საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
1922 წლიდან

არჩილ ელიაშვილის სახელობის მართვის სისტემების ინსტიტუტი

შრომათა კრებული
PROCEEDINGS



№ 29, 2025

ISSN 0135-0765
DOI: https://doi.org/10.36073/0135-0765

ISSN 0135-0765
DOI: https://doi.org/10.36073/0135-0765

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

№29, 2025

თბილისი ∗ TBILISI ∗ ТБИЛИСИ

УДК 519.6:519.7:621.37/.39

შრომათა კრებულში ძირითადად დაბეჭდილია ინსტიტუტის თანამშრომელთა მიერ 2025 წელს ჩატარებული სამეცნიერო კვლევების შედეგები და, ასევე, სტატიები სტუდენტთა მონაწილეობით.

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

კრებული იბეჭდება ინსტიტუტის სამეცნიერო საბჭოს გადაწყვეტილებით.

The research results carried out mainly by the institute's scientists through 2025 as well as articles with the participation of students are printed in the proceedings.

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

The proceedings are published by decision of the Scientific Council of the Institute.

Настоящий сборник трудов в основном содержит результаты исследований, проведенных научными сотрудниками института в 2025 году и также статьи с участием студентов. Труды отражают три главных научных направления исследований института: теорию управления, разработку систем и устройств управления, в том числе управление в энергетических системах, и информатику.

Сборник издаётся по решению Учёного совета Института систем управления.

მ თ ა ვ ა რ ი რ ე დ ა ქ ტ ო რ ი

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

ს ა რ ე დ ა ქ ც ი ო კ ო ლ ე გ ი ა

სტუ არჩილ ელიაშვილის სახელობის მართვის სისტემების ინსტიტუტი:
თ. მაგრაქველიძე, *ტ.მ.დ. (მთ. რედაქტორის მოადგილე)*
ბ. შანშიაშვილი, *პროფესორი,ტ.მ.დ. (მთ. რედაქტორის მოადგილე)*
ლ. ლორთქიფანიძე, *ტ.მ.კ. (მთ. რედაქტორის მოადგილე)*
მ. მიქელაძე, *აკად. დოქტორი, (მთ. რედაქტორის მოადგილე)*
ნ. ჯავაშვილი *(მთ. რედაქტორის მოადგილე)*
მ. გეგეჭკორი *(პასუხისმგებელი მდივანი)*
გ. ჩიკოიძე, *ფილოლ. მ.დ., ფიზ.მათ.მ.კ.*
ა. ჩუტკერაშვილი, *აკად. დოქტორი*
გ. გიგინეიშვილი, *ტ.მ.კ.*
ნ. მირიანაშვილი, *ტ.მ.დ.*
დ. ფურცხვანიძე, *ტ.მ.კ.*
ვ. ბახტაძე *(ტექნიკური რედაქტორი)*

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი:
ა. ფრანგიშვილი, *აკადემიკოსი*
თ. ლომინაძე, *პროფესორი*
ზ. გასიტაშვილი, *პროფესორი*
ზ. წვერაიძე, პროფესორი

აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი
ა. ბარდაველიძე, პროფესორი

ი. მელჩუკი, *პროფესორი, მონრეალის უნივერსიტეტი, კანადა*
თ. კუცია, *იოჰანეს კეპლერის უნივერსიტეტი, ლინცი, ავსტრია*
პრივატ-დოცენტი, დოქტორი

ინსტიტუტის მისამართი:
0186 თბილისი, ე. მინდელის ქ.№10
ტელ.: (+995 32) 319871
ელ.ფოსტა: martsistem@gmail.com
ვებგვერდი: http://gtu.ge/msi/

ნომერი ეძღვნება
საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული
აკადემიის დაარსებიდან 85-ე წლისთავს

The issue is dedicated to
85th Anniversary of the Georgian National
Academy of Sciences

Номер посвящается
85-летию Национальной академии наук
Грузии

სარჩევი – Contents – Содержание

მართვის თეორია – Control Theory – Теория управления

Parameter estimation of one class of manufacturing closed-loop nonlinear systems 11
B. Shanshiashvili, N. Dadiani

მრუდი წირით შემოსაზღვრული არის წრეებით დაფარვის დინამიკური ამოცანა 18
ქ. კუთხაშვილი, ნ. კილასონია

On One Model of Production Planning 25
D. Sikharulidze, N. Dadiani, V. Khutsishvili

Простая модель прогнозирования курса валют на основе банковских процентов на срочные вклады 29
В. Хуцишвили, Д. Сихарулидзе

ნივთების ინტერნეტის არქიტექტურა და გამართვა ხილის მეურნეობის მონიტორინგისთვის 34
ა. გარდაველიძე, ხ. გარდაველიძე

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

მცირე მეფრინველეობის ფერმის ფუნქციონირების საერთო ალგორითმის დამუშავება 44
ნ. ყავლაშვილი, ლ. გვარამაძე, ვ. ბახტაძე

„ჭკვიანი“ ელექტროქსელების დადებითი მხარეებისა და მათი ეტაპობრივად განხორციელების ზოგიერთი საკითხის შესახებ 47
თ. მაგრაქველიძე, ხ. ლომიძე, მ. ჯანიკაშვილი, ი. არჩვაძე, გ. ურუშაძე, ნ. შენგელია, ნ. დოღონაძე

სარევიანი აპარატის კედლიდან თბოგაცემის ინტენსიურობაზე ხელოვნური ხორკლიანობის გავლენის ექსპერიმენტული გამოკვლევა 55
თ. მაგრაქველიძე, ტ. კობერიძე, გ. გიგინეიშვილი, ა. მიქაშავიძე, ხ. ლომიძე

ტურბულენტურ ნაკადში სიჩქარის პულსაციური მდგენელების განსაზღვრის ზოგიერთი საკითხის შესახებ 64
თ. მაგრაქველიძე

მზის თბური კოლექტორის მუშაობის ეფექტურობის მაჩვენებლები მზის მიმართ კოლექტორის მიდევნების შემთხვევაში 68
ნ. მირიანაშვილი, ნ. არაბიძე, თ. ბულია, ქ. კვირიკაშვილი, ფ. მშვილდაძე

წყალქვეშა სამუშაოებისთვის განკუთვნილი რობოტის მართვის სისტემის დაგეგმარება..... 77
დ. ფურცხვანიძე, ვ. ბახტაძე, ქ. კვირიკაშვილი, პ. სტავრიანიდი

ინფორმატიკა – Informatics – Информатика

Application of Artificial Intelligence to Evaluate the Synergy of Novel Anticancer Combinations for Enhancing the Selectivity of Drugs Against Non-Small Cell Lung Cancer 87
A. Chirakadze, Z. Buachidze, I. Khomeriki, L. Chelidze

ნასახელარ ზმნათა მოდელები ქართულში და მათი ინგლისური შესაბამისობები..... 98
გ. ჩიკოიძე, ა. ჩუტკერაშვილი, ნ. ჯავაშვილი

პიროვნებასა და კომპიუტერულ სისტემას შორის ვერბალური კომუნიკაციის სიმულატორი და ცოდნის წარმოდგენის მეტაენის შემუშავება..... 107
მ. კლოიანი, ლ. ლორთქიფანიძე, ლ. მაკრახიძე

კაუზატიური კონსტრუქციები ქართულ და ინგლისურ ენებში..... 116
ნ. ამირეზაშვილი

არსებითი სახელები ატრიბუტულ მსაზღვრელად და მათი ინგლისური შესატყვისები..... 122
ლ. სამსონაძე

Code Elements in the Cryptography of the 1832 Conspiracy 127
M. Tsertsvadze

გადაწყვეტილების ხეების გამოყენება სამედიცინო პრეპარატის ეფექტურობის დადგენის ამოცანის გადასაწყვეტად 135
ი. ოკონიანი, მ. მიქელაძე

ხელოვნური ინტელექტის მიდგომები პერსონალიზებული თერაპიის შერჩევის ამოცანაში 139
ვ. რაძიევსკი, მ. მიქელაძე, დ. რაძიევსკი, ი. ოკონიანი

MATLAB-ის გამოყენება მანქანური სწავლების მეთოდების შედარებითი შეფასებისთვის II ტიპის შაქრიანი დიაბეტის დიაგნოსტიკაში 143
ნ. ანანიაშვილი

სამკურნალო პრეპარატის ეფექტურობის შეფასების სისტემის შემუშავება K უახლოესი მეზობლის მეთოდის გამოყენებით 151
ნ. ჯალიაბოვა, მ. მიქელაძე, ე. ფაღავა, ი. გ. კორინთელი, ყ. ფაღავა

საქართველოს თანამშრომლობა უცხო ქვეყნებთან ელექტრონული ტენდერების საშუალებით: გამოწვევები და შესაძლებლობები 159
მ. მელიქიძე, ა. კობიაშვილი, მ. გეგეჭკორი

ფსევდო შემთხვევითი რიცხვების გენერატორების შედარებითი ანალიზი C++ ენის გამოყენებით 166
გ. ლომიძე, თ. გახტაძე

სტატიები სტუდენტების მონაწილეობით - Articles with student participation - Статьи с участием студентов

მოთხრობითი ბრუნვის ათვისება ქართულენოვან ბავშვებში 175
ნ. თავაძე, ა. ჩუტკერაშვილი

თანამედროვე AI მოდელებით ვექტორული ძიების ეფექტურობა ქართულ ტექსტებში 184
ა. ქევხიშვილი

მართვის თეორია

CONTROL THEORY

ТЕОРИЯ УПРАВЛЕНИЯ

Parameter estimation of one class of manufacturing closed-loop nonlinear systems

Besarion Shanshiashvili, Nugzar Dadiani

besoshan@hotmail.com, nugzar_dadiani@yahoo.com

Abstract

The problem of parameter identification of nonlinear dynamical systems functioning with positive feedback in the frequency domain is discussed. It is assumed that the input to the system is a harmonic signal. A linear model with nonlinear feedback represents the system model. Taking into account the peculiarities of the operating conditions of such closed systems, which are widespread in manufacturing processes, the nonlinear element of the model is described by a second-degree polynomial function, and the linear element is described by a first-order ordinary differential equation. Under such assumptions, the model is described by an ordinary nonlinear differential equation, known as the Riccati equation. The use of the least squares method when solving the parameter estimation problem allows reducing the problem to solving algebraic equations. In the developed identification method, static characteristics are estimated in a stationary state, and dynamic characteristics are estimated in a steady state using the Fourier approximation. The developed identification method is investigated in terms of accuracy.

Keywords:

parameter identification, system, nonlinear, feedback, equation.

1. Introduction

Most of the processes in industrial systems have a nonlinear nature with properties that create certain difficulties in the study and control of systems. The principle of superposition is not valid for nonlinear systems. When a harmonic signal acts on the input of the system, depending on the initial values, different motions can be obtained at the output, namely non-resonant, resonant and subharmonic oscillations. Different types of motion can also be obtained depending on the frequency, amplitude and phase of the input harmonic signal. In a nonlinear system, a new type of steady-state process can arise, such as self-oscillations in the absence of external oscillatory influences. In a nonlinear system, a new type of steady-state process can arise, such as self-oscillations in the absence of external oscillatory influences. In a nonlinear system, one cannot talk about the stability of the entire system. Of the different types of motions obtained at the output of the system, some may be stable, and some may be unstable. Therefore, the stability of individual motions in nonlinear systems is investigated. The list of characteristic features of nonlinear systems can, of course, be continued.

Even more difficulties arise when investigating processes in nonlinear systems operating with positive feedback. Such systems are widely used in manufacturing, especially in chemical, metallurgical, mining, pulp and paper production, ecology, etc. Positive feedback systems are characterized by the fact that part of the input raw material, which, while passing through the working part of the facility, remains unprocessed to the required condition, is returned to the system input for re-processing. Such closed-loop systems with positive feedback are characterized by maximum use of raw materials and relatively high efficiency [1].

When automating any manufacturing process, the selection of the type of automatic control system depends significantly on the amount of information about the state of the system, which must be formalized in the form of a mathematical model.

When defining a mathematical model of feedback systems, one can use the feature of the functioning of such systems that it is conditionally possible to distinguish between a direct channel and a feedback channel [2]. When moving through a direct channel, the initial material is processed into a finished product, which, as a rule, is transferred to the next technological process cycle. The movement of unprocessed material in the system occurs through a feedback channel. In manufacturing, usually, initial and unprocessed materials are measured. Defining a mathematical model of the feedback channel allows you to build a model of the entire system.

To formalize the processes occurring in manufacturing systems with feedback, in the form of mathematical expressions, mathematical modeling, or system identification methods can be used. When constructing a mathematical model of a system using system identification methods, it is necessary to solve various problems related to the amount of a priori information about the system and the observability of signals acting on the system [3]. The success of constructing an adequate model of the system under the conditions of a known model structure is significantly determined by the solution of the parameter identification problem.

To describe nonlinear systems, general models are usually used, in particular, the Volterra [4] and Wiener [5] series and the Kolmogorov-Gabor [6-7] continuous and discrete polynomials, or block-oriented models, in particular various modifications of the Hammerstein and Wiener models, which in turn consist of various connections of nonlinear static and linear dynamic elements [8].

In nonlinear systems operating with positive feedback, the solution of identification problems is associated with more difficulties than in open nonlinear systems. This is due to the peculiarities of the functioning of feedback systems, namely, in addition to taking into account the features characteristic of nonlinear systems, it is additionally necessary to take into account the fact that in feedback systems, a stable motion based on the output is obtained when the system input influences and system parameters change within certain limits. In open systems, when represented by block-oriented models, it is possible to sequentially investigate the processes occurring in the linear dynamic and nonlinear static elements that make up the models. In feedback systems, it is necessary to investigate their descriptive nonlinear differential equations, which are associated with mathematical difficulties.

This paper discusses the problem of parameter identification of nonlinear systems operating with positive feedback in the frequency domain under the conditions of harmonic influences entering the input of the research system. A linear model with nonlinear feedback is used to represent the feedback channel. To determine the differential equation describing the model, information on the static and dynamic characteristics of positive feedback systems operating in real manufacturing processes is used. The developed parameter identification method is based on observations of the values of the input and output variables of the system. The method allows to determine part of the parameters - static characteristics in a stationary state, while the dynamic parameters are estimated in a steady state using the Fourier approximation. The parameters are estimated based on the least squares method. The developed method is investigated in terms of accuracy.

2. Classes of model and input signals

The block diagram of the linear model with nonlinear feedback for the presentation of the feedback channel of nonlinear closed-loop systems is shown in Fig. 1.

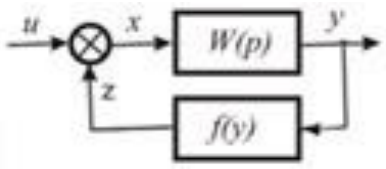


Fig. 1. Linear model with nonlinear feedback

This model is described by the equations:

$$y(t) = W(p)\{u(t) + f[y(t)]\}, \tag{1}$$

where *w(p)* is the transfer function in the operator form of the model's linear dynamic parts and *p* designates the differentiation operation: $p \equiv d/dt$.

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

$$u(t) = A\sin\omega t + B. \tag{2}$$

In addition, we assume that $B > A$, because if the input signal is zero, no signal will be received at the system output.

3. Mathematical equation of the linear model with nonlinear feedback

To determine the mathematical equation describing the model, let's use the features of the functioning of real practical feedback systems.

Based on the a priori information, which is obtained taking into account the features of the functioning of practical systems with positive feedback [2], it is supposed that the nonlinear static element, which is part of block-oriented models with feedback, is described by a second-degree polynomial function:

$$f(x) = c_1 x + c_2 x^2 \tag{3}$$

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

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

where c_1, c_2 - constant coefficients and in (30 the free member is absent since at the zero-input signal, there is no signal on the output of the system with positive feedback, and T - time constant.

If we consider expressions (3) and (4) in expression (1) after several transformations, we get that the linear model with nonlinear feedback is described by equations:

$$\dot{y}(t) = -\frac{1-c_1}{T} y(t) + \frac{c_2}{T} y^2(t) + \frac{1}{T} u(t). \tag{5}$$

4. Mathematical description of output forced oscillations

The solution of the parameter identification problem requires solving of the Riccati differential equation (5), taking into account (2).

In addition, it is necessary to take into account the stability conditions of the steady motion at the output of the nonlinear systems operating with a closed loop.

For the closed-loop nonlinear systems, it was obtained [2] that the satisfaction of the following conditions:

$$0 < c_1 < 1, \quad c_2 > 0, \tag{6}$$

and

$$\bar{u} < \frac{1-c_1}{2c_2}, \tag{7}$$

where $\bar{u}$ is a value of the input signal for some steady state, which guarantees the system stability. Therefore, for the linear model with nonlinear feedback, it is assumed that the conditions (6) - (7) are valid.

Analysis of conditions (6) and (7) allows us to conclude that c_2 is a small parameter, and for the solution of the Riccati equations (5), it is possible to use the method of a small parameter and to search for the solution of the equation in the form of the following series:

$$y(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \mu^n y_n(t), \tag{8}$$

where μ - a small parameter.

Because c_2 is a small parameter, and we can assume that

$$\mu = c_2. \tag{9}$$

The smallness of the parameter ensures convergence of the solution (8), so in expression (8) it is possible to ignore terms of the second and higher orders of small values, and we can limit ourselves to two terms:

$$y(t) = y_0(t) + c_2 y_1(t). \tag{10}$$

If we put (10) in equation (5) and equate coefficients of terms with the same degree of c_2 on the right and left sides of the equation, we get:

$$\dot{y}_0(t) = -\frac{1-c_1}{T} y_0 + \frac{1}{T} A \sin \omega t, \tag{11}$$

$$\dot{y}_1(t) = -\frac{1-c_1}{T} y_1 + \frac{1}{T} y_0^2 . \tag{12}$$

Equations (19) and (20) are linear ordinary differential equations. If we solve linear ordinary differential equations (11) and (12) with zero initial conditions, we get that the output signal of the model in the steady state is represented as follows:

$$y = \frac{B}{1-c_1} + \frac{c_2 B^2}{(1-c_1)^3} + \frac{c_2 A^2}{2(1-c_1)\left[(1-c_1)^2 + \omega^2 T^2\right]} + \frac{c_2 A^2}{\sqrt{(1-c_1)^2 + \omega^2 T^2}} \sin(\omega t - \varphi_1) + \frac{2c_2 AB}{(1-c_1)\sqrt{(1-c_1)^2 + \omega^2 T^2}} \times$$

$$\times \sin(\omega t - 2\varphi_1) + \frac{c_2 A^2}{2\left[(1-c_1)^2 + \omega^2 T^2\right]\sqrt{(1-c_1)^2 + 4\omega^2 T^2}} \cos(2\omega t - 2\varphi_1 - \varphi_2), \tag{13}$$

where

$$\varphi_1 = arctg \frac{\omega T}{1-c_1}, \quad \varphi_2 = arctg \frac{2\omega T}{1-c_1} .$$

5. Parameter identification

Solving the problem of parameter identification analytically for most block-oriented models with feedback is complicated by their nonlinearity with respect to the parameters, and therefore, the analytical solution of the parameter identification problem is possible for some low-order models.

Most of the parameter identification methods are developed for open systems (e.g., [9 -15]) using nonlinear block-oriented models.

Some works [16-18] are devoted to solving the problem of parametric identification of nonlinear systems with feedback, but when determining the dynamic characteristics, it is necessary to calculate derivatives based on experimental data, which is associated with the acceptance of errors.

It is worth noting that identification methods based on other approaches have also been developed for nonlinear systems with feedback (e.g., [19-20]).

5.1. Identification of static parameters

For the linear model with nonlinear feedback, the connection between the input and output variables in the stationary state is determined by the equation:

$$(1-c_1)x - c_2 x^2 = u . \tag{14}$$

Static parameters estimates by the least squares method were previously obtained [16-18] using expressions (14):

$$\hat{c}_1 = 1 - \frac{\left(\sum_{i=1}^{n} x_i^4\right)\left(\sum_{i=1}^{n} u_i x_i\right) + \left(\sum_{i=1}^{n} x_i^3\right)\left(\sum_{i=1}^{n} u_i x_i^2\right)}{\left(\sum_{i=1}^{n} x_i^2\right)\left(\sum_{i=1}^{n} x_i^4\right) - \left(\sum_{i=1}^{n} x_i^3\right)^2} , \tag{15}$$

$$\hat{c}_2 = \frac{\left(\sum_{i=1}^{n} x_i^2\right)\left(\sum_{i=1}^{n} u_i x_i^2\right) + \left(\sum_{i=1}^{n} x_i^3\right)\left(\sum_{i=1}^{n} u_i x_i\right)}{\left(\sum_{i=1}^{n} x_i^2\right)\left(\sum_{i=1}^{n} x_i^4\right) - \left(\sum_{i=1}^{n} x_i^3\right)^2} . \tag{16}$$

In expressions (15) - (16) - u_i, $x_i\,(i = 1,2,\ldots,n)$ are the values of the system's input and total variables in the stationary state at the moment $t_i\ (i = 1,2,\ldots,n)$.

5.2. Identification of dynamic parameter

Equating the estimate of the Fourier coefficient, which is obtained using the Fourier approximation [21], with its theoretical values from (13), we get

$$\frac{\hat{a}_0}{2}=\frac{B}{1-c_1}+\frac{c_2B^2}{\left(1-c_1\right)^3}+\frac{c_2A^2}{2\left(1-c_1\right)\left[\left(1-c_1\right)^2+\omega^2T^2\right]}. \quad (17)$$

From (17), after transformation, at different frequencies $\omega=\omega_i$ $(i=1,2,\ldots,n)$, we obtain:

$$\left(1-\hat{c}_1\right)^2\left[2B\left(1-\hat{c}_1\right)^2+\hat{c}_2A^2+2\hat{c}_2B^2-\hat{a}_{0i}\left(1-\hat{c}_1\right)^3\right]=\left[\hat{a}_{0i}\left(1-\hat{c}_1\right)^3-2B\left(1-\hat{c}_1\right)^2-2\hat{c}_2B^2\right]\omega_i^2T_0+\varepsilon_i \quad , (18)$$

where $\hat{a}_{0i}$ $(i=1,2,\ldots,n)$ - values of the Fourier coefficient at the frequency ω_i, and - ε_i $(i=1,2,\ldots,n)$ errors of measurements and approximations, and $T_0=T^2$.

According to the method of least squares, the error squared sum is:

$$S=\sum_{i=1}^{n}\varepsilon_i^2=\sum_{i=1}^{n}\left\{\left(1-\hat{c}_1\right)^2\left[2B\left(1-\hat{c}_1\right)^2+\hat{c}_2A^2+2\hat{c}_2B^2-\hat{a}_{0i}\left(1-\hat{c}_1\right)^3\right]-\right.$$
$$\left.-\left[\hat{a}_{0i}\left(1-\hat{c}_1\right)^3-2B\left(1-\hat{c}_1\right)^2-2\hat{c}_2B^2\right]\omega_i^2T_0\right\}^2. \quad (19)$$

If we take into account the equality $T_0=T^2$, differentiate (19) by T_0 and equate the received value to zero, and after transformation, we'll obtain an estimate of the parameter *T*:

$$\hat{T}=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}M_iN_i\omega_i^2}{\sum_{i=1}^{n}N_i^2\omega_i^4}}, \quad (20)$$

where

$$M_i=\left(1-\hat{c}_1\right)^2\left[2\left(1-\hat{c}_1\right)^2B-\hat{a}_{0i}\left(1-\hat{c}_1\right)^3+\hat{c}_2A^2+2\hat{c}_2B^2\right],\quad N_i=\hat{a}_{0i}\left(1-\hat{c}_1\right)^3-2B\left(1-\hat{c}_1\right)^2-2\hat{c}_2B^2.$$

6. Accuracy of the received results

It is necessary to study the accuracy of the identification method when using parameter identification algorithms developed in accordance with the identification method in manufacturing conditions under noise and disturbances.

The identification method was investigated by theoretical analysis and computer modeling. At the identification of the closed-loop nonlinear systems of manufacturing processes in the presence of noise and errors, the reliability of the received results depends on the accuracy of the mathematical processing of the experimental data obtained by the measurement of the system's input and output signals, and also on the accuracy of the measurements. It is recommended to accept that the value of the output signal at a certain time moment is an estimation of the mathematical expectation of the value of the output function at the present moment, when using various schemes of the numerical harmonic analysis.

Besides, as it is known, the method of the least squares used for parameter estimation when the noise is small and ideally normally distributed gives reliable results.

The correctness of the results obtained in theoretical studies and the feasibility of using the developed method in production conditions were confirmed by computer modeling using MATLAB.

7. Conclusions

When solving the identification problems of positive feedback nonlinear systems, we encounter specific difficulties due to the peculiarities of the functioning of such systems. When conducting active experiments in these systems, it is necessary to fulfill the conditions that ensure the stability of each motion obtained at the output of the system. When supplying an input harmonic signal, the stability of the motion obtained in the steady state, namely, forced oscillations, can be ensured by changing certain values of the static parameters of the system and the input signal within certain limits. In addition, when analytically obtaining the expressions of the output variables of feedback nonlinear systems, it is necessary to solve the nonlinear differential equation describing the system, which is associated with mathematical difficulties, and at the same time, it is necessary to take into account information about the peculiarities of the functioning of the system.

In this work, a method for identifying the parameters of nonlinear systems operating with positive feedback is proposed, when a linear model with nonlinear feedback represents the feedback channel. The method involves conducting an active experiment by applying sinusoidal influences on the system under investigation. Fourier approximation is applied to the forced oscillations obtained at the system's output, and estimates of the Fourier coefficients are used to solve the parameter identification problems.

According to the proposed method, the parameters are estimated in two stages. In the first stage, the static parameters are estimated in the stationary mode, and then in the second stage, the static parameter estimates are used to estimate the dynamic parameters in the frequency domain under the system's input harmonic influence in the steady-state mode. The parameter estimates are obtained using the least squares method. An analysis is carried out in terms of the accuracy of the obtained results.

ერთი კლასის წარმოების უკუკავშირიანი არაწრფივი სისტემების პარამეტრების შეფასება

ბესარიონ შანშიაშვილი, ნუგზარ დადიანი

რეზიუმე

განხილულია დადებითი უკუკავშირით ფუნქციონირებადი არაწრფივი დინამიკური სისტემების პარამეტრული იდენტიფიკაციის ამოცანა სიხშირულ არეში. იგულისხმება, რომ სისტემის შემავალი ზემოქმედება არის ჰარმონიული სიგნალი. სისტემის მოდელი წარმოიდგინება წრფივი მოდელით არაწრფივი უკუკავშირით. საწარმოო პროცესებში ფართოდ გავრცელებული, ასეთი ჩაკეტილი სისტემების სამუშაო პირობების თავისებურებების გათვალისწინებით აღნიშნული მოდელის არაწრფივი ელემენტი აღწერილია მეორე ხარისხის პოლინომიალური ფუნქციით, ხოლო წრფივი ელემენტი - პირველი რიგის ჩვეულებრივი დიფერენციალური განტოლებით. ასეთი დაშვების პირობებში მოდელი აღიწერება ჩვეულებრივი არაწრფივი დიფერენციალური განტოლებით, რომელიც ცნობილია რიკატის განტოლების სახელწოდებით. უმცირესი კვადრატების მეთოდის გამოყენება, პარამეტრების შეფასების ამოცანის გადაწყვეტისას, ამოცანის ალგებრული განტოლებების ამოხსნამდე დაყვანის საშუალებას იძლევა. იდენტიფიკაციის შემუშავებული მეთოდისას სტატიკური მახასიათებლები ფასდება სტაციონარულ მდგომარეობაში, ხოლო ფურიეს აპროქსიმაციის გამოყენებით დინამიკური მახასიათებლები - დამყარებულ მდგომარეობაში. შემუშავებული იდენტიფიკაციის მეთოდი გამოკვლეულია სიზუსტის თვალსაზრისით.

Оценка параметров одного класса производственных замкнутых нелинейных систем

Виссарион Шаншиашвилии, Нугзар Дадиани

Резюме

Рассматривается задача параметрической идентификации нелинейных динамических систем, работающих с положительной обратной связью в частотной области. Предполагается, что на вход системы подается гармонический сигнал. Модель системы представлена линейной моделью с нелинейной обратной связью. С учетом особенностей условий функционирования таких замкнутых систем, широко распространенных в производственных процессах, нелинейный элемент модели описывается полиномиальной функцией второй степени, а линейный элемент – обыкновенным дифференциальным уравнением первого порядка. При ктаких предположениях модель описывается обыкновенным нелинейным дифференциальным уравнением, известным как уравнение Риккати. Использование метода наименьших квадратов при решении задачи оценивания параметров позволяет свести задачу к решению алгебраических уравнений. В

разработанном методе идентификации статические характеристики оцениваются в стационарном состоянии, а динамические характеристики – в установившемся режиме с использованием аппроксимации Фурье. Разработанный метод идентификации исследован с точки зрения точности.

ლიტერატურა - References - Литература

1. Nagiev M.F. Theoretical foundation of recirculation processes. Academy of Sciences of the USSR, Moscow, 1962. (in Russian).
2. Arefiev B.A. Inertial processes optimization. Mashinostroenie, Leningrad, 1969. (in Russian).
3. Eykhoff, P. System identification. Parameter and state estimation. John Wiley and Sons Ltd, London, 1974.
4. Volterra V. Theory of functionals and of integral and integro-differential equations. Dover Publ., New York, 1959.
5. Wiener N. Nonlinear problems in random theory. Wiley, New York, 1958.
6. Kolmogorov A. N. Interpolation and extrapolation of stationary random series. Bulletin of the Academy Sciences of USSR, Mathematical series. No. **5,** 1941, pp. 3-14.
7. Gabor L, Wilby PL., Woodcook R. A universal nonlinear filter predictor and simulator which optimizes itself by a learning process. In: Proc. of the IE, part B**,** vol**.** 108**,** issue 40, 1961, pp.422-433.
8. Haber R., Keviczky L Identification of nonlinear dynamic systems. In: Preprints of the IV IFAC Symposium on Identification and System Parameter Estimation, part 1. Institute of Control Sciences, Moscow, 1976, pp. 62-112.
9. Shanshiashvili B.G. Frequency method for identification of a model structure of nonlinear continuous-time systems. Preprints of the 9 th IFAC/IFORS Symposium on Identification and System Parameter Estimation, vol. 1, Budapest, 1991, pp. 640 – 643.
10. Giri F., Bai E-W. (Eds). Block-oriented nonlinear system identification. Springer, Berlin, 2010.
11. Liu X., Wang C., Dai W. Probability-Based Identification of Hammerstein Systems with Asymmetric Noise. Characteristics, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 73, 2024, pp. 1-11.
12. Jing Sh., Pan T., Zhu Q. Identification of Wiener systems based on the variable forgetting factor, multi-error stochastic gradient and the key term separation. International Journal of Adaptive Control and Signal Processing, 35 (12), 2021, pp. 2537-2549.
13. Brouri A. Wiener–Hammerstein nonlinear system identification using spectral analysis. International Journal of Robust and Nonlinear Control, 32 (10), 2022, pp. 6184-6204.
14. Brouri A., El Mansouri F.Z., Chaoui F.Z. Abdelaali C., Giri F. Identification of Hammerstein-Wiener model with discontinuous input nonlinearity. Science China Information Sciences, 66, 2023, pp. 1-15.
15. Shanshiashvili B., Rigishvili T. Parameter Identification of Block-Oriented Nonlinear Systems in the Frequency Domain. ScienceDirect. IFAC PapersOnLine Volume 53, Issue 2, 2020, pp. 10695–10700.
16. Salukvadze M., Shanshiashvili B. Identification of one class nonlinear Systems with Closed Cycle. Proceedigs of the 18th IFAC World Congress, Milan, 2011, pp. 5627-5632.
17. Salukvadze M., Shanshiashvili B. Identification of nonlinear Continuous Dynamic Systems with Closed Cycle. International Journal of Information Technology & Decision making, vol. 12, no. 2, 2013, pp. 179-199.
18. Prangishvili A., Shanshiashvili B., Tsveraidze Z. Identification of nonlinear dynamic systems with feedback of manufacturing processes. ScienceDirect. IFAC-PapersOnLine, vol. 49, issue 12, 2016, pp. 580-585.
19. Burghi T., Schoukens M. and Sepulchre R Feedback for nonlinear system identification. Proceedings of the 18th European Control Conference (ECC), 2019, pp. 1344-1349.
20. Shakib M.F., Toth R., Pogromsky A.Y., Pavlov A., van de Wouw N. State-Space Kernelized Closed-Loop Identification of Nonlinear Systems. Preprints of the 21st IFAC World Congress (Virtual) Berlin, 2020, pp. 1148-1153.
21. Hamming R. W. Numerical methods for scientists and engineers. Dover Publications Inc., New York, 1987.

მრუდი წირით შემოსაზღვრული არის წრეებით დაფარვის დინამიკური ამოცანა

ქეთევან კუთხაშვილი, ნელი კილასონია

kkutkhashvili@yahoo.com, kilasonianeli1@gmail.com

რეზიუმე

ნაშრომში განიხილება ამოცანები, რომელთა შესაბამისი მოდელები დისკრეტული ოპტიმიზაციის დინამიკური მოდელების კლასს განეკუთვნება. განხილული იქნება პრობლემების ანალიზი და ალგორითმული გადაწყვეტა.

განხორციელებული იქნება დისკრეტული ოპტიმიზაციის კონკრეტული ამოცანის ანალიზი დინამიკურობის გათვალისწინებით, როცა გასათვალისწინებელია პარამეტრების ცვლილება. კერძოდ, განიხილება მრუდი წირით შემოსაზღვრული ბრტყელი არის ცვლადი რადიუსის მქონე წრეებით ოპტიმალური დაფარვის დინამიკური ამოცანა.

როგორც ცნობილია, დაფარვის ამოცანები NP სირთულისაა. ნაშრომში კონკრეტული შეზღუდვების გათვალისწინებით, აღნიშნული ამოცანისათვის აგებულია პოლინომიალური სირთულის ალგორითმი.

საკვანძო სიტყვები:

დისკრეტული; ოპტიმალური; განრიგი; დინამიკური მოდელი; ალგორითმი.

შესავალი

დისკრეტული ოპტიმიზაციის მეთოდების განვითარებას განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება, რადგან ამ მეთოდების და კომპიუტერული ტექნიკის საშუალებით ეკონომიკის, ტექნიკისა თუ სოციალური მეცნიერებების ისეთი ამოცანების გადაჭრა გახდა შესაძლებელი, რომლებიც ზუსტი და უწყვეტი მეთოდების გამოყენებით შეუძლებელი იყო. წარმოიშვა მათემატიკის უამრავი სხვადასხვა მიმართულება და მათ შორის ოპტიმალური დაფარვის ამოცანები. დაფარვის ამოცანები ოპტიმიზაციის დისკრეტული ამოცანების კერძო მიმართულებაა. არსებობს სხვადასხვა სივრცის (მართკუთხედის. წრის, ამოზნექილი ან არაამოზნექილი მრავალკუთხედის და სხვა) სხვადასხვა ფიგურებით (ერთნაირი ან სხვადასხვა სიდიდის მართკუთხედებით, ერთნაირ ან სხვადასხვა რადიუსიანი წრეებით) დაფარვის ამოცანები [9, 10]. ეს ამოცანები NP სირთულისაა და მათთვის პოლინომიალური სირთულის ალგორითმის აგება მნიშვნელოვანია, რადგან ასეთ ამოცანებს უამრავი გამოყენება აქვს სხვადასხვა სფეროში. მართკუთხედებით დაფარვის ამოცანები გამოიყენება ძვირფასი ლითონების ან ქაღალდის ოპტიმალური დაჭრისთვის ნარჩენების ეკონომიის მიზნით (ოპტიმალური დაჭრის ამოცანები), კონტეინერებში ოპტიმალური ჩალაგების ამოცანები გამოიყენება გემებით ტვირთების გადაზიდვებში და სხვა [2, 3].

ოპტიმალური დაჭრის ამოცანები ორ კლასად იყოფა: ფიგურული და არაფიგურული დაჭრა. ამასთან, მათემატიკური მოდელების აგების დროს მნიშვნელოვანია ტექნოლოგიური პროცესების გათვალისწინება. არაფიგურული დაჭრის ამოცანებს წრფივი და მართკუთხოვანი დაჭრის/ჩალაგების ამოცანები განეკუთვნება, ხოლო ფიგურული დაჭრის (ჩალაგების ან დაფარვის) ამოცანებში ე.წ. ნამზადს ან დამფარავ ფიგურას ნებისმიერი გეომეტრიული კონფიგურაცია შეიძლება ჰქონდეს.

წრფივი და მართკუთხოვანი დაჭრის/დაფარვის ზოგიერთი საკითხები ჯერ კიდევ 1949 წელს კანტოროვიჩის მიერ იყო შესწავლილი და დამუშავდა დასმული ამოცანების გადაჭრის თეორია, რომელიც ძირითადად წრფივი დაპროგრამების იდეებს ეყრდნობოდა. მას შემდეგ

მრავალი მეცნიერის მიერ იქნა შემოთავაზებული დაფარვის ოპტიმალური გეგმის შედგენის სხვადასხვა მეთოდი და ალგორითმი, რომლებიც დინამიკური პროგრამირების საფუძვლებს ეყრდნობა. თუმცა, მიუხედავად მრავალი სხვადასხვა მცდელობისა, ამოცანის სირთულის გამო უნივერსალური ეფექტური ალგორითმის აგება შეუძლებელი აღმოჩნდა [8, 9].

როგორც ცნობილია, ოპტიმალური დაფარვის (ასევე ოპტიმალური დაჭრის ან ოპტიმალური ჩალაგების) ამოცანები არაპოლინომიალური (NP) სირთულისაა. ალგორითმი, რომელიც ამოცანის პარამეტრებზე დადებულია უამრავი შეზღუდვისა და მათი გათვალისწინებით ამა თუ იმ კრიტერიუმის დაკმაყოფილების საშუალებას მოგვცემს, დიდი რაოდენობით მონაცემების დამუშავებას და შესაბამისად, მრავალი მანქანური ოპერაციის შესრულებას საჭიროებს. ამიტომ, მონაცემების რაოდენობის გაზრდასთან ერთად გამოთვლების რაოდენობაც არაპოლინომიალურად იზრდება, ეს კი თავისთავად, ამოცანის ამოხსნისთვის საჭირო მანქანურ დროს ძალიან ზრდის [2, 3]. სწორედ ამიტომ, კონკრეტული შეზღუდვების პირობებში პოლინომიალური ალგორითმის აგება მეტად მნიშვნელოვანია. ამასთან, რაც უფრო დაბალი ხარისხის პოლინომით იქნება შეფასებული აგებული ალგორითმის ეფექტურობა, მით უკეთესია ალგორითმი.

განრიგთა თეორიის ამოცანები, ისე როგორც დისკრეტული ოპტიმიზაციის მრავალი სხვა ამოცანა, შეიძლება დაიყოს სტატიკურ და სტოქასტურ ამოცანებად. სტოქასტური ამოცანების ერთ-ერთი განშტოებაა დინამიკური ამოცანები. სტატიკური ამოცანებისათვის სხვადასხვა შეზღუდვების პირობებში აგებულია ალგორითმები როგორც ერთი, ასევე მრავალი კრიტერიუმის შემთხვევებში. აგებული ალგორითმები შტოებისა და საზღვრების მეთოდს ეფუძნება [5, 7]. როდესაც ზოგიერთი პარამეტრი წინასწარ ცნობილი არ არის, შესაძლებელია გამოყენებული იქნას დინამიკური დაპროგრამების მეთოდი შტოებისა და საზღვრების მეთოდთან ერთად.

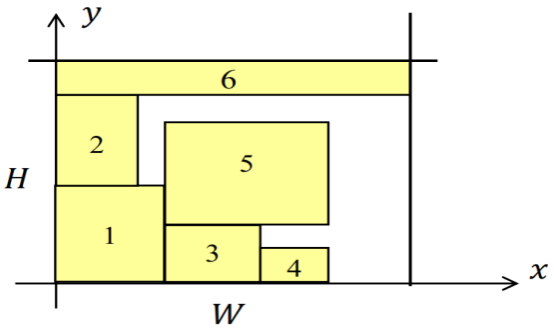
დინამიკური დაპროგრამების მეთოდი, რომელიც გასული საუკუნის ორმოცდაათიან წლებში შემოთავაზებული იყო რ.ე.ბელმანის მიერ, დასმული ამოცანის მცირე განზომილების ამოცანებად დაყოფას ეფუძნება. დიდი განზომილების ამოცანა მცირე ზომის ამოცანებად სხვადასხვა გზით შეიძლება იყოს დაყოფილი [4, 5]. ამიტომ, პირველ რიგში, დაყოფის მეთოდი უნდა განისაზღვროს და დაყოფის ალგორითმი აიგოს. ყოველი მცირე ზომის ამოცანისათვის საჭიროა შევადგინოთ ამ ამოცანაში მოხვედრილი დავალებების ოპტიმალური განაწილების განრიგი. ბოლოს, შედგენილი ცხრილების საფუძველზე აიგება გრაფიკი საწყისი ამოცანისათვის, რომელიც მიზნის ფუნქციის გარკვეულ მნიშვნელობას მოგვცემს. ამ მნიშვნელობის გასაუმჯობესებლად საჭიროა უკუსვლის მეთოდის გამოყენება.

თითოეული დანაყოფისათვის უკუსვლის მეთოდი გამოიყენება და ამ დანაყოფში შემავალი დავალებების ისეთნაირად გადალაგებას მოითხოვს, რომ წინა ეტაპზე აგებული ცხრილის მიხედვით გამოთვლილი მიზნის ფუნქციის მნიშვნელობის გაუმჯობესება გამოიწვიოს. ყოველი შემდეგი ქვესიმრავლისათვის აგებული საუკეთესო ცხრილის მიხედვით გამოთვლილი მიზნის ფუნქციის მნიშვნელობა ემატება წინა ქვესიმრავლისათვის გამოთვლილ მნიშვნელობას და საბოლოოდ, ყველა ქვესიმრავლის ამოწურვის შემთხვევაში, დასაწყისში დასმული ამოცანისათვის აგებულ ცხრილს და მიზნის ფუნქციის მიახლოებით მნიშვნელობას მივიღებთ. ამის შემდეგ კვლავ მოგვიწევს უკუსვლის მეთოდის გამოყენება მთლიანი ცხრილისათვის.

დინამიკური დაპროგრამების მეთოდი ძირითადად გულისხმობს დროით ინტერვალებად დაყოფას. ბელმანის ოპტიმალურობის პრინციპის თანახმად, როგორიც არ უნდა იყოს სისტემის საწყისი მდგომარეობა და საწყისი ამონახსნი, შემდეგი ამონახსნი სისტემის ოპტიმალურ მდგომარეობას უნდა განსაზღვრავდეს წინა ამონახსნის გათვალისწინებით [4, 5]. განხილულ ამოცანაში ქვესიმრავლეებად, ანუ უფრო მცირე ამოცანებად დაყოფა, მოცემული მრუდწირული არის დავალებების სპეციფიკის გათვალისწინებით, უფრო მცირე არეებად დაყოფით განხორციელდება. ბოლოს, აგებული ალგორითმის ეფექტურობის ხარისხი დადგინდება.

პრობლემის აქტუალობა

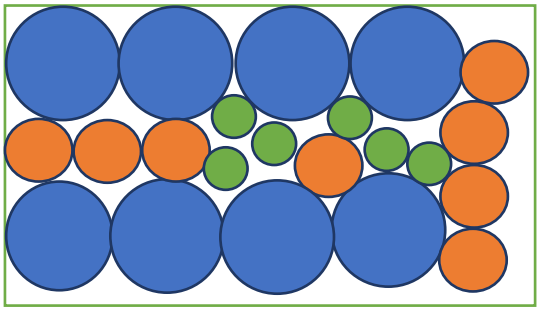
როგორც წესი, წარმოებაში, სადაც რაიმე დეტალებს ამზადებენ, მასალა რომლისგანაც უნდა დამზადდეს დეტალები, შემოდის რულონების, ღეროების, მართკუთხა ფირფიტების სახით. შემოსული მასალებისგან უნდა გამოიჭრას მოცემული ზომებისა და განსაზღვრული კონფიგურაციის დეტალები (ნახ.1). საჭიროა ამ მასალების დაჭრის ისეთი გეგმის შედგენა, რომ არასასარგებლო ნარჩენი მინიმალური იყოს [7, 8].



ნახ. 1

ოპტიმალური დაჭრის ამოცანებს აგრეთვე განეკუთვნება მძიმე წონის ტვირთების განლაგება გემების ან თვითმფრინავების სათავსოებში, დიდი რაოდენობის მზა პროდუქციის საწყობებში განთავსება და სხვა.

როგორც ეკონომიკის, ასევე ტექნიკისა და მომსახურების სფეროს სხვადასხვა საკითხის გადასაჭრელად ხშირად ჩნდება ამოცანები, როდესაც საჭიროა წრიული ფიგურების განთავსება სხვადასხვა ფორმის კონტეინერში, ან რაიმე ფართობის დაფარვა წრიული ობიექტებით (ნახ.2). როგორიცაა ანტენების ან სხვა მოწყობილობების განთავსების და მათი სიმძლავრეების რეგულირებისთვის, მომსახურების სხვადასხვა ცენტრების განთავსების და მათი ეფექტური ფუნქციონირების მართვისთვის, კონტეინერში ოპტიმალური ჩალაგების ამოცანების გადასაჭრელად და სხვა [1].



ნახ. 2

ჩვენი მიზანია განვიხილოთ ამოცანები, რომელთა შესაბამისი მოდელები დისკრეტული ოპტიმიზაციის დინამიკური მოდელების კლასს განეკუთვნება. განხილული იქნება პრობლემების ანალიზი და ალგორითმული გადაწყვეტა.

ნაშრომში ძირითადად განხორციელებული იქნება დისკრეტული ოპტიმიზაციის კონკრეტული ამოცანის ანალიზი დინამიკურობის გათვალისწინებით, როცა პარამეტრები იცვლება დროზე დამოკიდებულებით. განხილული იქნება როგორც ერთკრიტერიუმიანი, ასევე მრავალკრიტერიული შემთხვევები და მათი გამოყენება მიკროეკონომიკის სხვადასხვა სფეროებში. კერძოდ, განიხილება მრუდი წირით შემოსაზღვრული არის ცვალებადი რადიუსის მქონე წრიული ობიექტებით დაფარვის მრავალპარამეტრული დინამიკური ამოცანა. ოპტიმალობის კრიტერიუმად განხილულია ობიექტების მახასიათებელი

სიდიდეების ოპტიმიზაცია. პარამეტრებად არჩეულია თითოეული ობიექტის დაფარვის რადიუსი, სიმძლავრე და სივრცული პარამეტრები.

როგორც უწყვეტ, ასევე დისკრეტულ შემთხვევაში ამოცანები შეიძლება დავყოთ სტატიკურ და დინამიკურ ამოცანებად. ამოცანის დინამიკური ხასიათი ალგორითმის აგებას კიდევ უფრო ართულებს [5, 6].

დასმული ამოცანისათვის შედგენილია მათემატიკური მოდელი. აგებული მოდელის შესაბამისი ალგორითმისთვის გამოყენებულია ბელმანის პრინციპი, რომლის მიხედვითაც მოცემული ამოცანა უნდა დაიყოს უფრო მცირე ზომის ამოცანებად. თითოეული ამ ქვეამოცანისათვის აგებულია ოპტიმალური ამონახსნი, ხოლო ამ ამონახსნების საფუძველზე აგებულია საწყისი ამოცანის ამონახსნი [4].

ქვეამოცანების ამონახსნების მოსაძებნად შტოებისა და საზღვრების მეთოდი გამოვიყენეთ.

ამოცანის დასმა

ვთქვათ, Ω რაიმე ბმული არეა, რომლის ფართობია S. საჭიროა ამ ფართობზე განთავსდეს n $\{s_1, s_2, \ldots, s_n\}$ წერტილი (მოწყობილობა) ისე, რომ თითოეულ წერტილს შეეძლოს მონიტორინგი გაუწიოს წრიულ ფართობს, რომლის ცენტრიც მდებარეობს მოცემულ წერტილში, ხოლო რადიუსი ცვალებადია და იცვლება შუალედში $R_i \in [R_{min} ; R_{max}]$, i=1, 2, . . . n. ვთქვათ, ასეთი წრეებია $C_1, C_2, \ldots C_n$. Rmin და Rmax სიდიდეების მნიშვნელობები გამოითვლება და დამოკიდებულია Ω-ს კონფიგურაციასა და S ფართობზე. ვინაიდან Ω სიბრტყის ნაწილია, $s_1, s_2, \ldots, s_n$ ცენტრები ხასიათდებიან ორი კოორდინატით $s_i(x_i, y_i)$ i=1, 2, . . . n.

