიათია, ასეთ შემთხვევაში, განსხვავებით ბეჭდური გამოცემისაგან, სადაც თუ გამეორებული არ არის შესაბამისი განმარტება, მითითება მაინც არის ადრე გაკეთებულ ჩანაწერზე, მათი რიცხვი საგრძნობლად შემცირდება და მიიღებს ოპტიმალურ სახეს;
7. როგორც უკვე აღვნიშნეთ, ფიგურანტები წერილებში ხანდახან ფსევდონიმებითაა მოხსენებული, მაგალითად, გიორგი ერისთავი იხსენიება „გლუხარიჩად“, ალექსანდრე ორბელიანი - „ბაკლანად“...), ან შეიძლება პირი არ იხსენიებოდეს ფსევდონიმით, მაგრამ მას ჰქონდეს ფსევდონიმი, რომელიც მითითებულია შესაბამის პერსონალიაში. ინტერნეტ-სივრცეში დღეისათვის უკვე არსებობს ქართული ფსევდონიმების ელექტრონული ლექსიკონი, რომელიც განთავსებულია საქართველოს პარლამენტის ეროვნული ბიბლიოთეკის გვერდზე. სასურველია, ფსევდონიმებით მოხსენიებულ პირთა დაკავშირებაც მოხდეს ფსევდონიმთა ბაზასთან, რომელიც ზემოხსენებულ ლექსიკონზე დაყრდნობით შეიქმნება ამ მიზნით;
8. სასურველია შეიქმნას აგრეთვე ცალკე მონაცემთა ბაზა პირთა ნეკროპოლისათვის და ასევე მოხდეს მისი დაკავშირება პერსონალიასთან;
9. ელექტრონული ბეჭდური გამოცემის სრულყოფა მუდმივად შეიძლება გაგრძელდეს. მაგალითად, ის შეიძლება გამდიდრდეს წერილების ფიგურანტ პირთა ფოტოსურათებით, ანუ შეიქმნას მათი ფოტოსურათების ბაზაც შესაბამისი ჰიპერლინკებით.

განსახილავი ელექტრონული გამოცემის მომზადების სქემის შესაბამისი სტრუქტურა და მისი შემადგენელი ბლოკები ნაჩვენებია ნახაზებზე 1 და 2.

ჩვენ შევიმუშავეთ მხოლოდ ზოგადი სქემა და რეკომენდაციები ნიკოლოზ ბარათაშვილის პირადი წერილების ელექტრონული გამოცემის მომზადებისათვის. პოეტის ეპისტოლური მემკვიდრეობის შემდგომი კვლევის პარალელურად მათ შეიძლება დაემატოს სხვა ახალი რეკომენდაციებიც.



ნახ.1



ნახ. 2

აღსანიშნავია ისიც, რომ ჩვენი ელექტრონული გამოცემისათვის საგანგებოდ შექმნილი მონაცემთა ბაზები შეიძლება ავირჩიოთ ბაზისად და მას დაეფუძნოს და დაემატოს ამავე ეპოქის სხვა მწერალთა (გრიგოლ ორბელიანის, ალექსანდრე ჭავჭავაძის და სხვ.) ანალოგიური გამოცემებისათვის შედგენილი ჩანაწერები. სტატიაში აღწერილი ელექტრონული გამოცემის მომზადების პროცესი შეიძლება განზოგადდეს და გაივრცოს მათი ელექტრონული გამოცემებისათვისაც და საფუძვლად დაედოს ამ მწერალთა ერთიან სამეცნიერო პორტალს.

## Features of scientific and electronic editions, as one urgent task of digital humanities

*Maia Tsertsvadze, Veriko Bakhtadze*

### Summary

The article discusses the topical issue of digital humanities - the specific features of the digitalization of scientific and literary texts and the preparation of scientific electronic editions.

Naturally, the preparation of scientific electronic editions should be carried out with the participation of both specialists in the humanities and highly qualified programmers and information technology specialists. They will solve the tasks set by scientists by creating appropriate databases, algorithms and software.

To achieve the goal set in the article, a specific example is considered - the specific features of preparing an electronic edition of personal letters - a non-fiction text of one writer, a task is set and specific recommendations for programmers are developed. These recommendations can be generalized both for the text of the same character by another author, and for the generally non-fictional part of the academic editions of writers.

Особенности научно-электронных изданий, как одна актуальная задача цифровой гуманитарии

Maია Цერცვაძე, ვერიკო ბახტაძე

Резюме

В статье рассмотрен актуальный вопрос цифровой гуманитарии - специфические особенности дигитализации научно-литературных текстов и подготовки научных электронных изданий.

Естественно, подготовка научных электронных изданий должна осуществляться с участием как специалистов гуманитарных наук, так и высококвалифицированных программистов и специалистов информационных технологий. Поставленные учеными задачи они разрешат путем создания соответствующих баз данных, алгоритмов и программ.

Для достижения поставленной в статье цели рассмотрен конкретный пример - специфические особенности подготовки электронного издания личных писем - текста нон-фикшн одного писателя, поставлена задача и разработаны конкретные рекомендации для программистов. Эти рекомендации можно обобщить как для текста того же характера другого автора, так и для в общем нон-фикшн части академических изданий писателей.

ლიტერატურა – References – Литература

1. ნინიძე მ., გიგაშვილი ქ. ტექსტოლოგია. თბილისი. გამომცემლობა „პრინტჯეო“. 2018. გვ. 355, 356, 372-373.
2. ბრეგაძე, ლ. „მოთხრობები ლიტერატურაზე 2“. თბილისი. „ბაკურ სულაკაურის გამომცემლობა“. 2019. გვ. 216-238.
3. XIX-XX საუკუნეების ქართველ მწერალთა ეპისტოლური მემკვიდრეობა. ტ. I. ალექსანდრე ჭავჭავაძე, სოლომონ დოდაშვილი, ნიკოლოზ ბარათაშვილი. ტომის რედაქტორები: ქეთევან გიგაშვილი და მარიამ ნინიძე. თბილისი. „უნივერსალი“. 2011. გვ. 128-165, 244-277.
4. ბარათაშვილი ნ. პირადი წერილები. მოამზადა, შესავალი, კომენტარები, შენიშვნები, საძიებლები და გენეალოგიური ტაბულები დაურთო მაია ცერცვაძემ. გამომცემლობა „არტანუჯი“. თბილისი. 2015. გვ.11-346.
5. ცერცვაძე მ. „XIX საუკუნის პირველი ნახევრის საქართველოს საზოგადოებრივი გარემო ნიკოლოზ ბარათაშვილის ეპისტოლური მემკვიდრეობის მიხედვით“. გამომცემლობა „არტანუჯი“. „მერიდიანი“. 2019. გვ.108-128.

---

## სატელეფონო ცენტრში ზარების რიგების მართვის ანალიტიკური სისტემა

ანა კობიაშვილი, ნოდარ დარჩიაშვილი  
anakobia@hotmail.com, nod619@gmail.com

### რეზიუმე

ნებისმიერი სატელეფონო ცენტრის ეფექტური მუშაობა საკმაოდ რთული მისაღწევია, რადგან იქ ყოველდღიურად ფიქსირდება ათასობით ზარი, პასუხი გაეცემა უამრავ შეკითხვას და გვარდება უამრავი პრობლემა. მომსახურების ხარისხის გაუმჯობესებისათვის უაღრესად მნიშვნელოვანია ისეთი მეთოდების დანერგვა, რომლებიც ზარის მომსახურების ხანგრძლივობას შეამცირებს.

სტატიაში ნაჩვენებია, თუ რა ფაქტორები აღიზიანებს ყველაზე მეტად მომხმარებელს სატელეფონო ცენტრში დარეკვისას. გაანალიზებულია ზარების რიგის შემქმნელი სიტუაციები, წარმოდგენილია მომხმარებელთა გამოკითხვის შედეგები, რომლებიც ეხება რიგში დგომის ხანგრძლივობის მიმართ მომხმარებლების მოთხოვნებს. ნაშრომში განხილულია ზარებისთვის პრიორიტეტების მინიჭების მექანიზმი, მისი რეალიზების ალგორითმი და ასევე არამიზნობრივი ზარების მართვის ხერხები. სტატიაში ნაჩვენებია რიგების პრიორიტეტების მართვის სისტემის დადებითი და უარყოფითი მხარეები.

ნაშრომში განხილულია პროგრამა, რომელიც შეიქმნა გადაუდებელი რეაგირების ცენტრის სამუშაო პროცესში სატელეფონო ზარების რიგების ავტომატური მართვისთვის. პროგრამა უზრუნველყოფს მომხმარებლების რიგში დგომის დროის შემცირებას და მათ უფრო ეფექტიანად მომსახურებას.

*საკვანძო სიტყვები: სატელეფონო ცენტრი, ანალიტიკური სისტემა, სატელეფონო ზარების რიგი, რიგების მართვა, ზარზე მუშაობის საშუალო ხანგრძლივობა*

სატელეფონო ცენტრის ეფექტურ მუშაობაზე დიდ გავლენას ახდენს ის, თუ როგორ მუშაობს შემომავალი ზარების რიგი [1]. სატელეფონო ცენტრები იყენებენ სხვადასხვა მეთოდებს, ინსტრუმენტებს და პრაქტიკებს იმისათვის, რომ შეამცირონ მომხმარებლის რიგში ყოფნის დრო. ჩვენი მიზანია, გვეჩვენოს რაც შეიძლება დაბალი მოლოდინის ხანგრძლივობა, რაც გამოიწვევს უფრო ეფექტურ მომსახურებას და მომხმარებლების კმაყოფილებას.

აუცილებელია, რომ სატელეფონო ცენტრის რიგები მუდმივად კონტროლდებოდეს და სრულდებოდეს შესაბამისი ქმედებები იმისათვის, რომ შემცირდეს მომხმარებელთა უკმაყოფილება და ზარების გათიშვა პასუხამდე. ყოველი ზარი არის შესაძლებლობა მომხმარებელს მივცეთ შთაბეჭდილება ჩვენი კომპანიის შესახებ.

სურ.1-ზე ნაჩვენებია, თუ რა ფაქტორები აღიზიანებს ყველაზე მეტად მომხმარებელს სატელეფონო ცენტრში დარეკვისას. სურათიდან ჩანს, ერთ-ერთი ყველაზე გამაღიზიანებელი ფაქტორი მოლოდინის მაღალი ხანგრძლივობაა. პასუხის მოლოდინში ყოფნისას მომხმარებელს ორი არჩევანი აქვს: დაიცადოს, სანამ მას უპასუხებენ, ან გათიშოს ზარი და მოგვიანებით სცადოს დაკავშირება. სატელეფონო ცენტრისთვის მოლოდინის მაღალი ხანგრძლივობა იწვევს ბევრ გათიშულ და განმეორებით ზარს, ასევე უკმაყოფილო მომხმარებლებს [2].

როდესაც ვუკავშირდებით სატელეფონო სისტემას, რომელიც იყენებს ზარების რიგებს, ზარის ინიციატორი, როგორც წესი, ისმენს მისასალმებელ შეტყობინებას და შემდეგ ზარი იგზავნება რიგში, სადაც მომხმარებელს ავტომატურად ატყობინებს მის პოზიციას რიგში.



სურ.1. მომხმარებლის გამაღიზიანებელი ფაქტორები

ზარების რიგის შემქმნელი სიტუაციებია:

**ზარის დამუშავების მაღალი ხანგრძლივობა.** სატელეფონო ცენტრის დაყოვნება ხდება ზარზე მუშაობის მოსალოდნელზე დიდი დროის გამო. ამის მიზეზი შეიძლება იყოს ოპერატორის უყურადღებობა, ინიციატორის მიერ საუბრის შეწყვეტა ან პრობლემის მოგვარებისათვის აუცილებელი გამოცდილების არარსებობა.

**თანამშრომელთა ნაკლებობა.** გაზრდილი რიგები ზოგჯერ ოპერატორთა ნაკლებობის შედეგია. თუ სატელეფონო ცენტრში არაა ზარების მოცულობის პროპორციული რაოდენობის ოპერატორი, ზარების დიდი რიგი და მოლოდინის მაღალი ხანგრძლივობა მიიღება.

**მომველებული ტექნოლოგია.** მომველებული ან მომხმარებელზე მოურგებელი სატელეფონო პროგრამული უზრუნველყოფა გავლენას ახდენს სატელეფონო ცენტრის ოპერატორის ეფექტურ მუშაობაზე. მოწინავე სატელეფონო სისტემები ოპერატორს ზარის პასუხამდე აწვდიან ინფორმაციას ზარის ინიციატორის შესახებ, რაც ამცირებს საუბრის დროს.

სურ. 2-ზე წარმოდგენილი Vocal Laboratories (Vocalabs)-ის მიერ შექმნილი დიაგრამა გვიჩვენებს [3], რა ხანგრძლივობას მიიჩნევენ მომხმარებლები გამართლებულად მოლოდინის რეჟიმში ყოფნისას. აქვე მოცემულია მომხმარებლების კმაყოფილების მაჩვენებელი, რომელიც მაღალი მოლოდინის ხანგრძლივობის პროპორციულად იკლებს.

რიგების ნორმალური განაწილების შემთხვევაში ზარებზე პასუხი ხდება იმ მიმდევრობით, რომლითაც შემოვიდა ზარი. ოპერატორებთან ზარების გადასანაწილებლად სატელეფონო ცენტრები იყენებენ ზარების ავტომატურ გამანაწილებელს (ACD – Automatic Call Distributor), რომელიც ინახავს ზარს მოპასუხე ოპერატორის გათავისუფლებამდე. ეს მიმდევრობა ლოგიკური და სამართლიანია, თუმცა ზოგჯერ კომპანიის ინტერესში შედის, რომ ზოგიერთ ზარს უფრო მეტი ან უფრო ნაკლები პრიორიტეტი მიენიჭოს, რაც რიგში მის გადანაცვლებას გამოიწვევს [4]. რიგში ნომრის პრიორიტეტის ცვლილებაზე ბევრმა ფაქტორმა შეიძლება იმოქმედოს. შეიძლება პირადად მენეჯერის გადაწყვეტილება იყოს, რომ მის მიერ ამორჩეულ ნომერს პასუხის მოლოდინში სხვა ნომრებზე ნაკლები დროის გატარება უწევდეს.

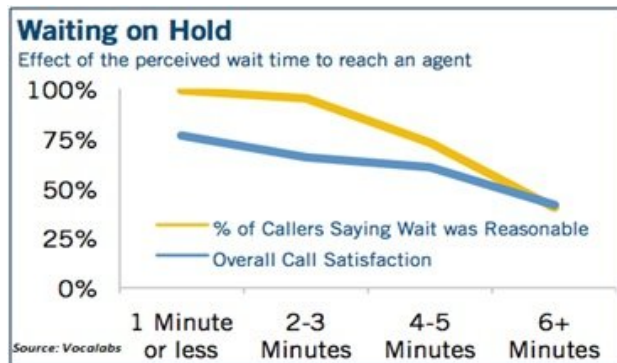
ანალიტიკური სისტემა შეგროვებულ მონაცემებზე დაყრდნობით აკეთებს თითოეული ზარის ანალიზს.