რადიუსის ცვლილება იწვევს სხვა პარამეტრის შეცვლას და ეს დამოკიდებულებები მოცემულია ფუნქციების სახით. ჩვენი მიზანია მივაღწიოთ ოპტიმალურ რადიუსს, ისე, რომ მასზე დამოკიდებული პარამეტრიც იყოს მაქსიმალური.

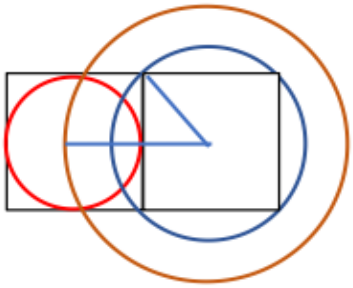
მოწყობილობები წრიული ფართობის მონიტორინგზე ხარჯავენ ენერგიას, რომელიც გამოისახება შესაბამისი წრის რადიუსზე დამოკიდებული ზრდადი ფუნქციით $\psi_i = f(R_i)$. ამავე დროს, თითოეული მოწყობილობა ხასიათდება ხარისხობრივი პარამეტრით, რომელიც აგრეთვე შესაბამისი წრის რადიუსზე დამოკიდებული კლებადი ფუნქციაა $\eta_i = g(R_i)$. ამასთან, თითოეული η_i , i=1, 2, . . . n, ქვემოდან შემოსაზღვრული სიდიდეა η_{min}.

Ω არის დაფარვა P ვუწოდოთ მოწყობილობების ისეთ განაწილებას, როდესაც Ω არის ნებისმიერ z წერტილს ერთი მოწყობილობა მაინც აკონტროლებს, ანუ რომელიმე C წრეს ეკუთვნის და $\Omega \subset \bigcup_{i=1}^{n} C_i$. საჭიროა ვიპოვოთ Ω არის დამფარავი წრეების ცენტრების კოორდინატები $s_i(x_i, y_i)$ და თითოეული წრისთვის განვსაზღვროთ R_i რადიუსი i=1, 2, . . . n ისე, რომ ჯამურად დახარჯული ენერგია იყოს მაქსიმალური და ამასთანავე ჯამური ხარისხიც იყოს მაქსიმალური

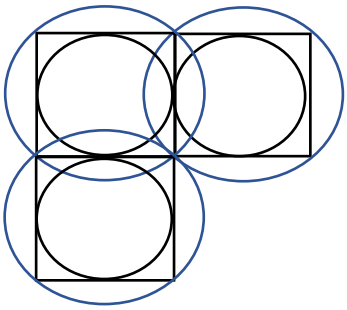
$$\sum_{i=1}^{n} \psi_i \to \max$$

$$\sum_{i=1}^{n} \eta_i \to \max$$

განვიხილოთ შემთხვევა, როდესაც Ω არე წარმოადგენს მართკუთხედს, რომლის ზომებიცაა a და b, ხოლო ფართობი a · b= S. ვინაიდან უნდა განთავსდეს n წრე, მთელი S ფართობი დავყოთ n ტოლ ნაწილად და ვთქვათ, რომ ეს ნაწილები კვადრატებია (ნახ.4). მაშინ ცხადია, რომ თითოეული $R_{min} = \frac{\sqrt{2}}{2}\sqrt{\frac{ab}{n}}$. კვადრატის გვერდი ტოლი იქნება $\sqrt{\frac{ab}{n}}$ სიდიდის. თუ $s_i(x_i, y_i)$ i=1, 2, . . . n ცენტრებს განვათავსებთ კვადრატების ცენტრებში, მაშინ $R_{min} = \frac{\sqrt{2}}{2}\sqrt{\frac{ab}{n}}$ ხოლო $R_{max} = \sqrt{\frac{ab}{n}}$ (ნახ.3). შემოვიღოთ ფუნქციონალი $\rho = P_1 \sum_{i=1}^{n} \psi_i + P_2 \sum_{i=1}^{n} \eta_i$, სადაც კოეფიციენტები $P_1, P_2 \in [0, 1]$ შეირჩევა იმის მიხედვით, თუ რომელ კრიტერიუმს ენიჭება უპირატესობა მოცემულ მომენტში. ჩვენი საჭიროა შევარჩიოთ $R_i[R_{min} ; R_{max}]$, i=1, 2, . . . n რადიუსები ისე, რომ ρ ფუნქციონალმა მიიღოს მაქსიმალური მნიშვნელობა.



ნახ. 3



ნახ. 4

ჩავთვალოთ, რომ მოწყობილობები, რომლებიც $s_i(x_i, y_i)$, i=1, 2, . . . n, ცენტრებში უნდა განთავსდნენ ერთი ტიპისაა.

ალგორითმის აღწერა

დასმული ამოცანის შესაბამისი ალგორითმი რამდენიმე ძირითადი ბიჯისაგან შედგება:
1. Ω ბმული არე დავყოთ $G_1, G_2, \ldots, G_k$ ქვეარეებად გონივრული მოსაზრებით (დასმული რეალური ამოცანის მონაცემების გათვალისწინებით) $\Omega = \bigcup_{t=1}^{k} G_i$.

2. დავადგინოთ თითოეული G_j სიმრავლისთვის მაქსიმალური ზომები a_j და b_j, j=1,2, . . . , k. (იგულისხმება თითოეული რეგიონის მაქსიმალური და მინიმალური კოორდინატები X_{jmin}, X_{jmax}, Y_{jmin} და Y_{jmax}). მაშინ $a_j = X_j\max - X_{jmin}$, ხოლო $b_j = Y_{jmax} - Y_{jmin}$.

3. თითოეულ G_j არე შემოვსაზღვროთ მართკუთხედით, რომლის ფართობი იქნება $S_j = a_j \cdot b_j$, თითოეულ G_j არეში განსათავსებელი ობიექტების რაოდენობაა $n_j = \left[\frac{S_j}{s}\right] n,\ j = 1,2,\ldots,k$.

4. S_j ფართობი დავყოთ კვადრატულ ნაწილებად, რომელთაგან თითოეულის გვერდის სიგრძე იქნება $\sqrt{\frac{S_j}{n_j}}$, ხოლო მასში ჩახაზული წრის რადიუსი იქნება $R_j = \frac{\sqrt{2}}{2}\sqrt{\frac{S_j}{n_j}}$. წრეწირის ცენტრი მდებარეობს კვადრატის დიაგონალების წერტილში და მისი კოორდინატები განისაზღვრება შემდეგნაირად:

5. ცხადია, აგებული წრეები S_j ფართობს ვერ დაფარავენ. ამიტომ დავიწყებთ რადიუსების თანმიმდევრობით ცვლილებას R_{jmin}-დან R_{jmax}-მდე წინასწარ განსაზღვრული ბიჯით და ყოველი ცვლილების შემდეგ ვითვლით ფუნქციონალის მნიშვნელობას

$$\rho = P_1 \sum_{i=1}^{n_j} \psi_i(R_j) + P_2 \sum_{i=1}^{n_j} \eta_i(R_j).$$

6. თითოული Sj ქვეარესათვის უნდა აიგოს ოპტიმალური დაფარვის სქემა, ამისათვის ვაგებთ 4-ხეს ყოველი 4 მეზობელი წრისთვის. ელემენტარულ ოპერაციათა რაოდენობა თითოეულ ბიჯზე არის 4-ის ჯერადი რიცხვი. თუ თითოეული G_j რეგიონისთვის დავითვლით, მაშინ ელემენტარულ ოპერაციათა რაოდენობა გაიზრდება n_j -ჯერ, სადაც n_j იმ კვადრატების რაოდენობაა, რომლებადაც დაიყო S_j ფართობი.

7. თითოეული G_j რეგიონისთვის ვადარებთ ρ ფუნქციონალის მნიშვნელობებს თითოეული ბიჯისთვის და ვიმახსოვრებთ საუკეთესო მნიშვნელობას ρ_j, აგრეთვე ვიმახსოვრებთ წრეების იმ კონსტრუქციას, რომლისთვისაც ρ_j მნიშვნელობა იყო გამოთვლილი.

8. ბელმანის პრინციპის გამოყენებით ვაგებთ საბოლოოდ Ω არისთვის საუკეთესო დაფარვის სქემას. ამისათვის ეტაპობრივად მოხდება რეგიონების შეერთება და ყოველი ასეთი შეერთების შემთხვევაში გამოითვლება ე.წ. გამსხვილებული ρ მნიშვნელობა, რომელიც ტოლი იქნება შეერთებული რეგიონებისთვის გამოთვლილი ფუნქციონალების ჯამისა და მათ დაემატება ისევ ელემენტარულ ოპერაციათა რაოდენობის 2-ის ჯერადი რიცხვი. საბოლოოდ Ω არისთვის გამოთვლების რაოდენობა გაიზრდება k-ჯერ და რაიმე 2-ის ჯერადი რიცხვჯერ.

ცხადია, რომ თითოეულ ქვეამოცანაში განხილული დავალებების რაოდენობა გაცილებით ნაკლებია n-ზე, ხოლო ეტაპების რაოდენობა დასმული ამოცანისათვის ფიქსირებული რიცხვია, აგებული ალგორითმის ეფექტურობის ხარისხი $O(mn^2)$ სიდიდეს არ გადააჭარბებს. სადაც m 16-ის ჯერადი რიცხვია და აქედან ცხადია, რომ აგებული ალგორითმი არის P სირთულის. ცხადია, რომ თუ მოცემული ბმული არის ქვედანაყოფები მართკუთხედებია, მაშინ გამოთვლების რაოდენობა კიდევ უფრო დაიკლებს.

Dynamic Problem of Covering a Region Bounded by a Curved Line with Circles

Ketevan Kutkhashvili, Nelli Kilasonia

Summary

The article considers the analysis of specific discrete optimization problems taking into account dynamics, when changes in parameters, or the so-called "disturbance' of the system, are to be taken into account. Both single-criteria and multi-criteria cases and their application in various areas of microeconomics are considered. Fundamental issues and algorithms of discrete optimization, dynamic programming and graph theory are used to solve these problems.

In particular, a multi-parameter dynamic problem of covering a region bounded by a curved line with circular objects with a varying radius is considered. Optimization of the characteristic values of objects is considered as an optimality criterion.

The coverage radius, power and spatial parameters of each object are selected as parameters.

A mathematical model and an algorithm of polynomial complexity have been developed for this problem.

Динамическая задача покрытия окружностями кривой линией ограниченной области

Кетеван Кутхашвили, Нели Киласония

Резюме

В статье рассматривается анализ конкретных задач дискретной оптимизации с учётом динамики, когда необходимо учитывать изменение параметров, или так называемое «возмущение» системы. Рассматриваются как однокритериальные, так и многокритериальные случаи, а также их применение в различных областях микроэкономики. Для решения этих задач используются фундаментальные положения и алгоритмы дискретной оптимизации, динамического программирования и теории графов.

В частности, рассматривается многопараметрическая динамическая задача покрытия области, ограниченной кривой линией, круговыми объектами переменного радиуса. В качестве критерия оптимальности рассматривается оптимизация значений характеристик объектов.

В качестве параметров выбраны радиус покрытия, мощность и пространственные параметры каждого объекта.

Для данной задачи разработаны математическая модель и алгоритм полиномиальной сложности.

ლიტერატურა – References –Литература

1. Уздемир А.П. Динамические целочисленные задачи оптимизации в экономике. М.: Физматлит , 1995.
2. Коффман Э.Г. и др. Теория расписаний и вычислительные машины. Введение в детерминированную теорию расписаний. Алгоритмы построения расписаний М.: Наука. 1984.
3. Танаев В.С., Гордон В.С., Шафранский Я.М. Теория расписаний. Одностадийные системы. – М.: Наука, 1984.
4. Richard Bellman. Dynamic Programming, rinceton University. Press.
5. Dynamic Programming Algorithms. California State University. https://home.csulb.edu, teaching lectures, PDF. 2024.
6. კუთხაშვილი ქ. დისკრეტული ოპტიმიზაციის ერთი დინამიკური ამოცანის შესახებ. სტუ არჩილ ელიაშვილის სახელობის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული №27. თბილისი, 2023 წ. გვ.22.
7. P. D. Lebedev, A. L. Kazako. Construction of optimal coverings of convex planes figures with circles of various radius. Institute of mathematics and mechanics UB RAS, Vol.25/2, 2019.
8. K. Kutkhashvili., Algorithm for one-dimensional cutting and containerization problem. Georgian Academy of Sciences A. Eliashvili Institute of Control Systems Proceedings, Tbilisi, №6. 2002.
9. Ignacio Castillo, Frank J. Kampas, Ja´nos D. Pinte´r, Solving circle packing problems by global optimization: Numerical results and industrial applications, European Journal of Operational Research 191, 2008.
10. Amitava Bhattacharya, Anupam Mondal, Covering the plane by a sequence of circular disks with a constraint. Computational Geometry, Vol. 91, 2020.

On One Model of Production Planning

Dali Sikharulidze, Nugzar Dadiani, Victor Khutsishvili

dali_sx@yahoo.com, nugzar_dadiani@yahoo.com, otariko@yahoo.com

Abstract

In the article one model of production planning is considered, when using k kinds of raw materials in order to maximize revenue and minimize cost, the enterprise has to select m kinds of products from the given list of n products to produce; i-th raw material share in the $1 worth amount of raw materials, necessary for producing j-th product, the total cost of j-th product and its price for this amount of raw materials, are given. To solve this problem Pareto method for solving multi-objective optimization problems is used. In this method weighting factors assigned by experts to particular criteria are needed. These factors may be selected, using Saaty's scale. "Mixed-integer linear programming" procedure of Matlab is suggested to solve the sequence of obtained mixed-integer linear programming problems 1-3.

Key words:

Pareto method for multi-objective optimization; Saaty's scale; mixed-integer linear programming.

Production planning is the backbone of a smooth manufacturing process. It's the roadmap that organizes resources, timelines, and tasks to keep manufacturing on track and teams in sync. This coordination helps to meet demand, avoid waste, and keep costs down. A strong production plan answers questions like "what," "when," and "how much" to produce. And knowing what to produce gives teams the time to ensure that all the right pieces from raw materials to machinery or team members are in place when needed. Every enterprise producing some products before starting its activity makes a decision which kinds of products are profitable for producing. This needs study of many criteria and circumstances. In fact, this is the problem of multi-objective optimization. Our aim is to construct the mathematical model for one of these problems.

Suppose, that the enterprise has the stock of several kinds of raw materials (feedstock, commodity) with the costs $b_1, b_2, \dots, b_k$ in dollars .Using this stock, it can produce m different kinds of products from given list of n kinds of products, $n > m$. Let's introduce boolean variables y_j :

$$y_j = \begin{cases} 1, \text{ if the firm produces } j\text{-th product} \\ 0 \text{ - otherwise}, j = 1,2, \dots, n \end{cases}$$

The fact, that we select exactly m products from the given list of n products, according to the rules of modeling logical implications [3], may be written in the following way:

$$\sum_{j=1}^{n} y_j = \mathrm{m}$$

The following rectangular matrix is given:

$$\mathrm{A} = \begin{pmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{k1} & \cdots & a_{kn} \end{pmatrix},$$

where a_{ij} is i-th raw material share in the 1$ worth amount of raw materials, necessary for producing j-th product.

Suppose, that x_j is desired quantity, expressing the cost in dollars of the amount of j-th product, that the enterprise will produce, considering the above criteria. Then

$$y_j x_j = \begin{cases} x_j, \text{ if the firm produces } j\text{-th product} \\ 0 \text{ - otherwise}, j = 1,2,\dots,n \end{cases}$$

We have the following inequalities:

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij}\, y_j x_j \le b_i, i = 1,2,\dots,k$$

Suppose, that the price of the amount of j-th product with the cost of 1$ is p_j, then the first criterion is maximal profit:

$$\sum_{j=1}^{n} p_j y_j\, x_j \to max$$

Apart from the raw materials for the production of each product, electricity, gas, occupancy costs, and labor costs for production personnel are required. So, if we denote by c_j the total cost of the quantity of j-th product, corresponding to the cost of raw materials, equal to 1$, the second criterion, the minimal cost will be:

$$\sum_{j=1}^{n} c_j y_j\, x_j \to min$$

So, our model can be written in the following way:

$$F_1 = \sum_{j=1}^{n} p_j y_j\, x_j \to max$$

$$F_2 = -\sum_{j=1}^{n} c_j y_j\, x_j \to max$$

$$\sum_{j=1}^{n} y_j = \text{m}$$

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij}\, y_j x_j \le b_i, \forall i = 1,2,\dots,k$$

$$x_j \ge 0\ ,\ y_j \in \{0,1\}, j = 1,2,\dots,n$$

This is mixed-integer problem of multi-objective optimization. It may be solved, for example, by Pareto's method in the following way:

Let's solve two following mixed-integer linear programming problems:

Problem 1.

$$F_1 = \sum_{j=1}^{n} p_j y_j\, x_j \to max$$

$$\sum_{j=1}^{n} y_j = \text{m}$$

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij}\, y_j x_j \le b_i, i = 1,2,\dots,k.$$

$$x_j \ge 0\ ,\ y_j \in \{0,1\}\ , j = 1,2,\dots,n.$$

Problem 2.

$$F_2 = -\sum_{j=1}^{n} c_j y_j\, x_j \to max$$

$$\sum_{j=1}^{n} y_j = \mathrm{m}$$

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij}\, y_j x_j \le b_i, i = 1,2, \dots, k$$

$$x_j \ge 0\ , y_j \in \{0,1\}, j = 1,2, \dots, n.$$

Let be

$$F_1^* = \max F_1\ , F_2^* = \max F_2.$$

Experts assign weighting factors α_1, using Saaty's scale to particular criteria F_1 and F_2,

$$\alpha_1 \ge 0\ , \alpha_2 \ge 0, \alpha_1 + \alpha_2 = 1$$

The next step is to set Pareto maximization one criterion problem:

$$F = \frac{\alpha_1 \sum_{j=1}^{n} p_j y_j x_j}{F_1^*} - \frac{\alpha_2 \sum_{j=1}^{n} c_j y_j x_j}{F_2^*} \to max$$

$$\sum_{j=1}^{n} y_j = \mathrm{m}$$

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij}\, y_j x_j \le b_i, i = 1,2, \dots, k$$

$$x_j \ge 0\ , y_j \in \{0,1\}, j = 1,2, \dots, n.$$

Or, after simple transformations:

Problem 3.

$$F = \sum_{j=1}^{n} \left(\frac{\alpha_1}{F_1^*} p_j - \frac{\alpha_2}{F_2^*} c_j\right) y_j x_j \to max$$

$$\sum_{j=1}^{n} y_j = \mathrm{m}$$

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij}\, y_j x_j \le b_i, i = 1,2, \dots, k$$

$$x_j \ge 0\ , y_j \in \{0,1\}, j = 1,2, \dots, n.$$

For every fixed weight factor pair (α_1, α_2), solution of this problem will be the efficient point in Pareto sense and the set of all efficient points for acceptable values of pairs (α_1, α_2) will be the Pareto set of given problem (1). To solve problems 1-3, we can use MATLAB procedure "Mixed-Integer Linear Programming".

წარმოების დაგეგმვის ერთი მოდელის შესახებ

დალი სიხარულიძე, ნუგზარ დადიანი, ვიქტორ ხუციშვილი

რეზიუმე

სტატიაში განიხილება წარმოების დაგეგმვის ერთი მოდელი, როდესაც k სახეობის ნედლეულის გამოყენებით შემოსავლის მაქსიმიზაციის და დანახარჯის მინიმიზაციის მიზნით საწარმომ უნდა შეარჩიოს პროდუქციის m სახეობა მოცემული n ჩამონათვალიდან,

მოცემულია *i*-ური ნედლეულის წილი ერთი დოლარის ღირებულების ნედლეულში, რომელიც საჭიროა j-ურიპროდუქტის წარმოებისათვის, ასევე მოცემულია j-ური პროდუქტისთვის სრული დანახარჯი და მისი ფასი ნედლეულის ამ რაოდენობისთვის. ამ ამოცანის ამოსახსნელად ვიყენებთ მრავალკრიტერიული ოპტიმიზაციის ამოცანების ამოხსნის პარეტოს მეთოდს. ამ მეთოდში საჭიროა შესაბამისი წონითი კოეფიციენტების შერჩევა კერძო კრიტერიუმებისთვის ექსპერტების მიერ. ეს კოეფიციენტები შეიძლება შეირჩეს საათის სკალის გამოყენებით. მიღებული ნაწილობრივ მთელრიცხვა წრფივი პროგრამირების 1-3 ამოცანების მიმდევრობის ამოსახსნელად შეიძლება გამოვიყენოთ Matlab-ის სპეციალური პროცედურა “Mixed-integer linear programming”.

Об одной модели планирования производства

Дали Сихарулидзе, Нугзар Дадиани, Виктор Хуцишвили

Резюме

В статье рассматривается одна модель планирования производства, когда, используя k видов сырья с целью максимизации дохода и минимизации расходов, предприятие должно выбрать m видов продукции из заданного перечня n продуктов, когда задана доля *i*-го вида сырья в количестве сырья стоимостью в 1 доллар, необходимого для производства *j*-го продукта, а также совокупные расходы и цена для количества *j*-го продукта, соответствующего этому количеству сырья. Для решения этой задачи применяем метод Парето решения задач многокритериальной оптимизации. В этом методе эксперты должны подобрать весовые коэффициенты для частных критериев. Эти коэффициенты могут быть подобраны с помощью шкалы Саати. Для решения полученной последовательности задач 1-3 частично целочисленного линейного программирования можно воспользоваться специальной процедурой Matlab-a “Mixed-integer linear programming”.

ლიტერატურა-References-Литература

1. Ануфриенко С.Е. Метод Парето решения многокритериальных задач. Методические указания. Яросл. Гос. ун-т. Ярославль, 2004.
2. Saaty Thomas L. Decision making with the analytic hierarchy process. Int.J, Services Sciences. Vol . I, no. I, Pittsburgh, 2008.
3. Алексеева Е.В. Построение математических моделей целочисленного линейного программирования. Новосибирск. 2012.

Простая модель прогнозирования курса валют на основе банковских процентов на срочные вклады

Виктор Хуцишвили, Дали Сихарулидзе

otariko@yahoo.com, dali_sx@yahoo.com

Резюме

Исследуется рынок банковских процентов на срочные вклады в различных валютах – лари, долларах и евро. Устанавливается взаимная зависимость между этими процентами и степенью девальвации более слабых валют относительно более сильных. Для определения коэффициентов девальвации выводится простая и универсальная формула. На основе реальных банковских данных строятся соответствующие графики. В результате анализа графиков в поведении курса валют выявляется некоторая аномалия. Определяется причина этой аномалии, и она устраняется. В результате даётся реальный, на наш взгляд, прогноз курса валют на ближайшие два года.

Ключевые слова:

курс валют, банковские проценты, ларизация, прогнозирование.

1. Введение

Качественный прогноз курса валют, имеющих хождение в Грузии, представляет несомненный интерес почти для всех групп, населяющих нашу страну, начиная от бизнесменов, кончая пенсионерами, а также для иностранных граждан, посещающих Грузию в качестве деловых партнёров или просто туристов. Текущий курс валют ежедневно публикуется в средствах массовой информации [1], а прогнозы будущего курса от ведущих экспертов в области экономики, финансов и банковского дела появляются с достаточной регулярностью. Соответствующих специалистов держат у себя в штате как государственные, так и частные учреждения, в частности ведомства экономического профиля и ведущие банки. Экспертные группы, занимающиеся прогнозированием, учитывают многочисленные факторы, влияющие на курс, они обрабатывают огромные объёмы статистической информации. Это и сальдо международной торговли, и валютные перечисления от эмигрантов, и уровень прямых иностранных инвестиций, и многое другое. Политические факторы также сильно влияют на курс – мы видели резкое ослабление лари после известного заявления премьер-министра 28 ноября 2024 года. Велика и роль Национального Банка Грузии, который в необходимые, по его мнению, моменты продаёт или покупает десятки миллионов долларов США на торговой площадке, где определяется текущий курс $/₾. К примеру, именно в результате подобных продаж к сентябрю 2025 года курс лари был постепенно восстановлен, стабилизирован и даже немного укреплён.

Нам представляется, что при описанном уровне сложности и неопределённости воздействия многочисленных факторов на интересующий нас будущий курс национального лари по отношению к ведущим мировым валютам не лишено смысла иметь простейшую модель прогнозирования курса валют, основанную на разнице банковских процентов на срочные вклады в различных валютах. Такая модель и предложена в настоящей статье.

2. О валютах и конкуренции между ними

Основными мировыми валютами являются доллар США ($) и Евро (€). Каждое государство, за редким исключением, имеет свою национальную валюту. Для Грузии – это лари (₾), который является единственным законным платёжным средством на её территории. Валюты других стран могут быть свободно обменены на лари в коммерческих банках и специальных обменных пунктах. Обмен происходит по плавающему курсу с незначительной маржей между курсами покупки и продажи. Официальный курс определяется ежедневно, кроме выходных, в результате торгов валютной парой ($, ₾) в электронной торговой системе Bloomberg [2].

Говоря о конкуренции между валютами, мы подразумеваем следующее. В каждом отдельно взятом государстве ответственность за состояние национальной валюты несёт его Центральный

Банк. В частности, ЦБ управляет эмиссией денег, которая должна сопутствовать экономическому росту страны. При избыточной эмиссии возникает так называемый инфляционный налог – это скрытые потери покупательной способности денег у населения и бизнеса из-за инфляции, когда на ту же сумму можно купить меньше товаров и услуг. Он возникает из-за того, что центр эмиссии (государство) печатает деньги для финансирования своих расходов, увеличивая их количество в обращении, что приводит к обесцениванию существующей денежной массы и присвоению выгоды государством за счет потерь граждан. Очевидно, что обладатели грузинских лари платят инфляционный налог своему тандему правительство-Нацбанк, а обладатели долларов во всём мире – правительству США и его Федеральной Резервной Системе. Кстати, именно по этой причине НБ Грузии борется за дедолларизацию – уменьшению доли долларов в денежном обращении, ведь в таком случае была бы увеличена доля инфляционного налога, остающаяся в Грузии. С другой стороны, вспомним печальный опыт девальвации грузинской валюты, т.е. её обесценивания по отношению к доллару. За 30 лет существования грузинского лари он обесценился чуть более, чем в два раза, что же касается его предшественника – грузинского купона, то он за 2 года вообще практически обнулился, что было очевидной катастрофой. В таких условиях твёрдая валюта, по сути, являлась и является (сегодня в меньшей мере, по инерции) своего рода спасательным кругом для физических и юридических лиц, живущих и функционирующих в Грузии. Следует отметить, что в состоянии конкуренции с валютами традиционно пребывает золото, а в последнее время и криптовалюта, которую называют цифровым золотом. Кстати, постоянный рост цен на золото и, в особенности на криптовалюту подтверждает существование упомянутого инфляционного налога, потому что и золото, и криптовалюту покупают именно с целью уберечь свои накопления от инфляции.

В настоящей статье, однако, нас интересует конкуренция между традиционными валютами, и в следующем пункте она будет рассмотрена на примере процентов на срочные банковские вклады.

3. Задача о выборе валюты при открытии срочного банковского вклада

Предположим, что некто имеет сбережения в размере 10000 долларов, что по текущему курсу эквивалентно 27000 лари, и желает положить указанную сумму в банк на один год с целью возвращения её с процентами. Банк предлагает два варианта процентных ставок – 2.30% на долларовый вклад и 11.25% на вклад в лари. Мы взяли данные конкретного банка ТБС [3]. Конечно, срочный вклад можно открыть и в евро, и на срок от 3 до 24 месяцев, и даже в другом банке, но сейчас нас интересует вопрос – почему так сильно разнятся проценты в двух указанных вариантах? Очевидно, причина в том, что банк прогнозирует девальвацию лари по отношению к доллару в течение 12 ближайших месяцев. Второй вопрос – какую валюту выбрать – уже решать клиенту банка, и это решение зависит от его прогноза курса \$/₾, т.к. ему необходимо через год сравнить суммы в разных валютах – 10230 долларов и 30037.50 лари. Элементарный подсчёт показывает, что критической величиной для будущего курса является число 30037.50/10230 = 2.9362. Если через год курс \$/₾ превысит эту планку, то на срочный вклад следует внести доллары, иначе – лари.

Итак, задача, вынесенная в заглавие данного пункта, решена. А мы перейдём к решению основной задачи, вынесенной в заглавие настоящей статьи.

4. Основная задача

Ключевой идеей нашего исследования является использование интеллектуального потенциала и опыта банкиров в области прогнозирования будущего курса основных валют. Действительно, для того чтобы объявлять в своих банках оптимальные проценты на срочные вклады, им необходимо с достаточной точностью оценивать изменения упомянутого курса. Оптимальность понимается в смысле максимальной прибыли от срочных депозитов, а низкие процентные ставки, полученные в результате ошибочного анализа, могут быть непривлекательными для клиентов, т.е. уменьшать оборот и прибыль банка.

Метод, применённый в примере предыдущего пункта, даёт следующую простую формулу для коэффициента К девальвации грузинского лари, т.е. для отношения будущего курса доллара к текущему:

$$K = (100 + P₾) / (100 + P\$),$$

где P₾ и P\$ – проценты на срочные вклады в соответствующей валюте. В рассмотренном примере К = 1.0875.

Отметим теперь, что наша формула не только проста, но и универсальна. Действительно, её можно применить к любому сроку, на который банк принимает срочные вклады, обычно это срок от 3 до 24 месяцев, только в формуле переменные P₾ и P$ будут номинальными банковскими процентами не на 12 месяцев, а на соответствующие сроки. Более того, эту формулу можно использовать и для прогнозирования коэффициентов К девальвации лари относительно евро и даже доллара относительно евро. В первом случае в правой части формулы будут фигурировать проценты P₾ и P€, а во втором – проценты P$ и P€.

Проиллюстрируем сказанное на реальных данных одного из двух ведущих грузинских банков – ТВС [3]. Они приведены в таблице 1, где коэффициенты К, рассчитанные по нашей формуле, расположены в последних трёх столбцах.

месяцы	₾	$	€	$/₾	€/₾	€/$
3	10.60	1.70	0.70	1.0875	1.0983	1.0099
4	10.60	1.70	0.70	1.0875	1.0983	1.0099
5	10.60	1.70	0.70	1.0875	1.0983	1.0099
6	11.05	1.90	0.85	1.0898	1.1011	1.0104
7	11.05	1.90	0.85	1.0898	1.1011	1.0104
8	11.05	1.90	0.85	1.0898	1.1011	1.0104
9	11.15	2.10	0.90	1.0886	1.1016	1.0119
10	11.15	2.10	0.90	1.0886	1.1016	1.0119
11	11.15	2.10	0.90	1.0886	1.1016	1.0119
12	11.25	2.30	1.00	1.0875	1.1015	1.0129
13	11.25	2.30	1.00	1.0875	1.1015	1.0129
14	11.25	2.30	1.00	1.0875	1.1015	1.0129
15	11.30	2.30	1.05	1.0880	1.1014	1.0124
16	11.30	2.30	1.05	1.0880	1.1014	1.0124
17	11.30	2.30	1.05	1.0880	1.1014	1.0124
18	11.40	2.30	1.10	1.0890	1.1019	1.0119
19	11.40	2.30	1.10	1.0890	1.1019	1.0119
20	11.40	2.30	1.10	1.0890	1.1019	1.0119
21	11.50	2.40	1.15	1.0889	1.1023	1.0124
22	11.50	2.40	1.15	1.0889	1.1023	1.0124
23	11.50	2.40	1.15	1.0889	1.1023	1.0124
24	11.50	2.40	1.15	1.0889	1.1023	1.0124

Таблица 1. Проценты на срочные вклады в ТБС и коэффициенты К девальвации валют.

Теперь построим графики зависимости коэффициентов К девальвации валют от времени. На рис. 1 крайние левые точки с номером 1 соответствуют 3-месячному, а крайние правые (№22) – 24-месячному сроку вклада. Таким образом, поведение К рассматривается на отрезке времени длиной 21 месяц. Бросается в глаза довольно странное поведение всех трёх графиков – они практически постоянны на этом отрезке и получается, что каждый из них должен набрать своё значение константы в течение первых трёх месяцев, отсчитываемых с текущего момента. Конечно, в истории грузинского лари был случай, когда курс доллара за один день подскочил с 1.42 до 1.65 и впоследствии не уменьшился, но это было в августе 2008 года, после вторжения России в Грузию. Сегодня же резкий скачок курса без дальнейшего отскока выглядит явной аномалией, и эта аномалия требует объяснения. Здесь же заметим, что картина, полученная на основе данных ТБС, характерна и для других банков. В частности, нами были обработаны данные третьего по величине банка Либерти [4], убыточного Силкбанка [5] и даже микробанка Кристалл [6] – везде примерно одно и то же, а именно, начальный скачок курса и дальнейшее отсутствие девальвации. Конечно же, причиной аномалии является наша грубая модель и в следующем пункте мы постараемся её улучшить.

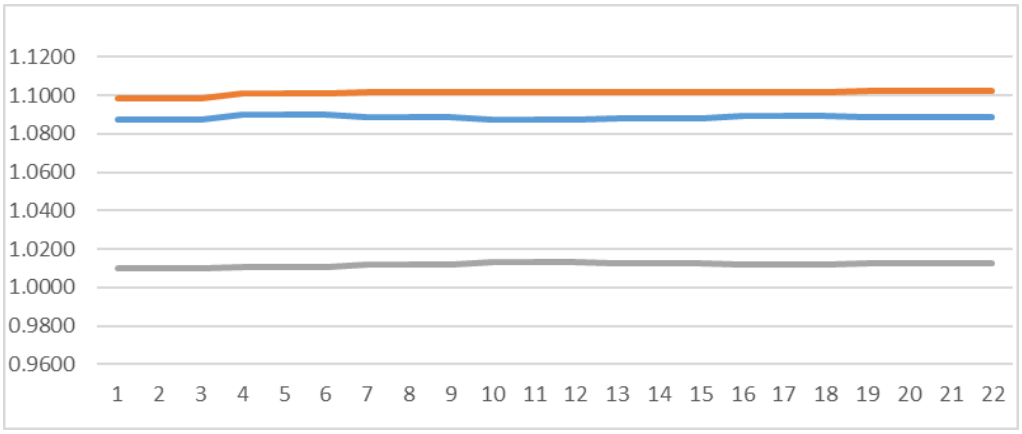


Рис. 1. Зависимость девальвации К от времени. Сверху вниз – €/₾, $/₾, €/$.

5. Критика модели и попытка её улучшения

По нашему мнению, не совсем адекватные результаты применения представленной модели вызваны несовершенством рынка банковских кредитов, и главной причиной указанного несовершенства является тяжёлое ограничение на выдачу кредитов в долларах и евро физическим лицам и компаниям, получающим доход в лари. Это ограничение имеет целью дедолларизацию, о чём было упомянуто в п.2, а точнее, ларизацию, т.к. после введения в 2017 году безвизового режима с Европой доля евро в денежном обращении значительно увеличилась. НБ Грузии начал осуществлять план ларизации в том же 2017-ом, тогда планкой для кредитов в иностранной валюте была установлена сумма, эквивалентная 100000 лари, т.е. взять кредит ниже этой суммы стало возможным исключительно в национальной валюте. В 2019-ом планка была поднята до 200000, а в последние два года – до солидных 750000 [7]. Конечно, ларизация вещь полезная, но её желательно добиваться путём устойчивого роста экономики и стабилизации курса лари, а не с помощью введения искусственных административных ограничений. Негативная сторона ларизации выразилась в удорожании кредитов за последние два года – примерно на 2 процентных пункта в национальной валюте и, под влиянием этого процесса, – до 1 п.п. в иностранной [8]. Кстати, именно поэтому мы отказались от прогнозирования курса валют на основе банковских процентов на выдаваемые кредиты, т.е. по причине полумонополизированного рынка кредитов.

Состояние кредитного рынка влияет и на рынок срочных вкладов. Действительно, завышенный процент на кредиты в лари завышает (конечно, в меньшей степени) и проценты на депозиты в лари. Кроме того, банкам для кредитования уже не требуется прежнего количества иностранной валюты, т.к. спрос на такое кредитование искусственно занижен. Результат – заниженные проценты на депозиты в долларах и евро. Если теперь вернуться к нашей формуле для оценки будущего курса валют, то легко заметить, что числитель в ней завышен, а знаменатель, наоборот, – занижен. Всё это приводит к завышению интересующего нас коэффициента девальвации.

Поскольку рассуждения в настоящем пункте носят лишь качественный характер, то мы вносим в нашу модель волевую коррекцию, т.е. коррекцию, основанную на интуиции. А именно, мы уменьшаем процент девальвации, который даёт наша формула, в два раза (исключая курс €/$, т.к. ущемляющее эти валюты правило выдачи кредитов размером менее 750000 ₾ действует на них в равной степени), причём этот процент должен расти плавно в течение двух лет. Переводя вышесказанное в числа, будем иметь следующий прогноз для девальвации валют в пересчёте на один год, начиная с середины сентября 2025 года: лари относительно доллара – 2.25%, лари относительно евро – 2.5%, доллар относительно евро – 0.5%. Текущий курс валют: $/₾ = 2.73, €/₾ = 3.22, €/$ = 1.18.

6. Заключение

На примере прогнозирования курса валют мы продемонстрировали классический метод математического моделирования с упором на адекватность сделанных предположений, а не на сложность применяемого математического аппарата.

ვადიან ანაბრებზე საბანკო საპროცენტო განაკვეთებზე დაფუძნებული გაცვლითი კურსების პროგნოზირების მარტივი მოდელი

ვიქტორ ხუციშვილი, დალი სიხარულიძე

რეზიუმე

შესწავლილია საბანკო საპროცენტო განაკვეთების ბაზარი ვადიან ანაბრებზე, სხვადასხვა ვალუტაში, სახელდობრ ლარში, დოლარსა და ევროში. დადგენილია ურთიერთდამოკიდებულება ამ განაკვეთებსა და სუსტი ვალუტების უფრო ძლიერ ვალუტებთან შედარებით დევალვაციის ხარისხს შორის. გამოყვანილია დევალვაციის კოეფიციენტების გამოთვლის მარტივი და უნივერსალური ფორმულა. რეალური საბანკო მონაცემების საფუძველზე აგებულია შესაბამისი გრაფიკები. გრაფიკების ანალიზის შედეგად გაცვლითი კურსების ქცევაში გამოვლენილია გარკვეული სახის ანომალია. დადგინდა და აღმოიფხვრა ანომალიის მიზეზი. შედეგად, მომდევნო ორი წლისთვის მიღებულია გაცვლითი კურსების, ჩვენი აზრით, რეალური პროგნოზი.

Simple Exchange Rate Forecasting Model, Based on Bank Interest on Term Deposits

Victor Khutsishvili, Dali Sikharulidze

Summary

The market of bank interest rates on term deposits in various currencies – lari, dollars and euros – is studied. A mutual dependence between these rates and the degree of devaluation of weaker currencies, relative to stronger ones is established. A simple and universal formula to calculate the devaluation coefficients is found. The corresponding graphs based on real bank data are plotted. As a result of the graph analysis, some anomaly in the behavior of the exchange rates is detected. The cause of this anomaly is found and eliminated. As a result, in our opinion, a real forecast of the exchange rates for the next two years is obtained.

ლიტერატურა – References – Литература

1. https://www.bpn.ge/
2. https://www.bloomberg.com/quote/USDGEL:CUR
3. https://tbcbank.ge/
4. https://libertybank.ge/
5. https://silkbank.ge/
6. https://crystal.ge/
7. https://bm.ge/news/1-agvistodan-visats-shemosavali-larshi-aqvs-utskhour-valutashi-gel750000-ze-nakleb-seskhs-ver-aighebs-brdzaneba
8. https://www.bpn.ge/article/142912-sakartveloshi-sesxebi-gazvirda-ra-girs-sabanko-produktebi/

ნივთების ინტერნეტის არქიტექტურა და გამართვა ხილის მეურნეობის მონიტორინგისთვის

ავთანდილ ბარდაველიძე, ხათუნა ბარდაველიძე

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

რეზიუმე

ნაშრომი ფოკუსირებულია ხილის ხარისხის შემფასებელი ტექნოლოგიური პარამეტრების ინტეგრირებულ ინტელექტუალური მონიტორინგის სისტემის შექმნაზე, რომელიც მოიცავს პლანტაციის მიწათმოქმედებიდან, ხილის საწარმოო-დამამუშავებელი ხაზის გავლით მომხმარებლამდე მიწოდების სრულ ციკლს და რეალიზებულია ჩვენს მიერ შემუშავებულ IoT-ზე დაფუძნებული მონიტორინგის სისტემის არქიტექტურით.

ზემოთ აღნიშნულის მისაღწევად, აღნიშნული თემატიკით არსებული ლიტერატურის ანალიზის საფუძველზე ნაშრომში შემუშავებულია ხილის მიწოდების სტრუქტურული და პლანტაციიდან მომხმარებლამდე ხილის მიწოდების IoT სისტემის არქიტექტურის სქემა, აღწერილია თითოეული ფენის მოქმედების პრინციპი და შემუშავებულია IoT სისტემის სტრუქტურა.

კვლევის შედეგები შეიძლება გამოყენებული იყოს ხილის ბაღებში, რაც გულისხმობს ინტელექტუალური კონტროლისა და მართვის განხორციელებას, ადამიანური რესურსების დაზოგვას და პროდუქტის პოპულარობის გაზრდას.

საკვანძო სიტყვები:

ნივთების ინტერნეტი, რიცხვითი სიმულაციები, სენსორული ჰაბები, ავტომატიზებული სისტემა, პროდუქტის ხარისხის მონიტორინგი.

შესავალი

დღეს ერთ-ერთი ყველაზე ხშირად გამოყენებული პარადიგმაა ნივთების ინტერნეტის (IoT) კონცეფცია. სოფლის მეურნეობის აპლიკაციები მოიცავს ბაღზე განმეორებად და პერიოდულ დაკვირვებას და მეთვალყურეობას, რადგან ხეხილის მსხმოიარე ხეებსა და ბოსტნეულის პლანტაციებს საშუალება მიეცეთ, რაც შეიძლება მალე გაიზარდოს და აწარმოოს კარგი და ჯანსაღი ხილი. ასევე, ყველა პლანტაციაში ხელმისაწვდომია სასარგებლო გარემოსდაცვითი მონაცემების უზარმაზარი რაოდენობა, როგორიცაა ნიადაგის ტენიანობა და საკვები ნივთიერებები, ტემპერატურა, ტენიანობა და ა.შ. ამ პარამეტრების ანალიზს შეუძლია დაეხმაროს ფერმერებს, ინჟინრებსა და ბუნების ექსპერტებს, შეიმუშაოს სისტემები და პროცესები, რომლებიც ფერმებს მიაწვდიან ადეკვატურ დახმარებას და შესაბამის აქტივაციებს ხარისხიანი ხილის წარმოების მისაღწევად [1].

ხშირ შემთხვევაში მკაცრი გარემო პირობები და მავნებლების შემოსევა იწვევს სოფლის მეურნეობის დანაკარგებს. ასეთ სცენარში, თანამედროვე ტექნოლოგიების – სენსორების ნივთების ინტერნეტთან (IoT) ინტეგრაციამ შეიძლება გაზარდოს სოფლის მეურნეობის წარმოება და მინიმუმამდე დაიყვანოს ეკონომიკური დანაკარგები. მრავალი კვლევა დამაკმაყოფილებლად აჩვენებს ინტეგრირებული IoT-ჭკვიანი სენსორების მნიშვნელობას გარემო ფაქტორების მონიტორინგში, როგორიცაა ტენიანობა, ტემპერატურა და ნიადაგის შემადგენლობა, რომლებიც კრიტიკულია მოსავლის ზრდისთვის. ჭკვიანი მეურნეობა ასევე საშუალებას იძლევა გაზომოს აზოტის შემცველობა ნიადაგში, რაც ეხმარება ფერმერებს განსაზღვრონ სასოფლო-სამეურნეო მიწებზე გამოსაყენებელი სასუქების რაოდენობა. ზოგიერთი IoT-თან თავსებადი მოწყობილობა და უპილოტო საფრენი აპარატი სასარგებლოა

მავნებლების შეტევისა და მასთან დაკავშირებული დაავადებების ზუსტი მონიტორინგისთვის ფერმერულ მცენარეულობაში [2].

[3] ნაშრომში შემუშავებული ნივთების ინტერნეტის ქსელი მოიცავს სისტემებსა და ქსელს, რომელიც დაკავშირებულია ვებ ინტელექტუალურ მოწყობილობებთან, სადაც გამოყენებულია კოდირებული ქსელები, როგორიცაა: სენსორები, პროცესორები და ინტერაქტიული აპარატურა მონაცემების მისაღებად, გასაგზავნად და შესანახად.

[4] ნაშრომში შემუშავებულია ინტელექტუალური ბაღის ნივთების ინტერნეტის არქიტექტურა და თითოეული ფენის სრული ელემენტები დეტალურად არის გაანალიზებული. შექმნილ ინტელექტუალურ IoT სისტემას მნიშვნელოვანი საცნობარო ღირებულება აქვს ბაღის ინფორმატიზაციის, ინტელექტისა და სტანდარტიზაციის დონის გასაუმჯობესებლად.

[5, 6] ნაშრომებში ჩატარებული ნიადაგის მონიტორინგი რეალურ დროში უზრუნველყოფს ეფექტურ და დროულ ინფორმაციას მოსავლისა და ნიადაგის შესახებ, რადგან მიიღონ ზუსტი გადაწყვეტილება მოსავლის წარმოებისა და მოსავლიანობის გაუმჯობესების შესახებ. ნიადაგის ქიმიური ანალიზის მაღალი ღირებულება, დროის ხარჯვა და ნიადაგის ნიმუშების შრომატევადი შეგროვება ნიადაგის მონიტორინგის მნიშვნელოვან პრობლემებს წარმოადგენს. ამ პრობლემების გადაჭრის მცდელობისას, შემუშავდა ნიადაგის სხვადასხვა ტიპის სენსორული სისტემები, რომლებიც გამოიყენება ადგილმდებარეობის სპეციფიკური საკვები ნივთიერებების მართვაში.

[7, 8] ნაშრომებში ავტორები გთავაზობენ IoT-ზე დაფუძნებულ ნიადაგის ჯანმრთელობის რეალურ დროში მონიტორინგის სისტემას ESP32S3-ის გამოყენებით, რომელსაც შეუძლია ნიადაგის ტენიანობის, ელექტროგამტარობის, pH-ის, ულტრაიისფერი გამოსხივების, ტემპერატურის, აზოტის, ფოსფორის და კალიუმის შემცველობის გაზომვა. სისტემას შეუძლია უზრუნველყოს მონაცემების რეალურ დროში გადაცემა სენსორული ერთეულებიდან ცენტრალიზებულ სერვერზე. სერვერი ასევე მასპინძლობს მომხმარებლისთვის მოსახერხებელ ვებ აპლიკაციის ინტერფეისს ნიადაგის პარამეტრების რეალურ დროში

[9] ნაშრომში დადგენილია, რომ ატმოსფერული პარამეტრები ძლიერ გავლენას ახდენს ახალ ხილ–ბოსტნეულის ხარისხსა და შენახვის ვადაზე. ამ პარამეტრებზე დაკვირვება სენსორებისა და კომუნიკაციური ტექნოლოგიების გამოყენებით, ნივთების ინტერნეტის (IoT) მხარდაჭერით, შეიძლება მიწოდების ნაკადში ოპტიმიზირებული იქნას პროდუქციის ხარისხი და შემცირდეს პროდუქციის დეფექტი და დანაკარგები.

[10] ნაშრომი იკვლევს ხილის რაოდენობისა და ხარისხის შეფასების მეთოდებს ყვავილობიდან მოსავლის აღების შემდგომ ეტაპებამდე. აღნიშნულია რომ, ხელოვნური ინტელექტის ინოვაციებმა, მათ შორის ღრმა სწავლების მოდელებმა, რევოლუცია მოახდინა ყვავილებისა და ხილის დათვლაზე, ხოლო ჰიპერსპექტრულმა ვიზუალიზაციამ და ახლო ინფრაწითელმა (NIR) სპექტროსკოპიამ შესაძლებელი გახადა სიმწიფისა და ხარისხის განსაზღვრა.

[11] ნაშრომი იხილავს ჭკვიანი შეფუთვის როლს ხილის შეფუთვაში, თანამედროვე მდგომარეობას, გამოწვევებსა და პერსპექტივებს. პირველ რიგში, იხილავს ხილის ხარისხის მონიტორინგისა და შენარჩუნების მოტივაციას, შემდეგ ხილის განვითარების პროცესის ფონს, ხილის ხარისხის განსაზღვრისას გამოყენებულ ფაქტორებს და ჭკვიანი შეფუთვის ტექნოლოგიების კლასიფიკაციას. შემდეგ, ავტორები იხილავენ შეფუთული ხილის ტრადიციულ სიახლის სენსორებს, მათ შორის პირდაპირ და არაპირდაპირ სიახლის ინდიკატორებს.

[12] ნაშრომში აღნიშნულია, რომ ხილის მიწოდების ჯაჭვი მოიცავს ახალი ხილის ტრანსპორტირებას და დისტრიბუციას. ამავდროულად, ახალი ხილის ტრანსპორტირება და დისტრიბუცია განიცდის გაფუჭებას და დანაკარგებს. ასეთი ნაკლოვანებების თავიდან აცილება შესაძლებელია ხილის უწყვეტი მონიტორინგით IoT-ის გამოყენებით.

[13] ნაშრომი აანალიზებს ქიმიურ სენსორულ ტექნოლოგიებს, რომლებიც შესაფერისია ხილის ხარისხის მონიტორინგისთვის მოსავლის აღების მომენტიდან მოხმარებამდე, ფერმიდან სუფრამდე ოპერაციებში. ხაზგასმულია სიტკბოს (შაქრის შემცველობა), მჟავიანობის (pH) და ეთილენის გაზის გაზომვის მიდგომები.

ტრადიციული საცალო და ელექტრონული საცალო ვაჭრობის სფეროში ახალი ხილის ტრანსპორტირების შესრულების პროცესების შედარების შემდეგ, [14] ნაშრომში შექმნილია ნივთების ინტერნეტზე დაფუძნებული ჩარჩო ხილის ელექტრონული კომერციის მიწოდების მონიტორინგისთვის. ჩარჩოს შესრულების ოპერაციებსა და მონიტორინგის მოდულებზე დაყრდნობით, შემოთავაზებულია მიდგომა, რომელიც დაფუძნებულია ორეტაპიან სცენარზე ტრანზიტის დროს, ხილის სიახლის შესაფასებლად. აღნიშნული მიდგომების ეფექტურობა და უპირატესობები სტატიაში დადასტურებულია რიცხვითი სიმულაციების გამოყენებით.

[15] ნაშრომში შემოთავაზებულია ნივთების ინტერნეტის (IoT) ტექნოლოგიის გამოყენება კომერციულ მაღაზიაში პროდუქტის სკანირებისა და მისი ხარისხის მონიტორინგისთვის. ნაშრომში წარმოდგენილია IoT-ზე დაფუძნებული საერთო მონიტორინგის სისტემა, რომელიც მოიცავს სენსორულ ჰაბებს პროდუქტის სკანირებისა და მონიტორინგისთვის საჭირო მონაცემების შესაგროვებლად. შემოთავაზებული სისტემა შედგება მრავალდონიანი სისტემისგან, რაც მაღაზიის მფლობელებს სთავაზობს ახალ გზას, რომ წვდომა ჰქონდეთ მათი მაღაზიის პროდუქტის ინფორმაციაზე. ასევე, წარმოდგენილია პროდუქტის ხარისხის იდენტიფიცირების ავტომატიზებული სისტემა და მონიტორინგის სისტემა.

არ არსებობს კვლევები, რომელიც ფოკუსირებულია ხილ–ბოსტნეულის ტექნოლო-გიური პარამეტრების ინტეგრირებულ ინტელექტუალურ მონიტორინგზე, სასოფლო–სამეურნეო პლანტაციებიდან მომხმარებლამდე – მთელ ჯაჭვზე. ჩვენი კვლევა პირველად გვთავაზობს მომხმარებლებისათვის პროდუქტის მიწოდების ნაკადში დანიშნულებისამებრ შექმნილ უნივერსალურ სენსორულ სისტემებს: სასოფლო–სამეურნეო პლანტაციების ნიადაგის, მცენარის ჯანმრთელობის, ატმოსფერული გარემოს, სამაცივრე საწყობების და მარკეტინგის პარამეტრების რეალურ დროში მონიტორინგს IoT-ზე დაფუძნებულ ჩვენს მიერ შემუშავებული სისტემის არქიტექტურის შემუშავებით, რაც ნაშრომის სამეცნიერო კვლევის სიახლეს წარმოადგენს. ეს კვლევა განსაკუთრებით მნიშვნელოვანი იქნება აპლიკაციების თვალსაზრისით, რომლის საშუალებით გაუმჯობესდება ცნობადობა ოპერაციულ საქმიანობაზე და საკმაოდ მარტივად განსაზღვრავს ნებისმიერ კრიტიკულ წერტილს ხილის მიწოდების სისტემაში.

წარმოდგენილი ნაშრომის კვლევის მიზანია IoT–ზე დაფუძნებული პლანტაციის ნიადაგის, მცენარის ჯანმრთელობის და ხილის ხარისხის, ლოგისტიკის და მიწოდების ჯაჭვის მონიტორინგის მრავალპარამეტრული სისტემის არქიტექტურის შემუშავება, რომელიც მნიშვნელოვანი რაოდენობის სენსორული მონაცემების ინტეგრირების საშუალებას მოგვცემს და შესაძლებელს გახდის შეგროვებული სენსორული მონაცემების დამუშავებას რეალურ დროში, მონაცემების Web–რეგისტრატორებით და SMS-შეტყობინებებით, მიწოდების ჯაჭვის ოპერაციების მდგომარეობის შესახებ ტექნიკურ-ოპერაციული ინფორმაციის ექსტრაპოლაციის მიზნით [4, 5, 7].

მიუხედავად იმისა, რომ მრავალი კვლევაა ჩატარებული ხილის მიწოდების მონიტორინგის სისტემების შესახებ, IoT-ზე მხარდაჭერილი ტექნოლოგიის გამოყენებით, ახალი ხილისა და ბოსტნეულის მომხმარებლამდე მიწოდების ფართომასშტაბიანი განხორციელება კვლავ შეფერხებულია გადაუჭრელი გამოწვევებით. ის გარკვეული შეზღუდვების წინაშე დგას, რომლებიც დაკავშირებულია მაღალ ეკონომიკურ დანახარჯებთან, მონაცემთა უსაფრთხოებასთან და ფერმერებში საკმარისი ციფრული ცოდნის ნაკლებობასთან. სპეციალურმა ეკონომიკურმა პოლიტიკამ, მონაცემთა დაშიფვრამ და ციფრულმა წიგნიერებამ შეიძლება ხელი შეუწყოს IoT-თან თავსებადი ჭკვიან მეურნეობას მომავალში [7, 8, 9].

ძირითადი ნაწილი

ხილის გადამუშავებისა და მიწოდების სექტორი მრავალი გამოწვევის წინაშე დგას, რაც გავლენას ახდენს პროდუქტის ხარისხზე და ასევე შემოსავალზე. ეს გამოწვევები მოიცავს, თავდაპირველად, ნიადაგის შესაბამისად მომზადებასა და მისი შემადგენლობის კონტროლს, ხილის შენახვისა და ტრანსპორტირებისთვის ოპტიმალური პირობების შენარჩუნებას, მის

გადარჩევას, დროულ დამუშავებას და გარკვეული სტანდარტების დაცვას. ტრადიციული მეთოდები ვერ გვეხმარება პრობლემების დროულ აღმოჩენასა და ნარჩენების მინიმუმამდე შემცირებაში, ხოლო IoT-ზე დაფუძნებული სისტემა უზრუნველყოფს მთლიანი პროცესის მონიტორინგს, რაც გვაძლევს დროული რეაგირების საშუალებას [2, 4, 5].

აღნიშნული თემატიკით არსებული ლიტერატურის ანალიზის საფუძველზე შემუშავებული იქნა ხილის მიწოდების სტრუქტურული სქემა პლანტაციიდან - მომხმარებლამდე (ნახ.1). პლანტაციიდან ხილის მიწოდების ხაზი შედგება ტრანსპორტირებისაგან, სამაცივრე საწყობებისაგან, დამამუშავებელი საწარმოსაგან და დისტრიბუციისაგან. მიწოდების ხაზის თითოეული ეტაპი შეიარაღებულია სენსორული ქსელით.

ხილის მიწოდების ჯაჭვში პლანტაციიდან-მომხმარებლამდე კონტროლირდება [10 – 15]:

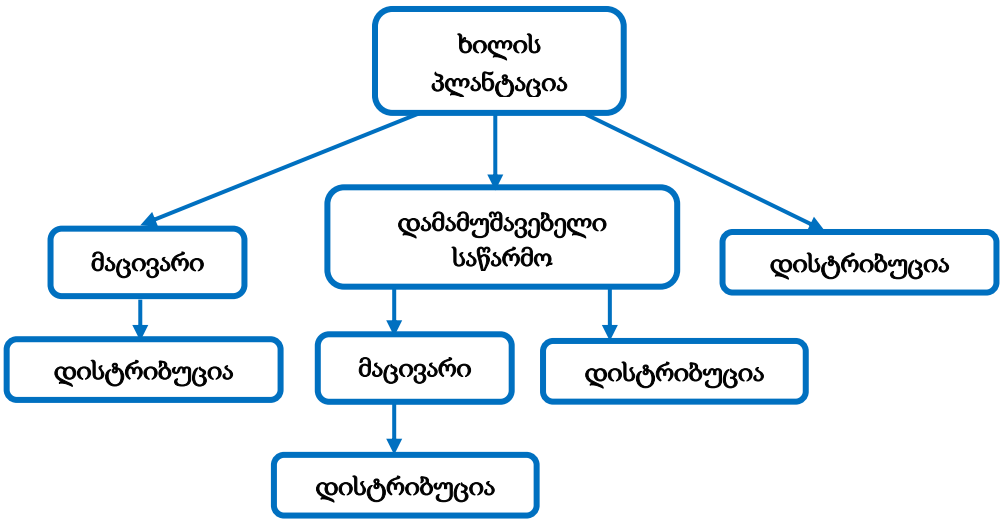
პლანტაციაში ძირითადად კონტროლირდება:

- ნიადაგის ტემპერატურა, ტენიანობა და მჟავიანობა – pH;
- ატმოსფერული პარამეტრები – ტემპერატურა და ტენიანობა;
- ხილის ხარისხი, სიმწიფე და ზომები.

სამაცივრე საცავებში კონტროლირდება ტემპერატურა, ტენიანობა და განათებულობა;

დისტრიბუციის – ტრანსპორტირების მონაკვეთში კონტროლირდება ხილის ხარისხი უსადენო სენსორებით;

დამამუშავებელ საწარმოში კონტროლირდება ხილის ხარისხი, სისუფთავე, ზომები და შრობის პროცესის რეჟიმული პარამეტრები.



ნახ. 1. ხილის მიწოდების სტრუქტურული სქემა პლანტაციიდან-მომხმარებლამდე

ზემოთ აღნიშნულ სენსორთა ქსელი ნივთების ინტერნეტის (IoT) გამოყენებით საშუალებას გვაძლევს მონიტორინგი გაუწიოთ მთელი მიწოდების ჯაჭვს – ფერმიდან სუფრამდე/მარკეტამდე.



ნახ. 2. ხილის მიწოდების IoT სისტემის არქიტექტურის სქემა

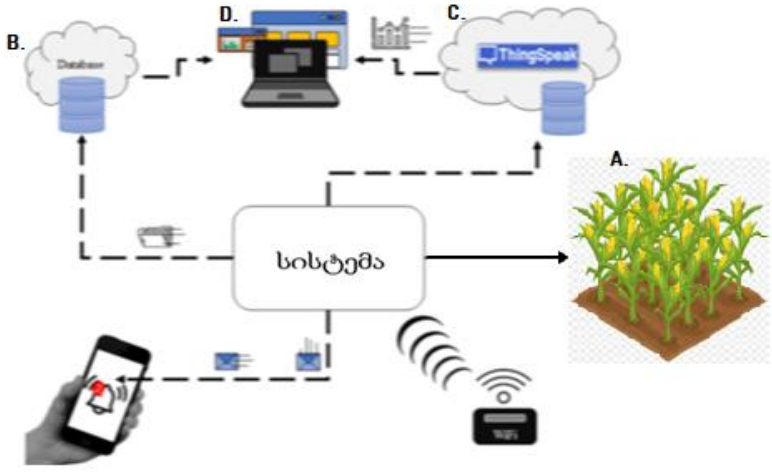
სენსორული ფენა, რომელიც ცნობილია როგორც აღქმის ფენა, არის IoT არქიტექტურის ფუნდამენტური ფენა. ის პასუხისმგებელია ფიზიკური გარემოდან ნედლი მონაცემების შეგროვებაზე სხვადასხვა სენსორებისა და მოწყობილობების გამოყენებით. ეს ფენა გადამწყვეტია, რადგან შეგროვებული მონაცემების ხარისხი და სიზუსტე პირდაპირ გავლენას ახდენს მთელი IoT სისტემის ეფექტურობაზე.

მონაცემთა დამუშავების ფენა IoT არქიტექტურაში მნიშვნელოვან როლს თამაშობს, ის აგროვებს მონაცემებს ნედლეულის შესახებ. ეს ფენა პასუხისმგებელია სხვადასხვა IoT მოწყობილობებიდან შეგროვებული მონაცემების დამუშავებაზე, აგრეგაციასა და ანალიზზე, გადაწყვეტილების მიღებისა და ავტომატიზაციისთვის მნიშვნელოვან ინფორმაციად გარდაქმნაზე.

განაცხადის – აპლიკაციის ფენა არის IoT არქიტექტურის ყველაზე მაღალი ფენა, რომელიც პასუხისმგებელია კონკრეტული სერვისებისა და აპლიკაციების მიწოდებაზე საბოლოო მომხმარებლებისთვის ქვედა ფენების დამუშავებული მონაცემების საფუძველზე. ეს ფენა მოქმედებს როგორც ინტერფეისი IoT სისტემასა და მის მომხმარებლებს შორის, რაც უზრუნველყოფს ვიზუალიზაციას, კონტროლს და ქმედითუნარიან შეხედულებებს.

ნახ. 2-ზე წარმოდგენილია სისტემის არქიტექტურის სქემა, რომელიც ასახავს, თუ როგორ არიან დაკავშირებული IoT-ის თითოეული კომპონენტები ერთმანეთთან. ყველა სენსორი და შემსრულებელი ელემენტი დაკავშირებულია Arduino Uno-სთან, საიდანაც ყველა მონაცემი გადაეცემა ESP32-CAM-ს და GSM/GPRS მოდულს. გადაცემული ყველა მონაცემის საბოლოო წერტილი არის ThingSpeak და Web მონაცემთა ბაზის ანალიზი MATLAB-ის გამოყენებით, სადაც ყველა საწყისი მონაცემი გარდაიქმნება ინფორმაციად.

ჩვენს მიერ შემუშავებული Web მონაცემთა რეგისტრაციის და SMS შეტყობინებების ინტეგრაცია ფიზიკური მონიტორინგის სისტემასთან და Web აპლიკაციასთან ნაჩვენებია ნახ. 3-ზე, რომელიც შეიცავს A - ხილის ფერმერულ მეურნეობას (მიწოდების ჯაჭვს), B - მონაცემთა ღრუბლოვან საცავს, D - ვიზუალიზაციას, C – Web მონიტორინგს.



ნახ. 3. სისტემის სტრუქტურული სქემა

პროგრამული უზრუნველყოფის განვითარების ეტაპზე, შეიძლება გამოყენებული იქნეს C/C++ პროგრამირების ენა Arduino Uno და ESP32-CAM მიკროკონტროლერებისთვის სენსორების, შემსრულებელი მექანიზმების და მონიტორინგის ფუნქციების დასაპროგრამებლად. ღია კოდის Arduino IDE შეიძლება გამოყენებული იქნეს კოდების სიმულაციისა და შედგენისთვის. ვებ აპლიკაცია შეიქმნება Visual Studio Code-ის გამოყენებით, HTML, PHP, CSS და JavaScript კოდირებისთვის. MySQL გამოიყენება ლოკალური ტესტირებისთვის და ThingSpeak პროგრამული პლატფორმა ინტეგრირებულია MATLAB – თან ვიზუალიზაციით ვებ აპლიკაციაში მყისიერი გენერირებისთვის.

დასკვნა

ნაშრომი წარმოადგენს ნივთების ინტერნეტზე დაფუძნებული ინტელექტუალური ბაღის დიზაინის იდეას. ხილის ბაღის მაგალითის სახით, მოცემულია ნივთების ინტერნეტის დეტალური არქიტექტურის დიზაინი. ამ დიზაინის სქემის გამოყენებით შესაძლებელია ბაღის ინტელექტუალური მონიტორინგის, ინტელექტუალური მართვისა და ინტელექტუალური გადაწყვეტილების მიღების განხორციელება. ნაშრომს აქვს მნიშვნელოვანი საცნობარო ღირებულება ბაღის ინფორმატიზაციის, ინტელექტისა და სტანდარტიზაციის დონის გასაუმჯობესებლად. წარმოდგენილია დიზაინის სქემა, რომელიც შეიძლება გამოყენებული იყოს ხეხილის ბაღში, რაც გულისხმობს ინტელექტუალური კონტროლისა და მართვის განხორციელებას, ადამიანური დანახარჯების დაზოგვას და პროდუქტის პოპულარობის გაზრდას.

Architecture and Implementation of Internet of Things (IOT) for Fruit Farm Monitoring

Avtandil Bardavelidze, Khatuna Bardavelidze

Summary

The work focuses on the creation of an integrated intelligent monitoring system for technological parameters assessing fruit quality, which covers the full cycle of supply from plantation farming, through the fruit production and processing line, to the consumer, and is implemented with the IoT-based monitoring system architecture developed by us.

To achieve the above, based on the analysis of existing literature on this topic, the article presents a structural diagram of fruit delivery and an architecture diagram of an IoT system for delivering fruits from plantation to consumer, describes the operating principle of each level and develops the structure of the Internet of Things (IoT) system.

The results of the research can be applied in fruit orchards, which involves implementing intelligent control and management, saving human resources, and increasing product popularity.

Архитектура и реализация интернета вещей (IOT) для мониторинга плодовых ферм

Автандил Бардавелидзе, Хатуна Бардавелидзе

Резюме

Работа направлена на создание интегрированной интеллектуальной системы мониторинга технологических параметров оценки качества плодов, охватывающей полный цикл поставок от плантационного выращивания, через линию производства и переработки плодов до потребителя, и реализована с использованием разработанной нами архитектуры системы мониторинга на базе Интернета вещей (IoT).

Для достижения вышеизложенного, на основе анализа существующей литературы по данной теме, в статье представлена структурная схема доставки фруктов и схема архитектуры IoT-системы для доставки фруктов от плантации до потребителя, описан принцип работы каждого уровня и разработана структура системы Интернета вещей (IoT).

Результаты исследования могут быть применены во фруктовых садах, что предполагает внедрение интеллектуального контроля и управления, экономию человеческих ресурсов и повышение популярности продукции.

ლიტერატურა – References –Литература

1. Magsino E.R., An IoT-based Smart Orchard Monitoring System by Employing Wireless Sensor Networks. International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE) ISSN: 2277-3878, Volume-8 Issue-3, September 2019, pp.5215-5219. DOI: 10.35940/ijrte.C5852.098319
2. Rajak P., Ganguly A., Adhikary S., Bhattacharya S., Internet of Things and smart sensors in agriculture: Scopes and challenges, Journal of Agriculture and Food Research Volume 14, December 2023, 100776. DOI: 0.1016/j.jafr.2023.100776
3. Fadziso T., Internet of Things in Agriculture for Smart Farming, 2018 Malaysian Journal of Medical and Biological Research 5(2): pp. 147-156. DOI: 10.18034/mjmbr.v5i2.565
4. Wang Z., Yu H., Cao Ch., Zhang T., Application of Internet of Things Technology in Intelligent Orchard. Journal of Physics: ICAIIT, IOP Publishing, Conference Series 1533 (2020) 042055. DOI: 10.1088/1742-6596/1533/4/042055
5. Bandgar V., Biradar S., Real Time Soil Monitoring Sensors, Vigyan Varta 5(6), 2024, pp. 194-197. DOI:10.13140/RG.2.2.33838.83523
6. Goswami V., Singh, P., Dwivedi P., Chauhan S., Soil health monitoring system. International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET), 8(5), 2020, pp.1536-1540. DOI:10.22214/ijraset.2020.5248
7. Sivakumar V.G., Baskar V.V., Vadivel M., Vimal S. P., Murugan S., IoT and GIS Integration for Real-Time Monitoring of Soil Health and Nutrient Status. International Conference on Self Sustainable Artificial Intelligence Systems (ICSSAS) 2023, pp. 1265-1270. DOI:10.1109/ICSSAS57918.2023.10331694
8. Wu Y., Yang Z., Liu Y., Internet-of-Things-Based Multiple-Sensor Monitoring System for Soil Information Diagnosis Using a Smartphone. Micromachines 2023, 14(7), 1395. DOI:10.3390/mi14071395
9. Lamberty A., Ambient J., Parameter Monitoring in Fresh Fruit and Vegetable Supply Chains Using Internet of Things-Enabled Sensor and Communication Technology. Foods 2022, Jun 11(12): 1777. DOI: 10.3390/foods11121777
10. Wang Zh., Sun X., Monitoring Fruit Quality and Quantity in Precision Agriculture. In book: Intelligent Internet of Everything for Automated and Sustainable Farming, 2025, pp.187-224 DOI: 10.4018/979-8-3373-0020-7.ch006
11. Alam Arif U., Pranali Rathi., Beshai H., Gursimran K. Sarabha. Fruit Quality Monitoring with Smart Packaging, Published by MDPI, 2021, 21(4):1509. DOI:10.3390/s21041509
12. Elavarasi G., Gurusamy M., Kathirvel S., Fresh Fruit Supply Chain Sensing and Transaction Using IoT. Conference: 2019 IEEE International Conference on Intelligent Techniques in Control, Optimization & Signal Processing (INCOS). DOI: 10.1109/INCOS45849.2019.8951326
13. Wilson D., Chemical Sensors for Farm-to-Table Monitoring of Fruit Quality. Sensors 2021, 21(5):1634 DOI: 10.3390/s21051634
14. Ruan J., Shi Y., Monitoring and assessing fruit freshness in IOT-based e-commerce delivery using scenario analysis and interval number approaches.Information Sciences, Volume 373, Dec 2016, pp. 557-570. DOI:10.1016/j.ins.2016.07.014
15. Md Maruf Kamran Sohag, Mohammad Ashfaq Ur Rahman, Muhtasim Ibteda Shochcho. Fruit Quality Detection and Monitoring System, 2023, IEEE 13th International Conference on Control System, Computing and Engineering (ICCSCE). DOI: 10.1109/ICCSCE58721.2023.10237165

მართვის სისტემები და მოწყობილობები

CONTROL SYSTEMS AND DEVICES

СИСТЕМЫ И УСТРОЙСТВА УПРАВЛЕНИЯ

მცირე მეფრინველეობის ფერმის ფუნქციონირების საერთო ალგორითმის დამუშავება

ნუგზარ ყავლაშვილი, ლევან გვარამაძე, ვერიკო ბახტაძე

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

რეზიუმე

განხილულია მცირე მეფრინველეობის ფერმის ფუნქციონირების საერთო ალგორითმის სტრუქტურა, აღწერილია ალგორითმის მთლიანობაში დონეებად დაყოფის აუცილებლობა, განხილულია თითოეული დონის ფუნქციური მნიშვნელობა.

ნაჩვენებია, რომ ასეთი მიდგომა საშუალებას იძლევა ალგორითმის ფუნქციები მარტივად გადანაწილდეს მისი დონეების მიხედვით ისეთნაირად, რომ მომხმარებლისათვის მარტივად მოხერხდეს ინფორმაციის ასახვის სისტემაში ახალი იუნიტის ჩამატება შესაბამისი პროგრამული უზრუნველყოფის მოდიფიკაციის გარეშე.

ასეთი მიდგომით, შესაძლებელი ხდება სისტემაში იუნიტების ტიპის ზრდისას სტანდარტიზებული სტრუქტურების მარტივად გამოყენება, რაც გააადვილებს მთელი ალგორითმის ფორმირებას.

საკვანძო სიტყვები:

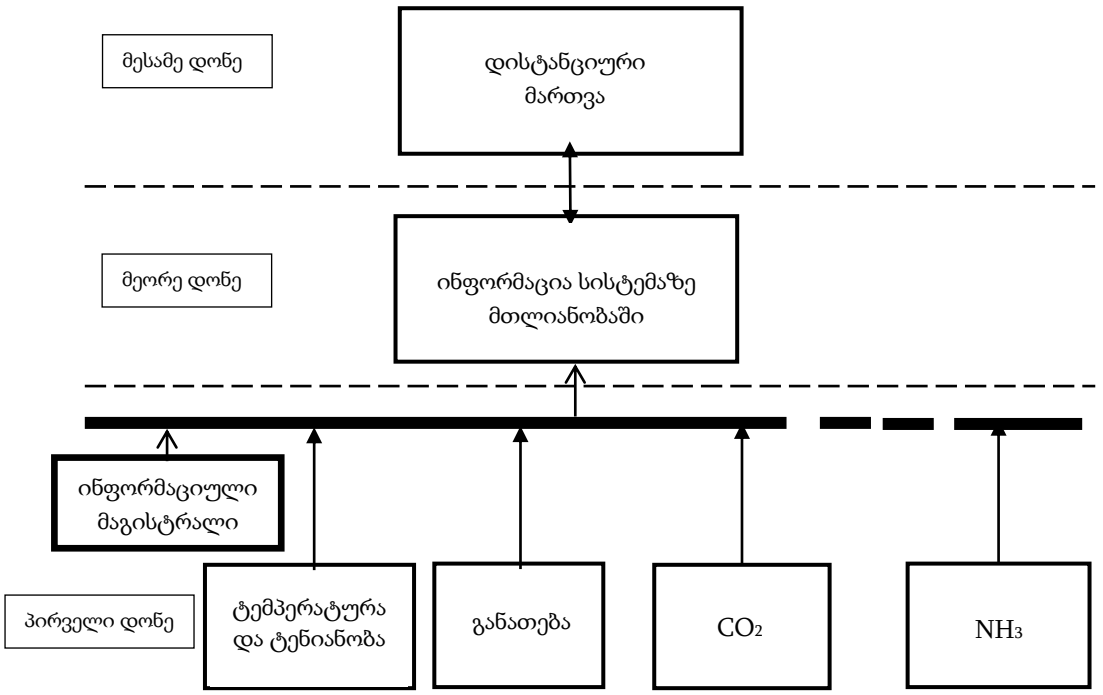
ალგორითმი, მეფრინველეობის ფერმა, ოპტიმალური სტრუქტურა.

მეფრინველეობა წარმოადგენს თანამედროვე სასოფლო სამეურნეო წარმოების ყველაზე დინამიკურ და მნიშვნელოვან დარგს, რომელიც უზრუნველყოფს კვების მაღალხარისხოვანი დიეტური პროდუქტების დამზადებას [1]. ამან განაპირობა მეფრინველეობის მსხვილი ფერმების ფართო განვითარება, რომლებიც კარგად ექვემდებარებიან შესაბამისი ბიზნეს პროცესის ავტომატიზაციას [2]. ამასთან, უნდა აღინიშნოს, რომ ავტომატიზაციის ობიექტის თავისებურება (მცირე გაბარიტები, სათავსოს მცირე გაბარიტები, ობიექტში ელექტრო დანადგარების სიჭარბე) აადვილებს შესაბამისი ბიზნეს პროცესის გადატანას მცირეგაბარიტიან მეურნეობებში. ამ შემთხვევაში, მნიშვნელოვან ფაქტორს წარმოადგენს ხარჯვითი ნაწილი, რომელიც განპირობებულია ინდივიდუალური მეწარმის ეკონომიკური შესაძლებლობით. ეს საკითხი უშუალო შეხებაშია მცირეგაბარიტიან ფერმის სტრუქტურასთან და მისი ფუნქციონირების ალგორითმთან. თავის მხრივ, ალგორითმიზაციის საკითხი უშუალოდ დამოკიდებულია ცალკეული ბლოკების რეალიზაციის აპარატურულ შესაძლებლობებზე. პროექტის რეალიზაციისას ჩვენს მიერ არჩეული აპარატურა ბევრად განაპირობებს შედარებით ტექნიკურ სიმარტივეს და შესაბამისად, ალგორითმული საკითხის გამარტივებას [3]. ქვემოთ მოყვანილია ასეთი მიდგომის და შესაბამისად ფერმის ფუნქციონირების ალგორითმის სტრუქტურა.

მცირეგაბარიტიანი მეფრინველეობის ავტომატიზებული ფერმის კომპონენტების დამუშავებისას, ფერმის ფუნქციონირების საერთო ალგორითმი შეიძლება წარმოვიდგინოთ როგორც ფერმაში არსებული ცალკეული მოდულების ალგორითმების ერთობლიობა. ეს ალგორითმები დაკავშირებულია ერთმანეთთან საერთო ინფორმაციულ მოდულში. კავშირი ხორციელდება სპეციალური ინფორმაციული სალტით. მოდულის ასეთი სტრუქტურა წარმოდგენილია ნახ.1-ზე.

როგორც ნახ.1-დან ჩანს მეფრინველეობის ფერმის ფუნქციონირების ალგორითმი მთლიანობაში მრავალდონიანია. პირველ დონეზე გაერთიანებულია იმ ბლოკების შესაბამისი ორი ტიპის ალგორითმი, რომლებიც უზრუნველყოფენ ფერმის ფუნქციონირების ბიზნეს პროცესის სხვადასხვა ასპექტებს. ესენია ალგორითმები, რომლებიც განკუთვნილია

ფერმაში ბიზნეს პროცესის დამახასიათებელი ინფორმაციის ასახვისა და შეგროვებისთვის (მაგ. გარემოს ტემპერატურა, ჰაერის შემადგენლობა, განათება) და ალგორითმები, რომლებიც განკუთვნილია მეფრინველეობის ფერმაში განხორციელებული ტექნოლოგიური პროცესის ნორმალური ორგანიზაციისთვის (მაგ. სასმელი წყლის, საკვების პერიოდული მიწოდება). თითოეული ალგორითმი ემსახურება სისტემის ერთი პარამეტრის ცვლილებას, რომლის მართვასაც ახორციელებს შესაბამისი მოწყობილობა.



ნახ. 1

ალგორითმში ქმედებების ინიციირება შეიძლება განხორციელდეს ორი ხერხით: შესაბამისი სამართი პარამეტრის მნიშვნელობის ცვლილების მიხედვით (ტემპერატურა, ტენიანობა, განათება, გარემოს ქიმიური შემადგენლობა) ან დროში გარკვეული პერიოდულობით (საკვების, წყლის მიწოდება).

მეორე დონის ალგორითმები განკუთვნილია სისტემის ფუნქციონირებისას ასახული ძირითადი ინფორმაციის გამოსატანად სპეციალურად ორგანიზებულ საერთო სარგებლობის საინფორმაციო იუნიტზე (მაგ. ტაბლოზე ან მონიტორზე) [4, 5]. ამის აუცილებლობა შეიძლება წარმოიქმნას იმ შემთხვევაში, თუ შედარებით დიდია სამართი პარამეტრების რაოდენობა ან ვრცელია ფერმისთვის განკუთვნილი შენობის ფართი. ამასთან, ალგორითმის სტრუქტურა უნდა იყოს ისეთი, რომ ყოველი ახალი ბლოკის შემდგომმა დამატებამ არ გამოიწვიოს რაიმე პრობლემა.

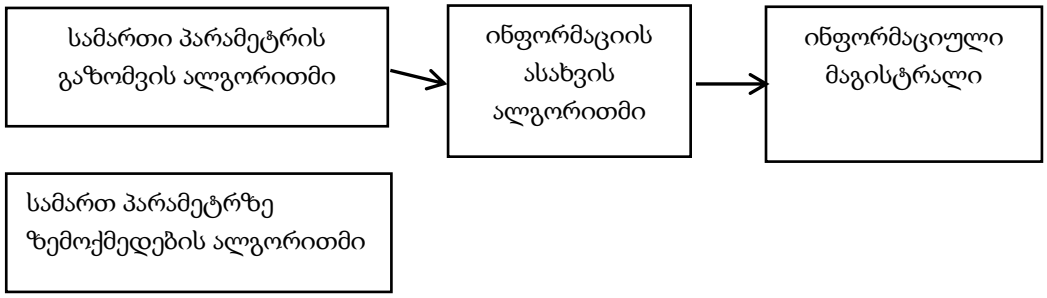
მესამე დონის ალგორითმები განკუთვნილია ფერმაში არსებული ინფორმაციის დისტანციურად გადაცემისა და სისტემაში არსებული ბიზნეს პროცესის მართვისთვის, ე.ი. მართვისათვის დამახასიათებელი ზოგიერთი ზემოქმედების ინიციირებისთვის [6, 7].

შეთავაზებული მეფრინველეობის ფერმის ფუნქციონირების ალგორითმის რეალიზაციის ზოგადი სამდონიანი სტრუქტურა ასახავს სისტემის როგორც მაქსიმალურად განვრცობილ რთულ ვარიანტს, ასევე მარტივ ვარიანტებს, როდესაც ფერმერს, შეზღუდული მატერიალური შესაძლებლობების გამო, ფერმის ავტომატიზაციის რეალიზაციისას გამოყენებული აქვს რამდენიმე არჩეული ბლოკი. განვიხილოთ თუ რა ალგორითმებს მოიცავს სისტემის ცალკეული ბლოკი, როგორ მიდგომას უნდა აკმაყოფილებდეს მათი

სტრუქტურა და რა პრინციპები უნდა გამოვიყენოთ, რომ არ დაირღვეს სისტემის მართვის ძირითადი ალგორითმი. ამასთან, სისტემაში უზრუნველყოფილ იქნეს საჭირო ფიზიკური პარამეტრების დროში ცვლილების ასახვის და გარკვეული პირობით ინიციირებული სამართი ზემოქმედებების თანმიმდევრობა.

მაგალითის სახით ნახ.2-ზე მოყვანილია მეფრინველეობის ფერმის ერთ-ერთი, ტემპერატურული პროცესების მართვის ბლოკის, ალგორითმის ბლოკ სქემა. ის შედგება სამი ძირითადი ნაწილისაგან. სამართი პარამეტრის გაზომვის ალგორითმი ახორციელებს ბლოკის სამართი პარამეტრის გაზომვის პროცესს. მისი სტრუქტურა განისაზღვრება ბლოკში გამოყენებული ტექნიკური საშუალების კონსტრუქციითა და პროგრამული უზრუნველყოფით, რომლებიც გამოიყენება საჭირო პარამეტრის გასაზომად (ტემპერატურული გადამწოდი და მისი სტრუქტურა). ეს ალგორითმები სტანდარტულია და უკვე ცნობილია შესაბამისი აპარატურული საშუალებების წინასწარ არჩევისას. ამისგან განსხვავებით, სამართ პარამეტრზე ზემოქმედების ალგორითმის დაპროექტება ითვალისწინებს სხვადასხვა ვარიანტებს. შეიძლება გამოყენებულ იქნეს სამართი პარამეტრის დაკვეთილ მნიშვნელობასთან შედარების, გარკვეული კანონით მისი ცვლილების მიდევნების და სხვა ვარიანტები.

ინფორმაციის ასახვის ალგორითმი უზრუნველყოფს სამართი პარამეტრის და შესაბამისი დანადგარების მდგომარეობის (ჩართვა/გამორთვა) ინდიკაციას. ალგორითმის სირთულე ბევრადაა დამოკიდებული იმაზე, თუ ინფორმაციის ასახვის რა საშუალებებია გამოყენებული სისტემაში. არსებული აპარატურის ფართო სპექტრის გამო აქაც შეიძლება შეირჩეს უკვე ცნობილი ალგორითმები. ეს ალგორითმი უნდა მოიცავდეს ინფორმაციის მომზადებას ინფორმაციული მაგისტრალისათვის და შესაბამისად, ურთიერთობას ფერმის ავტომატიზაციის სისტემის სხვა ბლოკებთან.



ნახ. 2

ჩამოთვლილი შედეგების მისაღებად ფერმის აპარატურაში რეალიზებულია ინფორმაციის ასახვის კომბინირებული მეთოდი. ინფორმაცია ნებისმიერი ბიზნეს პროცესის შესახებ ცირკულირებს სისტემის ინფორმაციულ მაგისტრალში და ერთდროულად აისახება როგორც კონკრეტული ბლოკის ინფორმაციულ დისპლეიზე, ასევე სისტემის საერთო სარგებლობის დისპლეიზე. ინფორმაციის კომპლექსური ასახვის ასეთი მიდგომა აადვილებს როგორც შესაბამისი პროგრამული უზრუნველყოფის დამუშავებას, ასევე სისტემის გაწყობის პროცესს და ამარტივებს სისტემის ფუნქციური გაფართოების შემთხვევაში ახალი ბლოკების ჩამატებას. ამ მიდგომის მხარდასაჭერად ყველა ბლოკში აუცილებელია ერთგვაროვანი სტრუქტურის ინფორმაციული ინტერფეისის არსებობა.

უნდა აღინიშნოს, რომ აღწერილი მიდგომა არ ითვალისწინებს ფერმის მართვის სისტემაში სხვადასხვა ბლოკების ალგორითმების ურთიერთქმედებებს, ე.ი. ითვლება, რომ რეალიზებული პროცესების მართვები დამოუკიდებელია.

Development of a general algorithm for the functioning of a small poultry farm

Nugzar Kavlashvili, Levan Gvaramadze, Veriko Bakhtadze

Summary

The structure of the general algorithm for the functioning of a small poultry farm is discussed, the necessity of dividing the algorithm into levels as a whole is described, and the functional significance of each level is discussed.

It is shown that such an approach allows the functions of the algorithm to be easily distributed according to its levels in such a way that the user can easily add a new unit to the information display system without modifying the corresponding software.

With such an approach, it is possible to easily use standardized structures in the system when increasing the type of units, which will facilitate the formation of the entire algorithm.

Разработка общего алгоритма функционирования малой птицеводческой фермы

Нугзар Кавлашвили, Леван Гварамадзе, Верико Бахтадзе

Резюме

Обсуждается структура общего алгоритма функционирования небольшой птицеводческой фермы, описывается необходимость разделения алгоритма на уровни в целом и рассматривается функциональная значимость каждого уровня.

Показано, что такой подход позволяет легко распределить функции алгоритма по его уровням таким образом, чтобы пользователь мог легко добавить новый блок в систему отображения информации без модификации соответствующего программного обеспечения.

При таком подходе становится возможным легко использовать стандартизированные структуры в системе при увеличении типа блоков, что облегчит формирование всего алгоритма.

ლიტერატურა – References – Литература

1. გეილ დეიმროუ. მეფრინველეობა, 2020 წ. ISBN: 9789941322952
2. Николай Бояркин. Решения автоматизации для птицеводческого комплекса. Москва. Редакция АиП. 2023
3. https://arduinomaster.ru/uroki-arduino/arduino-uroki-nachalo-aboty/?ysclid= mfba28d8w 748299058
4. https://sky.pro/wiki/gadgets/osnovnye-komponenty-i-periferiya-dlya-arduino/
5. https://wiki.amperka.ru/arduino-ysclid=mfb9yb4nur536228390
6. Shoba K., Sushmitha V., Umashree N., Yashaswini D.M., Priyanka K. An Effective Automated Monitoring and Controlling of Poultry Farm using IoT. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), 2020.
7. B. Sandeep, M. Ganesh, D. Ramya Sri, CH. Upendra. IOT based automated poultry farm. International journal of creative research thoughts(LJCRS), 2023.

„ჭკვიანი“ ელექტროქსელების დადებითი მხარეებისა და მათი ეტაპობრივად განხორციელების ზოგიერთი საკითხის შესახებ

თენგიზ მაგრაქველიძე, ხათუნა ლომიძე, მანანა ჯანიკაშვილი, ირმა არჩვაძე, გურამ ურუშაძე, ნოდარ შენგელია, ნინო დოღონაძე

qveli17@yahoo.com

რეზიუმე

სტატიაში გაანალიზებულია ელექტროენერგიით ქვეყნის მომარაგების სადღეისო მდგომარეობა. ნაჩვენებია, რომ მიუხედავად ბოლო წლებში გატარებული ღონისძიებებისა, ელექტროენერგიით საქართველოს მომარაგების დონე ვერ ჩაითვლება დამაკმაყოფილებლად. ამის გამო, ახალი სიმძლავრეების შეყვანა ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში უაღრესად აქტუალურ ამოცანას წარმოადგენს. ამასთან, ხაზგასმულია, რომ ენერგეტიკული უსაფრთხოების საკითხებიდან გამომდინარე, აუცილებელია ელექტროენერგიის გამომუშავება და მოხმარება მაქსიმალურად იყოს დაფუძნებული ადგილობრივ ენერგორესურსებზე. აღნიშნულია, რომ საქართველოში არსებული ენერგეტიკული რესურსები სრულიად საკმარისია ქვეყნის ელექტროენერგიით მომარაგებისათვის, წლიური გამომუშავებით 45-50 მლრდ. კვტ.სთ დონეზე.

ნაჩვენებია ელექტროენერგეტიკის განვითარების თაობაზე არსებული პროგნოზების ნაკლოვანი მხარეები.

განხილულია „ჭკვიანი“ ქსელების არსი და ასეთი ქსელების განხორციელების ზოგიერთი ასპექტი.

ელექტროენერგიის დღეღამური მოხმარების ე.წ. ტრადიციული გრაფიკისა და „ჭკვიანი“ ქსელების პირობებში სავარაუდო გრაფიკის შედარების საფუძველზე ნაჩვენებია „ჭკვიანი“ ქსელების აშკარა უპირატესობა და მათზე ეტაპობრივად და, ამასთანავე, დაჩქარებული ტემპებით გადასვლის აუცილებლობა.

გაკეთებულია ძალზე მნიშვნელოვანი დასკვნა იმის თაობაზე, რომ „ჭკვიანი“ ქსელების არსებობის პირობებში შესაძლებელია საქართველოს აღარ ჰქონდეს ახალი პიკური ელექტროსადგურების აშენების საჭიროება.

აუცილებლად არის მიჩნეული აღნიშნულ საკითხებზე სხვადასხვა დარგის მეცნიერთა და პრაქტიკოსთა ფართო მსჯელობა.

საკვანძო სიტყვები:

ენერგორესურსები, გაზისური და პიკური ელექტროენერგია, „ჭკვიანი“ ქსელები

შესავალი

ენერგეტიკა, როგორც ცნობილია, არის ქვეყნის განვითარების ერთ-ერთი მამოძრავებელი ფაქტორი. ამ დარგის განვითარება განაპირობებს არა მარტო ქვეყნის განვითარების ეკონომიკურ დონეს, არამედ, საზოგადოდ, მოსახლეობის ცხოვრების ხარისხს.

ელექტროენერგეტიკა, ენერგეტიკის უმნიშვნელოვანესი განხრა, ერთ-ერთ უპირველეს როლს თამაშობს როგორც მრეწველობის, სოფლის მეურნეობის, ტრანსპორტის, საყოფაცხოვრებო მომსახურების, ისე განათლების, კულტურისა და მეცნიერების დონის ამაღლების საქმეში. მსოფლიოში მიღებულია კრიტერიუმი – ერთ სულ მოსახლეზე მოსული წლიურად მოხმარებული ელექტროენერგია, რომელიც, ცხადია, წარმოადგენს ქვეყანაში წლიურად მოხმარებული ელექტროენერგიის ფარდობას ამ ქვეყნის მოსახლეობის რაოდენობასთან. ამ კრიტერიუმით განსაზღვრავენ ამა თუ იმ ქვეყნის ეკონომიკურ და კულტურულ დონეს.

განვითარებული ქვეყნებისათვის ეს მაჩვენებელი სულ ცოტა 8 – 10 ათას კვტ.სთ/სული წ. უტოლდება, ხოლო ზოგიერთი ძალზე განვითარებული ქვეყნისათვის ბევრად აჭარბებს ამ რიცხვს (ისლანდია, ნორვეგია, ქუვეიტი, ფინეთი, კანადა, შვედეთი, აშშ და სხვა). საქართველოსთვის ბოლო წლების მონაცემებით ეს მაჩვენებელი 4 ათას კვტ.სთ/სული წ. ფარგლებშია, რაც იმაზე მიუთითებს, რომ ჩვენი ქვეყანა ჩამორჩება არა მარტო განვითარებულ, არამედ საშუალო დონის ქვეყნებსაც კი.

აქედან გამომდინარე, ცხადია, რომ ელექტროენერგეტიკის სწრაფი ტემპით განვითარება სისტემაში ახალი მაგენერირებელი სიმძლავრეების შეყვანის გზით უპირველეს ამოცანას წარმოადგენს.

ამასთან ერთად, უაღრესად არსებითი მნიშვნელობა აქვს ქვეყნის ენერგო-უსაფრთხოების უზრუნველყოფას.

არჩილ ელიაშვილის სახელობის მართვის სისტემების ინსტიტუტში დამუშავებულია საქართველოს მაგენერირებელი ელექტროსადგურების სტრუქტურის მათემატიკური მოდელი და ამოხსნილია სათანადო ოპტიმიზაციის ამოცანები, რის საფუძველზეც ნაჩვენებია, რომ საქართველოს პრაქტიკულად აქვს შესაძლებლობა ადგილობრივ ენერგო-რესურსებზე დაყრდნობით, ელექტროენერგიაზე ქვეყნის მოთხოვნილება დააკმაყოფილოს წლიური გამომუშავებით 45 – 50 მლრდ კვტ.სთ/წ. დონეზე, რაც ერთ სულ მოსახლეზე მოსული ელექტროენერგიის დღევანდელ, განვითარებული მსოფლიო ქვეყნების დონეს უახლოვდება. ამასთან ერთად, ენერგეტიკული უსაფრთხოება სრულად იქნება უზრუნველყოფილი.

ბოლო წლებში სულ უფრო აქტუალური ხდება ე.წ. „ჭკვიანი“ ქსელების პრაქტიკაში განხორციელების საკითხი. მოკლედ ვიტყვით, რომ „ჭკვიან“ ქსელებში იგულისხმება ისეთი ელექტროენერგეტიკული სისტემა, რომელშიც ჰარმონიულად არის ერთმანეთთან შეთავსებული ელექტროენერგიის გამომუშავება და მოხმარება ისე, რომ პრაქტიკულად არ არსებობს ჩავარდნები და პიკები.

ვინაიდან წინამდებარე სტატია სწორედ ასეთი ქსელების დანერგვის საკითხებს ეხება, ძირითად ტექსტში ფართოდ იქნება განხილული „ჭკვიანი“ ქსელების არსი და მათი განხორციელების გზები.

უნდა აღინიშნოს, რომ ასეთი ქსელების პრაქტიკაში რეალიზება კარდინალურად ცვლის როგორც ელექტროენერგეტიკის, ისე საერთოდ ეკონომიკისა და კულტურის აღმავლობის სტრატეგიას.