ჩამონათვალი მონაცემების, რომლებიც შეგვიძლია მივიღოთ ზარის ჩანაწერისაგან:

- ზარის ხანგრძლივობა.
- ამოცნობილი ტექსტის მონაცემები:
  - სიტყვების რაოდენობა;
  - საკვანძო სიტყვების დაფიქსირება (კონფიგურირებადია სატელეფონო ცენტრის მენეჯერის მიერ);
  - ამოცნობილი ტექსტის ზოგადი მონაცემთა ბაზის შექმნა, რაც საშუალებას გვაძლევს ნებისმიერი ტექსტი მოვეძებნოთ ზარის ჩანაწერებში.

- პაუზები საუბრისას. ზარის ჩანაწერში ხშირი და ხანგრძლივი პაუზების დაფიქსირება შესაძლებელია დაეხმაროს ორგანიზაციას, დაადგინოს პრობლემური თემები და ასევე შეაფასოს ოპერატორის პროფესიული კვალიფიკაცია.
- ტონის ანალიზი. სისტემას შეუძლია აღმოაჩინოს ისეთი ზარები, სადაც ფიქსირდება სტრესული, აგრესიული და სხვა უარყოფითი ემოციების შემცველი საუბარი.

ნომრების მიხედვით ამ ზარების დაჯგუფებით სისტემას ყოველი ნომრისთვის აქვს სხვადასხვა მაჩვენებლები, მაგალითად, საშუალოდ რამდენჯერ რეკავს, რამდენ ხანს უწევს მოლოდინში ყოფნა, რა დრო სჭირდება მისი პრობლემის მოგვარებას, როგორ შეფასებას აფიქსირებს მიღებულ მომსახურებაზე და სხვა ანალიტიკური მონაცემები.



სურ. 2. მომხმარებლების აზრი მოლოდინის რეჟიმში ყოფნაზე

სატელეფონო ცენტრს აქვს თავისუფლება ნებისმიერი მაჩვენებლის მიხედვით შეუცვალოს ნომერს პრიორიტეტი. პრიორიტეტების განაწილების ავტომატიზებული სისტემა სხვადასხვა ალგორითმების გამოყენებით ქმნის ნომრების პრიორიტეტების სიას. ამ ალგორითმებიდან ზოგი პრიორიტეტს ზრდის, ზოგი – ამცირებს. პრიორიტეტი შეიძლება უარყოფითი იყოს, ანუ უარყოფითი პრიორიტეტის მქონე ნომერზე პასუხის გაცემა მოხდება უფრო გვიან, ვიდრე ისეთ ნომერზე, რომელსაც საერთოდ არ აქვს პრიორიტეტი.

წარმოდგენილი რიგების მართვის სისტემა ძირითადად მორგებულია კომერციული ტიპის ორგანიზაციების სატელეფონო ცენტრებზე, მაგალითად, ორგანიზაციაზე, რომელიც სატელეფონო ზარის საშუალებით ახორციელებს სავაჭრო საქმიანობას. ორგანიზაციას, რომელსაც არ აქვს რიგების მართვის მკაცრი წესები, შეუძლია მიაწილოს პრიორიტეტი ისეთ ნომრებს, რომლის პასუხისგანაც მეტ სარგებელს მიიღებს. შესაბამისად, ასეთი ორგანიზაციისათვის გამართლებულია ამ სისტემის გამოყენება.

მოცემული სისტემა ვერ მოერგება ისეთ სატელეფონო ცენტრს, რომელსაც მკაცრად აქვს დადგენილი რიგების მართვის პრინციპი. ასეთებს მიეკუთვნება გადაუდებელი დახმარების სატელეფონო ცენტრები. ამგვარი ორგანიზაციები ზარებს სტანდარტული რიგის პრინციპით – მიმდევრობით პასუხობენ.

რიგების მართვის სისტემა მუშაობს შემდეგნაირად: პრიორიტეტების სიაში დამატებული ნომრის პრიორიტეტის მნიშვნელობის შესაბამისად ეს ნომერი შეიცვლის პოზიციას და გადაინაცვლებს წინ ან უკან.

**დადებითი პრიორიტეტი.** დავუშვათ, რომ ნომერს აქვს დადებითი პრიორიტეტი მნიშვნელობით 3. თუ ამ ნომრიდან განხორციელდება ზარი სატელეფონო ცენტრში და მოლოდინში არის 6 ადამიანი, ნომერი მე-7 ადგილის ნაცვლად აღმოჩნდება მე-4 ადგილზე. თუ მოლოდინში მყოფი ზარების რაოდენობა უფრო ნაკლებია, ვიდრე ნომრის პრიორიტეტის მნიშვნელობა, ნომერს პასუხს გასცემენ მაშინვე, როცა რომელიმე ოპერატორი გათავისუფლდება.

**უარყოფითი პრიორიტეტი.** ვთქვათ, ნომერს აქვს პრიორიტეტი -2. იმ შემთხვევაში, თუ ამ ნომრიდან სატელეფონო ცენტრში ზარის განხორციელებისას, მოლოდინში არის 5 ზარი, თავდაპირველად ეს ნომერი იქნება მე-6 ადგილზე. თუ ამ ნომერზე პასუხის გაცემამდე რიგში

დაემატება სხვა ზარები, ეს ნომერი გადაინაცვლებს ჯერ მე-7, ხოლო შემდეგ მე-8 ადგილზე. გადაინაცვლება მოხდება მაქსიმუმ ორჯერ, რადგან მისი პრიორიტეტის მნიშვნელობა არის -2.

თუ მოხდა ისე, რომ რიგში არ დაემატა ზარები (ან დაემატა მისი პრიორიტეტის მნიშვნელობაზე ნაკლები რაოდენობის ზარი) და ეს ნომერი რიგში გავიდა პირველ ადგილზე, მაშინ მას ჩვეულებრივად უპასუხებენ.

პრიორიტეტების სია გამოიყურება შემდეგნაირად:

ტელეფონის ნომერი	სიაში დამატების დრო	სიიდან ამოღების დრო	პრიორიტეტის მნიშვნელობა
111111111	17/07/2019 15:30	20/07/2019 15:30	3
222222222	16/07/2019 12:13	19/07/2019 12:13	2
333333333	17/07/2019 18:05	20/07/2019 18:05	2
444444444	18/07/2019 20:25	21/07/2019 20:25	-1
555555555	18/07/2019 14:12	19/07/2019 14:12	-2
666666666	18/07/2019 21:43	23/07/2019 21:43	-2

სისტემას ყოველი ნომრისათვის გამოთვლილი აქვს სხვადასხვა ანალიტიკური მაჩვენებელი, რომელთა მიხედვითაც შესაძლებელია მოხდეს ამა თუ იმ მომხმარებლის დაკარგვის რისკის შეფასება. მაგალითად, თუ მომხმარებლის საშუალო მოლოდინის დრო ან მის ზარებზე მუშაობის ხანგრძლივობა არის დადგენილზე მაღალი, მისი დაკარგვის ალბათობა საგრძნობლად იზრდება. ასევე მომხმარებლის უკმაყოფილება შეიძლება განვსაზღვროთ მის მიერ დაფიქსირებული შეფასების მიხედვით.

ზემოთ აღნიშნული ფაქტორები გამოიყენება რიგში მომხმარებლის პრიორიტეტის გაზრდისათვის. მაგალითად, თუ ზარზე მუშაობის მისაღები ხანგრძლივობა სატელეფონო ცენტრში 5 წუთია და რომელიმე მომხმარებელს მოუწია 8 ან 10 წუთი ლოდინი, სისტემა მას მინიჭებს პრიორიტეტს „+1“, თუ ეს განმეორდა, მისი პრიორიტეტი „+2“-მდე გაიზრდება და ა. შ.

სიაში ნომრის დამატება ხდება გარკვეული ვადით. ვადა განისაზღვრება ანალიტიკური სისტემის მონაცემების დამუშავების შედეგად. პრიორიტეტის ავტომატური ცვლილება ხდება დროის პერიოდის ხანგრძლივობის შესაბამისად. ის, თუ რა დროით აღმოჩნდება სიაში ნომრები, კომპანიას თვითონ შეუძლია აირჩიოს სისტემის კონფიგურაციისას. მოცემულ მაგალითში დაშვებულია, რომ სიაში ნომერი 3 დღით ემატება.

ზარი კომპანიისათვის შესაძლებელია იყოს არამიზნობრივი, მაგალითად, თუ ინიციატორი დარეკავს გართობის მიზნით, ან ისეთი შეკითხვით, რომელიც მოცემული კომპანიისათვის არ არის რელევანტური. ასეთი ზარები ოპერატორებს უბრალოდ დროს აკარგვინებს და უარყოფითად მოქმედებს სხვა მომხმარებლების მოლოდინის ხანგრძლივობაზე.

არსებობს არამიზნობრივი ზარების ამოცნობის მრავალი გზა. მსგავსი ზარების ამოცნობისათვის შესაძლოა გამოვიყენოთ საუბრის ანალიტიკის სისტემა, რომელსაც შეუძლია ამოიცნოს სასაუბრო ტექსტი და მოგვცეს ზარის არამიზნობრივობის ალბათობის პროცენტული მაჩვენებელი. ასევე, არამიზნობრივად შეგვიძლია ჩავთვალოთ ზარები, რომლებიც გრძელდება 3-5 წამამდე ან რომლებიც არ შეიცავს 2 ან 3 სიტყვაზე მეტს (ამ ინფორმაციასაც საუბრის ანალიტიკის სისტემის გამოყენებით მივიღებთ) [5].

ზარის, როგორც არამიზნობრივის, შეფასების შემთხვევაში მისი წამომწყები ნომერი შეგვაქვს „შავ სიაში“, ანუ ზარების რიგში მისი პრიორიტეტი მცირდება. თუ სისტემა რაღაც დროის განმავლობაში დააფიქსირებს, რომ ესა თუ ის ნომერი განმეორებით ახორციელებს კომპანიისათვის არარელევანტურ ზარს, ამ ნომერს რაღაც პერიოდით შეიტანს ზარების პრიორიტეტების სიაში უარყოფითი პრიორიტეტით. მაგალითად, თუ სისტემამ დააფიქსირა, რომ 13 საათიდან 15 საათამდე, ნომერმა 456XXX განახორციელა 3 არამიზნობრივი ზარი, მაშინ ის ამ ნომერს მინიჭებს პრიორიტეტს -1. თუ 15 საათიდან 17 საათამდე მსგავსი ზარები ისევ გაგრძელდება, მისი პრიორიტეტი შემცირდება -2-მდე და ა. შ.

ზარების მართვის პროგრამას აქვს შემდეგი სტრუქტურა:

პრიორიტეტის ტიპი:

```
public class QueuePriority
{
    // ზარის წამომწყების ტელეფონის ნომერი
    public string PhoneNumber { get; set; }

    // ნომრის პრიორიტეტულ სიაში დამატების დრო
    public DateTime AddTime { get; set; }

    // ნომრის პრიორიტეტული სიიდან ამოღების დრო
    public DateTime RemoveTime { get; set; }
    //პრიორიტეტის მნიშვნელობა
    public int PriorityValue { get; set; }
}
```

თუ მიმდინარე დრო არის AddTime და RemoveTime ნიშნულებს შორის, ეს ნიშნავს, რომ მოცემული ნომერი ამჟამად პრიორიტეტულია. PriorityValue განსაზღვრავს, თუ რამდენი პო-ზიციით გადაინაცვლებს მოცემული ნომრიდან შემოსული ზარი წინ ან უკან.

რიგში მყოფი ზარის ტიპი:

```
public class CallInQueue
{
    public CallInQueue(string phoneNumber, DateTime callDateTime)
    {
        PhoneNumber = phoneNumber;
        CallDateTime = callDateTime;
    }
    // ზარის წამომწყების ტელეფონის ნომერი
    public string PhoneNumber { get; set; }

    //ზარის შემოსვლის დრო
    public DateTime CallDateTime { get; set; }
}
```

პრიორიტეტების სიაში დამატებული ნომრები:

```
var priorityList = new List<QueuePriority>
{
    new QueuePriority
    {
        PhoneNumber = "11111111",
        AddTime = new DateTime(2019, 07, 17, 15, 30, 10),
        RemoveTime = new DateTime(2019, 07, 20, 15, 30, 10),
        PriorityValue = 3
    },
    new QueuePriority
    {
        PhoneNumber = "22222222",
        AddTime = new DateTime(2019, 07, 16, 12, 13, 0),
        RemoveTime = new DateTime(2019, 07, 22, 12, 13, 0),
        PriorityValue = 3
    }
}
```



```

    },
    new QueuePriority
    {
        PhoneNumber = "333333333",
        AddTime = new DateTime(2019, 07, 17, 18, 05, 15),
        RemoveTime = new DateTime(2019, 07, 18, 18, 05, 15),
        PriorityValue = -1
    },
    new QueuePriority
    {
        PhoneNumber = "444444444",
        AddTime = new DateTime(2019, 07, 18, 20, 25, 45),
        RemoveTime = new DateTime(2019, 07, 21, 20, 25, 45),
        PriorityValue = -2
    }
};

```

რიგის მიმდინარე მდგომარეობა:

```

var queue = new List<CallInQueue>
{
    new CallInQueue("123456789", new DateTime(2020, 07, 20, 15, 21, 18)),
    new CallInQueue("123123123", new DateTime(2020, 07, 20, 15, 23, 11)),
    new CallInQueue("222222222", new DateTime(2020, 07, 20, 15, 25, 5)),
    new CallInQueue("123321456", new DateTime(2020, 07, 20, 15, 21, 43)),
    new CallInQueue("444444444", new DateTime(2020, 07, 20, 15, 20, 54)),
    new CallInQueue("333333333", new DateTime(2020, 07, 20, 15, 22, 3)),
};

```

```

var queueWithoutPriority = queue.OrderBy(c => c.CallDateTime).ToList();

```

queueWithoutPriority არის ზარების რიგი, დახარისხებული ზარის შემოსვლის დროის მიხედვით.

რიგის მდგომარეობა:

- 1: 444444444
- 2: 123456789
- 3: 123321456
- 4: 333333333
- 5: 123123123
- 6: 222222222

```

var correctedWithNegative = CorrectWithNegativePriorities(queueWithoutPriority);

```

რიგი, რომელიც კორექტირებულია უარყოფითი პრიორიტეტის მქონე ნომრებისთვის.

რიგის მდგომარეობა:

- 1: 123456789
- 2: 123321456
- 3: 444444444
- 4: 333333333
- 5: 123123123
- 6: 222222222

444444444 ნომერმა გადაინაცვლა 1-ლიდან მე-3 პოზიციაზე, რადგან მისი პრიორიტეტი იყო -2.

var finalCorrected = CorrectWithPositivePriorities(correctedWithNegative);

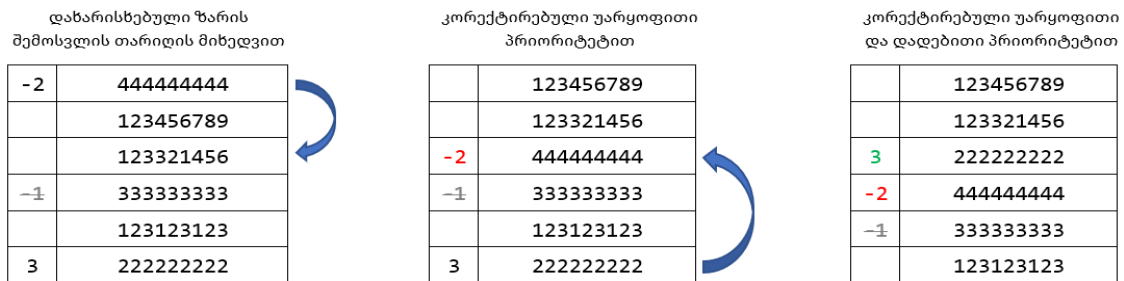
რიგის საბოლოო მდგომარეობა, კორექტირებული როგორც უარყოფითი, ასევე დადებითი პრიორიტეტის ნომრებისთვის.