ელექტროენერგიის გამომუშავებისა და მოხმარების სადღეისო მდგომარეობა

საქართველოს სტატისტიკის ეროვნული სამსახურის მონაცემებით საქართველოში 2023 წელს მოქმედებდა 26 დიდი და საშუალო ჰიდროელექტროსადგური და 64 მცირე ჰესი [1]. აღნიშნული ჰესებიდან 8 (ენგურჰესი, ვარდნილიჰესი, ხრამჰესი-1, ხრამჰესი-2. ჟინვალჰესი, ლაჯანურჰესი, შაორჰესი, ძევრულაჰესი) პიკური ელექტროსადგურია, ჯამური სიმძლავრით 2020 მგვტ. ჰესებს შორის არის კიდევ რამდენიმე, შედარებით მცირე ჰიდროელექტროსადგური დღეღამური და კვირეული რეგულირებით. დანარჩენები მდინარის ჩამონადენზე მუშაობენ. ჰესების ჯამური სიმძლავრე დღეის მდგომარეობით 3426 მგვტ-ია. გარდა ამისა, ამავე მონაცემებით 2024 წელს ფუნქციონირებდა 5 თბოელექტრო-სადგური (თესი) ჯამური დადგმული სიმძლავრით 1140 მგვტ და ერთი ქარის ელექტროსადგური სიმძლავრით 20,7 მგვტ.[1]

უნდა აღინიშნოს, რომ სადღეისოდ ვერცერთი დიდი ჰესი და თესი ვერ ავითარებს პროექტით გათვალისწინებულ დადგმულ სიმძლავრეს, რაც, რა თქმა უნდა, დამატებით სიძნელეებს ქმნის ქვეყნის ელექტროენერგიით მომარაგების საქმეში.

[1]-ის მონაცემებით საქართველომ 2024 წელს მოიხმარა 14,4 მლრდ კვტ.სთ ელექტროენერგია. ასე რომ, ერთ სულ მოსახლეზე მოსული წლიურად მოხმარებული ელექტროენერგია (ხვედრითი მოხმარება) გამოდის დაახლოებით 4 000 კვტ.სთ/სული წ., რაც, როგორც შესავალში იყო აღნიშნული, გაცილებით ნაკლებია არა მარტო განვითარებული,

[1] სხვადასხვა წყაროს მონაცემები ერთმანეთს არ ემთხვევა

არამედ განვითარების საშუალო დონეზე მყოფ ქვეყნებთან შედარებითაც კი. ამის გამო, ელექტროენერგიის გამომუშავების მკვეთრი ზრდა უახლოეს ათწლეულებში უპირველეს ამოცანას წარმოადგენს.

ამასთან ერთად, ენერგოუსაფრთხოების საკითხებიდან გამომდინარე, ელექტროენერგიის გამომუშავება მაქსიმალურად უნდა იყოს დაფუძნებული ადგილობრივ, როგორც ტრადიციულ, ისე ე.წ. არატრადიციულ ენერგორესურსებზე. მეორე მხრივ, ასევე უსაფრთხოებისა და ქვეყნის ნორმალურად განვითარების უზრუნველსაყოფად საჭიროა ელექტროენერგიის წლიურმა მოხმარებამ მიაღწიოს 45 – 50 მლრდ კვტ.სთ. ამის შესაძლებლობა, როგორც ეს ავტორთა მიერ დამუშავებული მათემატიკური მოდელისა და მის საფუძველზე ამოხსნილი ოპტიმიზაციის ამოცანებით დასტურდება, სრულად შესაძლებელია ადგილობრივ და საქართველოს ტერიტორიაზე გამავალი მილსადენებით ორგანული სათბობების გატარების სანაცვლოდ მიღებულ ენერგორესურსებზე დაყრდნობით [2-5].

ამასთან დაკავშირებით, გვსურს გავიმეოროთ ჩვენ მიერ ადრე გამოთქმული კრიტიკული დამოკიდებულება ლიტერატურაში არსებულ პროგნოზებთან დაკავშირებით, სადაც აღნიშნულია, რომ უახლოეს ათწლეულში საქართველოში ელექტროენერგიის მოხმარება გაიზრდება არაუმეტეს 2-ჯერ [6-7]. არსებობს საფუძვლიანი მოსაზრება იმის თაობაზე, რომ უახლოესი ათწლეულების ბოლოს საქართველოს მთლიანი შიდა პროდუქტი უნდა გაიზარდოს დაახლოებით 4-ჯერ. ეს პრაქტიკულად შეუძლებელი იქნება ელექტროენერგეტიკის განვითარების ისეთ პირობებში, როგორიც პროგნოზირებულია [6, 7] გამოკვლევებში. არსებითია ის, რომ როგორც [5] გამოკვლევაში იყო ნაჩვენები, ამავე პერიოდში მხოლოდ ელექტრომობილების დასამუხტად საჭირო იქნება არა ნაკლებ 7×10^9 კვტ.სთ/წ.

ცნობილია, რომ ათეული წლების წინ მოქმედებდა პრინციპი საერთოდ ეკონომიკისა და, მათ შორის, ელექტროენერგეტიკის ერთნაირი ტემპებით განვითარების შესახებ, სხვათა შორის, ელექტროენერგეტიკის ოდნავი წინმსწრები ტემპით. ეს საკითხები დაწვრილებითაა განხილული ავტორთა გამოკვლევაში [5].

„ჭკვიანი“ ქსელების არსი, განხორციელების აუცილებლობა და რეალიზაციის გზები

ათეული წლების განმავლობაში მსოფლიოში მიღებული იყო პრაქტიკა, რომელიც გამორიცხავდა ზოგადად ეკონომიკისა და, მათ შორის, ელექტროენერგეტიკის ჰარმონიულ ურთიერთკავშირში განვითარებას და ფუნქციონირებას. კერძოდ, ეკონომიკის ისეთი დარგების, როგორებიცაა მძიმე და მსუბუქი მრეწველობა, ქიმიური მრეწველობა, სოფლის მეურნეობა, კვებისა და გადამამუშავებელი მრეწველობა, ტრანსპორტი და სხვა, განვითარება იყო უალტერნატივო პრიორიტეტი, ხოლო ელექტროენერგეტიკა უნდა განვითარებულიყო ისე, რომ დაეკმაყოფილებინა მოთხოვნები იმ შემთხვევაშიც კი, თუ ეკონომიკის ჩამოთვლილი დარგები არ ვითარდებოდა ოპტიმალური სქემით. ყოველივე ამან გამოიწვია ის, რომ ელექტროენერგიის მოხმარებაში გაჩნდა მკვეთრი უთანაბრობა როგორც დღეღამურ, ისე სეზონურ ჭრილში. ამან, თავის მხრივ, განაპირობა მოხმარების მკვეთრი პიკები დილის და საღამოს საათებში და ჩავარდნა ღამის საათებში (ნახ.1), რის შედეგად დამკვიდრდა ტერმინები: ბაზისური ელექტროენერგია, პიკური ელექტროენერგია და, შესაბამისად, ბაზისური და პიკური ელექტროსადგურები. ამასთან, ტრადიციულად სისტემაში შემავალი ბაზისური და პიკური ელექტროსადგურების ჯამური სიმძლავრეები დაახლოებით თანაბარი იყო. ბაზისური ელექტროსადგურები მუშაობდნენ მუდმივი სიმძლავრით მთელი წლის (სულ ცოტა 6000 საათის) განმავლობაში, ხოლო პიკური ელექტროსადგურები ცვალებადი პიკური სიმძლავრით დაახლოებით 3000 საათის განმავლობაში. წელიწადის დანარჩენ დროში ამ უკანასკნელთა აგრეგატები უქმობდნენ. აშკარაა, რომ პიკური სადგურების არსებობა, თუ არა აუცილებლობა, ეკონომიკურად სრულიად გაუმართლებელია, შეიძლება ითქვას, რომ დიდი ფუფუნებაა.

უნდა აღინიშნოს, რომ ელექტროსადგურების აღწერილი სტრუქტურა წლების განმავლობაში არ შეცვლილა, და პრაქტიკულად ისეთივეა, როგორიც 5 ათეული წლის წინ.

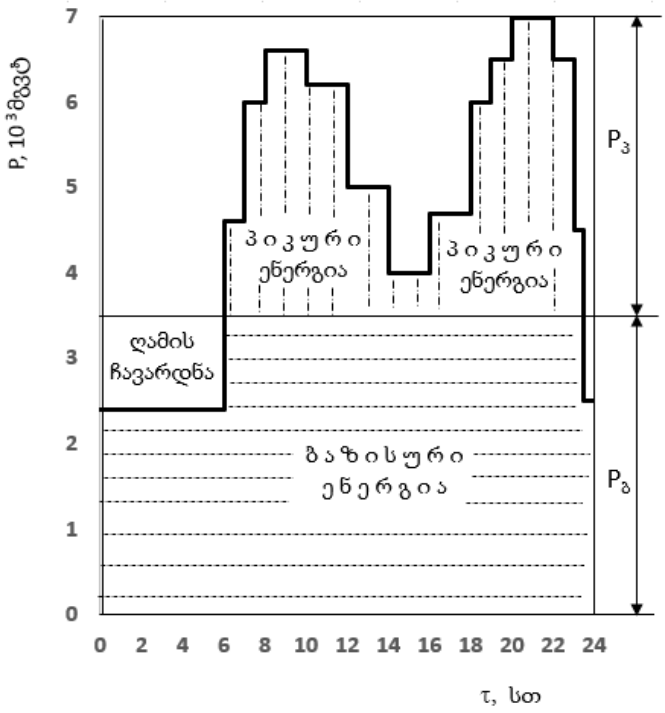
უკანასკნელ წლებში სულ უფრო ხშირად არის საუბარი ე.წ. „ჭკვიან“ ქსელებზე გადასვლის აუცილებლობაზე. აღსანიშნავია, რომ „ჭკვიან“ ქსელებში იგულისხმება არა

მარტო ელექტროსისტემის ქსელები, არამედ ქვეყნის ეკონომიკური ფუნქციონირების სისტემა მთლიანად [8].

ცხადია, იდეალურ „ჭკვიან“ ქსელებზე გადასვლა შეუძლებელი იქნება და მუდამ დარჩება საჭიროება პიკური ელექტროსადგურებისა. თუმცა მათი წილის მკვეთრი შემცირება უდავოდ დიდ ეკონომიკურ ეფექტს მოგვცემს.

ქვემოთ ე.წ. ტრადიციული და „ჭკვიანი“ ქსელების პირობებში ელექტროენერგიის მოხმარების დღეღამური გრაფიკების შედარების საფუძველზე ნაჩვენებია „ჭკვიანი“ ქსელების უდიდესი უპირატესობა ტრადიციულ ქსელებთან შედარებით.

ვადარებთ ელექტროენერგიის მოხმარების დღეღამურ გრაფიკებს 45 მლრდ. კვტ.სთ/წ მოხმარების შემთხვევაში. ცხადია, რომ დღეღამური მოხმარების გრაფიკი სხვადასხვა იქნება ზამთრისა და ზაფხულის პერიოდებში, მაგრამ თვალსაჩინოებისათვის განვიხილოთ გარკვეულწილად გასაშუალოებული ვარიანტი.



ნახ.1. ელექტროენერგიის მოხმარების გრაფიკი ე.წ. ტრადიციული ქსელების შემთხვევაში

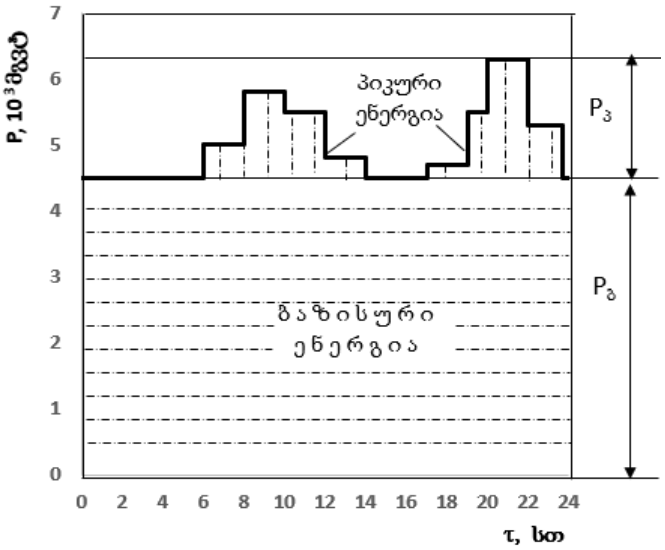
1-ლ ნახაზზე წარმოდგენილია ელექტროენერგიის მოხმარების გრაფიკი ე.წ. ტრადიციული ქსელების შემთხვევაში. როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, წინამდებარე გრაფიკი ეთანადება 45 მლრდ კვტ.სთ წლიურ მოხმარებას, რაც დღე-ღამეში შეადგენს დაახლოებით 120×10^6 კვტ.სთ. ამ შემთხვევაში ბაზისური ენერგია იქნება 80×10^6 კვტ.სთ დღე-ღამეში, ხოლო პიკური ენერგია – 40×10^6 კვტ.სთ. ამასთან, როგორც წესი, ბაზისური და პიკური სადგურების ჯამური სიმძლავრეები თანაბარია. კერძოდ, $P_ბ = P_პ = 3,5\times10^6$ კვტ.

აქვე აღვნიშნავთ, რომ ვერცერთი ელექტროსადგური ვერ იმუშავებს უწყვეტად მთელი წლის განმავლობაში. როგორც ზემოთ იყო ნათქვამი, ბაზისური ელექტროსადგურები მუშაობენ წელიწადში დაახლოებით 6000 საათის განმავლობაში, ხოლო პიკური ელექტრო-სადგურები – დაახლოებით 3000 საათის განმავლობაში. აქედან გამომდინარე, წლიური 45 მლრდ კვტ.სთ ელექტროენერგიის მისაღებად საჭირო იქნება დამატებითი ე.წ. სარეზერვო სიმძლავრეები. ასე, რომ ტრადიციული სქემით ელექტროენერგიის მოხმარების უზრუნველ-საყოფად, ქსელში დანაკარგების გათვალისწინებით, საჭირო იქნება ელექტროსადგურები ჯამური სიმძლავრით დაახლოებით 11 000 მგვტ და გამომუშავებით 49 მლრდ კვტ.სთ.

იდეალური “ჭკვიანი“ ქსელების არსებობის პირობებში, როდესაც სრულად იქნება გამორიცხული პიკურ ელექტროენერგიაზე მოთხოვნილება, 49 მლრდ კვტ.სთ ელექტრო-

ენერგიის მისაღებად საჭირო იქნება მხოლოდ ბაზისური სიმძლავრე, დაახლოებით 5,6 ათასი მგვტ, ანუ 2-ჯერ ნაკლები, ვიდრე ტრადიციული სქემით მომარაგების შემთხვევაში. ცხადია, რომ იდეალურად „ჭკვიანი“ ქსელების განხორციელება პრაქტიკულად შეუძლებელია. ყოველთვის იქნება ელექტროენერგიის მოხმარების უთანაბრობა როგორც დღეღამურ, ისე სეზონურ ჭრილში.

შეიძლება განვიხილოთ ისეთი ვარიანტი, როდესაც მოხმარებული ელექტროენერგიის 90% გამომუშავდება ბაზისურ ელექტროსადგურებში, ხოლო დანარჩენი 10% – პიკურებში (ნახ.2). შევნიშნავთ, რომ ასეთი ვარიანტის განხორციელება პრაქტიკულად შესაძლებელია.



ნახ.2. დღეღამური მოხმარების გრაფიკი „ჭკვიანი“ ქსელების შემთხვევაში

მე-2 ნახაზზე წარმოდგენილი ვარიანტის განხორციელების შემთხვევაში ელექტრო-ენერგიის დღეღამური 120×10^6 კვტ.სთ-დან 108×10^6 კვტ.სთ არის ბაზისურ ელექტროსადგურებში გამომუშავებული ენერგია, ხოლო 12×10^6 კვტ.სთ – პიკურში. ბაზისური სადგურების ჯამური სიმძლავრე იქნება $4,5\times10^3$ მგვტ, ხოლო პიკურის – $1,5\times10^3$ მგვტ. სარეზერვო სიმძლავრეებისა და ქსელში დანაკარგების ჩათვლით საერთო ჯამური სიმძლავრე შეადგენს დაახლოებით $9,5\times10^3$ მგვტ-ს, რაც $1,5\times10^3$ მგვტ-ით ნაკლებია იმ ჯამურ სიმძლავრეზე, რომელიც საჭიროა იგივე მოთხოვნილების დასაკმაყოფილებლად ტრადიციული ქსელების შემთხვევაში. ეს, ცხადია, „ჭკვიანი“ ქსელების დიდ უპირატესობაზე მეტყველებს.

ამასთან ერთად, ძალზე მნიშვნელოვანია ის, რომ „ჭკვიანი“ ქსელების განხორციელების პირობებში წლიური 45 მლრდ კვტ.სთ ელექტროენერგიის მოხმარების შემთხვევაშიც კი შესაძლებელია საქართველოს აღარ დასჭირდეს ახალი პიკური ელექტროსადგურების აშენება. ასე, მაგალითად, შეიძლება საუბარი იმის თაობაზე თუ რა სიმძლავრის უნდა იყოს ხუდონჰესი. პროექტით გათვალისწინებულია, რომ ხუდონჰესის, როგორც პიკური ელექტროსადგურის სიმძლავრე იქნება 700 მგვტ, წლიური გამომუშავებით დაახლოებით 2 მლრდ კვტ.სთ. „ჭკვიანი“ ქსელების განხორციელების შემთხვევაში ისეთ დონეზე, როდესაც აღარ იქნება საჭირო ახალი პიკური ელექტროსადგურების აშენება, ხუდონჰესის სიმძლავრე შეიძლება შემცირდეს პრაქტიკულად 2-ჯერ. ამასთან, წლიური გამომუშავება იგივე დარჩება, რაც ამჟამად პროექტით არის გათვალისწინებული.

ყოველივე ეს იმაზე მიუთითებს, რომ „ჭკვიან“ ქსელებზე გადასვლისა და ელექტროენერგეტიკის ასეთ პირობებში განვითარების თაობაზე მუშაობის ამთავითვე დაწყება უაღრესად საშური საქმეა.

ბუნებრივია, ისმის კითხვა, თუ რა ღონისძიებებია საჭირო იმისათვის, რომ „ჭკვიან“ ქსელებზე გადასვლა ოპტიმალურად წარიმართოს და როგორ უნდა შეეწყოს ხელი ელექტროენერგიის მოხმარების დღეღამური და სეზონური უთანაბრობის აღმოფხვრას.

ამ მიმართულებით, ვფიქრობთ, უპირველესად შემდეგი სამუშაოებია ჩასატარებელი:

1. ტარიფების სისტემაში რადიკალური ცვლილებები. ყოვლად მიუღებელია დღეს მოქმედი ე.წ. შეწონილი ტარიფების სისტემა. საბაზრო ეკონომიკაზე გადასვლის მუდმივი პროპაგანდის პირობებში შეწონილ ტარიფებზე საუბარი, რბილად რომ ვთქვათ, გაუგებრობად უნდა ჩაითვალოს. შეიძლება განხილულ იქნეს ე.წ. სამ დონიანი ტარიფების სისტემაზე გადასვლის საკითხი.

ა) უმაღლესი ტარიფი (პიკურ საათებში)

ბ) საშუალო ტარიფი (დღის განმავლობაში)

გ) უდაბლესი ტარიფი (ღამის ჩავარდნის დროს)

ეს უდავოდ შეუწყობს ხელს ელექტროენერგიის მოხმარების დღეღამური უთანაბრობის აღმოფხვრას. აქვე შევნიშნავთ, რომ „ჭკვიან“ ქსელებში „ჭკვიანი„ ელექტრომრიცხველებიც იგულისხმება. იდეალურ ვარიანტში ელექტროენერგიაზე გადასახადი შეიძლება უწყვეტ ფუნქციონურ დამოკიდებულებაში იყოს ქვეყნის მასშტაბით ელექტროენერგიის მოხმარებას-თან დროის მოცემულ მონაკვეთში. ეს უნდა უზრუნველყონ „ჭკვიანმა„ მრიცხველებმა.

2. ისეთი დარგების წახალისება და განვითარება, რომლებიც ელექტროენერგიას ძირითადად მოიხმარენ იმ დროს, როცა ქვეყნის მასშტაბით მისი გამომუშავება დიდია, ხოლო მოხმარება კი მცირე.

ამის ერთ-ერთი თვალსაჩინო მაგალითი შეიძლება იყოს ჩაის ფოთლის გადამუშავების ტექნოლოგიური პროცესების სითბო-სიცივით მომარაგების თბური ტუმბოს ბაზაზე მოქმედი სისტემების ფართოდ დანერგვა ჩაის ფაბრიკებში.

როგორც ცნობილია, ჯერ კიდევ გასული საუკუნის 50-იან წლებში, გამოქვეყნდა ვახტანგ გომელაურისა და ალექსანდრე მუსხელიშვილის ფრიად შთამბეჭდავი წინადადება – ჩაის ფაბრიკებში ტექნოლოგიური პროცესების სითბო-სიცივით მომარაგების თბური ტუმბოს ბაზაზე მოქმედი სისტემების ფართოდ გამოყენების შესახებ [9]. შემდგომ 1980-იან წლებში ვ.გომელაურის ხელმძღვანელობით და აქტიური მოღვაწეობით აღნიშნული სისტემა განხორციელდა სამტრედიის ჩაის ფაბრიკაში, რასაც იმ დროს უდიდესი გამოხმაურება მოჰყვა. ეს იყო პირველი სამრეწველო მასშტაბის თბური ტუმბოს სისტემა ევროპაში.

ამ სისტემის განხორციელების შედეგად ფაბრიკაში მთლიანად შეწყდა ძვირად-ღირებული სათბობის დაწვა, რაც სხვა სიკეთესთან ერთად, ეკოლოგიური ეფექტის მომცემიც იყო. ამასთან, რაც მთავარია, გაუმჯობესდა მუშაობის პირობები, ამაღლდა გამომუშავებული პროდუქციის ხარისხი და სხვა.

მართალია თბური ტუმბოს სისტემის დანერგვამ გამოიწვია მოხმარებული ელექტრო-ენერგიის მოხმარების გაზრდა, მაგრამ აქ გასათვალისწინებელი და გადამწყვეტიც კი აღმოჩნდა ფაქტორები, რომლებიც ჩვენი სტატიის საკითხებთან არის უშუალო კავშირში. კერძოდ, ცნობილია, რომ ჩაის ფაბრიკების მუშაობის პიკი მოდის გაზაფხული-ზაფხულის პერიოდზე, როდესაც მდინარეების გაზრდილი ჩამონადენის გამო გვაქვს ჭარბი ელექტრო-ენერგია. მეორე მხრივ, ჩაის ფაბრიკებში ჩაის ფოთლის გადამუშავება წარმოებს ღამის საათებში, როდესაც ელექტროენერგიის მოხმარების დღეღამურ გრაფიკში გვაქვს ღამის ჩავარდნა. შეიძლება ითქვას, რომ ჩაის ფაბრიკებში თბური ტუმბოს სისტემების ფართოდ დანერგვა დიდ ეკონომიკურ და ეკოლოგიურ სარგებელთან ერთად, პირდაპირ „ჭკვიან“ ქსელებზე იყო მორგებული. გასული საუკუნის 80-იანი წლების დასაწყისში განზრახული იყო ჩაის ფაბრიკების უდიდესი ნაწილის გადაყვანა თბური ტუმბოს სისტემებზე. სამწუხაროდ, ჩაის ფაბრიკებიც და ჩაის წარმოებაც პრაქტიკულად განადგურდა, რაც ძალზე სავალალოა.

3. როგორც ადრე გამოქვეყნებულ სტატიაში [5] გვქონდა აღნიშნული, დანიის ტექნიკური უნივერსიტეტის ტრანსპორტის ინსტიტუტის მიერ ჩატარებულმა გამოკვლევებმა [10] აჩვენეს, რომ ავტომობილები Citroen C-Zero, Mitsubishi i-MiEV და Peugeot iOn რეალურ პირობებში, დღე-ღამეში 50 კმ მანძილის გარბენის შემთხვევაში, საშუალოდ მოიხმარენ დაახლოებით 10 კვტ.სთ ელექტროენერგიას. იმ შემთხვევაში, თუ რეალიზებული იქნება ზემოთ წარმოდგენილი სამდონიანი ტარიფების სქემა და ელექტრომობილების ფართოდ

გავრცელების პროგნოზი უახლოეს ათწლეულებში, ცხადია, რომ ავტომფლობელები დაინტერესებული იქნებიან ავტომობილები დამუხტონ ღამის საათებში. ერთი მილიონი ელექტრომობილის დამუხტვას დღე-ღამეში დასჭირდება დაახლოებით 10 მლნ კვტ.სთ ელექტროენერგია, რაც ძალზე მნიშვნელოვანი იქნება ელექტროენერგიის მოხმარების ღამის ჩავარდნების შესავსებად.

რა თქმა უნდა, არსებობს სხვა გზებიც ელექტროენერგიის მოხმარების უთანაბრობის აღმოსაფხვრელად.

ცხადია, წარმოდგენილ სტატიაში შეუძლებელი იყო „ჭკვიანი“ ქსელების არსის, მათზე გადასვლისა და ფუნქციონირების ყველა ასპექტის ასახვა.

სტატიაში აღძრული საკითხები სპეციალისტების ფართო განხილვის საგანი უნდა გახდეს. ამისათვის, საჭირო იქნება სხვადასხვა დარგის მეცნიერთა და პრაქტიკოსთა ერთობლივი ინტენსიური მუშაობა.

დასკვნა

ყოველივე ზემოთქმულიდან გამომდინარე, შეიძლება დავასკვნათ:

- ✓ „ჭკვიანი“ ელექტროქსელების პრაქტიკაში განხორციელება უდიდესი ეკონომიკური ეფექტის მომტანი იქნება.
- ✓ „ჭკვიან“ ქსელებზე მოსალოდნელი ეტაპობრივად გადასვლის უზრუნველსაყოფად ამთავითვე აუცილებელია მეცნიერთა და პრაქტიკოსთა ერთობლივი ინტენსიური მუშაობა.
- ✓ სტატიაში წარმოდგენილი მონაცემების საფუძველზე შესაძლებელია დაისვას საკითხი ახალი პიკური ელექტროსადგურების აშენების მიზანშეწონილობის შესახებ. მათ შორის, ხუდონჰესის საპროექტო სიმძლავრის კორექტირებასთან დაკავშირებით.

On the positive aspects of "smart" electric grids and some issues of their phased implementation

Tengiz Magrakvelidze, Khatuna Lomidze, Manana Janikashvili, Irma Archvadze, Guram Urushadze, Nodar Shengelia, Nino Dogonadze

Summary

The article analyzes the current state of the country's electricity supply. It is shown that, despite the measures taken in recent years, the level of Georgia's electricity supply cannot be considered satisfactory. Therefore, the introduction of new capacities into the power system is an extremely urgent task. In addition, it is emphasized that, due to energy security issues, it is necessary to base electricity generation and consumption on local energy resources as much as possible. It is noted that the existing energy resources in the country are completely sufficient for electricity supply, with an annual output of 45-50 billion kWh.

The shortcomings of the existing forecasts for the development of electric power are shown.

The essence of “smart” networks and some aspects of the implementation of such networks are considered.

Based on a comparison of the traditional daily electricity consumption schedule and the estimated schedule under the conditions of “smart” networks, the clear advantage of “smart” networks and the need for a gradual and simultaneously accelerated transition to them are shown.

A very important conclusion is made that under the conditions of "smart" networks, Georgia may no longer have the need to build new peak power plants.

A wide discussion of the above issues by scientists and practitioners from various fields is considered necessary.

О положительных сторонах «умных» электрических сетей и некоторых вопросах их поэтапного внедрения

Тенгиз Маграквелидзе, Хатуна Ломидзе, Манана Джаникашвили, Ирма Арчвадзе, Гурам Урушадзе, Нодар Шенгелиа, Нино Догонадзе

Резюме

В статье анализируется современное состояние электроснабжения страны. Показано, что, несмотря на принятые в последние годы меры, уровень электроснабжения Грузии нельзя считать удовлетворительным. Поэтому ввод новых мощностей в энергосистему является крайне актуальной задачей. Кроме того, подчеркивается, что в связи с вопросами энергетической безопасности необходимо максимально базировать производство и потребление электро-энергии на местных энергоресурсах. Отмечено, что имеющихся в стране энергоресурсов вполне достаточно для электроснабжения, при годовой выработке 45-50 млрд кВт·ч.

Показаны недостатки существующих прогнозов развития электроэнергетики.

Рассматривается сущность «умных» сетей и некоторые аспекты внедрения таких сетей.

На основе сравнения традиционного графика суточного потребления электроэнергии и ожидаемого графика в условиях «умных» сетей показано явное преимущество «умных» сетей и необходимость постепенного и одновременно ускоренного перехода к ним.

Сделан весьма важный вывод о том, что в условиях существования «умных» сетей у Грузии может отпасть необходимость в строительстве новых пиковых электростанций.

Считается необходимым широкое обсуждение этих вопросов учёными и практиками различных направлений.

ლიტერატურა – References –Литература

1. მონაცემები ელექტროენერგეტიკული სისტემიდან (gse.com.ge)
2. მაგრაქველიძე თ., ლომიძე ხ. საქართველოს ელექტროენერგეტიკული სისტემის ოპტიმალური სტრუქტურის შესახებ ორგანულ სათბობებზე ფასების ზრდის ტენდენციის გათვალისწინებით. სტუ-ის არჩილ ელიაშვილის სახელობის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული. 2005. გვ. 106-110.
3. მაგრაქველიძე თ., ლომიძე ხ., ჯანიკაშვილი მ., არჩვაძე ი. მომავალ ათწლეულებში საქართველოს ელექტროენერგიით დაკმაყოფილების ზოგიერთი საკითხის შესახებ. სტუ-ის არჩილ ელიაშვილის სახელობის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული. 2019. N23, გვ. 53-59.
4. მაგრაქველიძე თ., ლომიძე ხ., ჯანიკაშვილი მ., არჩვაძე ი. „ჭკვიანი“ ქსელები და მაგენერირებელი ელექტროსადგურების სტრუქტურა. არჩილ ელიაშვილის სახელობის მართვის სისტემების ინსტიტუტი. შრომათა კრებული. 2021, N25. გვ. 74-79.
5. თ. მაგრაქველიძე, ხ. ლომიძე, მ. ჯანიკაშვილი, ი. არჩვაძე. უახლოეს ათწლეულებში საქართველოს ელექტროენერგიით უზრუნველყოფის ზოგიერთი საკითხის შესახებ. სტუ არჩილ ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული, 2023, № 27. თბილისი. გვ. 70-75.
6. https://www.gse.com.ge/sw/static/file/ANNUAL_REPORT_2021-22_GEO_1.pdf
7. sakartvelos_sakhelmcifos_energetikuli_politika_damtkicebuli_.pdf (economy.ge)
8. Мировая Энергетика – 2050. М. Энергия, 2011г, 360с.
9. В.И.Гомелаури, А.И.Мусхелишвили. О применении тепловых насосов на чайных фабриках Грузинской ССР. Академия Наук Грузинской ССР–Труды Института Энергетики, т.X, 1956
10. https://habr.com/ru/post/390361/

სარევიანი აპარატის კედლიდან თბოგაცემის ინტენსიურობაზე ხელოვნური ხორკლიანობის გავლენის ექსპერიმენტული გამოკვლევა

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

qveli17@yahoo.com

რეზიუმე

სტატიაში დასაბუთებულია სარევიან აპარატებში თბოგაცემის ინტენსიფიკაციის უაღრესად დიდი მნიშვნელობა. სათანადო ლიტერატურული მონაცემების ანალიზის საფუძველზე გაკეთებულია დასკვნა იმის თაობაზე, რომ სარევიანი აპარატის კედლიდან თბოგაცემის ინტენსიფიკაციისათვის ხელოვნური ხორკლიანობის მეთოდის გამოყენება პრაქტიკულად შეუსწავლელია. ამასთან ერთად, აღნიშნულია, რომ ეს მეთოდი შეიძლება ძალზე მნიშვნელოვანი აღმოჩნდეს სარევიანი აპარატების ეფექტურობის ამაღლების საქმეში.

წარმოდგენილია ავტორთა მიერ დამუშავებული ექსპერიმენტული დანადგარის პრინციპული სქემა, ცდების ჩატარების თანმიმდევრობის, გაზომვებისა და ექსპერიმენტული მონაცემების დამუშავების საკითხები. მოყვანილია მიღებული ექსპერიმენტული შედეგები, რომელთა თანახმად ხელოვნური ხორკლიანობის მეთოდის გამოყენება სარევიან აპარატის კედლიდან თბოგაცემის მნიშვნელოვან ინტენსიფიკაციას განაპირობებს. გაკეთებულია სათანადო დასკვნა.

საკვანძო სიტყვები:

სარევიანი აპარატი, თბოგაცემა, ხორკლიანობა

შესავალი

ტურბულენტურ ნაკადში თბოგაცემის პროცესი, როგორც ცნობილია, შეიძლება მიმდინარეობდეს როგორც არხებში სითხის იძულებითი მოძრაობის დროს, ისე რაიმე მოცულობაში სითხის არევის პირობებში.

კვების, ქიმიური და გადამამუშავებელი მრეწველობის ობიექტებში მიმდინარე ტექნოლოგიურ პროცესებში ფართოდ გამოიყენება სარევიანი მოცულობითი ტიპის აპარატები. ამ აპარატებში ტექნოლოგიური პროცესების მიმდინარეობა მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული თბოგაცემის ინტენსიურობაზე, რაც თბოგაცემის ინტენსიფიკაციის მეთოდების გამოძებნას, გამოკვლევას და, ამის საფუძველზე, საუკეთესო მეთოდის დადგენას უაღრესად დიდ მნიშვნელობას ანიჭებს.

როგორც ცნობილია, თბოგაცემის ინტენსიფიკაციის ერთ-ერთ ეფექტურ საშუალებას წარმოადგენს ხელოვნური ხორკლიანობის მეთოდის გამოყენება. აღნიშნული მეთოდის ეფექტი საფუძვლიანადაა შესწავლილი არხებში ტურბულენტური ნაკადის (ან ნაკადში) თბოგაცემის პირობებში. გამოკვლევებით დადასტურებულია, რომ თბოგამცემ ზედაპირზე ხელოვნური ხორკლიანობის შექმნა განაპირობებს თბოგაცემის ინტენსიურობის (2,5 – 3)-ჯერ გაზრდას. ამასთან ერთად, ცხადია, იზრდება ჰიდრავლიკური წინააღმდეგობაც (3-ჯერ და მეტად).

სარევიან აპარატში ხელოვნური ხორკლიანობის მეთოდით თბოგაცემის ინტენსიფიკაციის საკითხები პირველად იქნა ექსპერიმენტულად გამოკვლეული ავტორთა მიერ ადრე ჩატარებულ სამუშაოებში. ამ გამოკვლევებში ნაჩვენები იყო, რომ სარევიან აპარატში ჩაშვებული კლაკნილი მილის ერთ ხვიაზე ხელოვნური ხორკლიანობის შექმნა განაპირობებს თბოგაცემის ინტენსიურობის ზრდას დაახლოებით 100%-ით.

ამასთან ერთად, ცნობილია, რომ ფართოდ არის გავრცელებული ისეთი სარევიანი აპარატები, რომლებშიც თბოგაცემის პროცესი მიმდინარეობს აპარატის კედლიდან ან პირუკუ. ცხადია, ასეთ პირობებში თბოგაცემის ინტენსიფიკაციის მეთოდების დამუშავებას და საფუძვლიანად გამოკვლევას უაღრესად დიდი მნიშვნელობა აქვს, მით უმეტეს, რომ რამდენადაც ჩვენთვის ცნობილია, ასეთი გამოკვლევები პრაქტიკულად დღემდე არ ჩატარებულა.

ყოველივე ზემოთქმულიდან გამომდინარე საკითხი მეტისმეტად აქტუალურია და მის შესწავლას უაღრესად დიდი თეორიული და პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს.

ასეთი გამოკვლევა ავტორთა მიერ ჩატარდა არჩილ ელიაშვილის სახელობის მართვის სისტემების ინსტიტუტში.

წინამდებარე სტატიაში წარმოდგენილია ამ გამოკვლევაში მიღებული შედეგების ნაწილი.

პრობლემის თანამედროვე მდგომარეობა

სარევიანი აპარატების პრაქტიკაში ფართოდ გამოყენებამ აქტუალური გახადა ასეთ აპარატებში თბოგაცემის ინტენსიფიკაცია. ამჟამად თბოგაცემის საინტენსიფიკაციოდ ფართოდ გამოიყენება აპარატში ამრეკლი ტიხრების განთავსება, რაც თბოგაცემის 30-40%-ით ზრდას უზრუნველყოფს. ამასთან ერთად, როგორც სათანადო გამოკვლევებით დასტურდება, ასეთი ტიხრების განთავსება აპარატში განაპირობებს სითხის არევისათვის საჭირო სიმძლავრის მნიშვნელოვან ზრდას (400-500%) [1,2].

ცნობილია, რომ თბოგაცემის ინტენსიფიკაციის ერთ-ერთ ეფექტურ საშუალებას წარმოადგენს ხელოვნური ხორკლიანობის მეთოდის გამოყენება. აღნიშნული მეთოდის ეფექტი საფუძვლიანადაა შესწავლილი არხებში ტურბულენტური ნაკადის თბოგაცემის პირობებში.

მე-20 საუკუნის 30-იან წლებში გეტინგენის ჰიდრომექანიკის ინსტიტუტში ი.ნიკურაძის მიერ ჩატარებულმა კლასიკურმა გამოკვლევებმა ფაქტობრივად საფუძველი ჩაუყარეს ხელოვნური ხორკლიანობის მქონე ზედაპირების სითხის ნაკადით გარსდენის ჰიდროდინამიკური კანონზომიერებების შესწავლას [3].

პირველი საფუძვლიანი გამოკვლევა, რომელშიც შესწავლილი იყო ხორკლიანი მილების თბოგაცემის საკითხები, გამოქვეყნდა ვ.ნუნერის მიერ [4].

უდიდესია აკად. ვ.გომელაურისა და მისი მოწაფეების წვლილი ხორკლიანი ზედაპირების გარსდენის ჰიდროდინამიკის, კონვექციური თბოგაცემისა და დუღილის პროცესების თეორიული და ექსპერიმენტული გამოკვლევის საქმეში [5-10].

ავტორთა მიერ გასულ წლებში პირველად იქნა გამოკვლეული ხელოვნური ხორკლიანობის გავლენა თბოგაცემის კოეფიციენტზე ცილინდრულ ჭურჭელში სითხის ტურბულენტური არევის დროს. ამ გამოკვლევებით დადასტურებულ იქნა ხელოვნური ხორკლიანობის მეთოდის ეფექტურობა სარევიან აპარატებში [11, 12].

[11, 12] სამუშაოებში, რომლებშიც თბომტარად გამოყენებული იყო დისტილირებული წყალი, პირველად იქნა მიღებული შედეგები, რომელთა თანახმად სარევიან აპარატში ჩაშვებული კლაკნილი მილის თბოგამცემ ზედაპირზე ორგანზომილებიანი ხორკლიანობის შექმნა განაპირობებს კონვექციური თბოგაცემის ინტენსიურობის მნიშვნელოვან ზრდას. ამასთან, ამ შემთხვევაში ხორკლიანობის ეფექტი უფრო მცირეა, ვიდრე არხებში სითხის ტურბულენტური დინების დროს. დადგენილია აღნიშნული განსხვავებების მიზეზები.

აღნიშნულ სამუშაოებში დადგენილია აგრეთვე ორგანზომილებიანი ხელოვნური ხორკლიანობის გეომეტრიული პარამეტრების ოპტიმალური მნიშვნელობა, რომლის დროსაც მიიღწევა თბოგაცემის მაქსიმალური ინტენსიფიკაცია. შესწავლილია თბოგაცემის ინტენ-სიურობაზე ხორკლიანობის ელემენტების სიმაღლის გავლენა. დადგენილია თბოგაცემის ინტენსიურობაზე ხორკლიანობის გამოვლინების რეჟიმები. მიღებულია დიდ მოცულობაში სითხის ტურბულენტური არევის დროს ხორკლიანი ზედაპირების თბოგაცემის კოეფიციენტის საანგარიშო კრიტერიული განტოლება, რომელიც კარგად აზოგადებს ექსპერიმენტულ მონაცემებს. აღსანიშნავია, რომ ზემოხსენებულ გამოკვლევებში თბოგამცემ

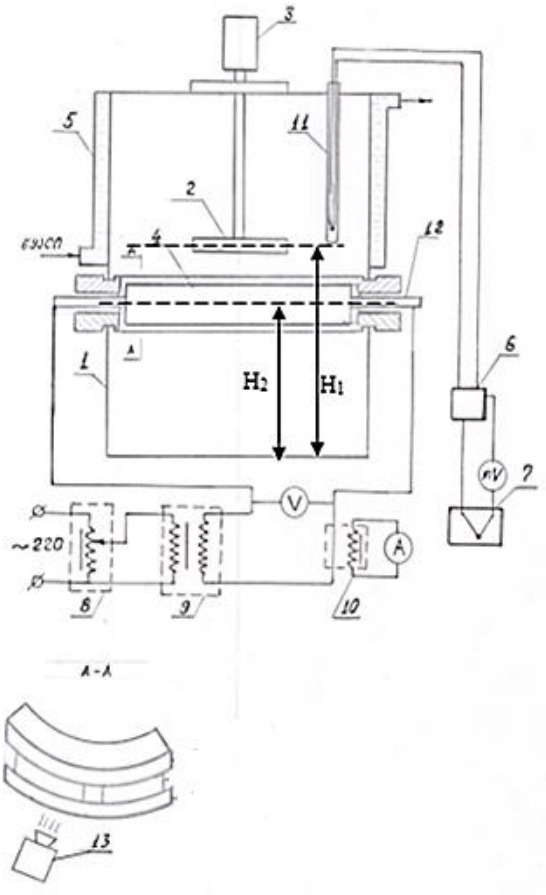
ელემენტად გამოყენებული იყო კლაკნილი მილის ერთი ხვია, რომელზეც დაიტანებოდა სხვადასხვა გეომეტრიული პარამეტრების მქონე ორგანზომილებიანი ხორკლიანობა.

რამდენადაც ჩვენთვის ცნობილია, სარევიანი აპარატის კედლიდან თბოგაცემის ინტენსიფიკაციის ექსპერიმენტები ხელოვნური ხორკლიანობის მეთოდის გამოყენებით არ ჩატარებულა. ასეთი ექსპერიმენტების ჩატარება განსაკუთრებულ ინტერესს იმსახურებს იმის გამო, რომ არსებული სარევიანი აპარატების დიდ უმრავლესობაში თბოგაცემა მიმდინარეობს სწორედ ჭურჭლის კედლიდან (ან პირუკუ). ამასთან ერთად, ვინაიდან ჭურჭელში სითხის არევის დროს მოძრაობას აქვს რთული ხასიათი, კერძოდ, ამ შემთხვევაში სითხის მოძრაობა ხასიათდება რადიალური, ტანგენციალური და აქსიალური მდგენელებით, ამ შემთხვევაში ხორკლიანობის ეფექტი თბოგაცემაზე განსხვავებული უნდა იყოს [11, 12]-ში მიღებული შედეგებისგან.

ყოველივე ზემოთქმულიდან გამომდინარე, საკითხი მეტისმეტად აქტუალურია და მის შესწავლას უაღრესად დიდი მნიშვნელობა აქვს.

ექსპერიმენტული დანადგარი

საკითხის აქტუალურობიდან გამომდინარე, ავტორებმა მიზნად დავისახეთ გაგვეფართოებინა გამოკვლევის დიაპაზონი, რისთვისაც დამუშავდა ექსპერიმენტული დანადგარის სქემა, რომელიც წარმოდგენილია 1-ლ ნახაზზე.



ნახ.1. ექსპერიმენტული დანადგარის პრინციპული სქემა

1-სარევიანი აპარატი; 2-სარევი; 3-მიქსერი; 4-თბოგამცემი ელემენტი; 5-გამაციებელი პერანგი; 6-გადამრთველი; 7-თერმოწყვილის „ნული“; 8-მარეგულირებელი ტრანსფორმატორი; 9-ძაბვის დამადაბლებელი ტრანსფორმატორი; 10-დენის ტრანსფორმატორი; 11-თერმოწყვილი; 12-დენმიმყვანები; 13-თერმული კამერა

დანადგარის ძირითად კვანძს წარმოადგენს უჟანგავი ფოლადისაგან დამზადებული ცილინდრული ფორმის ჭურჭელი (1), რომლის დიამეტრი d=195მმ, ხოლო სიმაღლე H=300მმ. დანადგარი აღჭურვილია სარევით (2), რომელიც ბრუნვით მოძრაობაში მოდის მიქსერის (3) საშუალებით. წარმოდგენილ ექსპერიმენტებში გამოყენებული იყო ორნიჩბიანი სარევი ვერტიკალური ნიჩბებით. ცილინდრული ჭურჭლის დაახლოებით შუა წელში ჩამონტაჟებულია გეტინაქსის რგოლი, რომლის შიდა კედელზეც ტემპერატურაგამძლე და წყალგაუმტარი წებოთი დაწებებულია თბოგამცემი ელემენტი (4). თბოგამცემი ელემენტი დამზადებულია უჟანგავი ფოლადის ბრტყელი ფირფიტისაგან, რომლის სიგანე B=35მმ, ხოლო სიგრძე L=260მმ. თბოგამცემი ელემენტი ხურდება მასში დაბალი ძაბვის ცვლადი დენის გატარებით. ამისათვის გამოყენებულია РНО-250-10 მარეგულირებელი ტრანსფორმატორი (8) და ძაბვის დამადაბლებელი ტრანსფორმატორი ОСУ-20 (9). ფირფიტაში გამავალი დენის ძალის გასაზომად გამოყენებულია დენის ტრანსფორმატორი УТТ-5 (10). ჭურჭელში ექსპერიმენტების დროს სტაციონარული რეჟიმის შესანარჩუნებლად აპარატი აღჭურვილია გამაცივებელი პერანგით (5). ექსპერიმენტებში იზომება სარევის ბრუნთა რიცხვი, ექსპერიმენტულ უბანში გამავალი დენის ძალა, ამ უბანზე ძაბვის ვარდნა. სითხის ტემპერატურა იზომება ხრომელ-ალემელის თერმოწყვილით (11), ხოლო კედლის ტემპერატურა თერმული კამერით (13). როგორც დენის ძალა და ძაბვის ვარდნა, ისე თერმოწყვილებში აღძრული ე.მ.ძ. იზომება თანამედროვე მაღალი კლასის ციფრული ხელსაწყოებით. თბოგაცემის ინტენსიურობა ექსპერიმენტებში განისაზღვრება როგორც გლუვი, ისე სხვადასხვა გეომეტრიული პარამეტრების ორგანზომილებიანი ხორკლიანობის მქონე თბოგამცემი ელემენტისათვის. ექსპერიმენტებში თბოგადამტანად გამოყენებული იყო დისტილირებული წყალი.

ექსპერიმენტების შედეგები და მათი ანალიზი

დანადგარზე ჩატარდა ექსპერიმენტები გლუვი და ორგანზომილებიანი ხორკლიანობის მქონე თბოგამცემი ზედაპირებისათვის. ექსპერიმენტებში თბოგამცემ ელემენტად გამოყენებული იყო უჟანგავი ფოლადისაგან დამზადებული ბრტყელი ფირფიტა. ფირფიტის სიგრძე იყო 260 მმ, ხოლო სიგანე 35 მმ. ფირფიტაზე ორგანზომილებიანი ხორკლიანობა იქმნებოდა სარევიან აპარატში წყლის ნაკადის ტანგენციალური მდგენელის მართობულად. ხორკლიანობის ელემენტის სიმაღლე h=1მმ, ხოლო ხორკლიანობის ელემენტებს შორის ბიჯის ფარდობა სიმაღლესთან s/h=5, 10. ექსპერიმენტები ჩატარდა ორნიჩბიანი სარევის გამოყენებით, სარევის ნიჩბის დიამეტრის სხვადასხვა მნიშვნელობებისათვის, კერძოდ, d=33მმ, 65მმ, 85მმ, 100მმ. თბოგადამტანად გამოყენებული იყო წყალი. ექსპერიმენტების შედეგები კოორდინატებში (Re, $Nu/((D/d)^{0.35}Pr^{0.33})$ წარმოდგენილია ნახაზზე 2.