რიგის მდგომარეობა:

- 1: 123456789
- 2: 123321456
- 3: 222222222
- 4: 444444444
- 5: 333333333
- 6: 123123123

ნომრმა 222222222 გადაინაცვლა მე-6-დან მე-3 პოზიციაზე, რადგან მისი პრიორიტეტი იყო 3.

333333333 ნომერი ასევე არის პრიორიტეტების სიაში, თუმცა მისი RemoveTime ნაკლებია მიმდინარე თარიღზე. ამიტომ ის არ იცვლის პოზიციას.



რიგების პრიორიტეტების მართვის სისტემას აქვს ბევრი დადებითი მხარე. სისტემის სწორად გამოყენების შემთხვევაში, შესაძლებელია გავაუმჯობესოთ მომხმარებელთა კმაყოფილების დონე, თავიდან ავიცილოთ ზოგიერთი მომხმარებლის დაკარგვა და შევამციროთ მოლოდინის ხანგრძლივობა. არამიზნობრივი ზარებისათვის უარყოფითი პრიორიტეტის მინიჭებით, ისეთ მომხმარებლებს, რომლებსაც რეალურად აქვთ პრობლემა და სჭირდებათ ოპერატორის დახმარება, უფრო ნაკლები დროის გატარება მოუწევთ რიგში. სისტემის უპირატესობა ასევე არის ის, რომ სიაში ნომრების დამატება ხდება ავტომატურად, ანალიტიკური მონაცემების დამუშავების შედეგად.

ამ ყველაფერთან ერთად, სისტემას აქვს უარყოფითი მხარეც. ამ სისტემის გამოყენების შემთხვევაში, სატელეფონო სისტემას დასჭირდება, რომ უარი თქვას რიგის პოზიციის გამომცხადებელ ავტომოპასუხეზე, რადგან ზარების პოზიცია რიგში შეიძლება შეიცვალოს. რიგში ყოფნისას მომხმარებელი გაიგონებს სტანდარტულ ტექსტს, მაგალითად, „გთხოვთ დაელოდოთ ოპერატორს“.

## Analytical System for Managing Call Queues in the Call Center

Ana Kobiashvili, Nodar Darchiashvili

### Summary

The efficient operation of any call center is quite difficult to achieve, because there are thousands of calls every day, a lot of questions will be answered and a lot of problems will be solved.

In order to improve the quality of service, it is extremely important to introduce methods that will reduce the duration of call service.

The article shows the factors that irritate the customer the most when calling in the call center, analyzes the situations that create a series of calls, presents the results of customer surveys, which relate to the needs of customers in terms of waiting time. The paper discusses the mechanism for prioritizing calls, the algorithm for its implementation, as well as ways to manage non-targeted calls. The article shows the pros and cons of a system for queuing priorities.

The paper discusses a program created for the automatic management of telephone call queues during the emergency response center. The program reduces customer downtime and provides them with more efficient service.

### **Аналитическая система управления очередями звонков в колл-центре**

*Анна Кобиашвили, Нодар Дарчиашвили*

#### **Резюме**

Добиться эффективной работы любого колл-центра довольно сложно из-за того, что каждый день там фиксируются тысячи звонков, отвечают на множество вопросов и решают множество проблем. Для повышения качества обслуживания крайне важно внедрить методы, которые позволят сократить продолжительность обслуживания звонка.

В статье показаны факторы, которые больше всего раздражают клиента при звонке в колл-центр, проанализированы ситуации, создающие серию звонков, представлены результаты опросов клиентов, которые касаются потребностей клиентов с точки зрения времени ожидания. В статье обсуждается механизм приоритизации вызовов, алгоритм его реализации, а также способы управления нецелевыми вызовами. В статье показаны независимые и отрицательные стороны приоритетов рангов.

В статье рассматривается программа, созданная для автоматического управления очередями телефонных звонков в центре экстренного реагирования. Программа сокращает время простоя клиентов и обеспечивает им более эффективное обслуживание.

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

1. <https://www.explainthatstuff.com/voicerecognition.html>, უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული – 17.08.2020.
2. <https://cloud.google.com/speech-to-text>, უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული – 01.10.2020.
3. <https://summatti.com/top-5-use-cases-for-speech-analytics/> უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული – 01.10.2020.
4. <https://www.datapine.com/blog/call-center-metrics-and-kpis/>, უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული – 17.08.2020.
5. <https://www.openaccessbpo.com/blog/6-forms-of-data-analytics-in-the-call-center/>, უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული – 17.08.2020.
6. <https://www.tenfold.com/customer-experience/managing-call-queues-customer-service-call-centers>, უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული – 17.08.2020.
7. ნ. დარჩიაშვილი, ა.კობიაშვილი. სისტემა გადაუდებელი დახმარების ოპერატიული მართვის ცენტრის მონიტორინგისათვის. თბილისი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, შრომები, მართვის ავტომატიზებული სისტემები, N1(30), გვ. 54-61.

---

## მიმდინარე სასამართლო პროცესების ელექტრონული განაწილება

*ზურაბ მაისურაძე, ანა კობიაშვილი, მერი გეგეჭკორი*  
*zuramaisuradze77@gmail.com, anakobia@hotmail.com*

### რეზიუმე

საქმეთა ელექტრონული განაწილების უმთავრეს მიზანს სასამართლოს თავმჯდომარეების მხრიდან საქმეთა განაწილების უფლებამოსილების ბოროტად გამოყენების თავიდან აცილება, საქმეთა განაწილების პროცესიდან მათი სრული დისტანცირება და მოსამართლეთა თანაბარი დატვირთულობის უზრუნველყოფა წარმოადგენს. ტრადიციული, არაელექტრონული წესით განაწილება რიგ შემთხვევებში ძალიან დატვირთული მოსამართლეების მხრიდან საქმეთა განხილვის ვადების დარღვევას იწვევს და კორუფციის საფუძველს ქმნის.

მსგავსი ელექტრონული სისტემის არსებობა, რომელიც მუდმივად დატვირთვის ქვეშ იმუშავებს და ასევე კომუნიკაცია ექნება ბევრ გარე რესურსთან, საჭიროებს კარგ არქიტექტურულ გადაწყვეტას და დომენის სწორად ჩამოყალიბებას. სტატიაში განხილულია მიმდინარე სასამართლო პროცესების განაწილების სქემა და მათი გადაწყვეტა თანამედროვე ტექნოლოგიების გამოყენებით, ნაჩვენებია სისტემის სტრუქტურა, გაანალიზებულია მოცემული სისტემის უპირატესობები.

### საკვანძო სიტყვები:

*ავტომატური განაწილება, დომენის შემუშავება, სასამართლო სტრუქტურა, თანამედროვე ტექნოლოგიები, განაწილების დრო.*

სასამართლო საქმეების ავტომატური განაწილების სისტემის მრავალი ალტერნატივა არსებობს ევროპის სხვადასხვა ქვეყნებში. ისინი ძირითადად დაფუძნებულია ადგილობრივი მმართველობის მოთხოვნებზე, თუმცა მათი არსი ერთია, კერძოდ, სასამართლო საქმეების განაწილების გამარტივება. საქმეთა განაწილების ელექტრონულმა სისტემამ უნდა უზრუნველყოს მოსამართლეთათვის საქმეთა არა მხოლოდ შემთხვევითი, არამედ შეძლებისდაგვარად თანაბარი განაწილება.

იუსტიციის უმაღლესი საბჭოს მიერ შემუშავებული წესის თანახმად [1], სისტემამ უნდა დააფიქსიროს განაწილებულ საქმეთა საშუალო მაჩვენებელი, თითოეულ მოსამართლეზე განაწილებულ საქმეთა რაოდენობა, შემთხვევითი შერჩევის შედეგად გენერირებულ რიცხვი და მოახდინოს ყველა ამ პარამეტრის ლოგირება. შესაბამისი სპეციალიზაციის მოსამართლეთა შორის ელექტრონული სისტემის მეშვეობით განაწილებულ საქმეთა რაოდენობას შორის სხვაობა არ უნდა აღემატებოდეს სამს. პრობლემურია, რომ წესი არ ითვალისწინებს საქმის წონის დადგენის სამართლიან და ობიექტურ პრინციპს და საქმეთა თანაბარი განაწილების უზრუნველყოფას მხოლოდ საქმეთა რაოდენობრივ მაჩვენებელზე აფუძნებს.

ავტომატური განაწილება უნდა მოხდეს შემთხვევითი შერჩევის პრინციპის თანახმად, რომელიც უნდა ითვალისწინებდეს მოსამართლის დატვირთულობას და წინა საქმეების სფეროს. მოსამართლის შემთხვევით შერჩევისათვის შეგვიძლია გამოვიყენოთ სტატისტიკაზე დაფუძნებული მეთოდი „შემთხვევითი განაწილება“.

საჭიროა გამოვიყენოთ პოპულაციიდან აღებული  $n$  მოცულობის მქონე ყველა შესაძლო შერჩევიდან მიღებული სტატისტიკის მნიშვნელობების ალბათური თეორიული განაწილება. სხვადასხვა შერჩევიდან გამოთვლილი სტატისტიკის მნიშვნელობები, ცხადია, რომელიღაც

შემთხვევითი ცვლადის (შემთხვევითი სიდიდის) მნიშვნელობებია. სწორედ ამ შემთხვევითი სიდიდის განაწილების კანონს ან განაწილების ფუნქციას ეწოდება შერჩევითი განაწილება. მაგალითად, ცნობილია, რომ პოპულაციიდან აღებული ყველა  $n$  მოცულობის შერჩევისათვის გამოთვლილი საშუალო არითმეტიკულების განაწილება უახლოვდება ნორმალურ განაწილებას, როცა  $n$  უსასრულოდ იზრდება [2].

სწორედ ამ მეთოდის გამოყენებით შესაძლებელია მოსამართლის შემთხვევითობის პრინციპით არჩევა, ხოლო ამის შემდეგ მასზე გარკვეული ვალიდაციების გატარება, რათა დავადგინოთ, მაგალითად, მსგავს საქმეებში რამდენად ხშირად ჰქონდა მონაწილეობა მიღებული ან თუნდაც კვირის განმავლობაში რამდენ საქმეზე იყო დანიშნული. ამის შემდეგ სისტემა მას მიანიჭებს კონკრეტულ საქმეს რომელიმე კვალიფიკაციაში.

იქიდან გამომდინარე, რომ საქმეების განაწილების პროცესი ყოველდღიურია, მონიტორინგი კი ხორციელდება ყოველთვიურად, მიდგომა ემყარება თვის შედეგების აგრეგაციას. ნებისმიერი აგრეგაცია გარკვეულწილად ამცირებს მონაცემების სიზუსტეს და ემყარება დაშვებას, რომ ყველა ცვლადი, რომელიც გავლენას ახდენს განაწილებაზე (დატვირთულობის მაჩვენებელი და მოსამართლის მიერ უფლებამოსილების განხორციელების შესაძლებლობა ან მისი დროებით შეზღუდვა ავადმყოფობის, მივლინებისა თუ შვებულების გამო) ყოველდღიურ რეჟიმში არის ცნობილი და მიღებული მხედველობაში სისტემის მიერ საქმეების თანაბარი განაწილებისას.

იმის გათვალისწინებით, რომ ამ ცვლადების დიდი ნაწილი წინასწარ ცნობილია და საქმეთა რაოდენობაში დასაშვებ განსხვავებად მიღებულია სამი საქმე, უნდა ჩავთვალოთ, რომ შემოთავაზებული მეთოდოლოგია საკმარისად ზუსტია იმის გასაზომად, თუ რამდენად ეფექტურად და გამართულად მუშაობს საქმეთა განაწილების სისტემა ერთი თვის ჭრილში. ორ თვეში ერთხელ მონაცემების ანალიზი ამ მეთოდოლოგიით ამცირებს მის თეორიულ უზუსტობას, ისევე როგორც საქმეთა განაწილების სისტემის მიერ დაშვებულ შესაძლო უზუსტობასაც. შესაძლებელია, გარკვეული გარემოებების ზეგავლენით თანაბარი განაწილების პრინციპი დაირღვეს, მაგრამ სისტემაში ინტეგრირებულია მექანიზმი, რომელიც ამ უზუსტობას ასწორებს, რაც აისახება მომდევნო თვეში. შესაბამისად ორთვიან პერიოდში საქმეთა რაოდენობა უნდა გათანაბრდეს.

სერვისიდან მონაცემთა ბაზასთან კავშირი ხორციელდება Object-relational mapping Entity Framework v. 5 საშუალებით, ხოლო მონაცემთა ბაზად გამოყენებულია IBM db2 რელაციური მონაცემთა ბაზა. სამუშაო გარემოს შესაქმნელად გამოყენებულ იქნა Microsoft Windows Forms ინსტრუმენტი და დაპროგრამების ენა C#. მონაცემთა ბაზასთან წვდომა შესაძლებელია წინასწარ განსაზღვრული IP მისამართებიდან შესაბამისი მომხმარებლის უფლებებით. ცხრილებში მონაცემთა შეტანა, შეცვლა ან წაშლა ხდება ბაზის შესაბამისი პროცედურების მეშვეობით და ყველა მოქმედება ლოგირდება. საქმეთა ელექტრონული განაწილების მოდული ჩაშენებულია საქმის წარმოების პროგრამაში, რომელსაც გააჩნია ავტორიზაციის ფუნქცია შესაბამისად განაწილების მოდული დამოუკიდებელ ავტორიზაციას არ საჭიროებს [3]. ვებ-სერვისი განხორციელებულია Microsoft WCF (Windows Communication Foundation) დაპროგრამების ენაზე.

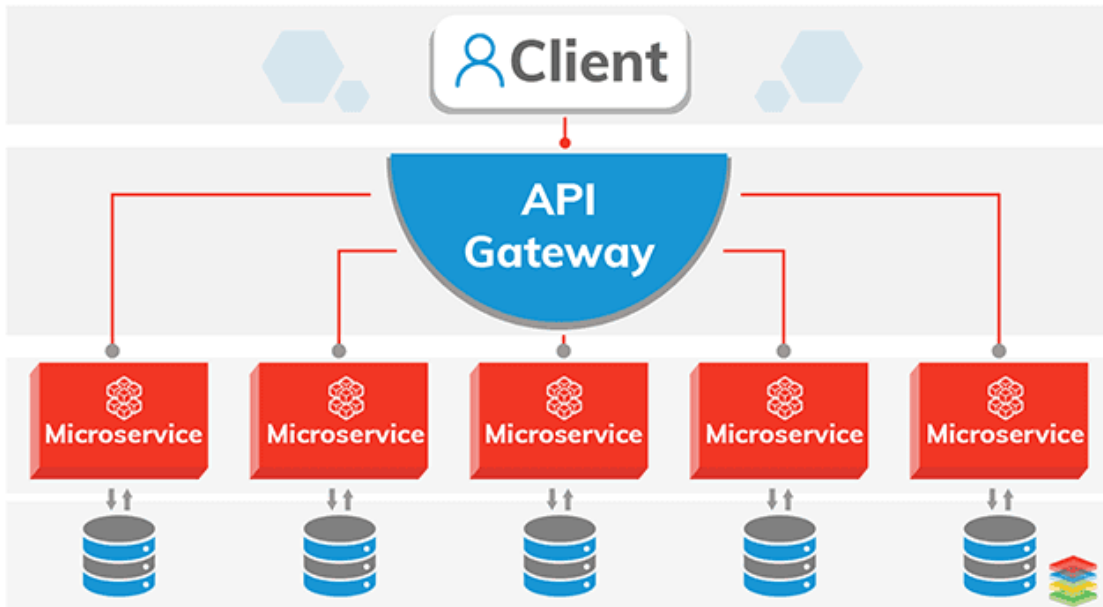
Windows ფორმებზე შექმნილი აპლიკაციები დღესდღეობით აღარ გამოიყენება აქტიურად, რადგან მათ არ გააჩნიათ დისტრიბუციული თვისებები, რასაც გვამლევეს ვებ-აპლიკაციები. ვებ-აპლიკაციას ემსახურება კონკრეტულ ქსელში განთავსებული ვებ-სერვერი, რომელიც დაყენებულია არა მომხმარებლის კომპიუტერზე, არამედ ცალკე კომპიუტერზე განთავ-

სებული. შესაბამისად, პროგრამაში განხორციელებული ცვლილებები ავტომატურად აისახება ყველა მომხმარებელთან.

სერვისის სისტემა იყოფა რამდენიმე სერვისად:

- **ავტორიზაციის სერვისი** – ეს სერვისი პასუხისმგებელია სისტემაში მომხმარებლის ვერიფიკაციაზე და მისთვის შესაბამისი პრივილეგიების მინიჭებაზე.
- **ძირითადი სერვისი** – ეს სერვისი მოიცავს ძირითად ოპერაციებს, როგორცაა საქმეების მონაცემთა ბაზაში ჩაწერა, გამოთხოვნა, ჩასწორება და ა. შ.
- **განაწილების სერვისი** – ეს სერვისი სრულიად პასუხისმგებელია განაწილების ლოგიკაზე და ყველა მისი ქმედების შესახებ ინფორმაცია მიეწოდება ძირითად სერვისს Service Bus-ის გამოყენებით.
- **ვებ-აპლიკაცია** – ეს სერვისი მოიცავს ვებ-აპლიკაციას, რომელშიც მუშაობს მომხმარებელი.

სურ.1-ზე ნაჩვენებია სისტემის გაყოფის მაგალითი მიკროსერვისული (განაწილებული) არქიტექტურის გამოყენებით.



სურ.1. სისტემის გაყოფის მაგალითი მიკროსერვისული არქიტექტურის გამოყენებით

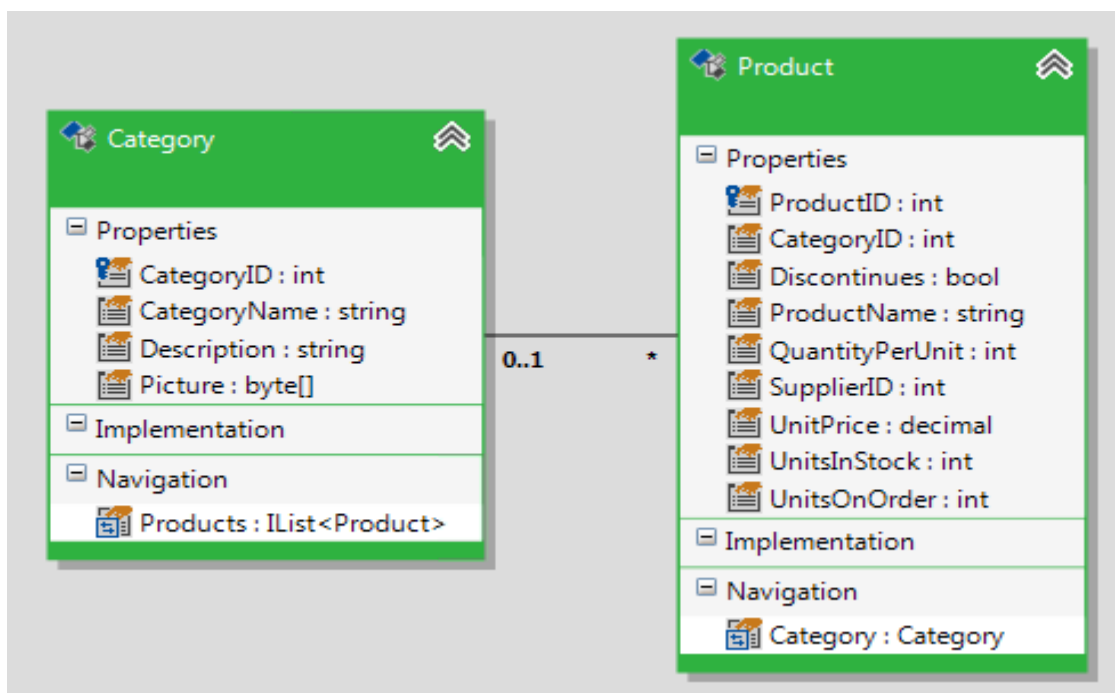
სერვისების უსაფრთხოების უზრუნველსაყოფად გამოყენებულია ინსტრუმენტი Windows Authentication და ტოკენებზე დაფუძნებული აუთენტიფიკაციის ტექნიკა. სასამართლო საქმეების შემთხვევითი (ალბათობით) განაწილების ფუნქციისათვის სერვისი იყენებს Microsoft-ის ჩაშენებულ Random ბიბლიოთეკას.

განაწილებული გამოთვლა კომპიუტერული მეცნიერების სფეროა, რომელიც სწავლობს განაწილებულ სისტემებს, რომელთა კომპონენტები განლაგებულია სხვადასხვა ქსელურ კომპიუტერებზე და რომლებიც კომუნიკაციასა და კოორდინაციას უწევენ თავიანთ მოქმედებებს ერთმანეთისთვის შეტყობინებების გადაცემის გზით [4]. კომპონენტები ურთიერთქმედ-

დებენ ერთმანეთთან საერთო მიზნის მისაღწევად. განაწილებული სისტემების სამი მნიშვნელოვანი მახასიათებელია: კომპონენტების თანხვედრა, გლობალური საათის არარსებობა და ცალკეული კომპონენტების დამოუკიდებლად შეფერხებებით მუშაობის დასაშვებობა.

სისტემის ძირითად ნაწილს მოიცავს დომენის სწორად ჩამოყალიბება, რაც სრულიად დამოკიდებულია ბიზნეს-პროცესზე. იმის გათვალისწინებით რომ მოცემულ შემთხვევაში ბიზნეს-პროცესს წარმოადგენს განაწილების შესახებ საქართველოს კონსტიტუციით გათვალისწინებული კანონი, სრულად მასზე მორგებული დომენის შემუშავებაა საჭირო. დომენი წარმოადგენს საწარმოს ან სისტემის ფართო ხედვას, რომელზეცაა დაფუძნებული აპლიკაციის მუშაობა. პროგრამული თვალსაზრისით დომენის მაგალითებია რომელიმე OOP ენის კლასი, სადაც აღწერილია დომენის კონკრეტული ნაწილის პარამეტრები.

სურ.2-ზე ნაჩვენებია დომენის მაგალითი მონაცემთა ბაზის სტრუქტურაში.



სურ.2. დომენის მაგალითი მონაცემთა ბაზის სტრუქტურაში

აპლიკაციის კლიენტის მხარე შემუშავებულია თანამედროვე ვებ-ტექნოლოგიების გამოყენებით, რომლებიც დაფუძნებულია კომპონენტურ წყობაზე. იმის გათვალისწინებით, რომ საბოლოო მიზანი არის ის, რომ აპლიკაცია იყოს კომპაქტური და ასევე ნაკლები კოდის ბაზა გვექონდეს, ვიყენებთ დღეისათვის პოპულარულ, მარტივი და შაბლონური მიდგომის მქონე ინსტრუმენტებს. რამდენიმე წლის წინ, ვებ-დეველოპერები მომხმარებლის ინტერფეისის საკონტროლებლად იყენებდნენ რთულ HTML-სა და კომპლექსურ ინსტრუმენტებს. ამ ამოცანების გადაჭრა შესაძლებელია განმეორებით გამოყენებადი კოდის საშუალებით, თუმცა კოდის მრავალჯერადად გამოყენებამ შესაძლოა საიტი უფრო კომპლექსური გახადოს. ვებ-კომპონენტები მიზნად ისახავს ასეთი პრობლემების მოგვარებას. ვებ-კომპონენტები წარმოადგენს იმ მახასიათებლების ერთობლიობას, რომელიც უზრუნველყოფს სტანდარტულ კომპონენტურ მოდელს ვებისთვის, რომელიც საშუალებას იძლევა ინდივიდუალური HTML

ელემენტების ინკაფსულაციას და ურთიერთთანამშრომლობას ისეთი ტექნოლოგიებით, როგორცაა პერსონალური ელემენტები, Shadow DOM და HTML შაბლონები.

პერსონალური ელემენტები არის სრულად HTML ელემენტები, რომლებიც შეიცავს შაბლონებს, ქცევასა და ტეგების სახელებს (მაგ. &lt;one-dialog&gt;), რომლებიც დამზადებულია JavaScript-ის API-ების ერთობლიობით, ხოლო Shadow DOM არის CSS-სა და JavaScript-ის იზოლირების უნარი.

HTML შაბლონები არის მომხმარებლის მიერ განსაზღვრული შაბლონები HTML-ში, რომლებიც არაა გამოყენებული, სანამ საჭირო არ გახდება [5]. ვებ-კომპონენტები სინამდვილეში ამარტივებენ ბევრ სირთულეს კლიენტის მხარეს. ვებ-კომპონენტები წარმოადგენს ვებ-გვერდებისთვის ან ვებ-პროგრამებისთვის სამშენებლო ბლოკების კოლექციას მარტივი თვალსაზრისით. ვებ-კომპონენტებთან ერთად, დეველოპერებს აქვთ ფართო შესაძლებლობის უნარი. რასაკვირველია, JavaScript-ის Framework-ები, როგორცაა React, Vue ან Angular, მიჰყვება მსგავს მიდგომას, თუმცა ეს Framework-ები ამას გარკვეული ხარჯით აკეთებენ. ენის მახასიათებლების კომპილაცია ხდება საჭირო და JS-ის მრავალი Framework-ი ეყრდნობა Runtime პროცესს, რათა მართოს თავისი აბსტრაქციები.

სასამართლო სტრუქტურისთვის უაღრესად მნიშვნელოვანია:

- სწორი გადაწყვეტილებების მიღება;
- ამ გადაწყვეტილებების ისტორიის შენახვა შესაბამის დამატებით ინფორმაციასთან ერთად;
- სასამართლო საქმეების განაწილება მოსამართლეების დატვირთულობის მიხედვით;
- გამჭვირვალობის უზრუნველყოფა.

ყველა ამ მოთხოვნის შესრულება შესაძლებელია სასამართლო საქმეების ავტომატური განაწილების სისტემის გამოყენებით. ამასთან, ყველა სასამართლო საქმის წარმოება ხდება ელექტრონულად. აქედან გამომდინარე, სასამართლო სტრუქტურის თანამშრომლებისთვის ბევრად გამარტივებულია საქმეების განაწილება, გადაწერა და სხვა დამატებითი საქმიანობის წარმოება.

სტატიაში წარმოდგენილია არსებული სასამართლო საქმეების განაწილების სისტემის მოდელი და შემდგომ განხილულია კონკრეტული მიდგომები და ტექნოლოგიები, რითაც შეიძლება ამ სისტემის გაუმჯობესება და განახლება. შემოთავაზებული მოდელით შესაძლებელი იქნება შედეგების გაუმჯობესება და ეს ასევე სიახლე იქნება სასამართლო სფეროში. ამ მოდელით შესაძლებელია სხვადასხვანაირი პრობლემების გადაწყვეტა და არა მხოლოდ სასამართლო სფეროში არსებული პრობლემებისა. ამიტომ რთულია არსებული მაგალითის მოყვანა.

## Court Random Case Distribution System

*Zurab Maisuradze, Ana Kobiashvili, Meri Gegechkori*

### Summary

The main purpose of the electronic distribution of court cases is to prevent the abuse of case distribution powers by court chairmen's, to completely distance them from the case distribution



process, and to ensure an equal workload for judges that in some cases leads to violations of the deadlines from judges.

Having such a system, which will work under constant load and also have communication with many external resources, requires a good architectural solution and proper domain configuration. The article discusses the distribution scheme of current processes and their solution using modern technologies, shows the structure of the system, analyses advantages of the given system.

### **Схема электронного распределения текущих судебных дел**

*Зураб Майсурадзе, Анна Кобиашвили, Мери Гегечкори*

#### **Резюме**

Основная цель электронного распределения судебных дел – предотвратить злоупотребление полномочиями по распределению дел со стороны председательствующих судей, полностью отстранить их от процесса распределения дел и обеспечить равную загруженность судей. Традиционное неэлектронное распространение в некоторых случаях срывает сроки для перегруженных работой судей и создает почву для коррупции.

Существование такой электронной системы, которая будет постоянно работать под нагрузкой, а также будет иметь связь со многими внешними ресурсами, требует хорошего архитектурного решения и правильной конфигурации домена. В статье рассматривается схема распределения текущих судебных процессов и их решение с использованием современных технологий, показана структура системы, проанализированы преимущества данной системы.

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

1. <https://www.investopedia.com/terms/s/simple-random-sample.asp>, უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული – 03.08.2020.
2. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00607-016-0508-7>, უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული – 03.08.2020.
3. ა. კობიაშვილი, ზ. მაისურაძე. სასამართლო საქმეების ავტომატური განაწილების სისტემა. თბილისი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი. III საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია „გლობალიზაცია და ბიზნესის თანამედროვე გამოწვევები“, შრომების კრებული, II ნაწილი, საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 2019, გვ. 283-287.
4. <https://microservices.io/>, უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული – 03.08.2020.
5. <https://medium.com/front-end-weekly/10-most-popular-web-frameworks-in-2020-167b9103e08a>, უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული – 03.08.2020.