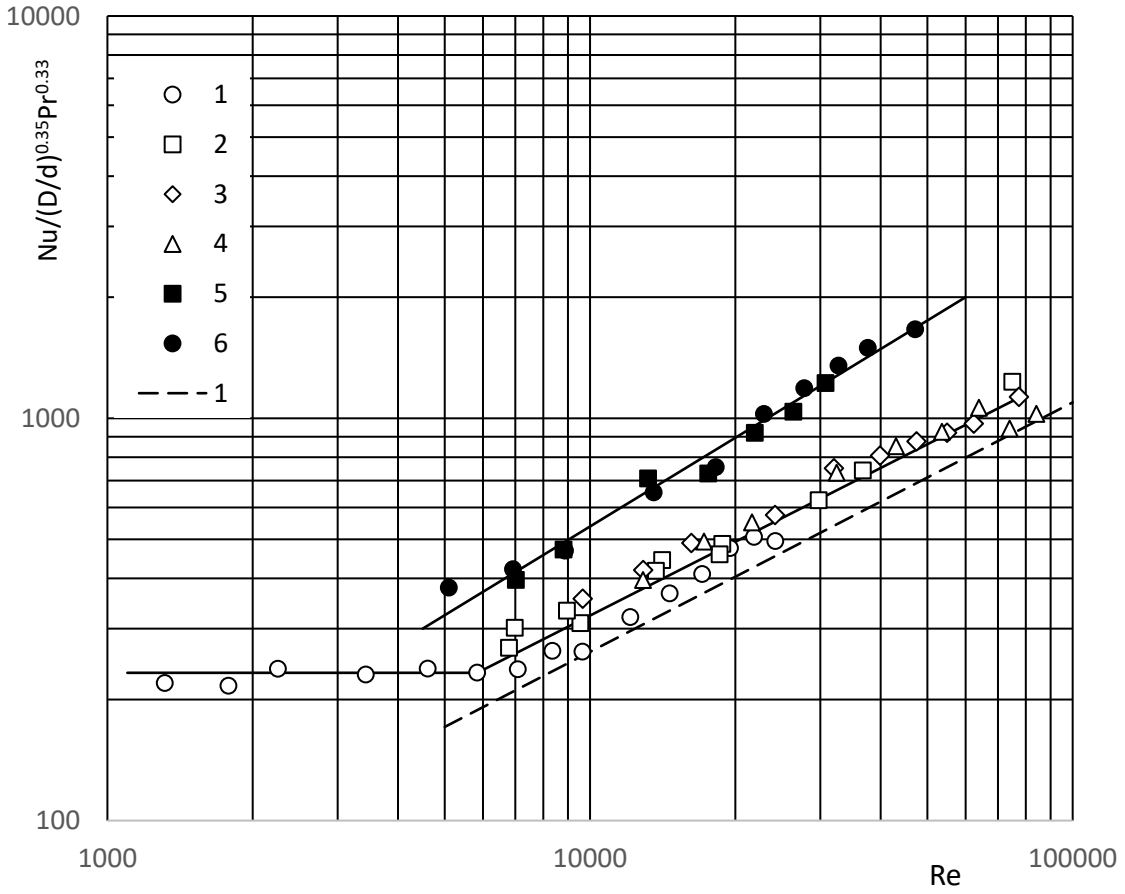
აღნიშნული ექსპერიმენტებით დადასტურდა, რომ გლუვი ზედაპირებისათვის თბოგაცემის ინტენსიურობა იმ შემთხვევაში, როცა Re < 7000 (ლამინარული რეჟიმი), თბოგაცემის ინტენსიურობა პრაქტიკულად არ არის დამოკიდებული რეინოლდსის რიცხვზე, ხოლო როცა Re > 7000 (ტურბულენტური რეჟიმი) თბოგაცემის ინტენსიურობა მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული რეინოლდსის რიცხვზე და

$$Nu \sim Re^{0.64},\ Nu \sim Pr^{0.33} \text{ და } Nu \sim \left(\frac{D}{d}\right)^{0.35}$$

როგორც აღნიშნული ნახაზიდან ჩანს, ჩვენ მიერ მიღებული ექსპერიმენტების შედეგები გლუვი ზედაპირისათვის დამაკმაყოფილებელ თანხვედრაშია ლიტერატურაში არსებულ მონაცემებთან [1]. კერძოდ, კრიტერიულ განტოლებასთან

$$Nu = 0{,}87 * Re^{0.62}\ Pr^{0.33}\ V^{0.14} \qquad (1)$$

ფორმულა (1) მიღებულია (D/d)-ს საკმაოდ მცირე მნიშვნელობებისათვის.



ნახ.2. თბოგაცემის ინტენსიურობის დამოკიდებულება Re რიცხვზე სარევის სხვადასხვა დიამეტრის დროს, ΔH=0

გლუვი ზედაპირი: 1- d = 33 მმ; 2 - d = 65 მმ; 3 - d = 85 მმ; 4 - d = 100 მმ;

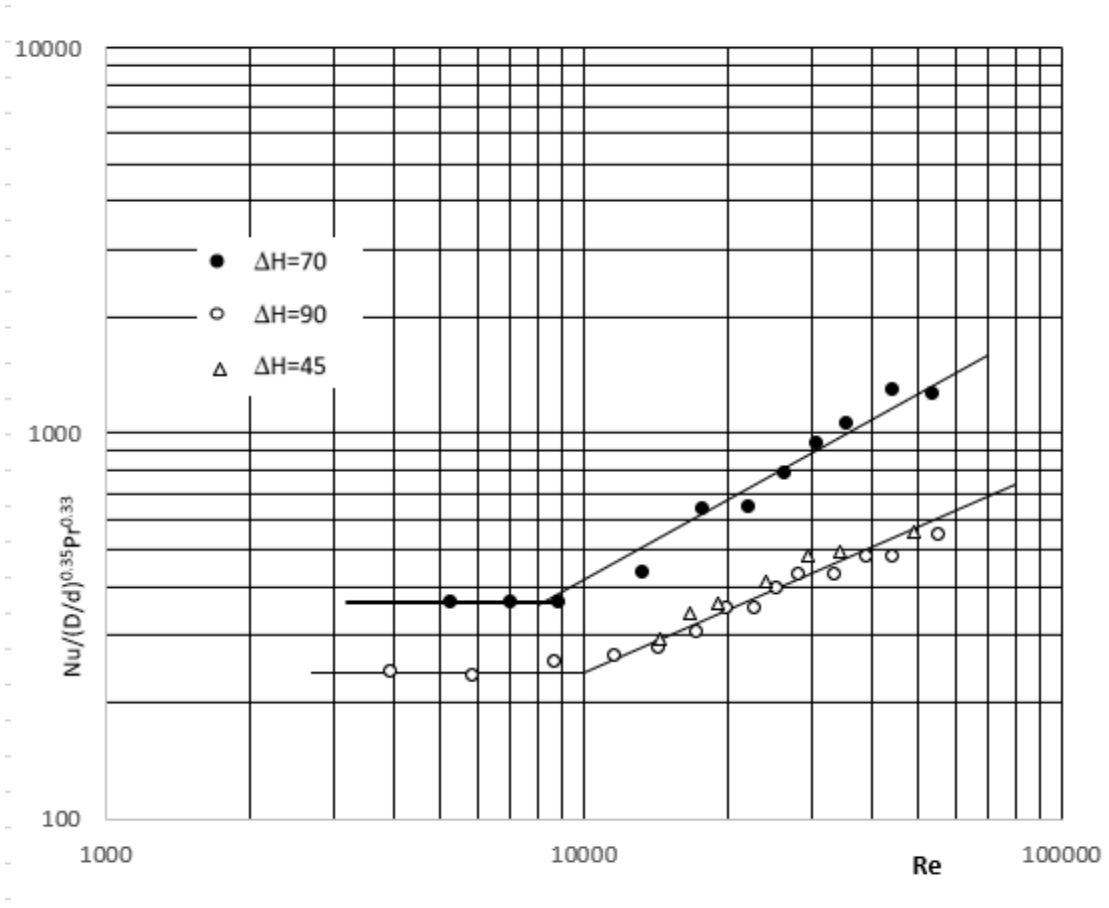
ხორკლიანი ზედაპირები, d = 65 მმ: 5 – h= 1 მმ, s= 5 მმ; 6 - h= 1 მმ, s= 10 მმ;

1 – (1) ფორმულის მიხედვით.

ამასთან ერთად, წარმოდგენილი ექსპერიმენტები ცხადყოფენ, რომ სითხის არევის ტურბულენტურ რეჟიმში თბოგაცემის ინტენსიურობა ხორკლიანი ზედაპირისათვის, როცა s/h=5, 10 მნიშვნელოვნად აღემატება გლუვი ზედაპირის თბოგაცემის ინტენსიურობას.

ყურადღებას იმსახურებს ის ფაქტი, რომ ნახაზ 2-ზე წარმოდგენილი ექსპერიმენტული მონაცემების თანახმად, ოპტიმალური გეომეტრიული პარამეტრების მქონე, ორგანზომილებიანი ხორკლიანობის გავლენით თბოგაცემის კოეფიციენტი იზრდება დაახლოებით 1.7-ჯერ. მაშინ, როდესაც არხებში დინების შემთხვევაში თბოგაცემის კოეფიციენტი იზრდება 2,5-ჯერ და მეტად. ამ განსხვავების მიზეზად უნდა ჩაითვალოს შემდეგი გარემოება. როგორც ცნობილია, სარევიან აპარატში სითხის არევის დროს მოძრაობა შედგება სამი კომპონენტისაგან: ტანგენციალური, რადიალური და აქსიალური. ამასთან, ცნობილია ისიც, რომ ვერტიკალურად განთავსებული ნიჩბების შემთხვევაში ტანგენციალური მდგენელი მნიშვნელოვნად ჭარბობს რადიალურ და აქსიალურ მდგენელებს. ცხადია, რომ ჩვენ მიერ გამოყენებული ორგანზომილებიანი ხორკლიანობის შემთხვევაში რადიალური და აქსიალური მდგენელებით გამოწვეული ინტენსიფიკაცია პრაქტიკულად ნულის ტოლი იქნება. მაშინ, როდესაც ეს მდგენელები გლუვი ზედაპირის შემთხვევაში თბოგაცემას შესამჩნევად ზრდიან. ცხადია, თუ გამოვრიცხავთ თბოგამცემ ზედაპირზე რადიალური და აქსიალური მდგენელების ზემოქმედებას, თბოგაცემის ჯამური

ინტენსიურობა დაიკლებს როგორც გლუვი, ისე ხორკლიანი ზედაპირებისათვის. მაგრამ, ეს დაკლება უფრო მეტი იქნება გლუვი ზედაპირებისათვის და გაცილებით ნაკლები ხორკლიანი ზედაპირებისათვის. ამის დასადასტურებლად ჩვენ მიერ ჩატარდა ექსპერიმენტები იმ პირობებში, როდესაც სარევისა და თბოგამცემი ელემენტის ჭურჭელში განთავსების დონე იყო სხვადასხვა. კერძოდ, $\Delta H=H_1 - H_2$ შეადგენდა 45მმ, 70მმ, 90მმ. ცხადია, რომ ასეთ ექსპერიმენტებში მთლიანად იყო გამორიცხული ნაკადის რადიალური კომპონენტის ზემოქმედება თბოგამცემ ზედაპირზე. შესაბამისად, ჩვენი ვარაუდით, ხორკლიანობის ეფექტი ასეთ შემთხვევაში უნდა ყოფილიყო უფრო მეტი, ვიდრე იმ შემთხვევაში, როდესაც $\Delta H=0$. ამის დამადასტურებელი ექსპერიმენტების შედეგები წარმოდგენილია ნახაზზე 3.



ნახ.3. თბოგაცემის ინტენსივობის დამოკიდებულება Re რიცხვზე
გლუვი ზედაპირები: 1-ΔH=45 მმ, 2-ΔH=90 მმ;
ხორკლიანი ზედაპირი: 3-ΔH=70 მმ.

როგორც აღნიშნული ნახაზიდან ჩანს, ამ შემთხვევაში ხორკლიანი ზედაპირების თბოგაცემის ინტენსიურობა დაახლოებით 2-ჯერ და მეტად აღემატება გლუვი ზედაპირის თბოგაცემის ინტენსიურობას, რაც ჩვენ მიერ წარმოდგენილი მოსაზრების დადასტურებად უნდა ჩაითვალოს. უნდა აღინიშნოს, რომ აქსიალური მდგენელის გავლენა თბოგაცემაზე შედარებით უმნიშვნელოა.

დასკვნა

ჩატარებული ექსპერიმენტების შედეგად დადგენილია, რომ ორგანზომილებიანი ხორკლიანობის მეთოდის გამოყენებით შესაძლებელია სარევიან აპარატში თბოგაცემის ინტენსიურობა გაზრდილ იქნეს 2-ჯერ და მეტად.

ნაჩვენებია ხორკლიანობის მეთოდის უპირატესობა ამრეკლი ტიხრების მეთოდთან შედარებით სარევიან აპარატებში თბოგაცემის საინტენსიფიკაციოდ.

ძირითადი აღნიშვნები

$Nu = \frac{\alpha D}{\lambda}$ არის ნუსელტის კრიტერიუმი, $Re = \frac{n\,d^2}{\nu}$ - რეინოლდსის კრიტერიუმი, $Pr = \frac{\nu}{a}$ - პრანდტლის კრიტერიუმი. a - ტემპერატურაგამტარობის კოეფიციენტი, მ²/წმ; α - თბოგაცემის კოეფიციენტი, ვტ/მ² K; D - აპარატის დიამეტრი, მ; d - სარევის დიამეტრი, მ; λ - სითხის თბოგამტარობის კოეფიციენტი, ვტ/მ K; n - სარევის ბრუნთა რიცხვი, 1/წმ; ν - სითხის კინემატიკური სიბლანტის კოეფიციენტი, მ² /წმ; h - ხორკლიანობის ელემენტების სიმაღლე, მ; s - ბიჯი ხორკლიანობის ელემენტებს შორის, მ. V - კედლისა და სითხის ტემპერატურების შესაბამისი სიბლანტის კოეფიციენტების ფარდობა.

Experimental study of the influence of artificial roughness on the intensity of heat transfer from the wall of a stirred apparatus

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

Khatuna Lomidze

Summary

The article substantiates the extremely great importance of heat transfer intensification in stirred apparatuses. Based on the analysis of relevant literature data, it is concluded that the use of artificial roughness for the intensification of heat transfer from the wall of a stirred apparatus is practically unstudied. At the same time, it is noted that this method may be very important in increasing the efficiency of stirred apparatuses.

The principal scheme of the experimental apparatus developed by the authors, the sequence of experiments, measurements and experimental data processing issues are presented. The experimental results obtained are presented, according to which the use of the artificial roughness method leads to a significant intensification of heat transfer from the wall of a stirred apparatus. An appropriate conclusion is made.

Экспериментальное исследование влияния искусственной шероховатости на интенсивность теплоотдачи стенки аппарата с мешалкой

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

Резюме

В статье обосновано исключительно большое значение интенсификации теплоотдачи в аппаратах с мешалками. На основе анализа литературных данных сделан вывод о том, что

применение метода искусственной шероховатости для интенсификации теплоотдачи со стенок перемешивающих аппаратов практически не изучено. В то же время отмечено, что данный метод может иметь большое значение для повышения эффективности перемешивающих аппаратов.

Представлены принципиальная схема разработанной авторами экспериментальной установки, последовательность проведения экспериментов, измерений и вопросы обработки экспериментальных данных. Приведены полученные экспериментальные результаты, согласно которым использование метода искусственной шероховатости приводит к существенной интенсификации теплоотдачи со стенок аппаратов с мешалкой. Сделан соответствующий вывод.

ლიტერატურა – References – Литература

1. Л.Н. Брагинский, В.И. Бегачев, В.М. Барабаш. Перемешивание в жидких средах. Ленинград. "Химия". 1984.
2. З.Штербачек, П.Тауск. Перемешивание в химической промышленности. Ленинград, "Химия". 1963.
3. Nikuradze J. – Stromungsgesetze in rouhen Rohren, VDI Forschgscheft, N361, 1933, s.16-53
4. Nunner W. –Warmeubengang und druckabfall in rouhen rohren.VDI Forschungscheft, 1956, 455s.
5. Gomelauri V. – Influence of two – dimensional artificial roughness on convective heat transfer. Int. J. of Heat and Mass Transfer, v.7, N6, 1964, pp.653-663.
6. Гомелаури В.И., Канделаки Р.Д., Кипшидзе М.Е. Интенсификация конвективного теплообмена под воздействием искусственной шероховатости. В кн. Вопросы конвективного теплообмена и чистаты водяного пара. Изд-во АН ГССР, 1970, с.98-131.
7. Гомелаури В.И., Магракведидзе Т. Ш., Микашавидзе А.Н. Хоштария А.Г. Чучулашвили Т.А. Экспериментальное исследование интенсификации теплоотдачи перегретого пара методом двухразмерной шероховатости. Сообщения АН ГССР, 1974, том 75, №2, с.409-412.
8. Гомелаури В.И. Магракведидзе Т.Ш., Микашавидзе А.Н. Джамарджашвили В.А. Чучулашвили Т.А. Экспериментальное исследование интенсификации теплоотдачи гелия методом двухразмерной шероховатости. Сообщения АН ГССР, 1974, том 79, №1, с.137-140.
9. მაგრაქველიძე თ.შ. ხაოიანი ზედაპირების თბოგადაცემა პრანდტლის რიცხვის ზომიერი მნიშვნელობების დროს. ენერგია. 1998, N2, თბილისი, გვ.83-88.
10. Т. Магракведидзе - О механизме теплоотдачи шероховатых поверхностей. Материалы международной научной конференции “Проблемы управления и Энергетики - PCPE-2004“. Тбилиси, PE22(613-617).
11. Ш.Абрамидзе, В.Гомелаури, Р.Канделаки, Г.Кикнадзе. Исследование теплообмена в активной зоне ядерного реактора типа ИРТ с искусственной шероховатостью на оболочках тепловыделяющих элементов. В сб. Вопросы конвективного теплообмена и чистоты водянного пара. Изд.АН ГССР, Мецниереба. Тбилиси.1970.
12. Гомелаури В.И., Магракведидзе Т. Ш. Экспериментальное исследование влияния двухразмерной шероховатости на критические тепловые нагрузки и теплообмен при кипении в потоке недогретой воды. Теплоэнергетика (Москва), 1976, №6, с.4-8.
13. Гомелаури В.И., Магракведидзе Т.Ш., Леквеишвили Н.Н. Воздействие двух размерной искусственной шероховатости на процесс образования отложений на теплоотдающих поверхностях. Теплоэнергетика, Москва, 1992, №8, с.39-42.

14. მაგრაქველიძე თ., ბანცაძე ნ., ლეკვეიშვილი ნ. თბოგაცემის ინტენსიფიკაცია დიდ მოცულობაში სითხის ტურბულენტური არევის დროს. არჩილ ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტი, შრომათა კრებული. თბილისი. 1997. გვ. 93-99.
15. Магаквелидзе Т.Ш., Банцадзе Н.О., Леквеишвили Н.Н. –Интенсификация теплоотдачи в аппара-те с мешалкой. Тезисы докладов и сообщений 5-го Минского международного форума по тепло- и массообменну, Минск, 2004г. т2, ст429-430. Тр. форума: http://www.itmo.by/forum/mif5/doc.html
16. Магаквелидзе Т., Банцадзе Н., Леквеишвили Н. - Влияние шероховатости на процессы конвективной теплоотдачи и пузырькового кипения при перемешивании жидкости в большом объеме. Материалы международной научной конференции “Проблемы управления и Энергетики - PCPE-2004“. Тбилиси, 2004, PE23(618-622).
17. Магаквелидзе Т., Банцадзе Н., Леквеишвили Н. Интенсификация теплообмена в аппарате с мешалкой методом искусственной шероховатости. ИСУ им. А.И.Елиашвил Сборник трудов. 2005, Тбилиси, с.111-117.
18. თ. მაგრაქველიძე, ა. მიქაშავიძე, ნ. ბანცაძე, ხ. ლომიძე, ც. შენგელაია, ი. მანთიძე. კედლის ზედაპირის ხაოიანობის გავლენა ცილინდრულ ჭურჭელში სითხის არევისათვის საჭირო სიმძლავრეზე. არჩილ ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტი. შრომათა კრებული. თბილისი. 2015. გვ.49-54.

ტურბულენტურ ნაკადში სიჩქარის პულსაციური მდგენელების განსაზღვრის ზოგიერთი საკითხის შესახებ

თენგიზ მაგრაქველიძე

qveli17@yahoo.com

რეზიუმე

სტატიაში მოკლედ არის ნაჩვენები ტურბულენტური ნაკადებისთვის დამახასიათებელი პროცესების სირთულე და მათი შემდგომი შესწავლის აქტუალურობა. აღნიშნულია ამ სფეროში მოღვაწე მეცნიერების ო. რეინოლდსის, ლ. პრანდტლის, თ. კარმანის. ი. ნიკურაძისა და სხვათა დიდი ღვაწლი ტურბულენტურ დინებასთან დაკავშირებული პრობლემების კვლევისა და გადაჭრის საქმეში. გამახვილებულია ყურადღება სიჩქარის პულსაციური კომპონენტების ბუნების შესწავლის თეორიულ და პრაქტიკულ მნიშვნელობაზე.

შემოთავაზებულია სითხის ნაკადის სიჩქარის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი კომპონენტის, განივი პულსაციური მდგენელის საანგარიშო ფორმულა, რომელიც ძალზე კარგად აზოგადებს ჯ. ლაუფერის, და ასევე, ჟ. კონტ-ბელოს ცნობილ ექსპერიმენტულ მონაცემებს არა მარტო კედლის უშუალო მახლობლობაში, არამედ ნაკადის მთელ განივკვეთში.

აღნიშნულია, რომ შემოთავაზებული ფორმულის მიღების მექანიზმი და თანმიმდევრობა დაწვრილებით იქნება აღწერილი სტატიაში, რომელიც ახლო მომავალში გამოქვეყნდება.

საკვანძო სიტყვები:

ტურბულენტური დინება, სიჩქარის პულსაციები, დინამიკური სიჩქარე, მხები ძაბვა.

როგორც ცნობილია, ო. რეინოლდსის მიერ ტურბულენტური დინების აღმოჩენიდან [1], თითქმის საუკუნე ნახევრის შემდეგაც კი, ვერ მოხერხდა ამ ურთულეს მოვლენასთან დაკავშირებული უმნიშვნელოვანესი პრობლემების სათანადო დონეზე გადაჭრა. დღესაც რჩება მრავალი საკითხი, რომელთა შემდგომი კვლევა უაღრესად აქტუალურია. ასეთ საკითხთა რიცხვს უდავოდ განეკუთვნება ტურბულენტურ ნაკადში სითხის სიჩქარის პულსაციური მდგენელების განსაზღვრა. ამავე დროს, სიჩქარის პულსაციური მდგენელები, განსაკუთრებით კი განივი პულსაციური მდგენელი, მნიშვნელოვანწილად განაპირობებს ნაკადში როგორც მასის, ისე იმპულსისა და სითბოს გადატანის ინტენსიურობას. ყოველივე ამის გამო აღნიშნულ პრობლემას თეორიულთან ერთად უდიდესი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს.

ტურბულენტურ ნაკადში სიჩქარეთა განაწილების, პულსაციური მდგენელების განსაზღვრისა და სხვა პრობლემატური საკითხების გადაჭრაში უდიდესია ლ. პრანდტლის, თ. კარმანის და ი. ნიკურაძის როლი, რომელთა გამოკვლევებმაც სათავე დაუდეს ტურბულენ-ტური დინების შესწავლაში ნახევრად ემპირიული მეთოდების წარმატებით გამოყენებას [2-4].

შემდგომში ამ პრობლემას მიეძღვნა არაერთი გამოკვლევა, რომლებშიც მიღწეულ იქნა უაღრესად სერიოზული შედეგები. აღნიშნული შედეგების დაწვრილებითი ანალიზი შეიძლება ვიხილოთ სხვადასხვა ავტორთა საყოველთაოდ ცნობილ მონოგრაფიებში [5-10].

მიუხედავად მიღწეული შედეგებისა, საკითხის სირთულიდან და აქტუალურობიდან გამომდინარე, ამჟამადაც ინტენსიურად გრძელდება ტურბულენტურ დინებასთან დაკავშირებული პრობლემების კვლევა.

ათიოდე წლის წინ სტატიის ავტორის მიერ შემოთავაზებული იყო ტურბულენტური დინების გამარტივებული ფიზიკური მოდელი [11]. ამ მოდელის საფუძველზე ალბათობის თეორიის მეთოდების გამოყენებით, მიღებულ იქნა კედლისპირა ზონაში სითხის სიჩქარის განივი პულსაციური მდგენელის საანგარიშო ფორმულა, რომელსაც ასეთი სახე აქვს:

$$v' = u_\tau e^{-7.8/\eta}, \qquad (1)$$

სადაც v' არის სიჩქარის განივი პულსაცია, მ/წმ; $u_\tau = \sqrt{\tau_0/\rho}$ – დინამიკური სიჩქარე, მ/წმ; τ_0 – მხები ძაბვა მილის კედელზე, ნ/მ; ρ – სითხის სიმკვრივე, კგ/მ^3; $\eta = y\,u_\tau/\nu$ – უგანზომილებო მანძილი მილის კედლიდან; y – მანძილი მილის კედლიდან, მ; ν – სითხის სიბლანტის კინემატიკური კოეფიციენტი, მ^2/წმ.

როგორც [11]-ში იყო ნაჩვენები, (1) ფორმულა ძალზე კარგ თანხვედრაშია ჯ.ლაუფერის ცნობილ ექსპერიმენტულ მონაცემებთან [6].

ცხადია, რომ როგორც თეორიულ, ისე პრაქტიკულ ინტერესს იმსახურებს სიჩქარის განივი პულსაციების დადგენის საკითხი არა მხოლოდ კედლის უშუალო მახლობლობაში, არამედ ნაკადის მთელ განივკვეთში. სათანადო ფორმულა [11]-გან ოდნავ განსხვავებულ მოდელზე დაყრდნობით და ალბათობის თეორიის მეთოდის გამოყენებით მიღებულია ავტორის მიერ (დაწვრილებითი ანალიზი გამოქვეყნებული იქნება უახლოეს მომავალში).

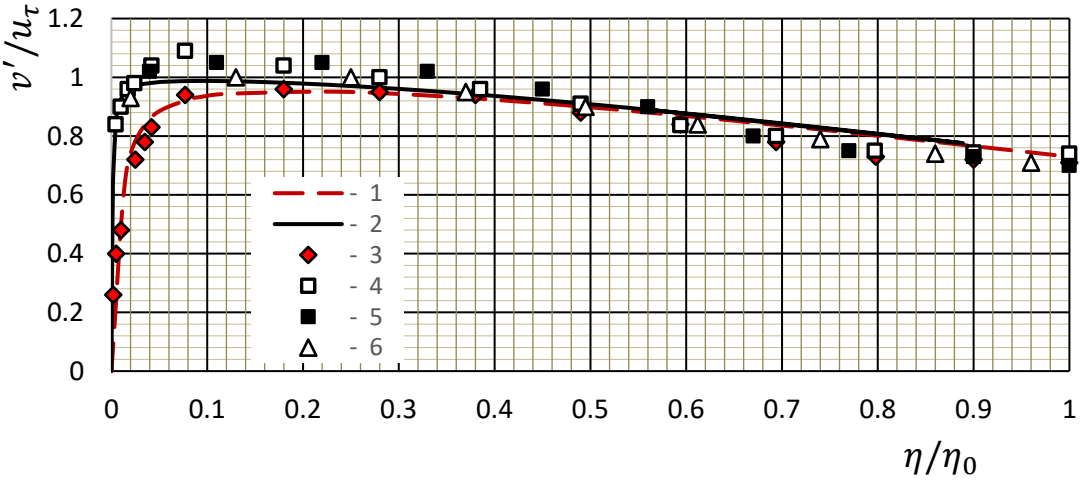
ამჯერად გთავაზობთ საბოლოო ფორმულას, რომელსაც ასეთი სახე აქვს:

$$\frac{v'}{u_\tau} = \left[e^{-7.8/\eta} + \left(1 + \eta/\eta_0\right)e^{-\eta/\eta_0} - 1\right] \qquad (2)$$

აქ $\eta_0 = \frac{u_\tau}{\nu}$ არის უგანზომილებო მანძილი მილის კედლიდან ცენტრამდე; R – მილის (არხის) რადიუსი, მ;

უნდა აღინიშნოს, რომ η-ს მცირე მნიშვნელობების შემთხვევაში (2) ფორმულა ღებულობს (1) ფორმულის სახეს, ხოლო η-ს დიდი მნიშვნელობების დროს (2) ფორმულა ასე ჩაიწერება:

$$\frac{v'}{u_\tau} = \left(1 + \eta/\eta_0\right) e^{-\eta/\eta_0} \qquad (3)$$



ნახ.1. ფორმულა (2)-ის შედარება ექსპერიმენტულ მონაცემებთან
ფორმულა (2)-ის მიხედვით: 1. Re= 50 000; 2. Re= 500 000;
ჯ. ლაუფერის ექსპერიმენტული მონაცემები: 3. Re= 50 000; 4. Re= 500 000;
ჟ. კონტ-ბელოს ექსპერიმენტული მონაცემები: 5. Re= 57 000; 6. Re= 120 000;

1-ლ ნახაზზე წარმოდგენილია (2) ფორმულის შედარება ცნობილ ექსპერიმენტულ მონაცემებთან.

აქ η გაანგარიშებულია ცნობილი ფორმულის მიხედვით:

$$\eta = \frac{y}{R}\,\frac{Re}{4}\,\sqrt{\xi/2}\ ,\ \text{როცა } y=R,\ \text{მაშინ}\ \eta = \eta_0 \qquad (4)$$

სადაც ξ არის ჰიდრავლიკური წინააღმდეგობის კოეფიციენტი. [12] თანახმად

$$\xi = (\lg Re)^{-2.49} \qquad (5)$$

როგორც აღნიშნული გრაფიკიდან ჩანს, (2) ფორმულა შესანიშნავ თანხვედრაშია როგორც ჯ. ლაუფერის, ისე ჟ. კონტ-ბელოს ექსპერიმენტულ შედეგებთან.

აქედან გამომდინარე, შეიძლება დავასკვნათ, რომ შემოთავაზებული ფორმულა საგრძნობი ხელშემწყობი ფაქტორი იქნება ტურბულენტური დინების კანონზომიერებების დადგენის საქმეში.

On some issues of determining the pulsation components of velocity in turbulent flows

Tengiz Magrakvelidze

Summary

The article briefly shows the complexity of the processes characteristic of turbulent flows and the relevance of their further study. The great contribution of scientists working in this field, O. Reynolds, L. Prandtl, T. Karman, I. Nikuradze and others to the study, research and solution of problems related to turbulent flows is noted. Attention is focused on the theoretical and practical importance of studying the nature of the pulsatile components of velocity.

A calculation formula for one of the important components of the fluid flow velocity, the transverse pulsatile component, is proposed, which very well generalizes the well-known experimental data of J. Laufer and also J. Comte-Bello not only in the immediate vicinity of the wall, but also in the entire flow cross-section.

It is noted that the mechanism and sequence of obtaining the proposed formula will be described in detail in an article that will be published in the near future.

О некоторых вопросах определения пульсационных составляющих скорости в турбулентном потоке

Тенгиз Магракведидзе

Резюме

В статье кратко показана сложность процессов, характерных для турбулентных течений, и актуальность их дальнейшего изучения. Отмечен большой вклад учёных, работающих в этой области, – О. Рейнольдса, Л. Прандтля, Т. Кармана, И. Никурадзе и других, – в изучение, исследование и решение проблем, связанных с турбулентными течениями. Акцентировано внимание на теоретической и практической важности изучения природы пульсационных составляющих скорости.

Предложена расчётная формула для одной из важных составляющих скорости потока жидкости – поперечной пульсационной составляющей, которая весьма удачно обобщает известные экспериментальные данные Дж. Лауфера, а также Ж. Конта-Белло не только в непосредственной близости от стенки, но и во всём поперечном сечении потока.

Отмечено, что механизм и последовательность получения предлагаемой формулы будут подробно описаны в статье, которая будет опубликована в ближайшее время.

ლიტერატურა – References –Литература

1. Reynolds O. On the Experimental investigation of the circumstances which determine whether the motion of water resistance in parallel channels philosophical transactions of the Royal Satiety, v.174. 1883, pp.935-982.
2. Прандтль Л. Гидродинамика. Изд. ИЛ, М. 1949, 520 с.
3. Карман Т. Механическое подобие и турбулентность. В кн. Проблемы турбулентности. Гостехиздат, М. 1936, с. 271-286.
4. Никурадзе И. Закономерности турбулентного движения жидкостей в гладких трубах. В кн.: Проблемы турбулентности. Гостехиздат, М. 1936.с.75-150.
5. Колмогоров А.Н. Локальная структура турбулентности в несжимаемой жидкости при очень больших числах Рейнольдса. Доклады АН СССР, 30, №4, стр.290-303, 1941.
6. Laufer J. The structure of turbulence in fully developed pipe flow. NACA Rep. 1174, 1-18 (1964)
7. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. Изд. Наука. М., 1969, 742с.
8. Ротта И. Турбулентный пограничный слой в несжимаемой жидкости. Изд. Судостроение. Ленинград. 1967.
9. Лойцианский Л. Механика жидкости и газа. М. Наука. 1973, 847 с.
10. Кутателадзе С. Пристенная турбулентность. Наука. Новосибирск, 1973, 227с.
11. მაგრაქველიძე თ. კედლისპირა ზონაში ტურბულენტური დინების ზოგიერთი საკითხის შესახებ. არჩილ ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტი. შრომათა კრებული. თბილისი, 2013, გვ.81-88.
12. Магракведидзе Т. О некоторых вопросах турбулентного движения в гладкой трубе. Институт систем управления им. Арчила Елиашвили, Сборник трудов. 2007, Тбилиси, с.119-121.

მზის თბური კოლექტორის მუშაობის ეფექტურობის მაჩვენებლები მზის მიმართ კოლექტორის მიდევნების შემთხვევაში

ნოდარ მირიანაშვილი, ნათია არაბიძე, თეიმურაზ ბულია, ქეთევან კვირიკაშვილი, ფრიდონ მშვილდაძე

nmirianash@gmail.com

რეზიუმე

სტატიაში მოყვანილია მზის თბური კოლექტორიანი თბური ტუმბოს თბომომარაგების კომპლექსური სისტემის მუშაობის ე.წ. გარდამავალი რეჟიმის კვლევის შედეგები, როდესაც მზის კოლექტორში გამთბარი წყლის თბური ენერგიის რაოდენობა და მისი ტემპერატურა არ არის საკმარისი მომხმარებლის მიერ მოთხოვნილი ენერგიისა და მისი ტემპერატურისა, რა დროსაც მუშაობას იწყებს თბური ტუმბოს დანადგარი. მზის თბური კოლექტორიანი თბური ტუმბოს თბომომარაგების სისტემის შედარებისას ($\mathbf{Q_k}$) თბური ტუმბოს თბომომარაგების ისეთ სისტემასთან, რომელიც არ არის აღჭურვილი მზის თბური კოლექტორით ($\mathbf{Q_k^1}$) ენერგეტიკული ეფექტურობის შეფასების მიზნით დამუშავებული იყო გაანგარიშების მეთოდიკა და მოყვანილია შესაბამისი გამოსახულებები. დადგენილ იქნა გარდამავალი რეჟიმის პერიოდში მზის თბური კოლექტორიანი თბური ტუმბოს თბომომარაგების სისტემის ენერგეტიკული ეფექტურობა φ_1/φ დღის განმავლობაში და τ დროის სხვადასხვა მონაკვეთში, რომლის საშუალო მაჩვენებელი მერყეობს 12-35 % - ის ფარგლებში.

მზის მიმართ თბური კოლექტორის მიდევნებისა და ოპტიმალური დახრის კუთხის შესარჩევად საჭირო ტექნიკური სისტემის შექმნის მიზანშეწონილობის განსაზღვრის მიზნით ჩატარდა ექსპერიმენტები, რომელთა საშუალებითაც დადგინდა მოძრავ მდგომარეობაში არსებული მზის კოლექტორის მაღალი ენერგეტიკული ეფექტურობა სტატიკურ, უძრავ მდგომარეობაში მოქმედ მზის კოლექტორის ენერგეტიკულ ეფექტურობასთან შედარებით. მოძრავ მდგომარეობაში მყოფი მზის კოლექტორის K ეფექტურობის მაჩვენებელი მის უძრავ მდგომარეობასთან შედარებით დღის განმავლობაში, იცვლება 3-8%-ის ფარგლებში, რაც ენერგეტიკული თვალსაზრისით საკმაოდ მნიშვნელოვანი ეფექტია იმისათვის, რომ საჭიროდ ჩაითვალოს თბური კოლექტორის მზის მიმართ მიდევნების მიზნით და ოპტიმალური დახრის კუთხის შესარჩევად შესაბამისი ტექნიკური სისტემის შექმნა.

სტატიაში აგრეთვე აღწერილია მზის მიმართ თბური კოლექტორის მიდევნების დისტანციური მართვის ავტომატური სისტემის ძირითადი კვანძები, რომლის მიხედვითაც მოხდება თბური კოლექტორის მზის მიმართ მიდევნების სისტემის შექმნა და ოპტიმალური დახრის კუთხის განსაზღვრა დროის სხვადასხვა მონაკვეთში.

საკვანძო სიტყვები:

მზის ენერგია, მზის თბური კოლექტორი, თბური ტუმბო, ენერგოდაზოგვა, თბომომარაგების სისტემა, ენერგიის გარდაქმნის კოეფიციენტი.

შესავალი

ენერგორესურსების დაზოგვა და გამონაბოლქვი აირების (განსაკუთრებით ნახშირორჟანგის) ემისიის შემცირება XXI საუკუნეში კაცობრიობის ერთ-ერთი ყველაზე მნიშვნელოვანი ამოცანაა. სხვადასხვა სახის ორგანული სათბობის დაწვის შედეგად წარმოქმნილი თბური ენერგიის დანაკარგების თითქმის ნახევარი გამონაბოლქვი აირების სახით გარემოში იფანტება. ენერგორესურსების დაზოგვისა და ნახშირორჟანგის ემისიის

შესამცირებლად საჭიროა ენერგოდამზოგველი ტექნოლოგიების უფრო ფართოდ ათვისება [2, 5].

სამუშაოს მიზანი

მზის ენერგეტიკული პოტენციალის გამოყენების ტექნოლოგიური სქემების დამუშავება თბური ტუმბოს დანადგარების გათვალისწინებით დაბალი ტემპერატურული თბური ტექნოლოგიური პროცესებისა (≈ 100 °C) და მასთან ერთად გათბობისა და ცხელი წყალმომარაგების სისტემების თბური ენერგიით უზრუნველყოფის მიზნით[1,3,4].

ძირითადი ნაწილი

ჩვენს მიერ დამუშავებულ იქნა თბური ტუმბოს მოქმედი ექსპერიმენტული დანადგარი (მაკეტი), რომელიც შედგება შემდეგი კვანძებისაგან: მზის თბური კოლექტორი, თბური ტუმბოს საორთქლებელი, თბური ტუმბოს კომპრესორი, თბური ტუმბოს კონდენსატორი, თერმოსარედუქციო ვენტილი (დროსელი), 2 თბომცვლელი, ელექტრო ძრავა და წყლის 2 ვენტილი (მზის კოლექტორი და მისი შეერთების სქემა იხილეთ სურათზე 1) [1].



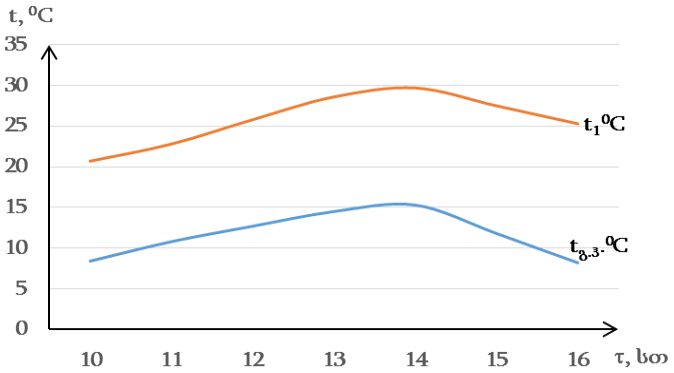
სურ.1

ნაშრომში [1] მოყვანილი იყო მზის კოლექტორთან ერთად თბური ტუმბოს მუშაობის ეფექტურობის როგორც ზაფხულის, ასევე გარდამავალი რეჟიმების გაანგარიშების მეთოდიკა და **ზაფხულის რეჟიმის** ექსპერიმენტული კვლევის შედეგები. წინამდებარე სტატიაში წარმოდგენილია **გარდამავალი რეჟიმის** კვლევის შედეგები, როდესაც მზის კოლექტორში გამთბარი წყლის თბური ენერგიის რაოდენობა და მისი ტემპერატურა არ არის საკმარისი მომხმარებლის მიერ მოთხოვნილი ენერგიისა და მისი ტემპერატურისა. ამ შემთხვევაში მუშაობას იწყებს თბური ტუმბო.

გარე ჰაერის ტემპერატურისა $t_{გ.ჰ.}$ და მზის კოლექტორის მიერ მიწოდებული თბური ენერგიის (ცხელი წყლის) ტემპერატურის t_1 ცვლილება τ საათების მიხედვით (25 ოქტომბერი 2024 წელი) გრაფიკული სახით წარმოდგენილია ნახაზზე 1.

მზის თბური კოლექტორიანი თბური ტუმბოს თბოსიცივით მომარაგების სისტემის შედარებისას ($\mathbf{Q_к}$) თბური ტუმბოს თბოსიცივით მომარაგების ისეთ სისტემასთან, რომელიც

არ არის აღჭურვილი მზის თბური კოლექტორით ($\mathbf{Q_k^1}$) ენერგეტიკული ეფექტურობის შეფასება შესაძლებელია მოვახდინოთ ქვემოთ მოყვანილი გამოსახულებით.



ნახ.1. გარე ჰაერის ტემპერატურისა $t_{გ.ჰ.}$ და მზის კოლექტორის მიერ მიწოდებული თბური ენერგიის (ცხელი წყლის) ტემპერატურის t_1 ცვლილება τ საათების მიხედვით გარდამავალ რეჟიმში.

ენერგიის გარდაქმნის (ტრანსფორმაციის) კოეფიციენტი - φ იანგარიშება ფორმულით:

$$\varphi = T_k/(T_k - T_0)\mu > \varphi_1 = T_k^1/(T_k^1 - T_0^1)\mu,$$

სადაც, φ - არის მზის თბური კოლექტორით აღჭურვილი თბური ტუმბოს თბომომარაგების სისტემის ენერგეტიკული ეფექტურობის ანუ ენერგიის გარდაქმნის კოეფიციენტი;

φ_1 - არის თბური ტუმბოს თბომომარაგების ისეთი სისტემის ენერგეტიკული ეფექტურობის ანუ ენერგიის გარდაქმნის კოეფიციენტი, რომელიც არ არის აღჭურვილი მზის თბური კოლექტორით:

$T_k = T_k^1 = t_3 + 5 + 273$, ^{0}K; - არის თბური ტუმბოს დანადგარში ფრეონის კონდენსაციის ტემპერატურა;

$T_0 = t_1 - 10 + 273, °K$; $T_0^1 = t_4 - 7 + 273$, ^{0}K; - არის თბური ტუმბოს დანადგარში ფრეონის დუღილის ტემპერატურა;

$\mu = 0.55$ - არის კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს ყველა დანაკარგს თბური ტუმბოს ციკლში;

t_1 - არის თბური ტუმბოს საორთქლებელში მიწოდებული მზის კოლექტორში გამთბარი წყლის ტემპერატურა, °C;

t_2 - არის თბური ტუმბოს საორთქლებლიდან გამოსული წყლის ტემპერატურა, °C.

დავუშვათ, რომ მომხმარებლის მიერ მოთხოვნილი ცხელი წყლის (თბური ენერგიის) ტემპერატურა $t_3 = 45$ °C საქსელე წყლის, ანუ დაბალპოტენციური სითბოს წყაროს ტემპერატურა კი, რომელიც მიეწოდება თბური ტუმბოს საორთქლებელს გარდამავალ რეჟიმში (როდესაც თბური ტუმბოს თბოსიცივით მომარაგების სისტემა არ არის აღჭურვილი მზის თბური კოლექტორით) $t_4 = 10$ °C.

მაშინ, ნახაზზე 1 მოყვანილ მონაცემებზე დაყრდნობით მივიღებთ შემდეგ შედეგებს (ცხრილი 1):

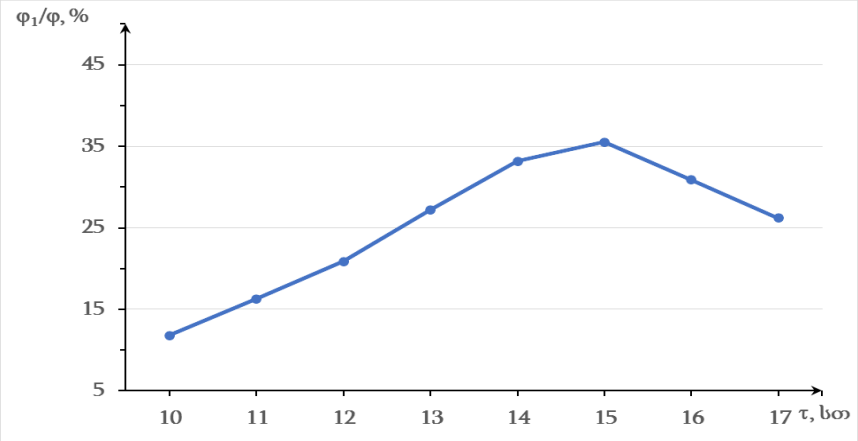
მოყვანილი გაანგარიშებებიდან კარგად ჩანს გარდამავალი რეჟიმის პერიოდში მზის თბური კოლექტორიანი თბური ტუმბოს თბომომარაგების სისტემის ($\boldsymbol{Q_k}$) ენერგეტიკული ეფექტურობა თბური ტუმბოს თბომომარაგების ისეთ სისტემასთან შედარებით, რომელიც არ არის აღჭურვილი მზის თბური კოლექტორით ($\boldsymbol{Q_k^1}$).

ცხრილი 1

τ *საათი*, საათი	φ	φ_1	φ_1/φ
10	4,29	3,78	1,13
11	4,52		1,2
12	4,78		1,26
13	5,19		1,37
14	5,66		1,5
15	5,86		1,55
16	5,47		1,45
17	5,12		1,35

მიღებული შედეგები პროცენტებში, რომელიც წარმოდგენილია გრაფიკული სახით ნახაზზე 2 შეიძლება ვიანგარიშოთ შემდეგი ფორმულით:

$$\boldsymbol{\varphi_1/\varphi} \times \mathbf{100} - \mathbf{100}, \%$$



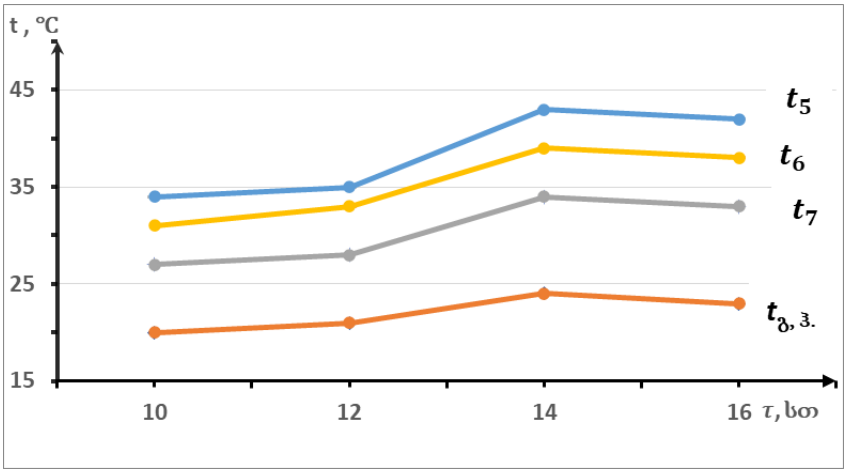
ნახ.2. მზის თბური კოლექტორიანი თბური ტუმბოს თბომომარაგების სისტემის ენერგეტიკული ეფექტურობა %-ში დღის განმავლობაში, τ დროის სხვადასხვა მონაკვეთში გარდამავალ რეჟიმში.