---

## ღრმა სწავლების მეთოდოლოგიის გამოყენება CoVID 19 სტატისტიკური მონაცემის ანალიზისათვის საქართველოს მაგალითზე

თენგიზ ბახტაძე, ირაკლი როდონაია, მერი გეგეჭკორი

tengizbakhtadze@hotmail.com

### რეზიუმე

მოცემულ ნაშრომში ციფრული სახით მოპოვებულია და წარმოდგენილი საქართველოში CoVID 19 სტატისტიკური ანალიზი დისკრეტული SIR მსგავსი მოდელის მონაცემების მიხედვით. გამოყენებულია ღრმა სწავლებაში მიღებული რეგრესიული და კორელაციური ანალიზის მეთოდოლოგია პროგნოზირებისათვის. ჩატარებულია რეგრესიული ანალიზის სხვადასხვა ტიპების შედარებითი ანალიზი. მოყვანილია შესაბამისი განტოლებები და ნაჩვენებია მათი უპირატესობა. ნაჩვენებია თვალსაჩინო გრაფიკები ახალი შემთხვევების მიხედვით და ერთ აქტიურ შემთხვევაზე კარანტინსა და სტაციონარში მყოფებთან მიმართებაში.

### საკვანძო სიტყვები:

*CoVID 19, ღმა სწავლება, სტატისტიკური ანალიზი, რეგრესია, კორელაცია.*

Deep learning (ღრმა სწავლა) ხელოვნური ინტელექტის ერთ-ერთი ყველაზე აქტუალური მიმართულებაა. იგი არის ნეირონული ქსელების განვითარების შემდგომი ეტაპი. მისი მეთოდოლოგია გამოიყენება პრაქტიკულად ყველა წამყვანი კორპორაციის მიერ. საკმარისია ვახსენოთ Visual Studios ML (Machine Learning) გაფართოება, რომელიც ამოცანის გადაწყვეტის ყოველი ეტაპის ავტომატიზების საშუალებას იძლევა. მისი ერთ-ერთი პროექტის პროტოტიპია პროგნოზირება, სადაც გამოყენებულია რეგრესიული ანალიზი. მეორე მხრივ, მსოფლიოს უდიდესი გამოწვევაა ე.წ. კორონა ვირუსი, რომლის პანდემიამ პრაქტიკულად ყველა ქვეყანა მოიცვა. მოკლედ განვიხილოთ, რა ტიპის ამოცანებშია შესაძლებელი ღრმა სწავლების გამოყენება 21-ე საუკუნის ამ გამოწვევასთან.

ხელოვნური ინტელექტი (AI) პოტენციურად მძლავრი იარაღია COVID-19-ის წინააღმდეგ ბრძოლაში [1-3].

გამოკვეთილია და დეტალურად განხილულია ექვსი სფერო [1], სადაც შესაძლებელია AI-ს წვლილის შეტანა COVID-19-ის წინააღმდეგ ბრძოლაში, კერძოდ,

- I. ადრეული გაფრთხილებები და განგაშის სიგნალები.
- II. თვალყურის დევნება და პროგნოზირება.
- III. მონაცემთა დაფები.
- IV. დიაგნოზი და პროგნოზი
- V. მეთვალყურეობა და მკურნალობა.
- VI. სოციალური კონტროლი.

მოკლედ განვიხილოთ ML-ის სტრუქტურა და შესაძლებლობები [6]. ML.NET არის უფასო, ღია საწყისი კოდის, კროს-პლატფორმული მანქანური სწავლების ჩარჩო .NET დეველოპერული პლატფორმისათვის. ML.NET საშუალებას გაძლევთ გაწვრთნას, ააგოს და მიაწოდოს მანქანური სწავლების მოდელები C # ან F # ენების გამოყენებით მანქანური სწავლების სხვადასხვა სცენარისთვის.

ქვემოთ მოყვანილია სცენარების ჩამონათვალი:

- I. სენტიმენტალური ანალიზი
- II. პროდუქტის რეკომენდაცია
- III. ფასის პროგნოზირება

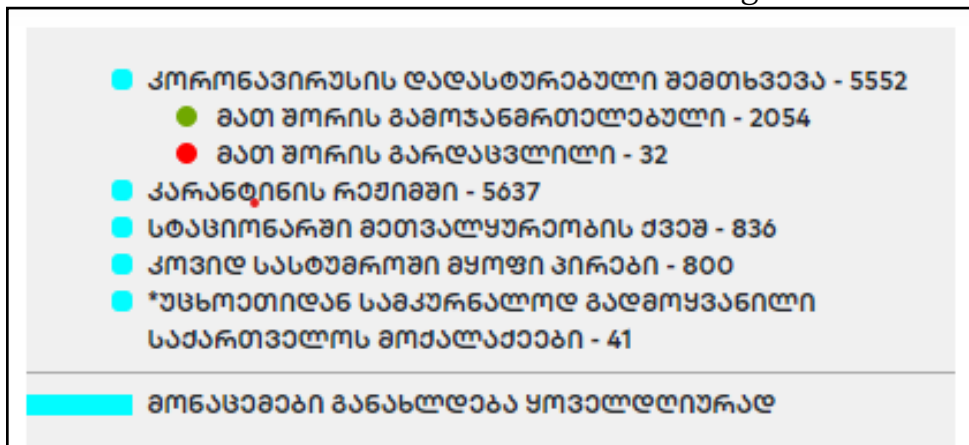
- IV. მომხმარებელთა სეგმენტაცია
- V. ობიექტის აღმოჩენა
- VI. თაღლითობის გამოვლენა
- VII. გაყიდვების ნახტომის გამოვლენა
- VIII. სურათების კლასიფიკაცია
- IX. გაყიდვების პროგნოზირება

გადასაწყვეტი ამოცანის მიხედვით ხდება სცენარის არჩევა, ფაქტობრივად იგი წარმოადგენს გარკვეული ტიპის პრობლემაზე ორიენტირებულ პროექტს. ნებისმიერი სცენარის არჩევის შემთხვევაში გასავლელია შემდეგი ეტაპები:

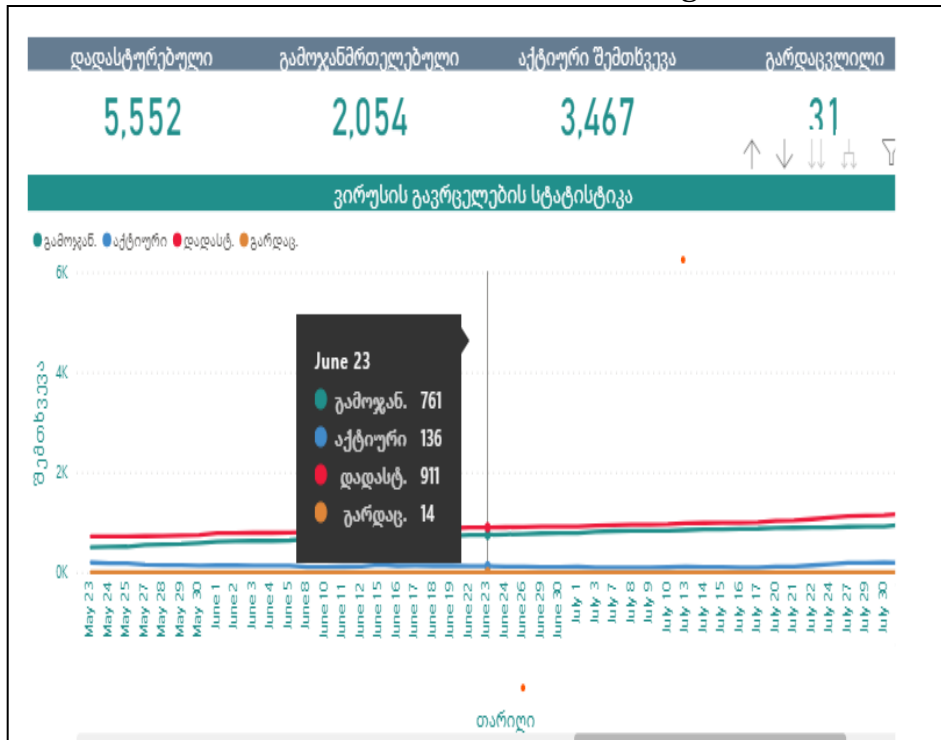
- 1. სცენარის არჩევა
- 2. მონაცემების მომზადება და მიწოდება
- 3. წვრთნა
- 4. შესრულება
- 5. კოდის გენერაცია და პროგრამის მოდიფიკაცია.

ფაქტობრივად წვრთნა, შესრულება, ოპტიმალური მოდელის შერჩევა და კოდის გენერაცია ხდება მომხმარებლის ჩარევის გარეშე. ეტაპი 2 არის უმნიშვნელოვანესი, ვინაიდან სწორი მონაცემების გარეშე სასურველ შედეგს ვერ მივაღწევთ. მონაცემები შეიძლება მოთავსებული იყოს ბაზაში ან csv(comma separated values) ფაილის სახით. ზემომოყვანილი სცენარების უმრავლესობა იყენებს რეგრესიულ ანალიზს. ჩვენ მონაცემების ანალიზისათვის გამოვიყენებთ ML-ში გამოყენებულ ეტაპებს, თუმცა ამ ეტაპზე მივმართავთ უფრო მარტივ ინსტრუმენტებს, კერძოდ, EXCEL და გამოსახულებათა მსგავსების უტილიტებს. ინფორმაციის წყაროს ჩვენ შემთხვევაში წარმოადგენდა შემდეგი საიტები <https://stopcov.ge/ka> და <https://www.covdata.ge> ხაზგასმით უნდა ითქვას, რომ გამზადებული ციფრული სახით ინფორმაციის ამოღება ამ საიტებიდან ჩვენთვის მიუწვდომელი იყო, რაც ჩანს ქვემოთ მოყვანილი სურათებიდან.

სურათი 1.



სურათი 2.

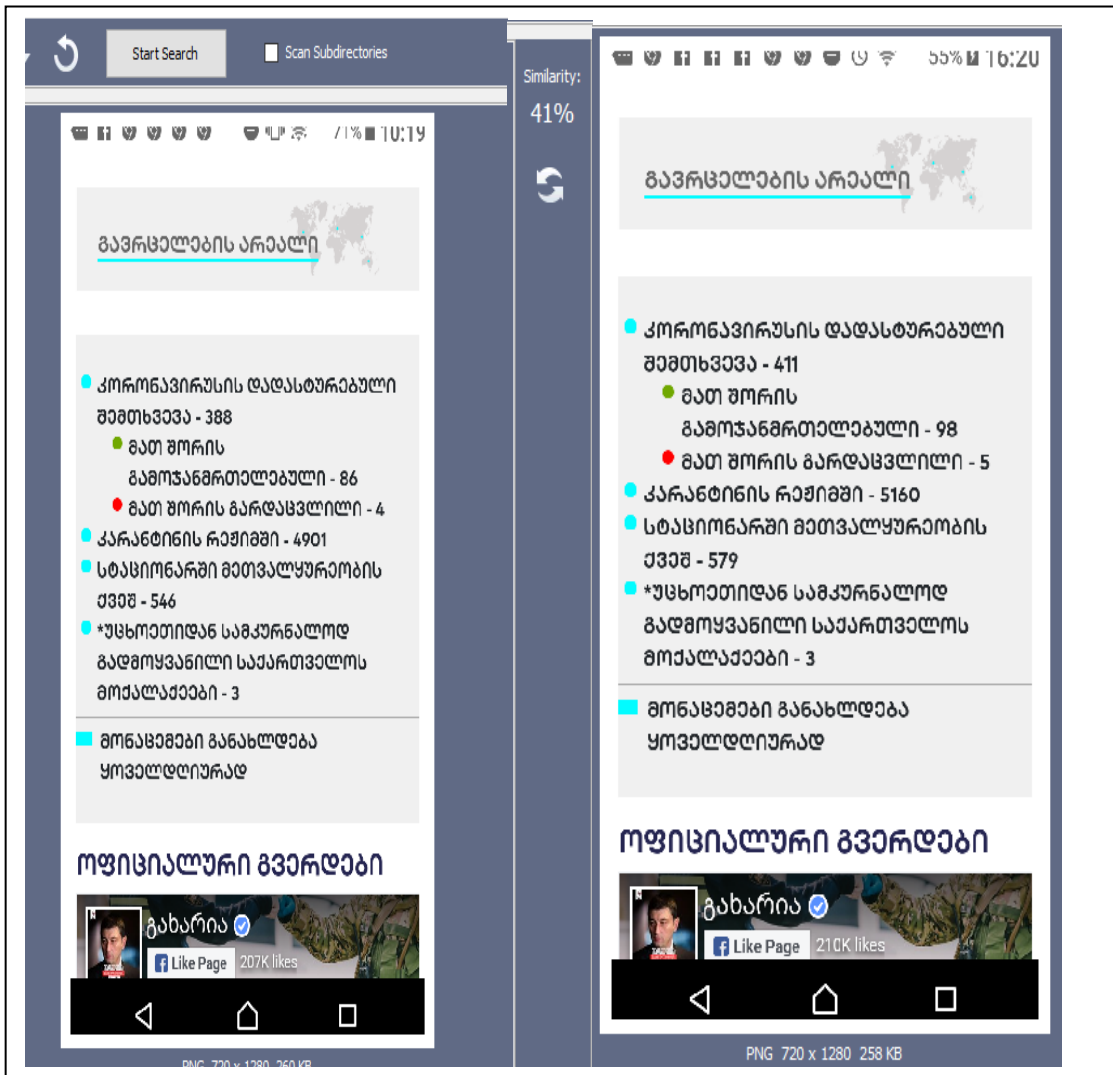


როგორც სურათებიდან ჩანს, მონაცემები თვისობრივად ერთნაირი არ არის. მეორეში არ არის წარმოდგენილი კარანტინის რეჟიმში მყოფები და სტაციონარული დაკვირვების ქვეშ მყოფები. ხოლო პირველში არ არის წარმოდგენილი აქტიური შემთხვევები. მოგვიანებით დაემატა კოვიდ სასტუმროში მყოფი პირები, რომლებიც სტატიაში არ არის განხილული. ამ მონაცემების შედარებით SIR (მგძნობიარე, ინფიცირებული, გამოჯანმრთლებული) მოდელის [4-5] მონაცემებთან ადვილი შესამჩნევია მხოლოდ ბოლო ორი პარამეტრის თანხვედრა I-ს და R-ის. პირველი პარამეტრი საერთოდ არ არის განსაზღვრული. გარდა ამისა, მონაცემებში არ არის ასახული რამდენი ტესტის ჩატარების შედეგად დადგა მოცემული შედეგები ყოველი კონკრეტული შემთხვევისათვის. სურათზე 1 მოცემული ინფორმაცია გროვდებოდა ე.წ. „სკრინშოტების“ საშუალებით. სხვა სურათების არსებობის შემთხვევაში, თუ მათი რაოდენობა ბევრია, დგება სურათების დაჯგუფების ამოცანა მსგავსების მიხედვით. ეს კი ტიპიური ღრმა სწავლების ამოცანაა. ჩვენ შემთხვევაში გამოყენებული იყო უტილიტები:

awesome\_photo\_finder,dpfsetup,duplicatephotocleaner,edf7setup,imgSeek-0.8.5-win32.

ერთ-ერთის შედეგი 41-პროცენტის მსგავსებით, ნაჩვენებია სურათზე 3.

სურათი 3.