ამრიგად, გარდამავალი რეჟიმის პერიოდში, დღის საათების მიხედვით, ენერგეტიკული ეფექტურობის საშუალო მაჩვენებელი მერყეობს 12-35%-ის ფარგლებში.

2024 წლის ზაფხულისა და შემოდგომის პერიოდებში ჩატარებული ექსპერიმენტული კვლევების დროს მზის თბური კოლექტორი მიმართული იყო სამხრეთისაკენ, მისი დახრის კუთხე კი ჰორიზონტის მიმართ თითქმის ვერტიკალური. კოლექტორი იმყოფებოდა სტატიკურ, უძრავ მდგომარეობაში. იმისათვის, რომ დადგენილ იქნეს თბური კოლექტორის მზის მიმართ მიდევნებისა და ოპტიმალური დახრის კუთხის შესარჩევად საჭირო ტექნიკური სისტემის შექმნის მიზანშეწონილობა, აუცილებელი გახდა შესაბამისი ექსპერიმენტების ჩატარება, რომელთა საშუალებითაც დადგინდებოდა მოძრავ მდგომარეობაში არსებული მზის კოლექტორის მაღალი ენერგეტიკული ეფექტურობა სტატიკურ, უძრავ მდგომარეობაში მოქმედ მზის კოლექტორის ენერგეტიკულ ეფექტურობასთან შედარებით.

ამისათვის, 2025 წლის აპრილისა და მაისის თვეებში უკვე დამონტაჟებულ მზის კოლექტორზე ჩატარდა შესაბამისი ექსპერიმენტული გამოკვლევები. ანათვალების აღება ხდებოდა ყოველ 2 საათში ერთხელ, კოლექტორის ჯერ უძრავ, ფიქსირებულ მდგომარეობაში, ხოლო შემდეგ მისი პოზიციის ხელით შეცვლის პირობებში, რომელიც მაქსიმალურად იყო

მიახლოებული მზის მიმართ ოპტიმალურ დახრის კუთხესთან ($\alpha_{ოპტ} \approx 45^0$). მიღებული შედეგები, დღეების მიხედვით, მოყვანილია ცხრილში 2 და ნახაზებზე 3 და 4.



ნახ. 3. გარე ჰაერისა და მზის კოლექტორში ცირკულირებული წყლის ტემპერატურები დღის განმავლობაში და τ დროის სხვადასხვა მონაკვეთში (8 მაისი).

მოძრავ მდგომარეობაში მყოფი მზის კოლექტორის ეფექტურობის K შესაფასებლად მის უძრავ მდგომარეობასთან შედარებით, ვიყენებთ გამოსახულებას:

$$K = {}^{t_6}/_{t_7} \times 100 - 100, \%$$

სადაც, $t_{გ.ჰ.}$ - გარე ჰაერის ტემპერატურაა,℃.

t_5 - მზის კოლექტორიდან გამოსული წყლის ტემპერატურაა კოლექტორის ოპტიმალური დახრის კუთხისა და მზის მოძრაობის მიმართ ხელით მიდევნების რეჟიმში,℃.

t_6 - მზის კოლექტორიდან გამოსული წყლის ტემპერატურაა კოლექტორის უძრავი მდგომარეობის რეჟიმში,℃.

t_7 - მზის კოლექტორში დაბრუნებული წყლის ტემპერატურაა კოლექტორის ოპტიმალური დახრის კუთხისა და მზის მოძრაობის მიმართ ხელით მიდევნების რეჟიმში,℃.

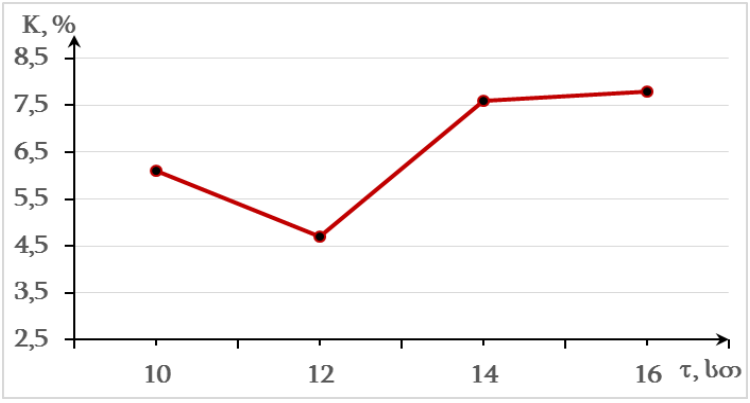
ცხრილიდან 1 და ნახაზიდან 4 ჩანს, რომ მოძრავ მდგომარეობაში მყოფი მზის კოლექტორის ეფექტურობა მის უძრავ მდგომარეობასთან შედარებით დღის განმავლობაში და დროის სხვადასხვა მონაკვეთში იცვლება 3-8%-ის ფარგლებში. ენერგეტიკული თვალსაზრისით ეს საკმაოდ მნიშვნელოვანი ეფექტია იმისათვის, რომ საჭიროდ ჩაითვალოს თბური კოლექტორის მზის მიმართ მიდევნების მიზნით და ოპტიმალური დახრის კუთხის შესარჩევად შესაბამისი ტექნიკური სისტემის შექმნა.

დისტანციური მართვის ავტომატური სისტემა, რომლის საშუალებითაც მოხდება თბური კოლექტორის მზის მიმართ მიდევნებისა და ოპტიმალური დახრის კუთხის შერჩევა უნდა შედგებოდეს საყრდენისაგან, ელექტრო ძრავისაგან და რედუქტორისაგან. მზის თბურ კოლექტორზე დამაგრებული უნდა იყოს სპეციალური სენსორები და მართვის ბლოკი, რომელიც სადენების საშუალებით მიერთებული იქნება ელექტრო ძრავასთან. სენსორი, აღიქვამს რა მზის გადაადგილებას, გარკვეული, ჩვენს მიერ წინასწარ განსაზღვრული ინტერვალებით, მართვის ბლოკის საშუალებით, გასცემს შესაბამის ბრძანებას და ჩართავს ელექტრო ძრავს. ელექტრო ძრავა რედუქტორების დახმარებით მზის პანელს მიაბრუნებს ვერტიკალურად ან ჰორიზონტალურად იმდენი გრადუსით, რამდენიც განსაზღვრული იქნება მზის სენსორების მიერ სადენების საშუალებით მართვის ბლოკზე მიწოდებული სიგნალის საფუძველზე მიღებული ბრძანების შესაბამისად.

ცხრილი 2

მზის თბური კოლექტორის მუშაობის ეფექტურობის მაჩვენებლები

	თარიღი	22 აპრილი, τ, სთ				2 მაისი, τ, სთ				8 მაისი, τ, სთ				20 მაისი, τ, სთ			
	პარამეტრები	10	12	14	16	10	12	14	16	10	12	14	16	10	12	14	16
1	გარე ჰაერის ტემპერატურა, $t_{ა.ჰ.}$, ^0C	18.7	21.2	22.8	23.3	16.2	18.3	21.4	22.3	19.7	21.8	24.2	23.3	17.5	20.3	22.4	21.8
2	მზის კოლექტორიდან გამოსული წყლის ტემპერატურა ოპტიმალური დახრის კუთხისა ($\alpha_{ოპტ}\approx45^0$) და მზის მოძრაობის მიმართ კოლექტორის ხელით მიდევნების შემთხვევაში, t_5, ^0C	32.6	34.3	40.7	41.1	29.5	31.8	33.7	38.6	33.1	34.6	42.5	41.3	29.5	33.6	39.3	37.8
3	მზის კოლექტორიდან გამოსული წყლის ტემპერატურა კოლექტორის უბრავი მდგომარეობის რეჟიმში, t_6, ^0C	30.6	32.7	37.6	37.9	28.0	30.7	31.5	36.0	31.3	33.5	39.6	38.3	27.8	32.6	36.7	34.9
4	მზის კოლექტორში დაბრუნებული წყლის ტემპერატურა კოლექტორის ხელით მიდევნების შემთხვევაში, t_7, ^0C	27.5	28.8	35.6	35.8	24.3	26.8	28.2	32.8	28.4	29.6	36.4	35.7	24.4	27.9	33.7	32.3
5	K ეფექტურობის მაჩვენებელი, %-ში	6.1	4.7	7.6	7.8	5.1	3.4	6.5	6.7	5.4	3.2	6.8	7.2	5.8	3.0	6.6	7.7



ნახ. 4. მოძრავ მდგომარეობაში მყოფი მზის კოლექტორის ეფექტურობა - K დღის განმავლობაში და τ დროის სხვადასხვა მონაკვეთში (22 აპრილი).

მზის თბურ კოლექტორზე მზის ფოტოელექტრული პანელის (PV) დამონტაჟების შემთხვევაში მიღებული ელექტროენერგიით მოხდება მზის თბური კოლექტორის ელექტრო ძრავის მომარაგება საჭირო ელექტროენერგიით.

დასკვნა

ამრიგად, გამოკვლევების შედეგად დადგინდა - მოძრავ მდგომარეობაში მყოფი მზის კოლექტორის ეფექტურობა მის უძრავ მდგომარეობასთან შედარებით დღის განმავლობაში და დროის სხვადასხვა მონაკვეთში იცვლება 3-8%-ის ფარგლებში, რაც ენერგეტიკული თვალსაზრისით მნიშვნელოვან ეფექტს წარმოადგენს იმისათვის, რომ საჭიროდ ჩაითვალოს თბური კოლექტორის მზის მიმართ მიდევნების მიზნით და ოპტიმალური დახრის კუთხის შესარჩევად შესაბამისი ტექნიკური სისტემის შექმნა.

Solar thermal collector performance indicators when the collector is aligned with the sun

Nodar Mirianashvili, Natia Arabidze, Teimuraz Bulia, Ketevan Kvirikashvili, Fridon Mshvildadze

Summary

The article presents the results of a study of the so-called transient mode of operation of a complex heat supply system with a solar thermal collector, when the amount of heated water's thermal energy and its temperature in the solar collector are not sufficient to meet the energy and temperature required by the user, at which point the heat pump unit starts operating.

In order to compare the heat pump heat supply system with a solar thermal collector ($\mathbf{Q_k}$) with a heat pump heat supply system that is not equipped with a solar thermal collector ($\mathbf{Q_k^1}$) a calculation methodology was developed and the corresponding figures are presented. The energy efficiency of the heat pump heat supply system with a solar thermal collector $\boldsymbol{\varphi_1}/\boldsymbol{\varphi}$ during the transition period τ was determined during the day and at different times of the day, the average indicator of which varies within 12-35%.

In order to determine the feasibility of creating a technical system for tracking the solar collector towards the sun and selecting the optimal tilt angle, experiments were conducted, which established the high energy efficiency of a solar collector in a moving state compared to the energy efficiency of a solar collector operating in a static, stationary state. The K efficiency of a solar collector in a moving state compared to its stationary state varies within 3-8% during the day, which is a sufficiently significant effect from an energy point of view to consider it necessary to create an appropriate technical system for tracking the solar collector towards the sun and selecting the optimal tilt angle

The article also describes the main components of the automatic remote control system for tracking a thermal collector towards the sun, according to which a system for tracking a thermal collector towards the sun will be created and the optimal tilt angle will be determined at different times of the day.

Показатели эффективности солнечного теплового коллектора при ориентации коллектора по солнцу

Нодар Мирианашвили, Натиа Арабидзе, Теимураз Булия, Кетеван Квирикашвили, Фридон Мшвилдадзе

Резюме

В статье представлены результаты исследования так называемого переходного режима работы сложной системы теплоснабжения с солнечным коллектором, когда количество тепловой энергии и температура нагреваемой в солнечном коллекторе воды недостаточны для обеспечения требуемой потребителю энергии и температуры, в этот момент включается тепловой насос.

При сравнении системы теплоснабжения с солнечным коллектором ($\mathbf{Q_k}$) с системой теплоснабжения с тепловым насосом, не оборудованной солнечным коллектором ($\mathbf{Q_k^1}$), разработана методика расчета для оценки энергоэффективности и приведены соответствующие показатели. Определена энергоэффективность системы теплоснабжения с тепловым насосом и солнечным коллектором в переходный период $\boldsymbol{\varphi_1}/\boldsymbol{\varphi}$ в течение суток и в различные промежутки времени τ, среднее значение которой варьируется в пределах 12–35%.

Для определения возможности создания технической системы слежения за направлением движения теплового коллектора в сторону солнца и выбора оптимального угла наклона были проведены эксперименты, установившие высокую энергоэффективность солнечного коллектора в подвижном состоянии по сравнению с энергоэффективностью солнечного коллектора, работающего в статическом, неподвижном состоянии. Показатель эффективности К солнечного коллектора в подвижном состоянии по сравнению со стационарным состоянием изменяется в течение суток в пределах 3–8%, что является достаточно существенным с энергетической точки зрения эффектом, позволяющим считать необходимым создание соответствующей технической системы слежения за направлением движения теплового коллектора в сторону солнца и выбора оптимального угла наклона.

В статье также описаны основные компоненты системы автоматического дистанционного управления слежением за направлением движения теплового коллектора в сторону солнца, в соответствии с которыми будет создана система слежения за направлением движения теплового коллектора в сторону солнца и определен оптимальный угол наклона в разные моменты времени.

ლიტერატურა – References – Литература

1. ნ. მირიანაშვილი, ნ. არაბიძე, თ. ბულია, ქ. კვირიკაშვილი, ფ. მშვილდაძე. ენერგოდაზოგვა თბური ტუმბოსა და მზის ენერგიის გამოყენებით. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის არჩილ ელიაშვილის სახელობის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული, N28, ISSN 0135-0765; DOI:https://doi.org/10.36073/0135-0765. თბილისი, 2024 წ. გამომცემლობა, სტამბა „დამანი“., გვ. 81-87.
2. ნ. მირიანაშვილი, ქ. ვეზირიშვილი-ნოზაძე, ნ. ყავლაშვილი, ზ. ლომსაძე, ქ. კვირიკაშვილი. ენერგეტიკული პოტენციალის ზრდის პერსპექტივები საქართველოში, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის შრომათა კრებული, N3(533), UDC 536.2 uak SCOPUS CODE 2105, ISSN 1512-0996, https://doi.org/10.36073/1512-0996-2024-3-153-159 თბილისი, 2024 წ, საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, გვ. 153-159.
3. ნ. ყავლაშვილი, ნ. მირიანაშვილი, ქ. კვირიკაშვილი. ალტერნატიული და განახლებადი ენერგორესურსების პოტენციალი და მათი გამოყენების შესაძლებლობები საქართველოში. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი. მე-12-ე საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია „გლობალური გამოწვევები და ეკონომიკური განვითარების მოდელების ტრანსფორმაცია“, 18-19 ოქტომბერი, 2024 წ, თბილისი-ახმეტა. ჟურნალი, „ბიზნეს - ინჟინერინგი“, N3-4. თბილისი, 2024 წ., გვ. 213-215.
4. ქ. ვეზირიშვილი-ნოზაძე, ნ. არაბიძე, ნ. მირიანაშვილი. საქართველოს განახლებადი ენერგორესურსები. ენერგეტიკული სექტორის განვითარების ეროვნული სამოქმედო გეგმები და მათი მხარდაჭერის სქემები. სტრატეგია და გამოწვევები. სტუ-ის ი. ჟორდანიას სახ. საქართველოს საწარმოო ძალებისა და ბუნებრივი რესურსების შემსწავლელი ცენტრი. ჟურნალი „საქართველოს საწარმოო ძალები და ბუნებრივი რესურსები“, N1 (4), ISSN 2720-7919, თბილისი, 2024 წ. , გვ. 218-285.
5. ნ. მირიანაშვილი, ქ. ვეზირიშვილი-ნოზაძე, ზ. ლომსაძე, ე. ბათლიძე. საქართველო და “შავი ზღვის წყალქვეშა კაბელი” - საინჟინრო ინოვაციისა და გლობალური თანამშრომლობის პროექტი. International multidisciplinary scientific II conference “Innovative Approaches in Scientific Research”. İstanbul, Türkiye May 10-11, 2025. ჟურნალი „მეცნიერება და ინოვაცია“. 2025/2, გვ. 527-536. საქართველო, თბილისი 2025 წ. https://doi.org/10.52340/scai https://doi.org/10.52340/sai. E - ISSN –2449-2779.

წყალქვეშა სამუშაოებისთვის განკუთვნილი რობოტის მართვის სისტემის დაგეგმარება

დავით ფურცხვანიძე, ვერიკო ბახტაძე, ქეთევან კვირიკაშვილი,
პანაიოტ სტავრიანიდი

dpurcxsvani@gmail.com

რეზიუმე

წარმოდგენილი ნაშრომი პროექტია წყალქვეშ მომუშავე მობილური რობოტის მართვის სისტემისა, ცენტრალურ მართვის პულტთან უკაბელო კავშირით. სისტემა ითვალისწინებს მობილური რობოტების მოძრაობის თავისებურებებს, რაც საშუალებას იძლევა გადაწყვეტილ იქნეს დისტანციური მართვის საკითხები, როდესაც რობოტის სამუშაო არეალი და მისი მართვის ცენტრი სხვადასხვა გარემოში მდებარეობს. რობოტთან კავშირი ხორციელდება ჰაერში Wi–Fi-ს, ხოლო წყალში ულტრაბგერის მეშვეობით. განიხილება საგანგებო შემთხვევებში რობოტის ავტონომიური მართვის შესაძლებლობები და თავისებურებები. ბოლო ხანებში სულ უფრო მეტი ყურადღება ექცევა მცირე ზომის მობილურ რობოტებს ე. წ. „მედუზებს", რომლებიც წყალქვეშა სამუშაოებისათვისაა განკუთვნილი. ჩვენ დავამუშავეთ ასეთი ტიპის ორიგინალური რობოტი „მედუზა", რომლის აღწერასაც ამ ნაშრომში გთავაზობთ. რობოტის ამძრავ მექანიზმად გამოვიყენეთ ხელოვნური კუნთი, რომლის აღწერილობა და მუშაობის პრინციპი ასევე მოცემულია ნაშრომში. განიხილება მობილური რობოტის მუშაობა სივრცეში, რომლის გეგმა წინასწარ უცნობია. რობოტის სამართავი ინფორმაციის შევსება ხორციელდება მანქანური სწავლების მეთოდით.

საკვანძო სიტყვები:

მობილური რობოტის მართვა, ხელოვნური კუნთი, რობოტი „მედუზა", რობოტის დისტანციური მართვის სისტემა.

თანამედროვე ტექნიკური პროგრესის ერთ-ერთი ყველაზე თვალსაჩინო დადასტურებაა რობოტ-ტექნიკის განვითარების დონე და ტემპები. რობოტ-ტექნიკური სისტემები დღეს გამოიყენება ურთიერთისაგან განსხვავებულ მრავალ სფეროში. რაც უფრო ფართოა მათი გამოყენების არეალი მრეწველობაში, სამხედრო და სამაშველო პროგრამებში, მედიცინასა და ყოველდღიურ ცხოვრებაში, მით უფრო მკაცრი ხდება მოთხოვნები მათი კონკრეტული ამოცანების განხორციელებისთვის. ამ მოთხოვნებიდან ზოგიერთი, ყველაზე აქტუალური, ეხება რობოტის ავტონომიას და მისი დისტანციური მართვის შესაძლებლობებს. რობოტ-ტექნიკაში დისტანციურ მართვას აქვს მთელი რიგი მნიშვნელოვანი მახასიათებლები, რომლებიც არ იძლევა სხვა ობიექტებისთვის (მანქანები, გემები, თვითმფრინავები და ა.შ.) დისტანციური მართვის აღჭურვილობის საკმარისი ეფექტურობით გამოყენების საშუალებას. ამიტომ, მობილური რობოტის დისტანციური მართვის შესაძლებლობებით უზრუნველყოფისას, ყოველ ჯერზე აუცილებელია რამდენიმე სხვადასხვა დისტანციური მართვის ინსტრუმენტის გამოყენება, ინფორმაციის გაერთიანებისა და დამუშავების პრობლემების გადასაჭრელად, ობიექტის კინემატიკისა და დინამიკის თავისებურებების გათვალისწინებით და ა.შ. ამრიგად, აუცილებელია შეიქმნას დისტანციური მართვის სისტემა, რომელიც მზად იქნება წყალქვეშა სამუშაოებისათვის განკუთვნილი ნებისმიერი ზომის, კონფიგურაციისა და დანიშნულების მობილურ რობოტებზე გამოსაყენებლად.

რობოტების ერთ-ერთ ძირითად კომპონენტს წარმოადგენს ამძრავი მექანიზმი. რობოტების ყველაზე გავრცელებული ამძრავი მექანიზმებია ჰიდრავლიკური და პნევმატიკური, რომელთა ძირითად დახასიათებას ქვემოთ მოვახდენთ.

ჰიდრავლიკის უპირატესობები რობოტ-ტექნიკაში:

1. ჰიდრავლიკური სისტემები რობოტებს მაღალ მოქნილობასა და სიმძლავრეს ანიჭებს. მაღალი სითხის წნევის წყალობით, რობოტებს შეუძლიათ მძიმე საგნების გადაადგილება და აწევა, ასევე ზუსტი და რთული მოძრაობების შესრულება დიდი სიზუსტით. ჰიდრავლიკური ამძრავები უზრუნველყოფენ მაღალი ბრუნვის მომენტს და ძალას, რაც ყოველთვის არ არის მიღწეული სხვა ტიპის ამძრავებით;

2. ჰიდრავლიკური სისტემები ხასიათდება მაღალი საიმედოობითა და გამძლეობით. სითხე უზრუნველყოფს ყველა მოძრავი ნაწილის შეზეთვას და გაგრილებას, რაც ზრდის მათ მომსახურების ვადას. გარდა ამისა, ჰიდრავლიკურ კომპონენტებს აქვთ მარტივი კონსტრუქცია, რომელიც ნაკლებად მგრძნობიარეა დაზიანებისა და ცვეთის მიმართ, რაც მთლიანობაში ზრდის სისტემის საიმედოობას;

3. ჰიდრავლიკური სისტემები უზრუნველყოფენ რეგულირებისა და მართვის მაღალ დონეს. ისინი საშუალებას იძლევიან მარტივად შევცვალოთ რობოტის მოძრაობის სიჩქარე და ძალა, წნევის რეგულატორებისა და მართვის სარქველების გამოყენებით. ეს საშუალებას გვაძლევს მოვარგოთ რობოტის მუშაობა სხვადასხვა დავალებებსა და პირობებს, რაც მათ უფრო მოქნილს და ეფექტურს ხდის;

4. ჰიდრავლიკური სისტემები ადვილად ეგუებიან გაზრდილი დაბინძურების პირობებში მუშაობას. სითხეზე არ მოქმედებს მტვრის ნაწილაკები ან სხვა დამაბინძურებლები, რაც რობოტებს საშუალებას აძლევს ეფექტურად იმუშაონ მაღალი დაბინძურების მქონე გარემოში. ჰიდრავლიკის ყველა ეს უპირატესობა მას რობოტ-ტექნიკაში შეუცვლელ ტექნოლოგიად აქცევს. ის საშუალებას იძლევა შეიქმნას უფრო მძლავრი, მოქნილი და მართვადი რობოტები, რომლებიც წარმატებით უმკლავდებიან სხვადასხვა დავალებებს სხვადასხვა ინდუსტრიაში.

ჰიდრავლიკური სისტემების გამოყენება რობოტ-ტექნიკაში:

1. სამრეწველო ავტომატიზაციაში, ჰიდრავლიკური სისტემების გამოყენება შესაძლებელია სხვადასხვა ტიპის რობოტების სამართავად. ისინი უზრუნველყოფენ მაღალ სიჩქარეს და დატვირთვის უნარიანობას, რაც მნიშვნელოვანია ისეთი რთული ამოცანების შესასრულებლად, როგორიცაა მძიმე ობიექტების გადაადგილება ან მაღალი ძალით ზუსტი ოპერაციების შესრულება. რობოტის ჰიდრავლიკური ამძრავი უზრუნველყოფს ეფექტურ და საიმედო მუშაობას სამრეწველო გამოყენების ფართო სპექტრში;

2. ჰიდრავლიკური სისტემების გამოყენება ასევე შესაძლებელია მობილური რობოტების სამართავად. ისინი უზრუნველყოფენ მაღალ სიმძლავრეს და ენერგო-ეფექტურობას, რაც განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია მობილური რობოტებისთვის, რომლებსაც უწევთ დიდ მანძილზე გადაადგილება ან მუშაობა ენერგიის წყაროებზე შეზღუდული წვდომის მქონე გარემოში. ჰიდრავლიკური სისტემები ასევე შეიძლება ინტეგრირებული იყოს სხვა სისტემებთან, როგორიცაა ელექტრო ან პნევმატიკური, მოქნილობის გაზრდისა და მობილური რობოტების მუშაობის გაუმჯობესების მიზნით;

3. წარმოებისა და აწყობის ოპერაციებში ჰიდრავლიკური სისტემები გამოიყენება მძიმე ობიექტების გადასაადგილებლად და დასაჭერად, ასევე მაღალი ძალებით რთული ოპერაციების შესასრულებლად. ისინი უზრუნველყოფენ მაღალი დონის სიზუსტესა და კონტროლს, რაც მათ იდეალურს ხდის ისეთი ამოცანებისთვის, რომლებიც მოითხოვს ძლიერ და ზუსტ მოქმედებებს. ჰიდრავლიკური სისტემების ინტეგრირება შესაძლებელია წარმოების ხაზებსა და რობოტებში, რათა უზრუნველყოფილი იყოს აწყობისა და წარმოების პროცესების ეფექტურობა და საიმედოობა;

4. სამედიცინო რობოტ-ტექნიკაში ჰიდრავლიკური სისტემების გამოყენება შესაძლებელია ქირურგიული რობოტებისა და სხვა სამედიცინო მოწყობილობების

სამართავად. ისინი უზრუნველყოფენ მაღალ სიზუსტეს და დატვირთვის ტევადობას, რაც მნიშვნელოვანია რთული ოპერაციების მაქსიმალური უსაფრთხოებითა და ეფექტურობით შესასრულებლად. ჰიდრავლიკური ამძრავი საშუალებას აძლევს სამედიცინო რობოტებს შეასრულონ ზუსტი და რთული მოძრაობები, რომლებიც საჭიროა ქირურგიასა და სხვა პროცედურებში.

ჰიდრავლიკური სისტემების ყველა ეს გამოყენება რობოტ-ტექნიკაში მიუთითებს მათ მნიშვნელობასა და ეფექტურობაზე რობოტების მართვაში. ჰიდრავლიკა გვთავაზობს მაღალ სიმძლავრეს, სიზუსტეს და საიმედოობას, რაც მათ მნიშვნელოვან ელემენტად აქცევს თანამედროვე რობოტებისა და ავტომატიზებული სისტემების განვითარებაში.

ერთ-ერთი მთავარი გამოწვევა ჰიდრავლიკური სისტემების მართვის სირთულეა. ჰიდრავლიკის გამოყენება მოითხოვს ოპერატორებისა და ინჟინრებისგან ადეკვატური ტრენინგისა და ცოდნის ქონას ჰიდრავლიკური ტრანსმისიის მახასიათებლების ეფექტურად სამართავად. გარდა ამისა, უზრუნველყოფილი უნდა იყოს საიმედო წნევის კონტროლისა და რეგულირების სისტემები, რათა თავიდან იქნეს აცილებული პოტენციური გაუმართაობის ან აღჭურვილობის დაზიანების რისკები.

თუმცა, ჰიდრავლიკის რობოტ-ტექნიკაში გამოყენების პერსპექტივები უდავოდ იმედის მომცემია [1]. ჰიდრავლიკურ სისტემებს აქვთ მაღალი სიმძლავრე, რაც რობოტებს საშუალებას აძლევს შეასრულონ ისეთი ამოცანები, რომლებიც დიდ ძალებს მოითხოვს, როგორიცაა დიდი ობიექტების აწევა და გადაადგილება. გარდა ამისა, მათ შეუძლიათ ძალებისა და ბრუნვის მომენტის გადაცემა დიდ მანძილზე, გარემომცველ სივრცეში და ასრულებენ საჭირო მოქმედებებს მანიპულატორების დახმარებით. რობოტი აღჭურვილია ტექნიკური ხედვის სისტემით და საინფორმაციო სენსორების ნაკრებით, რომელსაც შეუძლია შექმნას არსებული სიტუაციის ყოვლისმომცველი სურათი. რობოტის ცოდნის ბაზა საშუალებას აძლევს მას, დამოუკიდებლად გადაადგილდეს გარემოში და მიიღოს გადაწყვეტილებები ამოცანის გადასაჭრელად საჭირო მოქმედებების შესახებ. ამრიგად, მანიპულაციური მობილური რობოტი არის "ინტელექტუალური" ტექნიკური სისტემა, რომელსაც შეუძლია ავტონომიური მოქმედება.

თუმცა, დავალებების უმეტესობაში, რომლებიც შესრულებულია წინასწარ განუსაზღვრელ პირობებში და დაკავშირებულია ცდომილების მაღალ „ფასთან“ არასწორი ქმედებების გამო, ადამიან-ოპერატორის მონაწილეობა რობოტის მართვაში მაინც ივარაუდება [2].

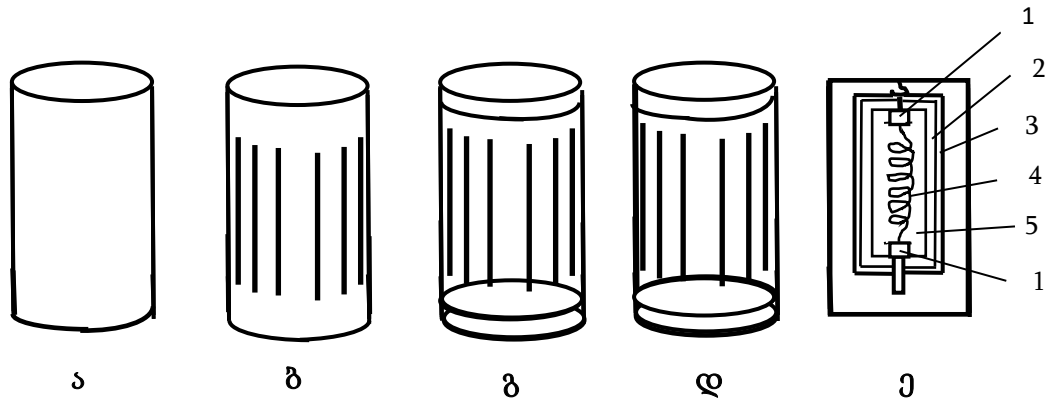
რობოტ-ტექნიკის გამოყენება სხვადასხვა პრაქტიკული დანიშნულებისთვის, რომლებიც დაკავშირებულია სპეციალური პრობლემების გადაჭრასთან, მოითხოვს ადამიანსა და რობოტს შორის ურთიერთქმედების მეთოდების მაქსიმალურ გამარტივებას, რაც იდეალური არჩევანი იქნებოდა დიდ და რთულ სისტემებში გამოსაყენებლად. ჰიდრავლიკური აქტივატორები ასევე უზრუნველყოფენ მაღალ სიზუსტეს და კონტროლს, რაც განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია მანიპულირებისა და აწყობის ამოცანებში მომუშავე რობოტებისთვის [3]. ისინი საშუალებას იძლევიან უფრო ზუსტად აკონტროლონ მოძრაობები და ძალები, რაც უზრუნველყოფს ამოცანების უფრო ზუსტად და ეფექტურად შესრულებას.

უფრო კომპაქტურ და მსუბუქ ჰიდრავლიკურ კომპონენტებზე გადასვლა ხელს შეუწყობს ჰიდრავლიკის უფრო ფართო გამოყენებას რობოტ-ტექნიკაში. ეს გახსნის ახალ შესაძლებლობებს უფრო მოქნილი, მანევრირებადი და ეფექტური რობოტების შესაქმნელად. მართვისა და წნევის რეგულირების სისტემების შემდგომი განვითარება გააუმჯობესებს ჰიდრავლიკური სისტემების უსაფრთხოებას და საიმედოობას. ეს ხელს შეუწყობს ავარიების და აღჭურვილობის დაზიანების რისკის შემცირებას, რაც უზრუნველყოფს ჰიდრავლიკური რობოტების უფრო საიმედო და უსაფრთხო ექსპლუატაციას [4]. ჰიდრავლიკური სისტემების ავტომატური კონტროლისა და მონიტორინგის დანერგვას შეუძლია გააუმჯობესოს

რობოტების პროდუქტიულობა და ეფექტურობა, ასევე შეამციროს მათი მოვლა-პატრონობისა და შეკეთების დრო

საერთო ჯამში, ჰიდრავლიკის გამოყენება რობოტ-ტექნიკაში, დღეს რთული და გამომწვევი ამოცანაა, მაგრამ მომავალში მნიშვნელოვანი სარგებლის მიღების შესაძლებლობითა და პერსპექტივით. ამ სფეროში ტექნოლოგიებისა და ინოვაციების განვითარება გაგრძელდება, რაც ახალ ჰორიზონტებს გახსნის ჰიდრავლიკის გამოყენებისთვის რობოტ-ტექნიკის სხვადასხვა სფეროში.

ბოლო ხანებში სულ უფრო მეტი ყურადღება ექცევა მცირე ზომის მობილურ რობოტებს, ე. წ. ,,მედუზებს'', რომლებიც წყალქვეშა სამუშაოებისთვისაა განკუთვნილი [5]. ჩვენ დავამუშავეთ ასეთი ტიპის ორიგინალური რობოტი ,,მედუზა'', რომლის აღწერასაც ქვემოთ გთავაზობთ.

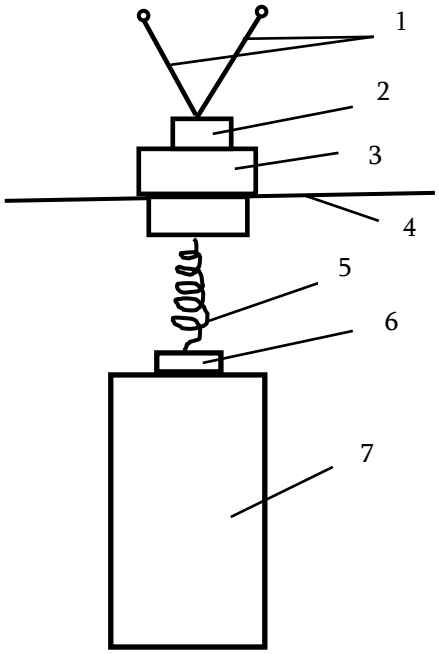


ნახ. 1

ვიღებთ 15 დიამეტრის რეზინის მილს და გადავჭრით მას 25 სმ-ს სიგრძეზე ისე, რომ მივიღოთ 15 სმ დიამეტრისა და 25 სმ სიგრძის რეზინის ცილინდრი (ნახ. 1ა). ამის შემდეგ ცილინდრის გვერდს ვსერავთ სიგრძეზე, ერთმანეთისგან ტოლი მანძილით დაშორებულ 16 ჭრილად (ნახ.1ბ). ზედა და ქვედა ბოლოებზე ვუკეთებთ მყარ პლასტმასის სალტეებს (ნახ.1გ). ზედა მხრიდან ვუკეთებთ პლასტმასის მყარ ხუფს. ქვედა მხრიდან რეზინის ხუფში უკეთდება კლაპანი, რომელიც ატარებს წყალს შიგნიდან გარეთ. ხელოვნური კუნთის დაგრძელებისას გვერდზე გაკეთებული ჭრილებით წყალი შედის გარედან შიგნით, ხოლო ხელოვნური კუნთის შეკუმშვისას, წყალი გამოდის ცილინდრის ქვედა მხრიდან და წარმოქმნის რეაქტიულ წევის ძალას, რაც გადააადგილებს ,,მედუზას'' წყალში ქვევიდან ზევით. ნახ.1-ზე წარმოდგენილია რობოტ ,,მედუზას'' და ხელოვნური კუნთის ჭრილები. ამ ნახაზზე 1 - ზედა და ქვედა ელექტროდებია, რომლებიდანაც ძაბვა მიეწოდება 4 - სპირალს. სპირალი მოთავსებულია 2 - რეზინის მილში, რომელიც ჰერმეტულადაა დახშული და ავსებულია 5 - სილიკონისა და სპირტის ნარევით. რეზინის მილი ჩასმულია 3 - დაწნულ ბადეში, რომელიც არ აძლევს მას გაგანიერების საშუალებას.

ხელოვნური კუნთი მუშაობს შემდეგნაირად: როდესაც საჭიროა კუნთის შეკუმშვა, მას ელექტროდებზე მიეწოდება ძაბვა, რომლის მოქმედებითაც ნიქრომის სპირალი ცხელდება და სილიკონში შერეული სპირტის ბუშტულაკები იწყებენ დუღილს. ამის გამო წარმოიშობა წნევა, რომლის მოქმედებითაც რეზინის მილი მასზე შემოკრული დაწნული ბადის ზეგავლენით სიგრძეში იკლებს და წარმოშობს წევის ძალას, რომელსაც ვიყენებთ რობოტის ამძრავ მექანიზმად.

აღვწეროთ ,,მედუზას'' მართვის სისტემა, რომელიც უზრუნველყოფს მის კავშირს წყლის ნაპირზე ან გემზე განთავსებულ მართვის პულტთან. რობოტის ფსკერზე მიმაგრებულია სმარტფონი, რომელიც გადამღები კამერით ქვემოთაა მიმართული. მისი გადამცემი შტეკერი დრეკადი მავთულით დაკავშირებულია ტივტივასთან 8 კონტაქტიანი კონტაქტორით. ტივტივას ზედა ნაწილში მოთავსებულია ანტენა მიწაზე ან გემზე არსებულ მმართველ მოწყობილობასთან კავშირისთვის, **Wi – Fi** – ს მეშვეობით.



ნახ. 2

წყალქვეშა რობოტის მართვის სისტემა სქემატურად წარმოდგენილია ნახ.2-ზე. სადაც, 1-ელექტრო მაგნიტური ტალღების გადამცემი და მიმღები ანტენაა, 2-ანტენის დამჭერი და სმარტფონთან დამაკავშირებელი მოწყობილობა, 3-ტივტივა რობოტის ზევით მოტივტივე, 4-წყლის ზედაპირი, 5-სადენი რობოტის ტივტივასთან კავშირისათვის, 6-რობოტის სახურავი, 7-წყალქვეშა რობოტი ,,მედუზა''.

ასეთი ურთიერთქმედების ყველაზე ბუნებრივი გზა სამეტყველო დიალოგური მართვაა. ამ შემთხვევაში ოპერატორის მხრიდან რობოტის მართვის ამოცანა მოიცავს დიალოგს პრობლემაზე ორიენტირებულ ენაზე (რომელიც მიახლოებულია ბუნებრივთან) და რობოტის მოქმედებებზე დაკვირვებას. მართვის პრობლემის ფორმულირება ამ შემთხვევაში შეცვლილია, ვინაიდან რობოტი ხდება არა მართვის ობიექტი, არამედ ტექნიკური სუბიექტ-პარტნიორი, რომელსაც შეუძლია დამოუკიდებლად განსაზღვროს თავისი ქვემიზნები და ქცევის ხაზი, ზოგადი ამოცანის ინტერესებიდან გამომდინარე, რომელიც დასახულია ოპერატორის მიერ.

დიალოგურ მართვის სისტემაში უკუკავშირის როლს ასრულებს რობოტიდან ოპერატორისადმი მეტყველებითი შეტყობინებები, რომლებიც მიზნად ისახავს ბრძანებების დაზუსტებას, ოპერატორის ინფორმირებას მიმდინარე სიტუაციის ან მიზნის მიღწევის შესახებ [6].

ავტონომიური რობოტების მართვის პრობლემების გადაჭრაში განსაკუთრებული როლი ეკუთვნის ინფორმაციულ-სენსორულ სისტემას, რომელმაც დამოუკიდებლად უნდა გაანალიზოს არსებული ვითარება, დაგეგმოს თავისი ქმედებები და ამავდროულად დაუკავშირდეს ადამიან-ოპერატორს ბუნებრივ ენასთან მიახლოებულ ენაზე [7]. მან დამოუკიდებლად უნდა მოძებნოს და აღმოაჩინოს საშიში ობიექტები და თავისუფლად იმოძრაოს ისეთ სივრცეში, რომელიც შეიძლება შეიცავდეს სხვა მოძრავ ობიექტებს. თუ ოპერატორთან კომუნიკაცია დაიკარგება, რობოტი დამოუკიდებლად, გარე სამყაროს შესახებ მიღებული და შენახული ინფორმაციის გამოყენებით, უნდა დაუბრუნდეს თავდაპირველ პოზიციას (რობოტის ავტონომიურ მეხსიერებაში ჩაწერილი ინფორმაციის მიხედვით საწყის მდებარეობაში დაბრუნება).

ოპერატორის მიერ ავტონომიური რობოტის მართვა ახალ ხასიათს იძენს. ეს აღარ არის მოძრაობის პირდაპირი მართვა, არამედ ამოცანების დაყენებაა, ვინაიდან დავალებების შესრულების პირობები ყოველთვის არ არის დაკმაყოფილებული. მართვა იღებს დიალოგის ხასიათს პიროვნებასა და ინტელექტუალურ მართვის სისტემას შორის. ეს უკანასკნელი თანაბრად მონაწილეობს ოპერაციების დაგეგმვასა და გადაწყვეტილების მიღებაში [8].

ავტონომიური რობოტების გამოყენების სფერო ძალიან ფართოა. ეს არის საშიში ობიექტების ძებნა და განეიტრალება, რადიაციული და ქიმიური დაზვერვის ამოცანები, მუშაობა ტექნოგენური და ბუნებრივი კატასტროფების ზონაში [9].

განვიხილოთ მობილური რობოტის მუშაობა სივრცეში სადაც, არის როგორც სტატიკური ასევე მოძრავი დაბრკოლებები და რომლის გეგმაც წინასწარ უცნობია. მობილური რობოტი აღჭურვილია სკანირების ლაზერული მანძილმზომით, რომელიც ახდენს მიმდებარე ობიექტების რელიეფის სკანირებას ფსკერის ზედაპირის პარალელურ სიბრტყეში. აუცილებელია რეალურ დროში განისაზღვროს მობილური რობოტის პოზიცია სივრცესთან დაკავშირებულ კოორდინატულ სისტემაში (ლოკალიზაციის დავალება), ასევე ამ სივრცის რუკის აგება, რომელიც ასახავს სტატიკური ობიექტების რელიეფს.

რობოტი ავტონომიურად მოძრაობს სანავიგაციო სისტემის დახმარებით, ხოლო ოპერატორი ასრულებს მხოლოდ ამოცანის დასმის ფუნქციას. არ არის გამორიცხული ნახევრად ავტომატური, მაგალითად, ტელედაკვირვების რეჟიმი, რომელშიც ოპერატორის დავალება მნიშვნელოვნად გამარტივებულია.

სანავიგაციო სისტემის მუშაობის პირველ ეტაპზე, სკანირების ფილტრაციის ამოცანა წყდება სპეციალური ფილტრის გამოყენებით, მცდარი გაზომვების თავიდან აცილების მიზნით. სამუშაო გარემოს მოდელის ანალიზის პრობლემის გადასაჭრელად პირველად იქნა შესწავლილი ნორმალური განაწილების მეთოდი. ამ შემთხვევაში, რუკა დაყოფილია უჯრედებად, რომელთაგან თითოეული შეიცავს არა თავად წერტილებს, არამედ ყველა წერტილის ნორმალური განაწილების პარამეტრებს, რომლებსაც ის მოიცავს. სკანირებისა და რუკის ჯვარედინი კორელაციის ფუნქციის მინიმიზაციის პრობლემის გადაჭრით შესაძლებელია რობოტის პოზიციის დადგენა, საიდანაც მიღებულია მიმდინარე სკანირება.

ამ მეთოდის ანალიზმა აჩვენა, რომ მისი არსებობა მნიშვნელოვნად ზღუდავს მობილური რობოტის სიჩქარეს, რადგან ყველა გამოთვლა შესრულებულია დროის რეალურ მასშტაბში. ამიტომ იყო შემოთავაზებული ახალი ხერხი, რომლის შედეგადაც ინფორმაციული გადამწოდების სისტემისაგან მიღებული სკანი გარდაიქმნება ბადის ფუნქციად. ამავე დროს, თითოეული მოცემული სკანირების წერტილი გარდაიქმნება რაღაც მუდმივად უწყვეტ ფუნქციად, შემდეგ ისინი ერთიანდებიან სუპერპოზიციის არჩეული პრინციპით და დაედებიან რუკა-ქსელზე, რითაც ქმნიან ბადურ ფუნქციას. ბადური ფუნქციის მეთოდი, ისევე როგორც ნორმალური განაწილების მეთოდი, ეფუძნება სკანირებისა და მიღებული რუკის შედარებას ურთიერთკორელაციური ფუნქციის მეშვეობით [10].

მობილური რობოტის მართვის სპეციფიკა დინამიკურ გარემოში მდგომარეობს იმაში, რომ დაბრკოლებების მოძრაობათა წინასწარ გათვლა შეუძლებელია. მოძრავ დაბრკოლებებთან შეჯახებების თავიდან ასაცილებლად, აუცილებელია მათი პოზიციის ცოდნა და მოძრაობის ტრაექტორიის პროგნოზირება. მაშინ, შესაძლებელია გადაადგილება დაგეგმილი ტრაექტორიის გასწვრივ, მისგან შესაფერის მომენტში გადახვევით მანევრის გასაკეთებლად, დაბრკოლების გვერდის ავლით. შემოთავაზებულია რობოტის მართვის ალგორითმი დინამიკურ გარემოში, დაფუძნებული მოძრავი დაბრკოლებების ტრასირებაზე.

პირველ ეტაპზე მარშრუტის დაგეგმვის პრობლემა გვარდება ბადის ფუნქციების მეთოდის მიხედვით შენობის სივრცის რუკის შედგენით.

შემდეგ, წყდება მოძრავი დაბრკოლებების ტრასირების ამოცანა - დაბრკოლების მდგომარეობის მიმდინარე ვექტორის განსაზღვრა დროის ყოველ მომენტში, სინქრონიზებული ახალი სკანირების მიღებასთან. დაბრკოლებების სიის შესაქმნელად, პირველ რიგში, ხდება სკანირების წერტილების კლასიფიკაცია და კლასტერიზაცია.

როგორც ცნობილია, კლასტერიზაცია ანუ კლასტერული ანალიზი, წარმოადგენს მანქანური სწავლების მეთოდს, რომელიც გამოიყენება ობიექტების დასაჯგუფებლად ნაკრებებად (კლასტერებად), ისეთნაირად, რომ ერთ კლასტერში გაერთიანებული ობიექტები რაც შეიძლება მეტად ჰგავდნენ ერთმანეთს, ხოლო ობიექტები სხვადასხვა კლასტერებიდან -

შეძლებისდაგვარად განსხვავებული იყოს. ეს არის მასწავლებლის გარეშე სწავლის ამოცანა, რაც იმას ნიშნავს, რომ ის არ საჭიროებს წინასწარ მონიშნულ მონაცემებს.

კლასტერიზაცია ამ შემთხვევაში ხდება სკანირების წერტილებს შორის ევკლიდური მანძილით. ბარიერის მნიშვნელობა გამოითვლება წერტილამდე მანძილისა და ლაზერული მანძილმზომის კუთხური გარჩევადობის საფუძველზე.