მონაცემების ვალიდაციისათვის გამოიყენება თანაფარდობა:

$$\langle \text{დადასტურებული} \rangle - \langle \text{აქტიური} \rangle - \langle \text{გამოჯანმრთლებული} \rangle - \langle \text{გარდაცვლილი} \rangle = 0.$$

ეს მაკონტროლებელი თანაფარდობა იწვევს ყოველი სტრიქონის მაკონტროლებელი სვეტის მნიშვნელობის განულებას. თუ ეს ასე არ ხდება, მონაცემების შეტანაში ტექნიკური შეცდომაა და საჭიროა მისი გადამოწმება. ახალი შემთხვევების გამოთვლებისათვის გამოიყენება თანაფარდობა -  $f(t_2) - f(t_1)$ , სადაც  $t_1$  და  $t_2$  დროის ახალი(მიმდინარე) და ძველი (წინა) დისკრეტული მომენტია. მაგალითად, წინა დღე და დღევანდელი დღე.

ცხრილი 1. რეგრესიული ანალიზის შედეგები

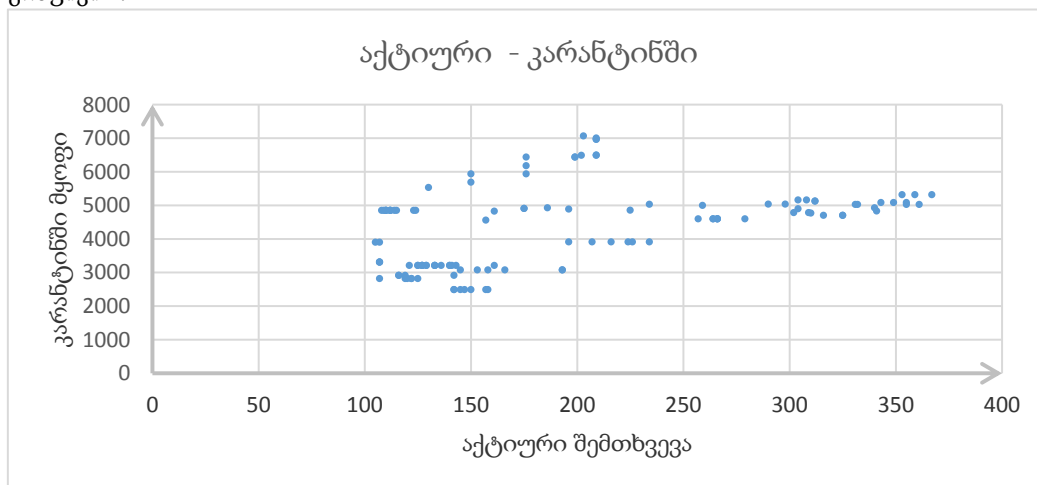
ანალიზის შედეგები კატეგორიების მიხედვით		
X-თარიღი, Y დადასტურებული	რეგრესიის ფუნქცია	საშუალო კვადრატული გადახრა $R^2$
	$y = 7.9426x - 348631$	0.9803
	$y = 349339 \ln(x) - 4 \times 10^6$	0.9804
	$y = -0.0093x^2 + 824.09x - 2 \times 10^7$	0.9836
	$y = 6 \times 10^{-5}x^3 - 7.7451x^2 +$	0.9839

	$341058x - 5 \times 10^9$	
	$y = 7 \times 10^{-6}x^4 - 1.2701x^3 + 83789x^2 - 2 \times 10^9x + 3 \times 10^{13}$	0.9949
	$y = -6 \times 10^{-5}x^5 + 0.0135x^4 - 1184.1x^3 + 5 \times 10^7x^2 - 10^{12}x + 10^{16}$	0.9968
	$y = -2 \times 10^{-10}x^6 + 6 \times 10^{-5}x^5 - 6.4022x^4 + 375040x^3 - 10^2x^2 + 12 \times 10^{14}x - 2 \times 10^{18}$	0.9968
X-თარიღი, Y-ახალი დადასტურებული	$y=0.0306x-1336$	0.0146
	$y = 1343.9\ln(x) - 14360$	0.0146
	$y = 4 \times 10^{-5}x^3 - 4.7168x^2 + 207421x - 3 \times 10^9$	0.1477
	$y = 0.0002x^2 - 14.719x + 323015$	0.0157
	$y = 3E-05x^3 - 3.9876x^2 + 175372x - 3E+09$	0.1007
	$y = 5E-08x^4 - 0.008x^3 + 525.22x^2 - 2E+07x+2E+11$	0.1011
X-თარიღი, Y-აქტიური	$y = 0.6501x - 28425$	0.1453
	$y = 28607\ln(x) - 305684$	0.1455
	$y = -0.0113x^2 + 996.59x - 2E+07$	0.2547
	$y = 0.0004x^3 - 58.699x^2 + 3E+06x - 4E+10$	0.6591
	$y = 1E-06x^4 - 0.1906x^3 + 12547x^2 - 4E+08x + 4E+12$	0.6648
	$y = -1E-07x^5 + 0.0309x^4 - 2716.2x^3 + 1E+08x^2 - 3E+12x + 2E+16$	0.8886
	$y = 6E-10x^6 - 0.0002x^5 + 18.134x^4 - 1E+06x^3 + 4E+10x^2 - 6E+14x + 5E+18$	0.899
X-თარიღი, Y-ახალი აქტიური	$y = -0.0081x + 357.58$	0.0046
	$y = -354.1\ln(x) + 3788.9$	0.0046
	$y = -2E-05x^2 + 1.6952x - 37098$	0.0047
	$y = 10^{-5}x^3 - 1.4209x^2 + 62493x - 9 \times 10^8$	0.0541
	$y = -2 \times 10^{-7}x^4 + 0.0324x^3 - 2.1364 \times 10^3x^2 + 6 \times 10^7x - 7 \times 10^{11}$	0.0882
	$y = 6 \times 10^{-10}x^5 - 0.0001x^4 + 12.222x^3 - 538243x^2 + 10^{10}x - 10^{14}$	0.0891
	$y = 10^{-10}x^6 - 3E-05x^5 + 3.0945x^4 - 181463x^3 + 6 \times 10^9x^2 - 10^{14}x + 8 \times 10^{17}$	0.1521
X-თარიღი, Y-გამოჯანმრთელებული	$y = 7.1684x - 314756$	0.9648
	$y = 315268\ln(x) - 3 \times 10^6$	0.9648
	$y = 0.003x^2 - 254.72x + 5 \times 10^6$	0.9652
	$y = -0.0004x^3 + 52.241x^2 - 2 \times 10^6x + 3 \times 10^{10}$	0.9827
	$y = 6 \times 10^{-6}x^4 - 1.0562x^3 + 69707x^2 - 2 \times 10^9x + 2 \times 10^{13}$	0.9922

	$y = 8 \times 10^{-8}x^5 - 0.0183x^4 + 1612.3x^3 - 7 \times 10^7x^2 + 2 \times 10^{12}x - 10^{16}$	0.9966
	$y = -9 \times 10^{-10}x^6 + 0.0002x^5 - 25.776x^4 + 2 \times 10^6x^3 - 5 \times 10^{10}x^2 + 9 \times 10^{14}x - 6 \times 10^{18}$	0.9977
X-თარიღი, Y-ახალი გამოჯანმრთელებული	$y = 0.0409x - 1792.3$	0.03
	$y = 1799.4\ln(x) - 19232$	0.03
	$y = -0.0004x^2 + 36.953x - 813497$	0.0379
	$y = 2 \times 10^{-5}x^3 - 2.8548x^2 + 125577x - 2 \times 10^9$	0.0878
	$y = 5 \times 10^{-7}x^4 - 0.0794x^3 + 5237.5x^2 - 2 \times 10^8x + 2 \times 10^{12}$	0.1392
	$y = -8 \times 10^{-10}x^5 + 0.0002x^4 - 15.203x^3 + 670409x^2 - 10^{10}x + 10^{14}$	0.1396
	$y = 2 \times 10^{-11}x^6 - 4 \times 10^{-6}x^5 + 0.4838x^4 - 28376x^3 + 9 \times 10^8x^2 - 2 \times 10^{13}x + 10^{17}$	0.1399
X-თარიღი, Y-კარანტინის რეჟიმში	$y = 8E+140e^{-0.007x}$	0.6338
	$y = -2.6471x + 116795$	0.6255
	$y = -10^5\ln(x) + 10^6$	0.6257
	$y = 0.0281x^2 - 2472x + 5 \times 10^7$	0.6919
	$y = 0.0013x^3 - 170.29x^2 + 7 \times 10^6x - 10^{11}$	0.8196
	$y = 0.0013 x^3 - 170.29x^2 + 7 \times 10^6x - 10^{11}$	0.8196
	$y = -3 \times 10^{-5}x^4 + 5.379x^3 - 355004x^2 + 10^{10}x - 10^{14}$	
	$y = -3 \times 10^{-5}x^4 + 5.379x^3 - 355004x^2 + 10^{10}x - 10^{14}$	0.8839
	$y = 8 \times 10^{-7}x^5 - 0.1671x^4 + 14704x^3 - 6 \times 10^8x^2 + 10^{13}x - 10^{17}$	0.9193
	$y = -3 \times 10^{-9}x^6 + 0.0007x^5 - 80.973x^4 + 5 \times 10^6x^3 - 2 \times 10^{11}x^2 + 3 \times 10^{15}x - 2 \times 10^{19}$	0.9197
X-თარიღი, Y-სტაციონარში მეთვალყურეობის ქვეშ	$y = 8E+140e^{-0.007x}$	0.6338
	$y = -2.6471x + 116795$	0.6255
	$y = -1E+05\ln(x) + 1E+06$	0.6257
	$y = 0.0281x^2 - 2472x + 5 \times 10^7$	0.6919
	$y = 0.0013x^3 - 170.29x^2 + 7E+06x - 10^{11}$	0.8196
	$y = -3E-05x^4 + 5.379x^3 - 355004x^2 + 10^{10}x - 10^{14}$	0.8839
	$y = 8 \times 10^{-7}x^5 - 0.1671x^4 + 14704x^3 - 6 \times 10^8x^2 + 10^{13}x - 10^{17}$	0.9193
	$y = -3 \times 10^{-9}x^6 + 0.0007x^5 - 80.973x^4 + 5 \times 10^6x^3 - 2 \times 10^{11}x^2 + 3 \times 10^{15}x - 2 \times 10^{19}$	0.9197
	$y = 169.04e^{0.0035x}$	0.8248

X-აქტიური, Y სტაციონარში	$y = 1.3041x + 97.557$	0.8425
	$y = 264.03\ln(x) - 1019.2$	0.8248
	$y = 0.0001x^2 + 1.2486x + 102.88$	0.8425
	$y = 6 \times 10^{-6}x^3 - 0.0041x^2 + 2.1457x + 45.275$	0.8429
	$y = 7.8712x^{0.7222}$	0.8354
	$y = 2983e^{0.0017x}$	0.2403
X აქტიური - Y კარანტინში	$y = 6.6777x + 3023.7$	0.2075
	$y = 1426.1\ln(x) - 3080.5$	0.2263
	$y = -0.0451x^2 + 26.921x + 1082$	0.2458
	$y = -0.0001x^3 + 0.0288x^2 + 11.41x + 2077.3$	0.2467
	$y = 648.43x^{0.358}$	0.2529
	$y = 5 \times 10^{-148}e^{0.0078x}$	0.578
X-თარიღი, ერთ აქტიურზე კარანტინში მყოფი	$y = 0.1976x - 8666.2$	0.5574
	$y = 8689.2\ln(x) - 92878$	0.5572
	$y = 0.0032x^2 - 281.38x + 6E+06$	0.6955
	$y = -0.0001x^3 + 13.249x^2 - 582957x + 9 \times 10^9$	0.819
	$y = 2 \times 10^{-6}e^{0.0003x}$	0.0046
	$y = 0.0005x - 21.956$	0.004
X-თარიღი, ერთ აქტიურზე სტაციონარში მყოფი	$y = 23.851\ln(x) - 253.13$	0.004
	$y = -4 \times 10^{-5}x^2 + 3.5708x - 78547$	0.0253
	$y = -7 \times 10^{-6}x^3 + 0.9855x^2 - 43349x + 6 \times 10^8$	0.6799
	$y = 2 \times 10^{-63}x^{13.585}$	0.0046

ცხრილიდან 1 ჩანს, რომ ყველა კატეგორიაში წრფივი, ლოგარითმული და კვადრატული აპროქსიმაციის დროს საშუალო კვადრატული გადახრის მინიმალური მაჩვენებლებია. პოლინომის ხარისხის ზრდა საშუალო კვადრატული გადახრის მაჩვენებელს ზრდის. განტოლებების გამოყენება შესაძლებელია პროგნოზირებისათვის. ქვემოთ მოყვანილია აქტიური შემთხვევებისა და კარანტინში მყოფთა დამოკიდებულების გრაფიკი. დანარჩენი გრაფიკების წარმოდგენა სტატიის მოცულობით არის შეზღუდული. გრაფიკი 1.



კვლევის შედეგები წარმოდგენილია 2020 წლის 7 აპრილიდან 194 დღის განმავლობაში.



## Application of in-depth teaching methodology for CoVID 19 statistical data analysis on the example of Georgia

*Tengiz Bakhtadze, Irakli Rodonaya, Meri Gegechkori*

### Summary

This article digitally mined and presents a statistical analysis of CoVID 19 in Georgia according to a discrete model like SIR. For forecasting, the technique of regression and correlation analysis is used, which is widely used in machine learning with a lot of machine learning. Comparative analysis of various types of regression analysis is carried out. The corresponding equations are given and their advantages are shown. Visible graphs are displayed for new cases and in accordance with each active case for persons in quarantine and under hospital supervision.

## Применение методики углубленного обучения для анализа статистических данных CoVID 19 на примере Грузии

*Тенгиз Бахтадзе, Ираклий Родоная, Мери Гегечкори*

### Резюме

В этой статье в цифровом виде представлен статистический анализ CoVID 19 в Грузии в соответствии с дискретной моделью, подобной SIR. Для прогнозирования используется методика регрессионного и корреляционного анализа, широко используемая при глубоком машинном обучении. Проведен сравнительный анализ различных видов регрессионного анализа. Приведены соответствующие уравнения и показаны их преимущества. Отображаются видимые графики для новых случаев и каждого отдельного активного случая для лиц в карантинне и под стационарным наблюдением.

### ლიტერატურა - References – Литература

1. Wim Naudé. Artificial Intelligence against COVID-19: An Early Review. Maastricht School of Management, RWTH Aachen University and IZA. APRIL 2020.
2. Coldeway, D. AI and big data wont work miracles in the fight against coronavirus. TechCrunch, (2020). 26 March.
3. Dickson, B. (2020). Why AI Might be the most Effective Weapon, we have to fight COVID-19. The Next Web, 21 March.
4. BERIC, L. (2010). Modeling Infectious Diseases in Humans and Animals (Lecture Notes).
5. CLARK, A. (2005). "S-I-R Model of Epidemics Part 1 - Basic Model and Examples". Retrieved June 2011 from [www.me.rochester.edu/courses/ME406/webexamp5/sir1.pdf](http://www.me.rochester.edu/courses/ME406/webexamp5/sir1.pdf)
6. Pier Paolo Ippolito. An Introduction to AI-powered Microsoft Tools. 4 OCTOBER 2019/#ARTIFICIAL INTELLIGENCE. <https://www.freecodecamp.org/news/ai/>.