ამგვარად, რობოტ-ტექნიკის განვითარებაში იწყება ახალი ეტაპი, როდესაც დისტანციური მობილური და მანიპულირების ტექნიკური მოწყობილობების რობოტების მართვის ამოცანებიდან გადავდივართ კოოპერატივის ტიპის მართვაზე, რომელშიც რობოტი ხდება პროცესის სრულფასოვანი მონაწილე, მმართველი - ოპერატორის პარტნიორი. ამავე დროს, მნიშვნელოვნად მარტივდება ოპერატორის ამოცანა, რომლისთვისაც პრაქტიკულად არ არის საჭირო წინასწარი მომზადება. თუმცა, თავად რობოტ-ტექნიკა ხდება უფრო რთული სისტემა, რომელსაც ამჟამად აქვს მაღალი ხარისხის ავტონომიურობა და შესაძლებლობები, რომლებსაც ხელოვნურ ინტელექტს მიაკუთვნებენ. ამის წყალობით შესაძლებელი ხდება ამოცანების გაცილებით ფართო სპექტრის გადაჭრა რობოტული მოწყობილობების გამოყენებით, ვიდრე ადრე. პრობლემები ამჟამად ეყრდნობა, ერთის მხრივ, კომპიუტერული ტექნოლოგიების შესაძლებლობებს, რომლებმაც უნდა შეაფასონ არსებული სიტუაცია და გააკონტროლონ მობილური რობოტები რეალურ დროში, საკმაოდ მაღალი მოძრაობის სიჩქარის გათვალისწინებით. მეორეს მხრივ კი - ადამიანი-ოპერატორის ფსიქო-ფიზიოლოგიური შესაძლებლობები შეზღუდულია გარე სამყაროში. მობილური რობოტების ავტონომიური აქტივობის მიმართ. თუ პირველი პრობლემა თანდათან წყდება ტექნიკური პროგრესის შედეგად, მეორე, ადამიანის სრული პოტენციალის შეზღუდულობის გამო მოითხოვს „ადამიანი-რობოტის“ ინტერფეისის მუდმივ განვითარებას, ადამიანის ფსიქოლოგიური შეზღუდვების გათვალისწინებით.

Planning of a control system for a robot intended for underwater work

David Purtskhvanidze, Veriko Bakhtadze, Ketevan Kvirikashvili, Panaiot Stavrianidi

Summary

The presented work is a project of a control system for an underwater mobile robot with a wireless connection to a central control center. The system takes into account the features of the movement of mobile robots, which allows solving remote control problems when the robot's working area and its control center are located in various environments. Communication with the robot is carried out in the air via Wi-Fi, and in water - by ultrasound. The possibilities and features of autonomous control of the robot in emergency situations are considered. Recently, more and more attention has been paid to small mobile robots, the so-called "Medusa", designed to works underwater. We have developed an original robot of this type - "Medusa", the description of which is presented in this article. An artificial muscle is used as a drive mechanism of the robot. The description and operating principle of the muscle are also given in article. The work of a mobile robot in space, the plan of which is unknown in advance, is considered. Filling in information for controlling the robot is carried out using the machine learning method.

Разработка системы управления роботом, предназначенным для подводных работ

Давид Пурцхванидзе, Верико Бахтадзе, Кетеван Квирикашвили, Панаиот Ставрианиди

Резюме

Работа представляет собой проект системы управления подводным мобильным роботом с беспроводным подключением к центральному пункту управления. Система учитывает

особенности движения мобильных роботов, что позволяет решать задачи дистанционного управления при расположении рабочей зоны робота и его центра управления в различных средах. Связь с роботом осуществляется в воздухе по Wi-Fi, а в воде – по ультразвуку. Рассматриваются возможности и особенности автономного управления роботом в нештатных ситуациях. В последнее время большое внимание уделяется малым мобильным роботам, так называемым «Медуза», предназначенным для работ под водой. Нами разработан оригинальный робот такого типа – «Медуза», описание которого представлено в данной статье. В качестве приводного механизма робота использована искусственная мышца. Описание и принцип работы мышцы также приведены в статье. Рассматривается работа мобильного робота в пространстве, план которого заранее неизвестен. Заполнение информации для управления роботом осуществляется с использованием метода машинного обучения.

ლიტერატურა - References – Литература

1. Qin Tu., Yanjie Wang., Donghai Yue., and Frank Agyen Dwomoh. Analysis on the Impact Factors for the Pulling Force of the McKibben Pneumatic Artificial Muscle by a FEM Model. Hindawi Journal of Robotics, Volume 1, 2020, p. 1-11.
2. დავით ფურცხვანიძე, ნოდარ გძელიშვილი, ვერიკო ბახტაძე, გიორგი კიკნაძე. მრავალსახსრული მოქნილი მობილური რობოტი. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის არჩილ ელიაშვილის სახელობის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული, თბილისი, გამომცემლობა სტამბა „დამანი“, N28, 2024, გვ. 165-172. ISSN 0135-0765; DOI: https://doi.org/10.36073/0135-0765.
3. Суржко Д. Защитить ИИ, чтобы он защитил нас / Д. Суржко // Bis journal. - 2023. - № 4. - С. 34-35.
4. ოთარ ქართველიშვილი, სიმონ ხოშტარია. Atmega 328 მიკროკონტროლერის არქიტექტურა. სტუ საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, თბილისი, 2025, 103 გვ. ISBN 978-9941-512-91-9.
5. Бостром Н. Искусственный интеллект. Этапы. Угрозы. Стратегии. — СПб.: Манн, Иванов и Фербер, 2016. — С. 496. — (Миф, кругозор). — ISBN 978-5-00057-810-0.
6. Бродская М. Доверенный ИИ: начало пути / М. Бродская // Bis journal. - 2023. - № 3. - С. 16-20.
7. Р. Корсини, А. Ауэрбах. Психологическая энциклопедия. СПб.: Питер, 1096 с. 2020.
8. Jack Copeland. What is Artificial Intelligence? 2000.
9. AI Journey вошла в топ-3 мировых конференций по искусственному интеллекту // SberPress : сервис новостей об экосистеме Сбера. — 2021.
10. Джона Маккарти. What is Artificial Intelligence? 2015.

ინფორმატიკა

INFORMATICS

ИНФОРМАТИКА

Application of Artificial Intelligence to Evaluate the Synergy of Novel Anticancer Combinations for Enhancing the Selectivity of Drugs Against Non-Small Cell Lung Cancer

Archil Chirakadze, Zakaria Buachidze, Irine Khomeriki, Lia Chelidze

achikochirakadze@gmail.com; jbuachidze@gmail.com; i.khomeriki@gtu.ge; lia.chelidze@gmail.com

Abstract

The presented study is an attempt to use the most accessible free version of the artificial intelligence ChatGPT to accelerate and simplify the preliminary assessment of the efficacy, selectivity and degree of synergy of combinations of widely used and FDA approved anticancer drug gemcitabine with cesium and rubidium salts, copper oxide nanoparticle water dispersions, DMSO and 0.9% saline solution, in comparison with solutions of gemcitabine of corresponding concentrations. As an object of research, cell cultures of the deadliest form of cancer A549 and healthy cells of the normal human fibroblast cells NHDF were chosen. The conducted studies have shown that the publicly available version of ChatGPT, applied in a linear approximation for calculating LC_{50} concentrations, can be successfully used for reliable in vitro assessment of the selectivity of combinations and the synergy of their components already with a fairly small (8-10) amount of experimental data, evenly distributed over the entire range of concentrations and doses.

Key words:

artificial intelligence, medical decision-making systems, non-small cell lung cancer, synergy, selectivity index.

Introduction

Modern medicine and oncology, in particular, are one step away from the widespread introduction of artificial intelligence into everyday medical practice. Numerous scientific articles describe and discuss the most successful projects demonstrating the participation of artificial intelligence in the diagnosis and prognosis of the course of oncological diseases. Existing systems for making medical decisions, including modules for diagnosing oncological diseases based on neural networks, are analyzed. The limitations of using artificial intelligence in oncology are shown and ways to overcome them are described. Artificial intelligence methods have proven their effectiveness in analyzing images (X-rays, histological sections) and can be used to support medical decision-making. A huge array of accumulated knowledge about the molecular biological nature of tumors finds practical application for prescribing treatment and prognosticating the course of the disease due to processing by machine learning algorithms. Artificial intelligence can become the key to improving the efficiency of medical care for oncological diseases._The presented study is an attempt to use the most accessible free version of the artificial intelligence ChatGPT to accelerate and simplify the preliminary assessment of the efficacy, selectivity and degree of synergy of combinations of widely used and FDA approved anticancer drug gemcitabine with cesium and rubidium salts, copper oxide nanoparticle water dispersions, DMSO and 0.9% saline solution, in comparison with solutions of gemcitabine of corresponding concentrations. As an object of research, cell cultures of the deadliest form of cancer A549 and healthy cells of the normal human fibroblast cells NHDF were chosen. The conducted studies have shown that the publicly available version of ChatGPT, applied in a linear approximation for calculating LC50 concentrations, can be successfully used for reliable in

vitro assessment of the selectivity of combinations and the synergy of their components already with a fairly small (8-10) amount of experimental data, evenly distributed over the entire range of concentrations and doses.

Areas of artificial intelligence use in oncology

In 2022, within the framework of the national project to combat cancer, the implementation of a new model for organizing the provision of medical care continues, based on the use of lean technologies and aimed at improving the efficiency of internal processes, efficient use of resources, increasing patient satisfaction with the availability and quality of medical care received. Solving a huge number of problems on the way to achieving the expected result (improving the quality of treatment of cancer patients, their rehabilitation and cure) will be difficult and less effective without the introduction of artificial intelligence systems into the practice of an oncologist. Artificial intelligence (AI) is a modern approach based on methods and algorithms that allow you to analyze large volumes of data and, based on them, generate an accurate forecast for data that is missing during the analysis. The key feature of AI is its ability to make rational decisions that mimic human cognitive abilities. Currently, AI applications in oncology are focused on several areas: 1) early diagnosis of tumor pathology based on the analysis of histological sections, CT and MRI data, and the identification of parameters characteristic of the tumor process; 2) selection of an individualized treatment method for cancer patients, taking into account the molecular biological characteristics of the tumor; 3) support for medical decision-making in the treatment of cancer patients.

Use of AI methods for early diagnosis of tumor pathology

The use of deep machine learning in the diagnosis of various diseases by analyzing radiological or histological digital images demonstrates an efficiency close to, and in some cases even greater than, the expert opinion of individual radiologists or pathologists. AI methods are widely used in the analysis of radiological images. In 2018, researchers from Seoul National University College of Medicine developed an AI algorithm to analyze chest X-rays and detect abnormal lesions that are precancerous or early-stage malignant processes. The performance of the developed algorithm was compared on the same images with the opinion of several doctors, and it was found that the system outperformed 17 out of 18 doctors [1-2]. Thanks to machine learning, it became possible to clearly differentiate between the tumor process and the surrounding inflammation or necrosis (after radiation therapy) based on CT and MRI data [3]. Otherwise, the inflammation was mistaken for the tumor process and interpreted as tumor progression, leading to a change in effective treatment to other regimens. AI is also capable of predicting the development of radiation damage to the lungs, bladder, and intestines during radiation therapy based on X-ray data (CT or MRI) [4]. In July 2020, the SberHealth service, together with the SberCloud cloud platform, launched a project to recognize computed tomography images of the lungs. Anyone can upload their CT image and receive its decoding within 10 minutes. According to the developers, the service is aimed at identifying pathologically altered (inflammation) areas of lung tissue, determining the nature of changes in lung tissue (ground glass and consolidation) and determining the volume of lung tissue damage as a percentage [5]. The Botkin.AI company [6] has created a platform with the ability to analyze pneumonia (to combat Covid19), lung tumors, analyze mammography screening data, and teleradiology using three key technologies. The first is the proprietary Botkin Learning technology, which increases the efficiency of using AI technologies to analyze images of various pathologies through automated machine learning pipelines that are launched when new data is received, which then produce, test, and implement updated models. The implemented meta-algorithm, according to the developers, selects the best model option for a specific data set. The second key element of the technology is Botkin HAI (Hybrid Intelligence), which implements the analysis of medical images, combining the use of AI tools and the expertise of doctors. It implies the process of validation of the results of the AI work by doctors and support for cross-checking the results of studies by a group of doctors. The third component is Botkin Edge, a hardware and software complex for analyzing

medical images with the ability to place it in a clinic, connect to PACS or directly to a data source, has a flexible configuration. Another area of applied use of AI in the interpretation of X-ray examination data is the prediction of the progression of the tumor process. Thus, according to the X-ray characteristics of the tumor process using AI, a predictive model for the development of distant metastases in lung cancer was built [4]. The accumulation of databases of digital images of various histological sections in developed countries made it possible to apply deep machine learning to the morphological diagnosis of tumor diseases and routinely introduce this method into clinical practice. A deep machine learning system was used to determine the depth of invasion of malignant tumors of the prostate gland. The accuracy of this method was 70%, which exceeds the assessment of general pathologists [7]. Neural networks were also used in the analysis of images of histological preparations to identify tumor-infiltrating lymphocytes due to their prognostic significance for malignant neoplasms of various localizations (mammary gland, lung, colon) [8]. Researchers from Google AI Healthcare developed the Lymph Node Assistant algorithm, capable of analyzing histological samples of lymph nodes in order to identify their metastatic lesions in breast cancer. The sensitivity of the developed algorithm in tests was 91%, including when detecting suspicious areas that are not distinguishable by the human eye [9]. Machine learning based on a large database of morphological sections made it possible to obtain a method for diagnosing a tumor process without the participation of a pathologist, in a short time and with an accuracy not inferior to (and in some cases even exceeding) the accuracy of an expert. In the near future, deep machine learning will become an important tool to support the work of pathologists and radiologists, in order to improve the accuracy and efficiency of histological and radiological diagnostics of malignant neoplasms [10]. One example of the effective use of AI in clinical oncology is the high-precision analysis of images obtained during dermatoscopy. Through the analysis, AI is able to diagnose various skin tumors (including melanoma) at the level of expert dermatologists with an accuracy of up to 96%. These programs can be installed on smartphones, which will allow timely diagnosis of skin tumors among the general population [11]. A method of non-invasive, highly effective diagnosis of oncological diseases based on the analysis of exhaled air is also known using a multi-sensor diagnostic complex. The idea of the method is preliminary machine learning of the system capture volatile substances in exhaled air characteristic of cancer patients and compare them with air samples obtained from healthy people. Subsequently, during screening examination, this method allows to identify cancer patients only by exhaled air analysis and refer them to more accurate, verifying (biopsy) diagnostic methods. The accuracy of the developed diagnostic method for lung, larynx and oropharyngeal cancer was 80.16% (sensitivity - 76.92%, specificity 82.61%). The obtained results are comparable with the accuracy of standard research methods (SCT, MRI) [12]. Such examples of the use of AI in the diagnosis of cancer diseases once again demonstrate the promise of this approach and allow optimizing the working time of specialists by reducing the workload.

Combination therapy versus mono-therapy of cancer

It is known that tumor formation is the acquisition of malignant properties by normal cells, primarily dedifferentiation, rapid proliferation, metastasis, evasion of apoptosis and immune surveillance, disruption of metabolic regulation and epigenetics, etc., which are considered the main hallmarks of cancer. Despite many significant advances in oncological research, it is still not possible to significantly reduce the overall cancer incidence and mortality rates even in the most developed countries. (e. g., the United States has a surprisingly high rate of childhood cancer mortality and a quite low rate of the average 5-year survival rate [13-17]. The high cost and timelines of development, as well as the lengthy testing and registration processes for drugs, are the main reasons why clinical practice lags behind scientific advances and research results. Combination cancer therapy effectively targets the mechanisms that play a key role in the development, maintenance, and proliferation of malignant cells, as well as tumor growth. Combination therapy also offers other advantages over monotherapy, such as effective control of drug resistance, elimination of cancer stem cells (CSCs) [18, 19], and provision of drug 'repurposing' [20–25], where drugs not approved for

cancer treatment but successfully tested as non-toxic to healthy tissue demonstrate high anti-cancer efficacy in place of approved and widely used anti-cancer therapies and can be 'repurposed' as useful adjuvant drugs or combination therapies for cancer [26–36]. "Re-purposing" is an effective component of combined cancer therapy allowing to reduce for several times the costs and time of introducing new anticancer treatment modalities which contain one or several FDA-approved drugs (having well-tested safety and comprehensively studied pharmacokinetic protocols) and one or more currently studied components including various nanoparticles and aquatic solutions of components often used as Biologically Effective Additives. Synergistic effects can play an extremely important positive or negative role in combination therapy as they can increase the effectiveness and safety of the therapeutic effect several times, or vice versa, drastically decrease treatment efficacy, increase its toxicity to healthy cells and cause or enhance undesirable side effects in a super-additive, additive or antagonistic way [37-38]. Therefore, comprehensive study of the "positive" and "negative" additive and antagonistic toxicity is of particular importance for the successful development of new modalities within the concept of combination therapy, whereas the correct choice, method of application and dosage of nanoparticles can be crucial to achieving maximum therapeutic effect and safety.

Background and necessity of the requested research and rationale for component selection

The non-small cell lung cancer (NSCLC is one of the most common types of malignant tumors. It continues to occupy a leading position not only in the structure of oncological morbidity, but also in the structure of mortality. Due to the high relevance of the disease, much attention is paid to its early detection and effective treatment. This study is expected to complete the first phase of research initiated in 2015 [29–37] aimed at developing new combination drugs based on the concept of strictly localized combination therapy for cancer. An analysis of numerous published research data on the anticancer efficacy, mechanisms of action, safety, synergy, and general and specific toxicity of widely known and used chemotherapeutic agents was conducted. This study is expected to complete the first phase of research initiated in 2015 aimed at developing new combination drugs based on the concept of strictly localized combination therapy for cancer. An analysis of numerous published research data on the anticancer efficacy, mechanisms of action, safety, synergy, and general and specific toxicity of widely known and used chemotherapeutic agents was conducted., DMSO and metal oxide nanoparticles [38], as well as of our still unpublished data on the effect of adding CuO and other metal oxide nanoparticles to the most effective mixtures of above listed compounds, clearly showed that the results from Annexin V-FITC/PI flow cytometric assay justify the findings from MTT assay and show RbCl being the most effective and safe among the tested rubidium and cesium chloride and carbonate solutions, and that RbCl should be selected as a potent highly selective anticancer therapeutic agent for further in-depth studies. Adding of "anticancer" nanoparticles substantially increases the selectivity of tested samples. An important condition for choosing the "anti-cancer" nanoparticles is that their permissible dose is sufficiently high (that is, their acute and chronic toxicity is small) so that their acute toxicity effects at concentrations up to 180-200 mg/ml could be neglected.

Experimental. Materials (chemicals, reagents and cell cultures)

All chemicals and reagents were obtained from Merck (India), HiMedia (India), Invitrogen (India), SRL (India) and Sigma-Aldrich (USA). DCFDA (D6883) was purchased from Sigma-Aldrich (India). FBS (16000044) was obtained from GIBCO (USA), while MEM sodium pyruvate, MEM non-essential amino acids, L-glutamine and DMSO (99.8%) were procured from Hi-Media, India. Gemcitabine was procured from GPI (Georgia), CuO nanoparticle water dispersion (22 weight %, 20-50 nm) was procured from "Nanografi Nanotechnologies" (Turkey). Human lung cancer cell line A549 and human Primary Normal Human Dermal Fibroblasts line NHDF was obtained from ATCC, USA. The most advanced available artificial intelligence ree version ChatGPT+ was applied in a linear approximation mode to forecast the selectivity of developed combinations compared to gemcitabine based saline solutions.

Experimental. Research Methods and applied Formulae

As given in our previous publications, The presented study is an attempt to use the most accessible free version of the artificial intelligence ChatGPT to accelerate and simplify the preliminary assessment of the efficacy, selectivity and degree of synergy of combinations of widely used and FDA approved anticancer drugs (gemcitabine, cisplatin) with cesium and rubidium salts, copper oxide nanoparticle water dispersions, DMSO and 0.9% saline solution, in comparison with solutions of gemcitabine and cisplatin of corresponding concentrations. As an object of research, cell cultures of the deadliest form of cancer A549 and healthy cells of the normal human fibroblast cells NHDF were chosen. The dose-dependent selectivity index $SI_{Exp.}$ of the developed combinations and gemcitabine saline solutions $SI_{Exp.}$ can be determined as the ratio of the Lc_{50} concentrations experimentally measured through the MTT method in A549 cells ($Lcexp_{A549}$) and in NHDF cells ($Lcexp_{NHDF}$):

$$SI_{Exp.} = Lcexp_{NHDF}/Lcexp_{A549} \quad (1)$$

The dose-dependent selectivity index $SI_{Calc.}$ of the developed combinations, gemcitabine and cisplatin saline solutions can be determined as the ratio of the Lc_{50} concentrations calculated by ChatGPT+ program for the A549 cells ($Lccalc_{A549}$) and for the NHDF cells ($Lccalc_{NHDF}$), applying the linear approximation and using the data on the molar concentration of each component, the averaged literary data on the Lc_{50} of each component and the data on the exposure doses and incubation durations applied in the above experimental testing:

$$SI_{Calc.} = Lccalc_{NHDF}/Lccalc_{A549} (2)$$

Experimental. Assessing the synergy of combinations

The synergy rate index of combinations SYI was determined as the difference between the values of indices **$SI_{Exp.}$** and **$SI_{Calc.}$** divided by the value of the index **$SI_{Calc.}$**:

$$SYI = (SI_{Exp.} - SI_{Calc.})/ SI_{Calc.} \quad (3)$$

Results and discussion

The content of developed and tested combinations and solutions is given in Table 1. As one can see, sample 1containes the standard (0.9%) saline solution and is used as control in all experiments. Samples 2-8 contain various amounts of all components and are used to measure and calculate the **$SI_{Exp.}$**, **$SI_{Calc.}$** and **SYI** indexes.

Sample / Components	1	2	3	4	5	6	7	8
RbCl, mg	0	400						
Water, ml	0	0.9	1.4	1.8	2.3	2.7	3.2	3.6
Saline solution (0.9%), ml	10	6.1	5.6	5.2	4.7	4.3	3.8	3.4
DMSO (99.5%), ml	0	3						
Gemcitabine, mg	0	200						
CuO, mg	0	100	200	300	400	500	600	700
$SI_{Exp.}$	1.1	1.8	2.9	4.9	7.9	12.3	15,5	14.7
$SI_{Calc.}$	1.1	1.5	2.2	2.9	3.8	4.6	5.9	6.6
SYI	0	0.20	0.3	0.7	1.1	1.7	1.6	1.2
Total amount of liquid samples, ml	10							

Table 1. Composition of the tested samples 1-8; experimental ($SI_{Exp.}$), calculated ($SI_{Calc.}$) and synergy (SYI) indexes of samples 1-8

Samples 9-12 (the so called "blanc samples") are listed in Table 2. They contained only saline, water and copper oxide nanoparticles and were tested to assess the total non-synergistic and/or synergistic input of the nanoparticles in the selectivity of combinations.

Sample / Component	9	10	11	12	13
Water, ml	0.9	1.4	2.3	3.2	3.6
Saline solution, ml	9.1	8,6	7.7	6.8	6.4
CuO nanoparticles	100	200	500	700	800
$SI_{Exp.}$	1.1	1.3	2.1	2.9	3.2
$SI_{Calc.}$	1.05	1.1	1.6	2.3	2.4
SYI	0.05	0.1	0.28	0.33	0.39
Total amount of liquid samples, ml	10				

Table 2. Composition of the tested samples 9-13; experimental ($SI_{Exp.}$), calculated ($SI_{Calc.}$) and synergy (SYI) indexes of samples 9-13

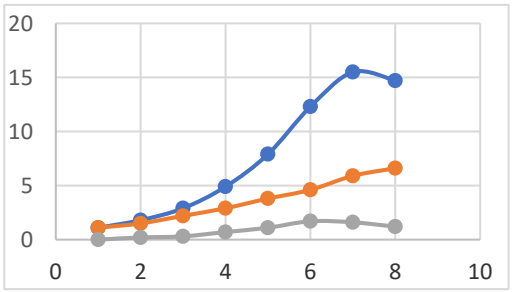


Figure 1. Up to down: experimental selectivity ($SI_{Exp.}$), AI calculated selectivity ($SI_{Calc.}$) and synergy index (SYI) of the tested samples 1-8

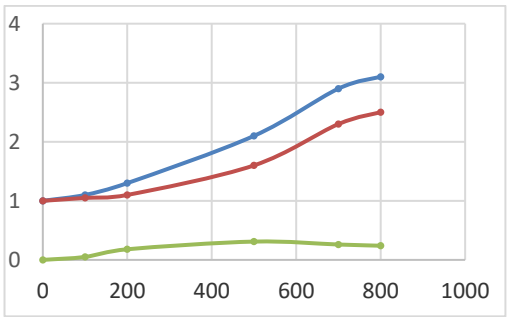


Figure 2. Up to down: experimental selectivity ($SI_{Exp.}$), AI calculated selectivity ($SI_{Calc.}$) and synergy index (SYI) of the tested samples 9-13

We have developed and studied 8 combinations containing all selected components and 4 combinations containing only copper oxide nanoparticles dispersed in water and saline solution ("blank nanoparticle dispersions"), in the nanoparticle concentration range of 0 - 80 mg/ml. The widely used MTT cell proliferation assay was applied to the A549 and NHDF cell cultures. The selectivity of preparations to cancer A549 cells in comparison with healthy NHDF cells was taken as the informative characteristic of the effectiveness and safety of the tested samples. Three selectivity

indices were introduced based on the viability of samples. In our opinion the selectivity and synergy indices introduced in the frame of the reported research characterize the anti-proliferative activity, apoptosis inducing activity and safety (or the potential therapeutic window) of the tested samples better than the most commonly used LD indexes, and are much more simple, illustrative and accessible to a significant part of researchers than the integrated computational-experimental methods specifically designed to search for combinations, maximizing a predefined therapeutic index (TI) which are specifically designed to search for combinations, maximizing the efficacy and safety of cancer treatment. The dependence of calculated selectivity indices of the combined multicomponent mixtures and of the "blank nanoparticle dispersions" of the nanosized copper oxide concentration is substantially different. The multicomponent combinations demonstrate a clearly non-monotonous dose-effect response, which is atypical for the toxicity of mixtures in the absence of synergistic interaction of components, while the "blank nanoparticle dispersions" show a typical monotonous response. Taking into account, that the selectivity index values of the "blank nanoparticle dispersions" are much smaller than that of combined mixtures with the same content of nanoparticles as well as of the combined mixtures with zero content of nanoparticles, we may conclude that the atypical dose-effect response of the multicomponent combinations and the small magnitude of selectivity of the "blank nanoparticle dispersions should be explained due to the synergistic interaction of the nanosized copper oxide with rubidium chloride, gemcitabine and DMSO and not due to the direct action of the copper oxide nanoparticles. In our opinion, the results of the present study support and substantiate the consideration that developed and tested "cocktails" combined with magnetic hyperthermia and other advanced methods of cancer therapy can form a proper basis to multicomponent treatment modalities adjuvant to particle therapy with extremely broad therapeutic window (i. e., with extremely high values of selectivity and synergy indices) and effectiveness. A highly valuable conclusion of t reported research is that he conducted studies have clearly shown that the publicly available version of ChatGPT, applied in a linear approximation for calculating LC50 concentrations, can be successfully used for reliable in vitro assessment of the selectivity of combinations and the synergy of their components already with a fairly small (8-10) amount of experimental data, evenly distributed over the entire range of concentrations and doses.

Our study had several limitations mainly caused by the wide range of issues covered, a short period of time and restricted volume of funding of the research. To overcome the limitations the following steps should be done. The range of the nanosized copper oxide concentration should be increased at least up to 120 mg/l or even more with aim to observe the saturation or any new unexpected features in the dose-response relationship; The step of changing the concentration of copper oxide in the samples under study should be reduced several times in order to detect the possible peaks of synergy. Gemcitabine and DMSO could be replaced by a number of other widely used drugs and new anticancer drugs should be added to the combinations; Copper-oxide nanoparticles could be replaced by a number of other nanosized anticancer metal and metal oxide substances; A number of the various ionophores should be added to the combinations with aim to potentiate their anticancer efficacy and selectivity.

ხელოვნური ინტელექტის გამოყენება ახალი ანტისიმსივნური კომბინაციების სინერგიის შესაფასებლად არაწვრილუჯრედოვანი ფილტვის კიბოს საწინააღმდეგო პრეპარატების სელექტიურობის გაზრდის მიზნით

არჩილ ჭირაქაძე, ზაქარია ბუაჩიძე, ირინე ხომერიკი, ლია ჭელიძე

რეზიუმე

შესრულებული კვლევა წარმოადგენს ხელოვნური ინტელექტის პროგრამა ChatGPT-ის ყველაზე ხელმისაწვდომი უფასო ვერსიის გამოყენების მცდელობას, რათა დაჩქარდეს და

გამარტივდეს ფართოდ გამოყენებული და FDA-ს მიერ დამტკიცებული ანტისიმსივნური პრეპარატის (კერძოდ, გემციტაბინის) ცეზიუმის და რუბიდიუმის მარილებთან, სპილენძის ოქსიდის ნანონაწილაკების წყლოვან დისპერსიებთან, DMSO-თან და 0.9%-იან ფიზიოლოგიურ ხსნართან კომბინაციების ეფექტურობის, სელექტიურობის და სინერგიის ხარისხის წინასწარი შეფასება მისი კონცენტრაციების გემციტაბინის ხსნარებთან შედარებით. კვლევის ობიექტად შეირჩა კიბოს ერთ-ერთი ყველაზე მომაკვდინებელი ფორმის (არაწვრილუჯრედოვანი კიბოს) A549 უჯრედული კულტურები და ნორმალური ადამიანის ფიბრობლასტების NHDF ჯანსაღი უჯრედები. ჩატარებულმა კვლევებმა აჩვენა, რომ ChatGPT-ის საჯაროდ ხელმისაწვდომი ვერსია, გამოყენებული LC_{50} კონცენტრაციების წრფივ მიახლოებაში გამოსათვლელად, შეიძლება წარმატებით იქნას გამოყენებული კომბინაციების სელექტიურობისა და მათი კომპონენტების სინერგიის საიმედო in vitro შეფასებისთვის, უკვე საკმაოდ მცირე (8-10 ანსამბლი) მოცულობის ექსპერიმენტული მონაცემების არსებობისას, რომლებიც თანაბრად არის განაწილებული კონცენტრაციებისა და დოზების მთელ დიაპაზონში.

Использование искусственного интеллекта для оценки синергииновых противораковых комбинаций с целью повышения селективности препаратов против немелкоклеточного рака легких.

Арчил Чиракадзе, Закария Буачидзе, Ирине Хомерики, Лия Челидзе

Резюме

Представленное исследование представляет собой попытку использования наиболее доступной бесплатной версии программы искусственного интеллекта ChatGPT для ускорения и упрощения предварительной оценки эффективности, селективности и степени синергизма комбинаций широко используемого и одобренного FDA противоракового препарата гемцитабина с солями цезия и рубидия, водными дисперсиями наночастиц оксида меди, ДМСО и 0,9% физиологическим раствором в сравнении с растворами гемцитабина соответствующих концентраций. В качестве объекта исследования были выбраны культуры клеток одной из наиболее смертоносных форм рака A549 и здоровых клеток нормальных фибробластов человека NHDF. Проведенные исследования показали, что общедоступная версия ChatGPT, применяемая в линейном приближении для расчета концентраций LC_{50}, может быть успешно использована для надежной invitro оценки селективности комбинаций и синергизма их компонентов уже при достаточно небольшом (8–10) объеме экспериментальных данных, равномерно распределенных по всему диапазону концентраций и доз.

References– ლიტერატურა –Литература

1. Bouma H, Hanckmann P, Marck J-W et al. Automatic human action recognition in a scene from visual inputs.doi:10.1117/12.918582 // Proceedings of SPIE — The International Society for Optical Engineering. 2012;8388. ISBN:978-081949066-7.
2. Nam JG, Park S, Hwang EJ et al. Development and validation of deep learning–based automatic detection algorithm for malignant pulmonary nodules on chest radiographs. doi:10.1148/radiol.2018180237 // Radiology. 2019; +290(1):218–228. URL:https://pubs.rsna.org/. doi/10.1148/radiol.2018180237 (access date: 29 April 2022). ISSN (Online) 1527-1315.
3. Du D, Feng H, Lv W et al. Machine Learning Methods for Optimal Radiomics-Based Differentiation Between Recurrence and Inflammation: Application to Nasopharyngeal Carcinoma Post-therapy PET/CT Images. doi:10.1007/s11307-019-01411-9 // Mol Imaging Biol.2020;2(3):730–738.
4. Dou TH, Coroller TP, van Griethuysen JJM et al. Peritumoral radiomics features predict distant

metastasis in locally advanced NSCLC. doi:10.1371/journal. pone.0206108 // PLOS ONE. 2018. ISSN (Print) 1932-6203. ELS «PubMed» [website]. URL:https://pubmed.ncbi.nlm. nih.gov /30388114/ (access date: 29 April 2022). Access mode: free.

5. Lukyanchenko EL, IlyashenkoOYu. Advantages of using a digital platform within the ecosystem // Collection of scientific articles of the 6th All-Russian National Scientific and Practical Conference «Problems of development of modern society». Kursk, January 22, 2021. mto-18 vol. 1:243–246 (In Russ.)].
6. Drokin IS, Ericheva EV, Bukhvalov OL et al. The experience of developing and implementing a system for searching for oncological formations using artificial intelligence on the example ofX-ray computed tomography of the lungs // Artificial intelligence in healthcare. 2019(3):48–57 (In Russ.)].
7. Nagpal K, Foote D, Liu Y et al. Development and validation of a deep learning algorithm for improving Gleason scoring of prostate cancer. doi:10.1038/s41746-019-0112-2 //NPJ Digit Med. 2019. URL:https://www.nature.com/articles/s41746-019-0112-2#citeas. ISSN (Online) 2398-6352.
8. Saltz J, Gupta R, Hou L et al. Spatial organization and molecular correlation of tumor-infiltrating lymphocytes using deep learning on pathology images. doi:10.1016/j. celrep.2018.03.086 // Cell Rep. 2018. ISSN 2211247. ELS «PubMed» [website]. URL:https:/pubmed.ncbi.nlm nih.gov/29617659/ (access date: 29 April 2022). Access mode: free.
9. Liu Y, Kohlberg T, Norouzi M et al. Artificial intelligence - based breast cancer nodal metastasis detection: Insights into the black box for pathologists. doi:10.5858/arpa. 2018-0147-OA // Archives of pathology & laboratory medicine. 2019;143(7):859–868. ISSN (Web) 1543-2165. ELS «PubMed» [website]. URL:https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30295070/ (access date: 29 April 2022). Access mode: free.
10. Bi WL, Hosny A, Schabath MB. Artificial Intelligence in Cancer Imaging: Clinical Challenges and Applications. doi:10.3322/caac.21552 // CA Cancer J Clin. 2019. ISSN (Electronic) 1542-4863. ELS «PubMed» [website]. URL:https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov /30720861/ (access date: 29 April 2022). Access mode: free.
11. Shimizu H, Nakayama KI. Artificial intelligence in oncology. doi:10.1111/cas.14377 Cancer Sci. 2020;111(5):1452–1460. ISSN (Online) 1349-7006. ELS «PMC. US National Library of Medicine National Institutes of Health» [website]. URL:https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/ articles/PMC7226189/ (access date: 29 April 2022). Accessmode: free.
12. Chernov VI, Choynzonov EL, Kulbakin DE et al. NonInvasive Diagnosis of Malignancies Based on the Analysis of Markers in Exhaled Air. doi:10.3390/diagnostics 10110934 // Diagnostics. 2020;10. ISSN 2075-4418. ELS «PubMed» [website]. URL:https://pubmed.ncbi.nlm. nih.gov/33187053/ (access date: 29 April 2022). Access mode: free.
13. R. B. Mokhtari, T. S. Homayouni, N. Baluch, E. Morgatskaya, S. Kumar, B. Das, H. Yeger. Combination therapy in combating cancer. Oncotarget. 8, 23, 38022–38043, 2017.
14. T. Yap, A. Omlin, J. de Bono. Development of therapeutic combinations targeting major cancer signaling pathways. Journal of Clinical Oncology, 31, 12 1592–1605, 2013.
15. M. Blagosklonny Analysis of FDA approved anticancer drugs reveals the future of cancer therapy. Cell Cycle, 3, 8, 1035–1042, 2004.
16. S. Kumar, R. Mokhtari, I. Oliveira, S. Islam, S. Toledo, H. Yeger, S. Baruchel. Tumor dynamics in response to antiangiogenic therapy with oral metronomic topotecan and pazopanib in neuroblastoma xenografts. Translational Oncology, 6, 4, 493-503, 2013.
17. S. Islam, R. Mokhtari, P. Akbari, J. Hatina, H. Yeger , W. Farhat. Simultaneous Targeting of Bladder Tumor Growth, Survival, and Epithelial-to-Mesenchymal Transition with a Novel Therapeutic Combination of Acetazolamide (AZ) and Sulforaphane (SFN). Targeted Oncology, 1, 2, 209-227, 2016.
18. K. Chen, Y. Huang, J. Chen. Understanding and targeting cancer stem cells: therapeutic implications and challenges. Acta Pharmacologica Sinica, 34, 6, 732-40, 2013.

19. N. Takebe, L. Miele, P. J. Harris, W. Jeong, H. Bando, M. Kahn, S. X. Yang, S. P. Ivy. Targeting Notch, Hedgehog, and Wnt pathways in cancer stem cells: clinical update. Nature Reviews Clinical Oncology, 12, 8, 445-464, 2015.
20. Frei E, Karon M, RH, Freireich EJ, Taylor RJ, Hananian J, Selawry O, Holland JF, Hoogstraten B, Wolman IJ, Abir E, Sawitsky A, Lee S. The effectiveness of combinations of antileukemic agents in inducing and maintaining remission in children with acute leukemia. Blood, 26, 642-656, 1965.
21. Quinn BA, Dash R, Sarkar S, Azab B, Bhoopathi P, Das SK, Emdad L, Wei J, Pellecchia M, Sarkar D, Fisher PB. Pancreatic Cancer Combination Therapy Using a BH3 Mimetic and a Synthetic Tetracycline. Cancer Research, 75, 2305-15, 2015.
22. M. Blagosklonny . "Targeting the absence" and therapeutic engineering for cancer therapy. Cell Cycle, 7, 1307-1312, 2008.
23. Chong CR, Sullivan DJ Jr. New uses for old drugs. Nature, 448, 645-646, 2007.
24. Ashburn TT, Thor KB. Drug repositioning: identifying and developing new uses for existing drugs. Nat. Rev. Drug. Discov., 3, 673-683, 2004.
25. Kumar S, Mokhtari RB, Oliveira ID, Islam S, Toledo SR, Yeger H, Baruchel S. Tumor dynamics in response to antiangiogenic therapy with oral metronomic topotecan and pazopanib in neuroblastoma xenografts. Translational Oncology, 6, 4, 493-503, 2013.
26. M. Blagosklonny. Immunosuppressants in cancer prevention and therapy. Oncoimmunology. 2013;2:e26961.
27. M. Blagosklonny. A new science-business paradigm in anticancer drug development. Trends Biotechnol.,21, 103-106, 2003.
28. Y, Yagawa, K. Tanigawa, Y. Kobayashi, M. Yamamoto. Cancer immunity and therapy using hyperthermia with immunotherapy, radiotherapy, chemotherapy, and surgery. Journal of Cancer Metastasis and Treatment. 2017, 3, 218-30, 20117. http://dx.doi.org/10.20517/2394-4722.2017.35.
29. A. Chirakadze, D. Jishiashvili, Z. Buachidze, K. Gorgadze, Z. Shiolashvili, A. Jishiashvili, N. Mitagvaria, I. Lazrishvili. New Approaches to development of New Nanomaterials for magnetic Hyperthermia of Cancer Cells and Prospectives of Combined Treatment of Cancer in Georgia. Journal of Low Dimensional Systems, 2, 1, 8-12, 2018.
30. Science and Technology Center in Ukraine (STCU) and Shota Rustaveli National Science Foundation of Georgia, Grant project # 7089 "Development of New Materials for the Self-Controlled (Curie Temperature Limited) Hyperthermia of Cancer Cells", 2018-2020, Final Report, 117 p.
31. D. Jishiashvili, A. Chirakadze, Z. Shiolashvil, A. Jishiashvili, N. Mitagvaria, Studies of the comparatively low-temperature synthesis and preliminary toxic characteristics of silver doped lanthanum manganite nanoparticles using conventional and microwave heating. Proceedings of MTP: Modern Trends In Physics, Baku State University Publishing House, ISSN 2522-4352, 2019, pp. 47-51.
32. N. Mitagvaria, A. Chirakadze, M. Devdariani, L. Davlianidze, T. Rtveladze. Whole Body Hyperthermia Induced Phenomenon of Hormesis (Experimental Study). Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences, 14, 4, 67-74, 2020.
33. A. Chirakadze, N. Mitagvaria, D. Jishiashvili, M. Devdariani, G. Petriashvili, L. Davlianidze, N. Dvali, K. Chubinidze, A. Jishiashvili, Z. Buachidze, I. Khomeriki. Development and Testing of Nanoparticles for Treatment of Cancer Cells by Curie Temperature Controlled Magnetic Hyperthermia. Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences, 15, 1, 91-99, 2021.
34. A. Chirakadze, N. Mitagvaria, D. Jishiashvili, G. Petriashvili, N. Dvali, Z. Shiolashvili, K. Chubinidze, N. Makhatadze, A. Jishiashvili, Z. Buachidze, I. Khomeriki. Microwave Synthesis, Characterization and Testing of Acute Toxicity of Boron Nitride Nanoparticles by Monitoring of Behavioral and Physiological Parameters. Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences, 15, 2, 120-126, 2021.

35. Faten. A. Khorshid, Gehan. A. Raouf, Salem. M. El-Hamidy, Gehan. S. Al-amri, Nourah. A. Alotaibi, Taha A. Kumosani. PMF, Cesium & Rubidium Nanoparticles Induce Apoptosis in A549 Cells Life Science Journal, 8, 3, 534-542, 2011.
36. N. Mitagvaria, A. Chirakadze, G. Chubinidze, N. Dvali, T. Chichua, N. Khuskivadze, M. Devdariani, L. Gumberidze, N.Kostiuchik. Development and Acute Toxicity Testing of Anticancer Drugs Based on Alkali Metal Solutions for Treatment of Non-Small Cell Lung Cancer. Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences, 17, 2, 142-147, 2023.
37. A. Chirakadze, G. Chubinidze, M. Bose, L. Hatui, N. Dvali, N. Khuskivadze, S.Bhattacharyya, R. Pradhan, M. Devdariani, L. Gumberidze, L. Davlianidze, N.Kostiuchik. Selective toxicity testing of Gemcitabine, DMSO, Rubidium and Cesium salts and Saline Solution Compositions in A549 and NHDF Cell Lines. Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences, 17, 3, 115-121, 2023.
38. M. Blagosklonny. Overcoming limitations of natural anticancer drugs by combining with artificial agents. Trends Pharmacol Sci. 2005; 26:77-81.

ნასახელარ ზმნათა მოდელები ქართულში და მათი ინგლისური შესაბამისობები

გიორგი ჩიკოიძე, ანა ჩუტკერაშვილი, ნინო ჯავაშვილი

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

რეზიუმე

ლექსიკური სემანტიკა დიალოგურ სისტემას საშუალებას აძლევს გაერკვეს ქართულ ენაში სიტყვის მნიშვნელობებსა და სიტყვებს შორის მიმართებების ნიუანსებში. სისტემაში ინტეგრირებული სიტყვათა ქსელი GeWordNet-ი უზრუნველყოფს "ქართულენოვანი ჭკვიანი დიალოგური სისტემის" (შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდის კვლევითი საგრანტო პროექტი) გამოყენებას არა მხოლოდ ეფექტური კომუნიკაციისთვის, არამედ სემანტიკური ცოდნის კონტექსტურად შესაბამისი პასუხების გენერაციისთვის; GeWordNet-ი ასევე უზრუნველყოფს ლექსიკურ-სემანტიკური რესურსის შექმნას ენის გაგების გასაუმჯობესებლად.

GeWordNet-ის სწორი ფუნქციონირებისთვის აუცილებელია ინგლისური ლექსემების შესატყვისების ქართული თარგმანი, რასაც, თავისთავად მივყავართ ორივე ენის სინთეზ-ანალიზის მოდულამდე. აქედან გამომდინარე, აუცილებელი ხდება იმ ნასახელარი ზმნების ზუსტი თარგმანის გენერირება, რომლებიც არაა შესული საბაზო ლექსიკონში.

სტატიაში განხილულია ქართული ნასახელარი ზმნების მოდელები და მათთვის შესაბამისი ინგლისური მოდელების ჩამოყალიბების მცდელობა.

საკვანძო სიტყვები:

ენობრივი მოდელი, ნასახელარი ზმნები, კონტექსტური და ლექსიკური შესაბამისობა

ზოგადი მიმოხილვა

ავტომატური თარგმნის სისტემებში გამოყენებული თანამედროვე და ეფექტური მიდგომები, ძირითადად, ორიენტირებულია მონაცემებზე და თარგმანის წესების განსაზღვრისთვის მოითხოვს პარალელურ ტექსტურ კორპუსებს. პარალელური კორპუსები მოიცავს ტექსტებს და მათ ეკვივალენტურ თარგმანებს. სამწუხაროდ, ქართული ენისთვის დიდი მოცულობის მრავალფეროვანი პარალელური კორპუსები ძალიან მწირია.

წინამდებარე სტატიისთვის მასალის დასამუშავებლად გამოყენებულია პარალელური კორპუსი [1].

სიტყვაწარმოება ენისთვის დამახასიათებელი მოვლენაა. ნასახელარი ზმნები ქართულში სიტყვაწარმოებას განეკუთვნება. ზმნური ფორმების წარმოება შესაძლებელია თითქმის ყველა სახელისაგან. ესენია როგორც ზოგადად სახელები (არსებითი, ზედსართავი, რიცხვითი სახელი, ნაცვალსახელი), ასევე საწყისი და მიმღეობა, დერივატები და კომპოზიტები.

ქართულ სამეცნიერო ლიტერატურაში ნასახელარ ზმნათა წარმოების საკითხს მნიშვნელოვანი ადგილი უკავია და სხვადასხვა ავტორის მიერ საფუძვლიანადაა შესწავლილი. ნასახელარი ზმნების მოდელები მოცემულია ბ. ჯორბენაძის მონოგრაფიაში „ზმნის გვარის ფორმათა წარმოებისა და ფუნქციის საკითხები ქართულში" [2], სადაც ისინი განხილულია გვარის მიხედვით და თითოეულ მოდელში წარმოების მიხედვით გამოყოფილია ქვემოდელები.

მოქმედებითი გვარის ნასახელარ ზმნებში ავტორის მიერ ორი მოდელია გამოყოფილი: „**ა + სახელის ფუძე + სუფიქსი** (ა-თეთრ-ებ-ს) და **სახელის ფუძე + სუფიქსი** (შხამ-ავ-ს)". ამ მოდელებში გაერთიანებული ზმნები, უმეტესად, სხვადასხვა ფუნქციის მატარებლები არიან. პირველი მოდელის ზმნები გარდაქცევითობის გამომხატველია, მეორე მოდელის კი ინსტრუმენტატივის.

„პირველი მოდელით (ა + სახელის ფუძე + სუფიქსი) ნაწარმოებ მოქმედებითი გვარის ზმნებს სუფიქსიანი ვნებითები შეესაბამება (გათეთრ-დ-ა) და, ისევე როგორც სათანადო მოქმედებითები, ისინიც გარდაქცევითობას გამოხატავენ. ხოლო მეორე მოდელით (სახელის ფუძე + სუფიქსი) ნაწარმოებ მოქმედებითი გვარის ზმნებს შეესატყვისება პრეფიქსიანი ვნებითები (ი-შხამ-ებ-ა), რომლებიც ინსტრუმენტატივის ფუნქციის მატარებლები არიან" [2].

ამ მოდელებს, საილუსტრაციო მაგალითებით, ქვემოთ უფრო დაწვრილებით განვიხილავთ.

ნასახელარი ზმნების შესახებ სიღრმისეული კვლევაა მოცემული მანანა ტუსკიას ნაშრომში [ნასახელარ ზმნათა ჩამოყალიბების ისტორია და თანამედროვე ენობრივი სიტუაცია [3], სადაც ბ. ჯორბენაძის ზემოხსენებულ მონოგრაფიაზე დაყრდნობით, ავტორის მიერ დაწვრილებით არის გადმოცემული ნასახელარ ზმნათა ფორმაწარმოების ისტორია; განხილულია ნასახელარი ზმნები ძველ ქართულ სასულიერო ლიტერატურაში, ჰიმნოგრაფიაში; და ბოლოს აღწერილია ნასახელარ ზმნათა როლი თანამედროვე ენობრივ სიტუაციაში.