---

## ავტონკოდერი და ლოჯისტიკური რეგრესია: საკრედიტო ბარათების თაღლითობის გამოვლენის ალგორითმები და მათი შედეგები

*მაგდა ცინცაძე, მანანა ხაჩიძე, ლიზი მამისაშვილი, ერეკლე შიშნიაშვილი, ანანო თურქიაშვილი*

*magda.tsintsadze, manana.khachidze@tsu.ge, mamisashvili.lizi@gmail.com, ersho.ge@gmail.com, turkiashvilianano@gmail.com*

### რეზიუმე

ნაშრომში განხილულია საკრედიტო ბარათების თაღლითობასთან გამკლავების ხერხი მონაცემებზე დაფუძნებული მიდგომის გამოყენებით. ეს მეთოდი წარმოადგენს ნეირონული ქსელის (ANN) ერთ-ერთი განსაკუთრებული ტიპის - ავტონკოდერისა და მანქანური სწავლების კლასიკური მოდელის - ლოჯისტიკური რეგრესიის კომბინაციას, რომელსაც ხშირად იყენებენ თაღლითობის გამოსავლენად. მონაცემები, რომლებიც ავტონკოდერს მიეწოდება, მხოლოდ უარყოფით (ვალიდური ტრანზაქციის) ნიმუშებს შეიცავს. ამ მიდგომის გამოყენებით ნებისმიერი ანომალური (ნორმიდან გადახრილი) შემთხვევის გამოვლენის დიდი შანსი არსებობს. სტატიის ბოლოს მოცემულია კომბინირებული ალგორითმისა და წმინდა ლოჯისტიკური რეგრესიის მოდელის ეფექტურობის შედარება.

**საკვანძო სიტყვები:** *ავტონკოდერი, მანქანური სწავლება, ლოჯისტიკური რეგრესიის მოდელი*

### 1. შესავალი

ონლაინ ტრანზაქციები 21-ე საუკუნიდან გახდა პოპულარული, რაც იმას ნიშნავს, რომ მომხმარებელს თანხის გადახდა შეუძლია ონლაინ, საკრედიტო ბარათის გამოყენების გარეშე. მიუხედავად იმისა, რომ ამგვარი სისტემა მოსახერხებელია, იგი ბარათის მფლობელისთვის უდიდეს რისკსაც შეიცავს. სავაჭრო კომპანია „Shift Credit Card Processing“-ის მიხედვით, 2018 წელს საკრედიტო ბარათებიდან თაღლითურად 24.26 მილიარდი დოლარი იქნა გადარიცხული. საბარათო ანგარიშის მონაცემების მოპარვის სხვადასხვა გზები არსებობს: თაღლითებმა შესაძლოა უბრალოდ ფიზიკური წვდომა მოიპოვონ საკრედიტო ბარათზე და გამოიყენონ მისი მონაცემები, ან დაამზადონ ბარათის ასლი და ის გამოიყენონ ავტორიზაციისთვის. თუმცა, ყველაზე ხშირად ბარათის ინფორმაციაზე წვდომას ჰაკერები დაუცველი საიტების გატეხვით იღებენ (Credit Card Fraud Statistics, 2019).

ბანკები თაღლითური ტრანზაქციების ამოსაცნობად ორი სახის მიდგომას იყენებენ. პირველი მიდგომა ეფუძნება წესებს, რომლებიც შემუშავებულ იქნა ექსპერტების მიერ კონკრეტული შემთხვევების შესწავლის შედეგად. მეორე მიდგომა კი ახალი ტრანზაქციების დიდ რაოდენობაზეა დაფუძნებული. პირველ შემთხვევაში, თაღლითური გადარიცხვების ნიმუშების ამოცნობა ხდება წინასწარ განსაზღვრული წესების მიხედვით, ხოლო მეორე შემთხვევაში - მანქანური სწავლების ალგორითმების გამოყენებით (Jurgovskya et al, 2018).

მიუხედავად იმისა, რომ მანქანური სწავლების ალგორითმების გამოყენება დამაიმედებელია, ჯერჯერობით ბევრი გამოწვევა არსებობს. მაგალითად, მონაცემები, რომლებიც ასახავს ტრანზაქციების ისტორიას, ძალიან მცირე რაოდენობით შეიცავს თაღლითური გადარიცხვების ნიმუშებს. გარდა ამისა, რადგანაც მომხმარებლის მონაცემთა

უმეტესი ნაწილი კონფიდენციალურია, მანქანური სწავლების მოდელის დასწავლისათვის პოტენციურად საჭირო ინფორმაცია ხშირად მიუწვდომელია. ასევე, თაღლითები მაქსიმალურად ცდილობენ, რომ მათ მიერ განხორციელებული ტრანზაქცია არ განსხვავდებოდეს კანონიერი გადარიცხვისგან, რაც ართულებს თაღლითური ტრანზაქციის ნიშნების ამოცნობას (Jurgovskya et al, 2018). ბარიერს ქმნის ის გარემოებაც, რომ სხვადასხვა სახის არასწორ კლასიფიკაციას სხვადასხვა წონა აქვს, რაც ნიშნავს, რომ ცრუ პოზიტივებისა და ცრუ ნეგატივების არსებობა განსხვავებულად მოქმედებს მოდელის უტყუარობის შეფასებაზე (Gomez et al, 2018).

ნაშრომის მიზანია, საკრედიტო ბარათების თაღლითობასთან გამკლავების ალგორითმის წარმოდგენა მონაცემებზე დაფუძნებული მიდგომის გამოყენებით. ეს მეთოდი წარმოადგენს ნეირონული ქსელის (ANN) ერთ-ერთი განსაკუთრებული ტიპის - ავტონკოდერისა და მანქანური სწავლების კლასიკური მოდელის - ლოჯისტიკური რეგრესიის კომბინაციას, რომელსაც ხშირად იყენებენ თაღლითობის გამოსავლენად.

## 2. რელევანტური შრომები

თაღლითური ტრანზაქციების გამოსავლენი ჭკვიანი სისტემების (მონაცემებზე დაფუძნებული მიდგომა) გასაუმჯობესებლად ინტენსიური მუშაობა დიდი ხანია მიმდინარეობს. მასში გაერთიანებულია როგორც კონტროლირებადი (supervised), ისე არაკონტროლირებადი (unsupervised) სწავლების ალგორითმები.

კონტროლირებადი დასწავლის შემთხვევაში, მონაცემები, რომელიც მოდელის გასაწვრთნელად გამოიყენება, წინასწარაა კატეგორიზებული თაღლითურ ან ლეგიტიმურ ტრანზაქციებად. ალტერნატივების ხე (decision tree), ხელონური ნეირონული ქსელი და მხარდამჭერი ვექტორების ალგორითმი (support vector machines) წარმოადგენენ ყველაზე ხშირად გამოკვლეულ ალგორითმებს (Informatica Economica, 2019).

Jurgovskya და სხვები წარმოადგენენ ალგორითმს, რომელიც რეკურენტულ ნეირონულ ქსელს (RNN) იყენებს. RNN მრავალშრიანი ნეირონული ქსელის განსაკუთრებული ტიპია, რომელშიც შემავალი მონაცემები ინდექსირებულია ყოველი ტრანზაქციის დროის მიხედვით. ეს კი შესაძლებელს ხდის შემავალ მონაცემებს შორის დროებითი კავშირების ამოცნობას (Jurgovskya et al, 2018). ფორმალურად ამ პროცესს შეიძლება შევუსაბამოთ ფორმულა:

$$s_t = W_{\sigma(s_{t-1})} + U_{x_t} + b \quad (1)$$

სადაც  $s_t$  აღნიშნავს მდგომარეობის ვექტორს - რეკურენტულობას. კერძოდ,  $W$  (რეკურენტული) და  $U$  (შემავალი მონაცემი) არის წონის მატრიცები, ხოლო,  $b$  - ცდომილების (გადახრის) მაჩვენებელი.

Gomez და სხვები თაღლითობის გამოვლენის პრობლემის გადასაჭრელად ხელოვნური ნეირონული ქსელების სისტემებს გვთავაზობენ. პირველი ნაბიჯი არის ANN-ის დანერგვა მონაცემების დასაბალანსებლად. ფილტრები, რომლებიც ბინარული კლასიფიკატორებია, მონაცემებში ლეგიტიმური ტრანზაქციების რაოდენობას 50-ჯერ ამცირებენ. შემდეგ კი, გაფილტრული მონაცემები გამოიყენება ANN-ის გასაწვრთნელად (Gomez et al, 2018).

არაკონტროლირებადი დასწავლის ტექნიკის გამოყენების დროს, გასაწვრთნელად გამოსაყენებელი მონაცემები არ არის კლასიფიცირებული. რიგი მკვლევარები თაღლითობის გამოსავლენად განიხილავენ K-უახლოესი მეზობლის (KNN) არაკონტროლირებადი ალგორითმის გამოყენებას. KNN გავრცელებული მაგვუფებელი ალგორითმია, რომელიც თითოეულ მონაცემს აჯგუფებს ყოველი კლასტერისთვის მინიჭების ქულებიდან მაქსიმუმის პოვნის შედეგად (Khodabakhshi & Fartash, 2016).

აღსანიშნავია, რომ მკვლევარების მიერ ავტონკოდერი უკვე გამოიყენება თაღლითური გადახდების გამოსავლენად, მაგრამ ამ შემთხვევაში მეთოდი წაემოდგენილია, როგორც სუფთად არაკონტროლირებული ალგორითმი და ეს მიდგომა განსხვავდება ამ ნაშრომში გამოყენებულ მიდგომისგან.

Apapan Pumsirirat და Liu Yan ამტკიცებენ, რომ რადგანაც ჰაკერები მუდმივად ცვლიან თაღლითობის მეთოდებს, კლასიფიცირებული მონაცემები ამ პრობლემისთვის გამოსადეგი ვერ იქნება. ისინი იყენებენ ავტონკოდერს 6 დამალული შრით - 3 შრე უზრუნველყოფს შემავალი მონაცემების ენკოდირებას, ხოლო დანარჩენი 3 - მათ დეკოდირებას გამომავალ მონაცემებად (Pumsirirat & Yan, 2018). აღსანიშნავია ისიც რომ, ალგორითმების იმპლემენტაციის სხვადასხვა მიდგომების გარდა, რიგ შრომებში აქტიურად გამოიყენება ტრანზაქციების სხვადასხვა მახასიათებლების კვლევის (feature engineering) განსაკუთრებული ტექნიკებიც. მაგალითად, Bahnsen და სხვების მიხედვით, დაუმუშავებელი მახასიათებლები, როგორცაა ტრანზაქციის ID, ტრანზაქციის განხორციელების დრო, ტრანზაქციის ტიპი, ბარათის ნომერი და სხვ. ვერ გაზრდის მოდელის ეფექტიანობას, მაგრამ, შესაძლებელია მახასიათებლების რაოდენობის გაზრდა, რაც გულისხმობს დამატებითი მახასიათებლების - როგორცაა წინა ტრანზაქციის ოდენობა - გათვალისწინებას. ასევე ხდება წინა ტრანზაქციის განხორციელების დროის გათვალისწინებაც. სწორედ ამ მიდგომის მიხედვით, 209 მახასიათებელია Bahnsen-ისა და სხვების კვლევაში გამოყენებული მოდელის გასაწვრთნელად (Bahnsen et al, 2016).

### 3. მეთოდები

#### 3.1. მონაცემები და მათი წინასწარი დამუშავება

ალგორითმის შემუშავებისათვის საჭირო მონაცემები აღებულ იქნა <https://www.kaggle.com/>-დან, მონაცემები შეიცავდა 2013 წელს ევროპელი მომხმარებლების მიერ განხორციელებულ 284807 ტრანზაქციას და შეიცავდა 31 მახასიათებელს. ინფორმაციის სენსიტიური ბუნების გამო, 28 მახასიათებელი (პირობითად, V1-V28) ენკოდირებული იყო და მათი მნიშვნელობა არ იყო ცნობილი. კვლევითი მონაცემთა ანალიზის (exploratory data analysis) ჩატარების შემდეგ აღმოჩნდა, რომ მახასიათებელთა უმეტესობა სხვადასხვა დიაპაზონში მერყეობდა; ზოგიერთის მნიშვნელობა მერყეობდა - 0-დან 1-მდე, ხოლო დანარჩენები - 4-დან 8-მდე. ამიტომ, Scikit-learn MinMaxScaler კლასის გამოყენებით, მოხდა მონაცემების დიაპაზონის შემცირება (სკალირება) 0-დან 1-მდე. დარჩენილი სამი ცვლადი, „დრო“, „ოდენობა“ და „კლასი“ ცნობილი იყო. „დრო“ აღნიშნავს დროს, პირველსა და ყოველ მომდევნო ტრანზაქციას შორის, „ოდენობა“ წარმოადგენს თითოეული ტრანზაქციის ოდენობას, ხოლო „კლასი“ ბინარული მაჩვენებელია, სადაც 0 გულისხმობს უარყოფით მაჩვენებელს (ვალიდური ტრანზაქცია), ხოლო 1 - დადებით მაჩვენებელს (თაღლითური ტრანზაქცია). თითოეული მახასიათებლის მნიშვნელობის შესამოწმებლად გამოყენებულ იქნა ძირითადი კომპონენტური ანალიზი (PCA). მახასიათებლების სხვადასხვა მნიშვნელობების მიუხედავად, მეთოდში ავტონკოდერის გამოყენება, რომელიც შემავალი მონაცემებისგან შედარებით პატარა ვექტორს ქმნის, საშუალებას იძლევა გამოყენებულ იქნეს ყველა მონაცემი. მთლიანობაში, მიიღება შემავალი მონაცემების ვექტორი 30 პარამეტრით, სკალირებული ღირებულებით და ერთი ბინარული მაჩვენებელი.

აუცილებელია, აღინიშნოს, რომ საწყისი მონაცემები ძალიან დაუბალანსებელი იყო. 284807 ტრანზაქციიდან 284315-ის „კლასი“ იყო 0 (უარყოფითი) და მხოლოდ 492 (0.172%) ტრანზაქციას ჰქონდა დადებითი მაჩვენებელი. სწორედ ეს გარემოება ართულებს ამოცანას, რადგანაც ძალიან მცირე იყო იმ მონაცემების რაოდენობა, რომელიც მანქანური სწავლების

ალგორითმების გასაწვრთნელად (თაღლითური ტრანზაქციების ძირითადი მოდელის შესაქმნელად) იყო საჭირო.

### 3.2. გაწვრთნისთვის გამოყენებული მოდელები

#### ხელოვნური ნეირონული ქსელი

ხელოვნური ნეირონული ქსელი, რომელიც თაღლითური ტრანზაქციების ნიმუშების ამოცნობისთვის გამოიყენება, ერთანეთთან აკავშირებს რამდენიმე ერთეულს. ამ სტრუქტურის პროცესული ერთეულები არიან ნეირონები აქტივაციის ღირებულებით. შემაჯავალი მონაცემები, რომლებსაც ან დადებითი ან უარყოფითი აქტივაციის ღირებულება აქვთ, ამ ქსელის პირველ ნაწილს წარმოადგენენ. უმარტივეს ნეირონულ ქსელში შემაჯავალი მონაცემების ერთეულები ერთ გამომავალ მონაცემს უკავშირდება.

ღრმა ნეირონული ქსელი (deep neural network) შედგება იმ სახის ANN-ისგან, რომელიც ერთ ან მეტ დამალულ შრეს შეიცავს ქსელის შემაჯავალ და გამავალ ნაწილებს შორის. რაც ნიშნავს იმას, რომ შემაჯავალი შრის თითოეული ერთეული მომდევნო (დამალული) შრის ყოველ ნეირონს უკავშირდება. მომდევნო შრის თითოეული ნეირონისთვის არსებობს წონის ვექტორული ფორმა და მომდევნო შრის აქტივაციის მნიშვნელობები არის წინა შრის აქტივაციის მნიშვნელობებისა და მოცემული ნეირონის წონის ვექტორის ნამრავლი (ე.წ. weighted sum - შეწონილი ჯამი).

#### ავტონკოდერი

ავტონკოდერი ANN-ის განსაკუთრებული ტიპია, რომელიც გვთავაზობს არაკონტროლირებული სწავლების პარადიგმას. ეს სტრუქტურა იმაში მდგომარეობს, რომ ჯერ ხდება შემაჯავალი მონაცემების ენკოდირება, რაც შემდგომ პარამეტრების შესამცირებლად იქნება გამოყენებული, ხოლო შემდეგ ხდება ენკოდირებული მონაცემების რეკონსტრუქცია და მიიღება ისეთი გამომავალი მონაცემები, რომლებიც მაქსიმალურად ახლოსაა საწყის ვერსიასთან.

ავტონკოდერების მათემატიკური არსის გასაგებად წარმოვიდგინოთ, რომ არსებობს:

1. ორი სიმრავლე - P და Q;

2. M ფუნქცია, რომელსაც Qm გადაჰყავს Pn-ში და ფუნქცია N, რომელსაც Pn გადაჰყავს Qm-ში, და m და n დადებითი მთელი რიცხვებია.

აქედან გამომდინარე, ავტონკოდერი არის ფუნქცია, რომელიც გარდაქმნის შემაჯავალ მონაცემს  $x \in P^n$   $M \circ N(x) \in P^n$ -ში. ამ დროს მთავარი მიზანი სხვაობის შემცირება და, შესაბამისად,  $\min_{M,N} (\sum_{k=1}^l \Delta(M \circ N(x_k), x_k))$ -ის პოვნაა.

#### ლოჯისტიკური რეგრესია

ლოჯისტიკური რეგრესია ერთ-ერთი ყველაზე გავრცელებული მანქანური სწავლების ალგორითმია, რომელიც კლასიფიკაციის პრობლემების გადასაჭრელად გამოიყენება. ეს მოდელი ჯერ ითვლის შემაჯავალი ვექტორების შეწონილ ჯამს და უმატებს bias term-ს (ცდომილების აღმნიშვნელი წევრი). მიღებული პასუხი შემდეგ ხდება იმ ფუნქციის შემაჯავალი მაჩვენებელი, რომელიც ფუნქციის არგუმენტის ლოჯისტიკას ითვლის ფორმულა (2 - ლოჯისტიკური რეგრესიის მოდელის მიერ ნავარაუდები ალბათობა) (Géron, 2017).

$$\hat{p} = h_0(x) = \sigma(x^T \theta) \quad (2)$$

$\sigma$  ფუნქციას, რომელიც შემაჯავალი მონაცემის ლოჯისტიკას ითვლის, სიგმოიდური ფუნქცია ეწოდება. ამ ფუნქციის საბოლოო შედეგი (გამავალი მონაცემი - output) 0-დან 1-მდე მერყეობს და შესაბამისად, მისი გამოყენება ალბათობის შესაფასებლად შესაძლებელია. სიგმოიდური ფუნქცია წარმოდგენილია ფორმულა 3-ში.

$$\sigma(t) = \frac{1}{1 + e^{-t}} \quad (3)$$

ალბათობის გამოთვლის შემდეგ ლოჯისტიკური მოდელი ახდენს მონაცემის კლასიფიცირებას დადებითად ან უარყოფითად ფორმულა 4-ში აღწერილი ლოჯიკის გათვალისწინებით.

$$\hat{y} = 0 \text{ if } \hat{p} < 0.5, 1 \text{ if } \hat{p} \geq 0.5 \quad (4)$$

მოდელის გაწვრთნა - ავტონეკოდერს დამატებული ლოჯისტიკური რეგრესია

დაუბალანსებელი მონაცემების შესასწავლად მეთოდში გამოიყენება ავტონეკოდერი, როგორც არაკონტროლირებადი დასწავლის ფორმა, რომელსაც დამოუკიდებლად შეუძლია მნიშვნელოვანი მახასიათებლების სწავლა და განსაზღვრა. როგორც უკვე განიმარტა, ავტონეკოდერები ახდენენ მრავალმახასიათებლიანი მონაცემების ენკოდირებას შედარებით მცირე მახასიათებლიანად (ამცირებენ მონაცემების მახასიათებლების რაოდენობას ენკოდირებით) და ენკოდირებული ვექტორის დეკოდირებით აღადგენენ საწყის მონაცემებს. ცხადია, რომ ამ პროცესის წარმატებულად წარმართვის შემდეგ, საწყისი და საბოლოო მონაცემები თითქმის არ უნდა განსხვავდებოდეს ერთმანეთისგან. აქედან გამომდინარე, მოხდა ავტონეკოდერისთვის მხოლოდ უარყოფითი „კლასის“ მონაცემებზე გაწვრთნა, რადგანაც ექსპერიმენტული მონაცემების უმეტესობა ლეგალური ტრანზაქცია (უარყოფითი) იყო. მონაცემებში მხოლოდ ვალიდური ტრანზაქციების დატოვების შემდეგ შეიქმნა ავტონეკოდერი ერთშირიანი ენკოდერით. რადგანაც შემომავალი ვექტორის ზომა 30 იყო, პირველ შრეს ჰქონდა 30 ნეირონი, ფარულს შრეს - 15 ნეირონი და გამავალ შრეს - 10.

მიუხედავად იმისა, რომ ეს მიდგომა საკმაოდ ეფექტურია, მოხდა ლოჯისტიკური რეგრესიის დამატება ნეირონული ქსელის სტრუქტურისთვის. ამის მიზეზი ის იყო, რომ ზოგჯერ ავტონეკოდერი ლეგალური ტრანზაქციების არალეგალურ გადახდებდად კლასიფიცირებას ახდენს. ამის მიზეზია დადებითი და ცრუ ტრანზაქციების დაბალი განმასხვავებელი ზღურბლი. უნდა აღინიშნოს, რომ უფრო მნიშვნელოვანია დაბალი ზღურბლის ქონა, რათა ყველა თაღლითური ტრანზაქცია გამოვლინდეს, თუნდაც ეს მოხდეს ლეგალური გადახდების არასწორად თაღლითურ ტრანზაქციებად კატეგორიზაციის ხარჯზე, რადგან ცრუ დადებითად კლასიფიკაციის შემცირება უფრო მნიშვნელოვანია, ვიდრე ცრუ უარყოფითად კლასიფიცირებულის. მაგრამ, უფრო ზუსტი შედეგების მისაღებად, ცრუ უარყოფითად კატეგორიზაციაც მინიმუმამდე უნდა დავიდეგ, სწორედ ამ მიზანს ემსახურება ლოჯისტიკური რეგრესიის მოდელის დამატება ავტონეკოდერზე. ლოჯისტიკური რეგრესიას მიეწოდება ყველა ის მონაცემი, რომელიც ავტონეკოდერმა (წინასწარ დადგენილი ზღურბლის გამოყენებით) დადებითი კლასი მიანიჭა და თუ ყოველი ტრანზაქციისთვის ლეგალურობის ალბათობის პროცენტულობა 95-ზე მეტია, ის რჩება ლეგალური ტრანზაქციების კატეგორიაში.

გაწვრთნა - ლოჯისტიკური რეგრესია, როგორც საბაზისო მოდელი

ამ მიდგომის ეფექტიანობის უკეთესად შესაფასებლად, იქმნება მოდელი მხოლოდ ლოჯისტიკური რეგრესიის გამოყენებით, რათა მის შედეგებს შედარდეს ავტონეკოდერისა და ლოჯისტიკური რეგრესიის კომბინაციით მიღებული შედეგები. Scikit-learn-ის train\_test\_split-ის საშუალებით მოდელის გასაწვრთნელად მონაცემთა 75% გამოიყენება. კონკრეტული ტრანზაქციის კლასიფიცირებისთვის, ლოჯისტიკური რეგრესიის მოდელი ზღურბლად 0-ს იყენებს, რაც იმას ნიშნავს, რომ შეწონილი ჯამისა და bias term-ის (ცდომილების აღმნიშვნელი წევრი) ჯამი არაუარყოფითი უნდა იყოს, ალბათობა რომ 0.5 ან მეტი იყოს.

#### 4. დასკვნა

რადგანაც ონლაინ ტრანზაქციები უფრო და უფრო პოპულარული ხდება, გადახდების დაცულად (უსაფრთხოდ) განხორციელება აუცილებელი და ამასთანავე, აქტუალური საკითხიცაა. იმის მიუხედავად, რომ დღესდღეობით არალეგალური ტრანზაქციების

გამოვლენის უამრავი გზა არსებობს, ალგორითმების მიერ თაღლითობის ბევრი შემთხვევა მაინც შეუმჩნეველი რჩება. ამ პრობლემის გადასაჭრელად შემოთავაზებულია ხელოვნური ინტელექტის ალგორითმების გამოყენება, მაგრამ რადგანაც საკითხი საბანკო ანგარიშებსა და ტრანზაქციებზე ინფორმაციას ეხება, მონაცემების უმეტესობა მკაცრად დაცული, რაც ართულებს ისეთი დაბალანსებული და დაცული მოდელების შექმნას, რომლებსაც შეუძლიათ ლეგალური და თაღლითური ტრანზაქციების განსხვავება. შემოთავაზებული ღრმა სწავლების ერთ-ერთი ყველაზე ეფექტური მოდელი - ავტოენკოდერი, რომელიც მონაცემებთან დაკავშირებული ამოცანების გადასაწყვეტად შესანიშნავი ხერხია, ლოჯისტიკური რეგრესია კი ზუსტი პროგნოზირებისთვის კვლავ ერთ-ერთ ეფექტურ საშუალებად რჩება. წარმოდგენილმა საბაზისო ავტოენკოდერის მოდელმა შეძლო, წარმატებით დაესწავლა როგორც ლეგალური, ისე თაღლითური ტრანზაქციების შემთხვევები, რაც ჩვენს კვლევის ძირითადი მიზანი იყო. მიუხედავად იმისა, რომ სხვადასხვა სტრუქტურის ავტოენკოდერები გამოიცადა, ის საუკეთესო იყო, მაგრამ გაუმჯობესება მუდამ არის შესაძლებელი, რაც შეიძლება სხვა სტრუქტურის გამოყენებას ან მიდგომის სრულიად შეცვლასაც გულისხმობდეს. თუმცა, რადგანაც მახასიათებლების რაოდენობა მხოლოდ 30 იყო, რაც არც ისე ბევრია ღრმა სწავლების სტრუქტურისთვის, ვფიქრობთ, რომ ავტოენკოდერების გამოყენება კარგი მიდგომაა, მით უმეტეს, რომ საკმაოდ დამაიმედებელი შედეგებია მიღებული წარმოდგენილი კვლევის საფუძველზე, რომელთა გამოყენება შესაძლებელი იქნება ამ სფეროსთან დაკავშირებულ სხვა კვლევებში.

## **Autoencoder and Logistic Regression: Algorithms for Fraud Detection and Their Results**

*Magda Tsintsadze, Manana Khachidze, Lizi Mamisashvili, Erekle Shishniashvili,  
Anano Turkiashvili*

### **Summary**

The way to deal with the credit card fraud by using a data-driven approach is considered in the paper. This approach is a combination of auto-encoder that is one of the special types of neural network (ANN) - and the classic model of machine learning - logistic regression, which is often used to detect fraud. The data supplied to the auto-encoder contains only negative (valid transaction) samples. By using this approach there is a big chance of detecting cases that are abnormal (deviated from the norm). At the end of the paper a comparison of the efficiency of a combined algorithm and a purely logistic regression model is given.

## **Автоэнкодер и логистическая регрессия: алгоритмы обнаружения мошенничества и их результаты**

*Магда Цинцадзе, Манана Хачидзе, Лизи Мамисашвили, Эрекле Шишниашвили,  
Анано Туркиашвили*

### **Резюме**

Операции «Card Not Present» (CNP) стали популярными в 21 веке. Наряду с преимуществами такой удобной системы существует большая проблема, негативно влияющая на пользователя банка. Новый подход к защите информации учетной записи пользователя связан с интеллектуальными системами, отличающимися законные транзакции от мошеннических. В этой статье представлен автоэнкодер, уменьшающий 30 признаков до 10 на скрытом слое. Кроме того, мы обучили модель логистической регрессии, используя результаты

ავტოკოდირი. В этом случае, поскольку мы хотели, чтобы окончательный результат был более точным, порог был снова изменен. Поскольку мы хотели, чтобы наша модель ИНС сравнивалась с производительностью классического алгоритма машинного обучения, мы использовали логистическую регрессию независимо от исходных данных. После обучения модели мы использовали кривую PR (точность vs отзыв) для оценки производительности.

### ლიტერატურა – References – Литература

1. M. Khodabakhshi and M. Fartash, "Fraud Detection in Banking Using Knn (K-Nearest Neighbor) Algorithm," International Conference on Research in Science and Technology, 2016
2. "Credit Card Fraud Statistics". 2020. Shiftprocessing.Com.
3. Gómez, Jon Ander, Juan Arévalo, Roberto Paredes, and Jordi Nin. 2018. "End-To-End Neural Network Architecture For Fraud Scoring In Card Payments". Pattern Recognition Letters 105: 175-181.
4. Jurgovsky, Johannes, Michael Granitzer, Konstantin Ziegler, Sylvie Calabretto, Pierre-Edouard Portier, Liyun He-Guelton, and Olivier Caelen. 2018. "Sequence Classification For Credit-Card Fraud Detection". Expert Systems With Applications 100: 234-245.
5. Apapan Pumsirirat and Liu Yan, "Credit Card Fraud Detection using Deep Learning based on Auto-Encoder and Restricted Boltzmann Machine" International Journal of Advanced Computer Science and Applications (ijacsa), 9(1), 2018. <http://dx.doi.org/10.14569/IJACSA.2018.090103>
6. Alejandro Correa Bahnsen\* , Djamila Aouada, Aleksandar Stojanovic, Björn Ottersten. Feature engineering strategies for credit card fraud detection. Expert Systems with Applications. Volume 51, 1 June 2016, Pages 134-142
7. Leo, M.; Sharma, S.; Maddulety, K. Machine Learning in Banking Risk Management: A Literature Review. *Risks* 2019, 7, 29.
8. Chittem Leela Krishna, Poli Venkata Subba Reddy. Deep Neural Networks for the Classification of Bank Marketing Data using Data Reduction Techniques. International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE) ISSN: 2277-3878, Volume-8 Issue-3, September 2019