სახელური ფუძეებისაგან ზმნური ფორმების წარმოების საკითხებს განიხილავს გ. გოგოლაშვილი წიგნში „ქართული ზმნა (ფორმაწარმოების საკითხები)" [4] და განარჩევს სახელური ფუძეებისაგან ზმნური ფორმების წარმოების რამდენიმე შემთხვევას. ერთპირიან ნასახელარ ზმნებს ავტორი ძირითადად ორ მორფოლოგიურ ჯგუფად წარმოგვიდგენს, სადაც ერთიანდება „ვნებითი გვარისა და საშუალი გვარის ე. წ. მედიოაქტიური ზმნები. თითოეულ ჯგუფში შეიძლება გამოიყოს ქვეჯგუფები ფორმაწარმოების თვალსაზრისით: ა) ინიანი ვნებითები, ბ) დონიანი ვნებითები, გ) „ავ ელემენტიანი რთული ფორმები თევზაობს-ითევზავა ტიპისა და დ) მარტივი ფორმები მეფობს – იმეფა ტიპისა" [4]. აღნიშნულია სახელის ფუძის ფონეტიკური ცვლილებებიც. აქვე ყურადღება გამახვილებულია თუ როგორია მიმართება სათანადო ზმნის სუბიექტსა და ზმნის ფუძით გადმოცემულ მნიშვნელობას შორის; ე. ი. იმ სახელით გადმოცემულ მნიშვნელობას შორის, რომლისგანაც სათანადო ზმნური ფორმა იწარმოება.

ნასახელარ ზმნათა მოდელები

მოქმედებითი გვარის მოდელები

ნასახელარი ზმნების რაღაც ნაწილს ახასიათებს გარდაქცევითობის გამოხატვის ფუნქცია. ამ მოდელში ერთიანდება *ა + სახელის ფუძე + სუფიქსი (თემის ნიშანი)* ტიპის მოქმედებითი გვარის ნასახელარი ზმნები, რომლებიც აღნიშნავენ „ზმნის ფუძედ გამოყენებული სახელის თვისებას, რადაც აქტიური, მოქმედი პირი აქცევს თავის უშუალო ობიექტს (ათეთრებს - თეთრად აქცევს)" [2], ან იმად გადაქცევას, იმად გახდომას, რასაც გამოხატავს ზმნის ფუძე/სახელი. მაგალითად, ადამიანი-გაადამიანება, ბავშვი-გაბავშვება, პრეზიდენტი-გაპრეზიდენტება, თავადი-გათავადება, სამხედრო-გასამხედროება, ღარიბი-გაღარიბება, ცუღლუტი-გაცუღლუტება, მკაცრი-გამკაცრება, ყალბი-გაყალბება, თხელი-გათხელება და სხვ. ასეთი ნასახელარი ზმნების ინგლისურ თარგმანებში ძირითადად გამოყენებულია *სიტყვები:* turn, make, become, begin, get. შესაბამისად, გარდაქცევითობის გამომხატველი მოქმედებითი გვარის მოდელი იყოფა ქვემოდელებად. ჩვენ მას, პირობითად, „turn ტიპის" მოდელს ვუწოდებთ. მაგალითად,

ხშირად, სიცხე რძეს **ამჟავებს.** – 'Milk is often **turned sour** by heat.'

ვაითუ მომატყუეს, ვაითუ ძალით **დავიბრმავე** თვალიო. – 'Too bad, if I was misled; too bad, if I deliberately **turned a blind eye**.'

კვაჭი განგებ თვალს **იბრმავებდა,** რადგან მისი საყვარლების ჩაცმაც და გახდაც, ლხინიც და ჰოტელის შენახვაც ისევ ტანია პროზოროვას სქელ ჯიბეს დააწვა. – 'Kvachi deliberately **turned a blind eye** because he was using Tania Prozorova's deep pockets to pay for dressing and undressing his mistresses, feasting, and keeping a hotel.'

მამიდა ყამარზე ამბობდნენ, კაცს თუ შეხედა, ადგილზე **გააქვავებსო.** – 'It was said of Aunt Qamar that if a man looked at her he **would be turned to stone** on the spot.'

ფარნაოზს ერთ ადგილზე აბამდა, მის ფიქრსა და სურვილებს იწოვდა და **აქვავებდა.** – 'It kept Parnaoz tied to one place, sucked him dry of thoughts and desires and **turned him to stone**, too.'

უძლურობამ უხეირო **დააბრძენა** კიდეც. – 'Disability **had made Ukheiro wiser**.'

მოსალოდნელმა საფრთხემ უცებ **გამოაფხიზლა** და **დააბრძენა** ოყაჯადო. – 'The imminent danger suddenly **made Oqajado alert and wise.'**

აქ ერთი ბანკირია, გვარად განუსი, თქვენი ამხანაგია, რომელიც თურქისტანის კონცესიით **გაამდიდრეთ.** – 'There is a banker by the name of Ganus, your colleague, the one you **made rich** with the Turkestan concession.'

ყველაფერი ისე სიამოვნებდა, ისე **ალაღებდა** და **აბედნიერებდა,** ხმის ამოღებაც ვერ გაებედა. – 'Everything pleased him, **made him feel so carefree** and **happy** that he dared not utter a word.'

ეს ახალი გრძნობა თუ შეგრძნება, მართალია, აკრთობდათ, მაგრამ **აბედნიერებდათ** კიდეც, როგორც ფეხმძიმე ქალს პირველად შეძრული ნაყოფი. – 'True, this new feeling or sensation made them tremble, but it also made them happy, like a woman who feels her baby kick for the first time.'

პატივი დამდეთ, გამაბედნიერეთ. – 'Do me the honor, and make me happy.'

– განა ეს რამეს გააიოლებდა? – 'Would it really have made this any easier?'

„მამიდამისის ბრალია, ის **ასულელებსო"** - ამბობდნენ ძიძა-გადიები. – '"It's his aunt's fault, she's **made a fool** of him", - said the nurses.'

ასულელებს ალბათ. ცოლიც ჰყავს და შვილიც. – 'Probably, he **is making a fool** of herself, he has a wife and a child, too.'

პარალელურ კორპუსში ინგლისურად ნათარგმნ ტექსტებში, ერთი ქართული კონკრეტული ნასახელარი ზმნა რამდენიმე განსხვავებული სიტყვით შეიძლება იყოს გადმოცემული. ამას სხვადასხვა ახსნა შეიძლება ჰქონდეს: ინგლისური ენის სპეციფიკა, სათარგმნი სიტყვის სხვა სიტყვებთან კავშირი, კონტექსტი, სხვადასხვა მცირე ნიუანსი ან სულაც მთარგმნელის გემოვნება (განსაკუთრებით მხატვრულ თარგმანში).

ეს ბუჩქები **გამწვანდება.** – 'These bushes **will turn green**.'

I find Remote's on switch, **I make it green**' – 'პულტის ჩასართავ ღილაკს ვპოულობ და **ვამწვანებ**.'

ზემოთ ნახსენები მოქმედებითი გვარის ზმნების შესაბამისი პრეფიქსიანი ვნებითების რაღაც ნაწილი სახელის ფუძეზე თემის ნიშნის დართვით ინსტრუმენტატივობის გამომხატველ ზმნებს აწარმოებს [2]. შხამავს-იშხამება, წამლავს-იწამლება, კვანძავს-იკვანძება და სხვ. თუ, იმ მოდელს ინგლისურში, ძირითადად, „turn ტიპის" მოდელი ეთანადება, ეს მოდელი ინგლისურ თარგმანში სხვადასხვანაირად გადმოიცემა, მათ შორის „turn ტიპითაც".

„წმინდა ადგილიდან" ზღვა ყვავილების გატანისას, ერთი პირობა, ისევ **დაიწამლა** ხალხი. – 'When a sea of flowers was cleared from the "holy place", once again people **were poisoned**.'

Don't eat them—**they'll poison** you! – 'არ შეჭამოთ, თორემ **მოიწამლებით!**'

თორმეტმა კაცმა **დაიფიც**ა, დაადასტურა და ოქმს ხელი მოაწერა. – 'Twelve people **swore**, confirmed, and signed the statement.'

I remembered the ridiculous ribbon around my neck and tried to yank it free, but it would not come; the bow **turned into a knot**. – 'უცებ მე ჩემი სულელური ბაფთა გამახსენდა და მოგლეჯა ვცადე, მაგრამ ბაფთა არ გაიხსნა, პირიქით, უარესად **გაიკვანძა.**

ვნებითი გვარის მოდელები

ქართულში შეინიშნება პრეფიქსიანი და სუფიქსიანი ვნებითების პარალელური გამოყენება. განსხვავება მხოლოდ ზმნის მოდელშია. "ვნებითი გვარის ნასახელარი ზმნების აწმყოც ორი მოდელით იწარმოება: 1. სუფიქსიანი ვნებითის მოდელით (სახელის ფუძე + დ + თემის ნიშანი) - თეთრ-დ-ებ-ა, ერთ-დ-ებ-ა, ცივ-დ-ებ-ა, მწარ-დ-ებ-ა, კაც-დ-ებ-ა და ა. შ. 2. პრეფიქსიანი ვნებითის მოდელით (ი/ე + სახელის ფუძე + სუფიქსი) - ი-ბარ-ებ-ა, ი-მურ-ებ-ა, ი-ფარცხ-ებ-ა, ი-ფილტრ-ებ-ა, ი-ლურსმნ-ებ-ა, ი-სეტყვებ-ა და ა, შ. (შესაბამისად: ე-ბარ-ებ-ა, ე-მურ-ებ-ა, ე-ფარცხ-ებ-ა და მისთნ.)" [2].

დ სუფიქსიანი (დონიანი) ვნებითები უმეტესად ნასახელარი ზმნებია. ქართულის ამ მოდელისთვის ინგლისურში რაიმე ნიშნით გამორჩეული მოდელი არ აღინიშნება. ძირითადად, სახელი და ზმნა ერთი და იგივე სიტყვაა. სხვადასხვა ნასახელარი ზმნა ინგლისურად სულ სხვადასხვანაირი ფორმებით არის ნათარგმნი. შეინიშნება გარკვეული ტენდენციებიც. მაგალითად, სიტყვა *აგროვებს - მოგროვდა/ დაგროვდა/ შეგროვდა.* ორივე გვარის ზმნა (მოქმედებითიც და ვნებითიც) სახელის მნიშვნელობისა და ტექსტის შინაარსის გათვალისწინებით სხვადასხვა სიტყვებით არის ნათარგმნი. თუ ხალხის მოგროვება/ თავმოყრა იგულისხმება, მაშინ ინგლისურ თარგმანში უმეტესად გამოყენებულია სიტყვა gather და crowd. ხმების (საარჩევნო) მოგროვება ნათარგმნია სიტყვით vote. ფულის, საბუთებისა და სხვა ნივთების მოგროვებისთვის გამოიყენება სიტყვები: save, collect, accumulate, gather.

ვერასოდეს **აგროვებს** ხმათა უმრავლესობას სხვა პალატაში. – 'They are never even **voted on** in other chamber.'

მამა აფრიკაშია, პეპლების კოლექციას **აგროვებს.** – 'Daddy is in Africa, **collecting** butterflies.'

კაპიკს კაპიკზე აწებებს, მოსკოვში ჩამოსასვლელი ფული რომ **შეაგროვოს** როგორმე. – 'She hoards her pennies **to save up** the money for a trip to Moscow.'

ლოჟის გარშემო ხალხი შეგროვდა. – 'People gathered round their private room.'

ერთი საათის შემდეგ ის ბრბო როგორც **მოგროვდა,** ისე დაიშალა. – 'An hour later the mob dispersed just as **it had gathered**.'

თუ სახელის ფუძე ფერის აღმნიშვნელი სიტყვაა, ისევე როგორც გარდაქცევითობის გამომხატველ მოდელში, ინგლისური ენის მოდელებში turn მოდელი მუშაობს, რომელიც მოიცავს turn, become, make სიტყვებს.

ელენე ოდნავ **გაფითრდა.** – 'Elena just **turned pale.'**

მკერდზე ჩამოღვრილმა წყალმა ქვა უცებ **გააშავა.** – 'When he spilled water on his chest, the stone instantly **turned black**.'

სადღაც, მისი სულის წყვდიადიდან დაძრული სიცივე ძვალ-რბილში უჯდებოდა, აცახცახებდა, **ალურჯებდა.** – 'From somewhere in the depths of her soul a chill came and penetrated her flesh and bones, making her shiver, **turning her blue**.'

ალექსი ერთ თვეში ორად მოიხარა, დაბერდა, **გათეთრდა,** გახდა და დაპატარავდა. – 'In a month Aleksi **had become** bent, elderly, **white**, thin, and shrunken.'

უნდა აღინიშნოს, რომ გაწითლება (თუ ის ადამიანს ეხება) კორპუსში ყველგან ნათარგმნია სიტყვით blush.

მღვდელი **გაწითლდა** და თავის გასამართლებლად წაილუღლუღა: – 'The priest **blushed** and started mumbling in self-justification'

მედეა ყურებამდე **გაწითლდა** და უნებურად ხელები სახეზე აიფარა. – 'Medea **blushed** to the ears and couldn't help covering her face with her hands.'

გამონაკლისია მხოლოდ ისეთი შემთხვევები, როდესაც სიტყვა გაწითლებასთან ერთად წინადადებაში გაფითრებაც არის. ასეთ დროს ისევ turn მოდელია გამოყენებული.

კვაჭი გაოცდა, აირია, გაფითრდა და **გაწითლდა.** – 'Kvachi was astounded, utterly taken aback, and he **turned** alternately **red** and pale.'

აირია, გაფითრდა, **გაწითლდა** და ცახცახმა აიტანა. – 'His mind blurred, he **turned** deadly pale, then bright **red** and began to shiver.'

შინაარსობრივად გაწითლება თუ "გაკომუნისტებას" ნიშნავს, მაშინ ისევ turn მოდელი იხმარება.

თუ კერენკამ გეიმარჯვა, მაშინათვე მარცხენა ფეხსაც მარჯვნივ გადმოვდგავ, თუ წითლებმა გეიმარჯვეს, მარჯვენა ფეხსაც მაშინათვე მარცხნივ გადავდგავ და მეც **გავწითლდები.** – 'If Kerensky wins, I move my left foot straight away to the right; if the Reds win, then I instantly move my right foot to the left and **turn red** myself.'

გაგიყოლებს და გაჩვენებს წითელ მოსკოვის ნამდვილ **გაწითლებას,** დამუქებას და გათეთრებას! – 'Who will take you with him and show you how to **turn** Red Moscow really **red**, then darken it, and make it white.'

ამ უკანასკნელ მაგალითში სამი ფერიდან ნაწარმოები ერთი ქართული მოდელის ნასახელარი ზმნა ინგლისურად სამი სხვადასხვა მოდელით არის ნათარგმნი: turn red, darken, make it white.

ქართულში *სახელის ფუძე + დ + თემის ნიშანი* მოდელში გაერთიანებულია „ძირითადად საგნის ნიშნის ან თვისების გამომხატველ სახელთაგან ნაწარმოები ზმნები. ვამბობთ „საგნის ნიშნის ან თვისების" და არა ზედსართავს, რადგან ამ ჯგუფში შეიძლება შემოვიდეს არსებით სახელთაგან ნაწარმოები ზმნებიც, როცა არსებითი სახელი საგნის ნიშანს ან თვისებას გამოხატავს და არა საგანს: გამხეცდა, გამგელდა, გაჯიქდა... მხეცი, მგელი, ჯიქი ამ შემთხვევაში ზედსართავის ფუნქციით გამოდის" [4]. ამ მოდელის ნასახელარი ზმნები ახალ მნიშვნელობას იძენს სახელის შინაარსის/თვისების მიხედვით და გადატანითი მნიშვნელობითაც იხმარება.

კვაჭიმ ძალას ძალა დაუხვედრა: დაიჟინა, გამწარდა, გაცეცხლდა და **გამხეცდა.** – 'Kvachi met force with force: he insisted, he **grew** determined, then **fiery** and then **ferocious.'**

The King **was in a rage** in a moment, he seized a billet of wood and was in the act of charging upon the youth when another mocking laugh fell upon his ear. – 'მეფე **გააფთრდა,** ხელი წაავლო შეშის ნაპობს და ის იყო ყმაწვილისთვის უნდა დაერტყა, რომ მეორე მხრიდან სხვისი სიცილი გაიგონა.'

The storm **culminated** in one matchless effort that seemed likely to tear the island to pieces, burn it up, drown it to the treetops, blow it away, and deafen every creature in it. – 'გრიგალი ბოლოს ისე **გააფთრდა, გაალმასდა,** თითქოს სურს, მთელი კუნძული ნამსხვრევებად აქციოს, დაწვას, წყლით დაფაროს და დედამიწის პირიდან აღგავოს, დააყრუოს ყველა ცოცხალი არსებაო.'

და ენა მოიკვნიტა, აინთო და **გახევდა.** – 'Then he bit his tongue, turned bright red and **became dumbstruck**.'

დამბალი გული ისევ შეიკუმშა და **გაკაჟდა.** – 'His resigned heart contracted again and **became as hard as flint**.'

ხანგამოშვებით, დაკარგული სახლი და გულგატეხილი ელენე რომ მოაგონდებოდა ხოლმე, **აცეცხლდებოდა,** აცქმუტუნდებოდა, **აპილპილდებოდა.** – 'Every now and again, when he thought about his lost house and his heartbroken Elene, he would **become fiery**, restless, and **hot-tempered**.'

ვაჟს სახე **წამოჭარხლოდა,** ცხელოდა და თვალი სარკმლისაკენ გაურბოდა. – 'The lad **blushed deep red**: he felt hot and couldn't stop looking out of the window.'

ქართულ დონიან ვნებითებს ეთანადება ინგლისურში -en სუფიქსიანი მოდელი, რომელიც არსებითი და ზედსართავი სახელებისგან აწარმოებს ზმნებს – adjective/noun + -en

→ verb – და გამოხატავს სახელის თვისების მეტ ექსპრესიულობას. ამ შემთხვევაში ქართული და ინგლისური მოდელები ზუსტად ეთანადება ერთმანეთს.

„ესე იგი"?! - თვალები **უდიდდება** კოლია-კლოდს. – '"So"? KoliaClaude's eyes **widens**.'

Streets **widened** and **narrowed**. – 'ქუჩები **ფართოვდებოდა** და **ვიწროვდებოდა.'**

Prabaker let out a soft moan, and his eyes **widened**. – 'პრაბაკერმა ხმადაბლა დაიკვნესა და თვალები კიდევ უფრო **გაუფართოვდა.'**

Winter will pass, the days **will lengthen**, the ice will melt in the pasture pond. – 'გავა ზამთარი, დღე **მოიმატებს** და საძოვრის ტბორზე ყინული გალღვება.'

მოქმედებითი გვარის მეორე მოდელის მსგავსად, რომელიც ნასახელარ ზმნებში ინსტრუმენტატივობას გამოხატავს, პრეფიქსიანი ვნებითის ეს მოდელიც (ი/ე + სახელის ფუძე + სუფიქსი) სახელის ფუძის (რომლისგანაც მოცემული ზმნა არის ნაწარმოები) ინგლისური თარგმანით გამოიხატება.

როგორ შეიძლება საკვები **დაიჟანგოს** ჟანგბადის გარეშე? – 'How can food **be oxidized** without oxygen?'

ქვაბი **დაიჟანგა** და ფარდაგი დალპა. – 'The saucepan **had rusted** and the mat decayed.'

ნებისმიერ საზოგადოებაში თავისუფლება მრავალი სხვადასხვა გზებით იზღუდება – 'Freedom in any society is limited in all sorts of ways.'

ატომების მნიშვნელოვანი ნაწილი იჟანგება. – 'A considerable number of atoms are oxidized.'

იაპონია ერთადერთი სახელმწიფოა მსოფლიოში, რომლის ქალაქები ბირთვული იარაღის გამოყენებით **დაიბომბა**. – 'As the only country in the world to have had **nuclear weapons dropped** on its cities.'

მაგრამ განა მართლა წლობით **იზომება** ნამდვილი სიცოცხლე, ნამდვილი გრძნობა, ნამდვილი ურთიერთობა საერთოდ?! არა მგონია. – 'But can an actual life, feeling, or relationships in general really **be measured** in years? I think not.'

ეს მასალა ცალკე უნდა **დაილუქოს**. – 'This material should **be sealed** separately.'

პრეფიქსიანი ვნებითის მოდელში მოიაზრება, როგორც გ. გოგოლაშვილი აღნიშნავს, „იმეფა" ტიპის (მარტივი ფორმები) ზმნები [4], „სუბიექტი ავლენს ზმნის ფუძით გადმოცემულ მნიშვნელობასთან დროებით მსგავსებას, დროებით ასრულებს მის ფუნქციას, მოვალეობას: ბავშვობს კაცი – კაცი ბავშვივით იქცევა; ვეზიროობს – ვეზირის მოვალეობას ასრულებს; კაცობს, ხევისბეროობს და სხვა". ავტორი ამ მოვლენას მსგავსებითობას უწოდებს, თუ სახელის სემანტიკა ამის შესაძლებლობას იძლევა. ასეთი შემთხვევებშიც ამ მოდელს ინგლისური თარგმანით ეთანადება:

ერთი ცხადი იყო, მედეას ვერაფერი გაეგო, ანდა **ეშმაკობდა** და თვალს არიდებდა სატკივარს, რომელსაც ქარისა აჩეჩებდა. – 'It was clear that Medea had misunderstood her, or **was being devious** and deliberately averting her eye from the pain that Chalciope was trying to show her.'

სანამ კვაჭი ჰბრძანებლობდა, ოპერატორი აპარატს ატრიალებდა, მოლარენი **არტისტობდნენ** და დანარჩენები სულელურად იღიმებოდნენ. – 'While Kvachi was giving orders, the cameraman was turning the camera, the cashiers **were acting**, and everyone else was smiling stupidly.'

ოთხივე ევროპულად, გამოწყობილი, უწინდელზე უარესად იბერებოდნენ და ასე **ბაქიობდნენ.** – 'The four of them dressed like Europeans and gave themselves even more airs, proudly, even haughtily **boasting**.'

საბოლოოდ, ვნებითი გვარის მოდელები ინგლისურში სხვადასხვა ასპექტს მოიცავს, მაგრამ, უმეტესად, განსაკუთრებით დონიანი ვნებითები, გადმოიცემა become + adjective (to become white → to turn white 'თეთრდება'), turn + adjective (to turn bitter → to become bitter 'მწარდება'), verb (to change into) (to change into a man → to humanize, or to turn into a man 'კაცდება') მოდელებით.

საშუალი გვარის მოდელები

აღსანიშნავია, რომ სახელებიდან უამრავი ნასახელარი ზმნის წარმოებაა შესაძლებელი, რომელთა მნიშვნელოვანი ნაწილი საშუალი გვარისაა. ისევე, როგორც მოქმედებითი და ვნებითი გვარის ნასახელარ ზმნებში, საშუალ გვარშიც ორი მოდელია: ერთი მოდელის ზმნები სახელის ფუძეზე პირის ნიშნის დართვით იწარმოება, მეორე კი, როგორც ზემოთ ითქვა, -ავ, -ობ, -ებ თემის ნიშნების დართვით.

მიწაზე დანარცხებისას ისე **დაიქუხა,** სარდაფის კედლები დაიბზარა, მტვრით აივსო იქაურობა. – 'He crashed so thunderously to the ground that the cellar walls cracked, the whole cellar was filled with dust.'

აკი ბიძასაც ასე უთხრა: ჩემი **გშურს** და იმიტომ გეჯავრებიო. – 'Naturally, he told his uncle: "You **envy** me, that's why you hate me".'

The frost around the edges of the window has started to melt, and water drips down the cabinet. – 'ყინვამ ფანჯრის კიდეებზე დნობა დაიწყო და წყალი შიგნით **წვეთ**ავს.'

კვაჭიმ და ამხანაგობამ თითქმის ორი წელიწადი **ინადირეს** და **ითევზავეს** იმ უძირო და უზღურბლო ზღვაში. – 'Kvachi and his gang **had been hunting** and **fishing** for nearly two years in this bottomless, boundless sea.'

– It'll probably snow, so you can **go sledding**. – 'ალბათ თოვლიც წამოვა და **იციგავებ** კიდეც.'

იქნებ როგორმე შევიკავოთ თავი. არადა, ყველა **ჭორაობს.** – 'Somehow, possibly, we should control ourselves. But everyone **is spreading rumours**.'

ინგლისურ მოდელად შეიძლება განვიხილოთ საკვების მიღების სტანდარტული ტერმინები - **to have + meal -**, რომლებსაც ქართულში, ძირითადად, ობ თემისნიშნიანი საშუალი გვარის ნასახელარი ზმნები შეესაბამება: საუზმობა - have breakfast; have lunch, წახემსება -have a snack, სადილობა - have dinner, ვახშმობა, ვახშმის მირთმევა - have supper.

My mother reminded me gently that I had not **had my breakfast**. – 'დედამ მორიდებით შემახსენა, არ **გისაუზმიაო**.'

We'll just **have lunch**, and then I'm sure you've got a wonderful program lined up for this afternoon! – 'ახლა **წავიხემსოთ,** მერე კი, დარწმუნებული ვარ, ნაშუადღევისთვის უკვე მშვენიერი პროგრამა გექნებათ მომზადებული.'

We **had dinner** out in that broad open passage betwixt the house and the kitchen. – 'სახლსა და სამზარეულოს შორის მოთავსებულ ფართო დერეფანში **ვისადილეთ**.'

When I and the king and the duke got home to the raft we all **had supper**. – 'მეფე, ჰერცოგი და მე დავბრუნდით შინ, ტივზე, და **ვივახშმეთ**.'

– უთხარი, გრიშკა რასპუტინი **ქეიფობს** და გიბრძანებს-თქო! – 'Tell them, Grigory Rasputin is **having a party** and wants them to come.'

თუმცა, ამ მოდელის პარალელურად, ეს ტერმინები **have** ზმნის გარეშე არც თუ იშვიათად იხმარება სიტყვის პირდაპირი მნიშვნელობით. ბოლო მაგალითში ორივე მოდელია გამოყენებული:

Yes, he's gone, my son, and you must come in and **eat your dinner** with us. – 'წასულა, შვილო, შენ კი შემოდი და ჩვენთან **ისადილე**.'

იმ დღეს კი კვაჭმა ჰოფშტეინთან **ისადილა,** მერმე ერთი გაკვეთილი კიდევ მიიღო. – 'Kvachi **dined** with Hofstein that day, then had one more lesson.'

ხან ივანესთან **სადილობდა,** ხან სიდორთან **ვახშმობდა,** ხან კუზმასთან **ქეიფობდა.** – 'Sometimes he **dined** with Ivan, sometimes he **had supper** with Sidor, sometimes he **feasted** with Kuzma.'

დასკვნა

ნასახელარი ზმნების წარმოება ქართულში მრავალფეროვან მორფოლოგიურ მოდელებს ეყრდნობა, რომელთა მეშვეობითაც ზმნური ფორმები წარმოიქმნება სახელებიდან (არსებითი, ზედსართავი და სხვ.). განხილულია მოქმედებითი, ვნებითი და საშუალი გვარის ნასახელარი ზმნების მოდელები, რომლებიც გამოირჩევიან ფუნქციური ნიშნებით, როგორიცაა, მაგალითად, გარდაქცევითობისა და ინსტრუმენტატივობის გამოხატვა.

კვლევა ეყრდნობა პარალელურ კორპუსში მოძიებულ მასალას და მოყვანილია მრავალი კონკრეტული მაგალითი თუ როგორ არის გადმოცემული ქართული ნასახელარი ზმნები ინგლისურ თარგმანებში. აღსანიშნავია, რომ ხშირად ერთი და იგივე ქართული ზმნა სხვადასხვა კონტექსტში სხვადასხვა ინგლისური ლექსიკური ერთეულით გადაითარგმნა. ამით წარმოჩენილია თარგმნის პროცესში კონტექსტის, სიტყვის სემანტიკისა და მთარგმნელის სტილისტური არჩევანის მნიშვნელობა.

ასევე აღსანიშნავია, რომ ზოგიერთ ქართულ ზმნას შეესაბამება ინგლისური სტრუქტურული მოდელები, მაგალითად: become + adjective, turn + adjective, ან have + noun, რაც საშუალებას იძლევა პარალელები გაივლოს ქართულ და ინგლისურ დერივაციულ სისტემებს შორის.

ნაშრომი მნიშვნელოვანია როგორც ქართული სიტყვაწარმოების, ისე თარგმნის თეორიის მიმართულებით და ქმნის სიღრმისეულ საფუძველს ენობრივი კვლევებისა და მათი პრაქტიკული გამოყენებისთვის, მათ შორის ავტომატური თარგმნითი სისტემების დახვეწისათვის.

Georgian Denominative Verb models and Their English Equivalents

George Chikoidze, Anna Chutkerashvili, Nino Javashvili

Summary

Lexical semantics enables a dialogue system to grasp the nuances of word meanings and interrelations in the Georgian language. The integration of the lexical network GeWordNet into the system supports the development of an intelligent Georgian-language dialogue interface, facilitating not only effective communication but also the generation of semantically appropriate responses in context. GeWordNet further contributes to the creation of a lexical-semantic resource aimed at enhancing language understanding.

For GeWordNet to function correctly, accurate Georgian translations of corresponding English lexemes are essential. This necessity, in turn, leads to the development of synthesis and analysis modules for both languages. Consequently, it becomes crucial to generate precise translations for deverbal verbs that are not included in the core lexicon.

The article discusses models of Georgian denominative verbs and explores the possibility of establishing corresponding English structural models for them.

Грузинские модели отыменных глаголов и их английские эквиваленты

Георгий Чикоидзе, Анна Чуткерашвили, Нино Джавашвили

Резюме

Лексическая семантика позволяет диалоговой системе понимать нюансы значений слов и отношений между ними в грузинском языке. Интеграция лексической сети GeWordNet в систему способствует созданию интеллектуального грузиноязычного диалогового интерфейса, обеспечивающего не только эффективную коммуникацию, но и генерацию семантически

адекватных ответов в контексте. Кроме того, GeWordNet служит основой для формирования лексико-семантического ресурса, направленного на улучшение понимания языка.

Для корректного функционирования GeWordNet необходим точный перевод английских лексем на грузинский язык, что, в свою очередь, требует разработки модулей синтеза и анализа для обоих языков. В связи с этим становится особенно важным создание точных переводов отыменных глаголов, которые отсутствуют в базовом лексиконе.

В статье рассматриваются модели грузинских отглагольных глаголов и предпринимается попытка найти соответствующие им структурные модели в английском языке.

ლიტერატურა – References – Литература

1. პარალელური კორპუსი https://corp.dict.ge.
2. ჯორბენაძე ბ. ზმნის გვარის ფორმათა წარმოებისა და ფუნქციის საკითხები ქართულში https://dspace.nplg.gov.ge/bitstream/1234/439901/1/ZmnisGvarisFormataWarmoebisaDaFunqciisSakitxebiQartulshi.pdf.
3. ტუსკია მ., ნასახელარ ზმნათა ჩამოყალიბების ისტორია და თანამედროვე ენობრივი სიტუაცია, ქართული სიტყვის კულტურის საკითხები, წიგნი მე-14, გვ. 143-158. თბილისი https://ice.ge/of/wp-content/uploads/2019/03/TuskiaM._14Tomi43- 158gv. pdf.
4. გოგოლაშვილი გ., ქართული ზმნა (ფორმაწარმოების საკითხები) https://dspace.nplg.gov.ge/bitstream/1234/462029/1/Qartuli_Zmna_2010.pdf.

ნაშრომი განხორციელდა შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდის მხარდაჭერით (გრანტი FR-24-11637)

პიროვნებასა და კომპიუტერულ სისტემას შორის ვერბალური კომუნიკაციის სიმულატორი და ცოდნის წარმოდგენის მეტაენის შემუშავება

მანველ კლოიანი, ლიანა ლორთქიფანიძე, ლევან მაკრახიძე

manvel.kloyan@gmail.com, l_lordkipanidze@yahoo.com

რეზიუმე

სტატია ეხება პიროვნებასა და კომპიუტერულ სისტემას შორის ვერბალური კომუნიკაციის პროცესის სიმულაციასა და ცოდნის წარმოდგენის მეტაენის შემუშავებას, რომელიც წარმოადგენს თანამედროვე ინტელექტუალური სისტემების ერთ-ერთ ძირითად ინსტრუმენტს. ნაშრომში განხილულია მეტაენის თეორიული საფუძვლები, მისი როლი ცოდნის სტრუქტურირებაში, ფორმალიზაციაში და ინტერპრეტაციაში. მეტაენა ქმნის უნივერსალურ ჩარჩოს, რომლის მეშვეობითაც შესაძლებელია დომენზე სპეციფიკური ცნებების, ქმედებებისა და მიზნების აღწერა. განსაკუთრებული ყურადღება ეთმობა დიალოგურ სისტემებს, სადაც მეტაენა გამოიყენება დიალოგის თანმიმდევრობის მოდელირებისთვის და მომხმარებელთან ეფექტური კომუნიკაციის ორგანიზებისთვის. მაგალითების დონეზე წარმოდგენილია რეგისტრაციის, სამედიცინო კონსულტაციისა და ბილეთების დაჯავშნის სცენარები, რომლებიც ნათლად აჩვენებს მეტაენის პრაქტიკულ ღირებულებას. ასევე განხილულია განათლების სფერო, სადაც მეტაენა საშუალებას იძლევა სტრუქტურირებულად განისაზღვროს სასწავლო პროგრამები, პედაგოგიური მიდგომები და შეფასების მოდელები. სტატიაში ყურადღება გამახვილებულია ინტელექტუალური სისტემების განვითარების პერსპექტივებზე, ნეირონულ და სიმბოლურ მეთოდთა შერწყმაზე, რაც ქმნის უფრო ადაპტირებადი და ეფექტური დიალოგური პლატფორმების შექმნის შესაძლებლობას.

საკვანძო სიტყვები:

მეტაენა, ცოდნის წარმოდგენა, ვერბალური კომუნიკაციის სიმულატორი, ინტელექტუალური სისტემები.

1. შესავალი

ადამიანსა და კომპიუტერულ სისტემას შორის შედეგიანი ურთიერთქმედება წარმოადგენს თანამედროვე ხელოვნური ინტელექტისა - AI (Artificial Intelligent) და ინტერაქტიული ტექნოლოგიების - HCI (Human-Computer Interaction) კვლევის ერთ-ერთ მთავარ მიმართულებას. იმისათვის, რომ სისტემამ შეძლოს არა მხოლოდ ფორმალური პასუხის გაცემა, არამედ კონტექსტზე მორგებული რეაგირება, აუცილებელია ორი კომპონენტის არსებობა: სიმულატორის, რომელიც ახდენს დიალოგის მოდელირებას, და ცოდნის წარმოდგენის მეტაენის, რომელიც განსაზღვრავს აგენტის ცოდნის მოცულობასა და მისი წარმოჩენის გზებს.

თანამედროვე მსოფლიოში ცოდნის ინტენსიური დაგროვებისა და გამოყენების ფონზე, განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება ამ ცოდნის ეფექტურად სტრუქტურირებას, სისტემატიზაციასა და გადაცემას. ციფრული ტექნოლოგიების, ხელოვნური ინტელექტისა და ინტერდისციპლინური კვლევების განვითარების პირობებში წარმოიშვა მოთხოვნა ისეთი ფორმალური საშუალებებისა, რომლებიც ცოდნის კონკრეტული სფეროს აღწერის საშუალებას იძლევა მაქსიმალურად ზუსტად, კომპაქტურად და გასაგებად. სწორედ ამ

საჭიროებას პასუხობს მეტაენის კონცეფცია, როგორც ცოდნის წარმოდგენის ფორმალიზებული სისტემა.

მეტაენა არ წარმოადგენს მხოლოდ ტექნიკურ ინსტრუმენტს – იგი წარმოადგენს საძირკველს, რომელზეც დამყარებულია ცოდნის მოდელირება, სტანდარტიზაცია და შემდგომი ინტერპრეტაცია [1,2]. ამ პროცესში მეტაენა უზრუნველყოფს როგორც ცალკეული სფეროს ტერმინოლოგიის სტრუქტურირებას, ასევე მის შიდა კანონზომიერებებზე დაყრდნობით ახალი ცოდნის გამოყოფასა და სხვადასხვა სფეროსთან ინტეგრირების შესაძლებლობას.

ამ სტატიის მიზანია წარმოადგინოს მეთოდოლოგიური ჩარჩო, რომელიც საშუალებას იძლევა, შეიქმნას მეტაენა ცოდნის კონკრეტული სფეროსთვის, რომლის მეშვეობითაც შესაძლებელი გახდება ამ დარგში არსებული ინფორმაციის სისტემური აღწერა. აღნიშნული მიდგომა განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ისეთ სფეროებში, სადაც ცოდნა მოცულობითია, დინამიკურად ცვალებადი და განსხვავებული სუბიექტების მიერ გამოიყენება (მაგალითად განათლება, მედიცინა, სამართალი, საინფორმაციო ტექნოლოგიები და სხვ.).

2. მეტაენის ცნება და როლი ცოდნის წარმოდგენაში

ცოდნის წარმოდგენის მეტაენა წარმოადგენს სპეციალურ ფორმალურ ან ნახევრად ფორმალურ სისტემას, რომლის მიზანია ცოდნის სტრუქტურირებული აღწერა, ორგანიზება და ინტერპრეტაცია. იგი მოქმედებს „მეტა“-დონეზე, რადგან განსაზღვრავს წესებსა და სემანტიკურ სტრუქტურებს, რომელთა მეშვეობით ცოდნის სხვადასხვა დომენი გარდაიქმნება მანქანაზე წაკითხვად ფორმატში. აღნიშნული მიდგომა ქმნის საფუძველს არა მხოლოდ ცოდნის შენახვისა და ინტეგრაციისათვის, არამედ ავტომატური დასკვნების გამოტანისა და ინტელექტუალური დიალოგური სისტემების განვითარებისთვის.

ტრადიციულად, მეტაენის ცნება გამოიყენებდა ლინგვისტიკასა და ლოგიკაში, თუმცა მისი მნიშვნელობა მნიშვნელოვნად გაფართოვდა კომპიუტერულ მეცნიერებაში, ინფორმაციულ ტექნოლოგიებში, მენეჯმენტსა და სხვა დარგებში.

მაგალითად, პროგრამირების ენებში ისეთი ენები, როგორებიცაა UML (Unified Modeling Language) ან OWL (Web Ontology Language), შეიძლება ჩაითვალოს მეტაენებად, რადგან ისინი გამოიყენება მოდელების, სისტემების და ცოდნის აღწერისთვის განსაზღვრულ დონეზე.

ცოდნის წარმოდგენის მეტაენას ახასიათებს რამდენიმე ძირითადი თვისება:

• აბსტრაქცია – აღწერს ცოდნას უფრო მაღალ დონეზე, ვიდრე მონაცემთა უბრალო ერთობლიობა.

• ფორმალიზმი – ეფუძნება ლოგიკურ, სემანტიკურ ან გრაფიკულ სტრუქტურებს, რაც უზრუნველყოფს თანმიმდევრულობასა და გამჭვირვალობას.

• მოქნილობა – უზრუნველყოფს სხვადასხვა დარგის აღწერისა და მოდელირების შესაძლებლობას (მედიცინა, ლინგვისტიკა, საინჟინრო დისციპლინები და სხვ.).

• მანქანაზე წაკითხვადობა – უზრუნველყოფს ცოდნის ავტომატურ დამუშავებასა და ინტეგრაციას თანამედროვე ხელოვნური ინტელექტის სისტემებთან.

ცოდნის წარმოდგენის გავრცელებული ფორმალიზმებია: სემანტიკური ქსელები, ფრეიმები, ონტოლოგიები [3], ლოგიკაზე დაფუძნებული ენები და სხვა.

მეტაენა ასრულებს რამდენიმე მნიშვნელოვან ფუნქციას:

სტრუქტურირების ფუნქცია – რთული ცოდნის ორგანიზება სტრუქტურულ ელემენტებად;

ფორმალიზაციის ფუნქცია – არაერთგვაროვანი, ბუნებრივი ენის შემცველი ინფორმაციის გარდაქმნა სტრუქტურირებულ, ფორმალურ წარმოდგენად;

ინტერპრეტაციის ფუნქცია – ცოდნის გააზრებისა და ანალიზის გამარტივება;

კომუნიკაციის ფუნქცია – სხვადასხვა დისციპლინასა და სუბიექტს შორის ინფორმაციის ზუსტი გადაცემა;

ავტომატიზაციის ფუნქცია – კომპიუტერული სისტემებისთვის ინფორმაციის გადამუშავების საშუალებას ქმნის.

მეტაენის ტიპები განსხვავდება მისი გამოყენების კონტექსტის მიხედვით. ძირითადი ტიპებია:

ლინგვისტური მეტაენა – გამოიყენება ენის სტრუქტურის და სემანტიკის აღწერისთვის.

ლოგიკური მეტაენა – გამოიყენება ლოგიკური გამოთქმების და არგუმენტაციის ფორმალიზებისთვის.

ფორმალური მეტაენა – გამოიყენება ცოდნის ფორმალიზებული მოდელებისთვის, როგორც ონტოლოგიებში ან სემანტიკურ ქსელებში.

გრაფიკული მეტაენა – მაგალითად, დიაგრამების ენა (UML, BPMN), რომელიც გამოიყენება სისტემების მოდელირებისთვის.

მეტაენა ხდება გადამწყვეტი ინსტრუმენტი, როდესაც საჭიროა რთული და მოცულობითი ცოდნის მოდელირება [4]. სხვადასხვა დარგში მისი როლი შეიძლება ასე გამოიყურებოდეს:

მეცნიერება და კვლევა – ცოდნის ბაზების შექმნა და თეორიული მოდელების აღწერა.

განათლება – სასწავლო მასალის სტანდარტიზაცია და კოგნიტიური სქემების განსაზღვრა.

ჯანმრთელობის დაცვა – დიაგნოსტიკური პროცესის სტანდარტიზაცია და სამედიცინო ტერმინოლოგიის ერთიანი გამოყენება.

სამართალი – სამართლებრივი ნორმებისა და ინსტიტუტების აღწერა და ავტომატიზაცია.

ხელოვნური ინტელექტი – ცოდნის ბაზების ფორმალიზება მანქანური სწავლისა და დასკვნის პროცესისთვის.

მეტაენის გამოყენება არა მხოლოდ ცოდნის „დალაგებას“ ნიშნავს, არამედ მისი ანალიზისა და ინტეგრაციის შესაძლებლობას ქმნის. ამდენად, მეტაენა გვთავაზობს საფუძველს კომპლექსური ცოდნის მართვისთვის.

3. ცოდნის გარკვეული სფეროს აღწერა მეტაენის საშუალებით

ბოლო ათწლეულში მნიშვნელოვნად განვითარდა ისეთი ტექნოლოგიები, რომელთაც შეუძლიათ ცოდნის წარმოდგენის ავტომატური გენერაცია დიალოგის პროცესში [5,6]. ეს სისტემები აერთიანებენ ბუნებრივი ენის დამუშავების (NLP) და სიმბოლოებზე დაფუძნებული ხელოვნური ინტელექტის მეთოდებს.

- ონტოლოგიაზე დაფუძნებული ინსტრუმენტები – მაგალითად, Protege NLP მოდულებით.
- ინტელექტუალური სასწავლო სისტემები – როგორიცაა AutoTutor.
- სემანტიკური ვების აგენტები – RDF/OWL სამეულები.
- კოგნიტიური არქიტექტურები – IBM Watson, Cyc და სხვ.
- ნეირო-სიმბოლური სისტემები – (ConceptNet + GPT ინტერფეისები).

ცოდნის გარკვეული სფეროს (მაგ. განათლება, სამედიცინო კონსულტაცია, რეგისტრაცია, ბილეთების დაჯავშნა და ა.შ.) აღწერა მეტაენის საშუალებით გულისხმობს ამ სფეროსთვის სპეციფიკური ცნებების, ქმედებების, მიზნებისა და დიალოგური ქცევების ფორმალიზებულად აღწერას. ეს ქმნის „სცენარებს“, რომლებიც კომპიუტერულ სისტემას საშუალებას აძლევს რეალურ დროში მართოს დიალოგი [7].

ცოდნის გარკვეული სფეროს მეტაენის შესამუშავებლად საჭიროა:

1) სფეროს ლოკალიზაცია და მიზნის განსაზღვრა

- რა პრობლემას ემსახურება სისტემა (მაგ. მომხმარებელი ცდილობს დარეგისტრირდეს)
- რა ქვეფაზებია ამ პროცესში (მაგ. ელფოსტის შეყვანა, პაროლის დადასტურება)

2) ცნებების იდენტიფიკაცია:

სახეობა	მაგალითი
ობიექტები	მომხმარებელი, ფორმა, კოდი
ქმედებები	რეგისტრაცია, დადასტურება
პარამეტრები	ელფოსტა, პაროლი, სახელი
განზრახვა	ინფორმაციის მოთხოვნა

3) ცოდნის ერთეულების აღწერა

ცოდნის ერთეული არის ცოდნის ისეთი მინიმალური სტრუქტურა, რომელიც აღწერს კონკრეტულ მონაცემს, ცნებას, წესს ან მოქმედებას.

ის გამოიყენება ცოდნის წარმოდგენის სისტემებში (მაგ., დიალოგური აგენტები, ექსპერტული სისტემები, ონტოლოგიები), რათა კომპიუტერს შეეძლოს ადამიანის მსგავსი „გაგება“ და გადაწყვეტილების მიღება. მისი ძირითადი ელემენტებია:

იდენტიფიკატორი (ID) – უნიკალური სახელი ან კოდი, რომელიც ერთეულს გამოარჩევს. მაგ.: "id": "register_start"

ტიპი (Type) – ერთეულის როლი სისტემაში. მაგ.: "type": "intent" (ინტენცია/განზრახვა).

ტრიგერები (Trigger) – იმ ფრაზების ან პირობის სია, რომელიც აამოქმედებს ერთეულს. მაგ.: "trigger": ["მინდა დავრეგისტრირდე", "რეგისტრაცია მინდა"]

პასუხი (Response) – სისტემის რეაქცია, ტექსტური ან მოქმედებითი. მაგ.: "response": {"text": "კარგი, გთხოვ, შეიყვანე შენი ელფოსტა."}

კონტექსტი (Context) – განსაზღვრავს დიალოგის მიმდინარე და მომავალ მდგომარეობას. მაგ.: "context": {"nextState": "awaiting_email", "goal": "registration_process"}

ცოდნის ერთეულის აღწერის მაგალითი JSON ფორმატში:

```
{
  "id": "register_start",
  "type": "intent",
  "trigger": ["მინდა დავრეგისტრირდე", "რეგისტრაცია მინდა"],
  "response": {
    "text": "კარგი, გთხოვ, შეიყვანე შენი ელფოსტა.",
    "emotion": "neutral"
  },
  "context": {
    "nextState": "awaiting_email",
    "goal": "registration_process"
  }
}
```

იგივე მაგალითისთვის დიალოგის თანმიმდევრობის მოდელირება:

სტატუსი: none → trigger: „მინდა დარეგისტრირდე“ → nextState: awaiting_email
→ trigger: ელფოსტის ფორმატი → nextState: awaiting_password
→ trigger: პაროლი ვალიდურია → nextState: registration_complete

4. მეტაენის მოდელირება განათლების დარგისთვის

განათლების სფეროში მეტაენის მოდელირება იწყება ამ სფეროს ძირითადი ელემენტების განსაზღვრით. ეს ელემენტები უნდა შეიცავდეს როგორც კონცეფციებს, ისე მათ ურთიერთობებს, რათა შექმნას ინტეგრირებული სისტემური ხედვა. განათლების სფეროში ელემენტებად შეიძლება ჩაითვალოს შემდეგი კომპონენტები:

სასწავლო პროგრამა (Curriculum) – დარგის გაერთიანებული ფორმატი, რომელიც შეიცავს საგნებს, მიზნებს, მეთოდოლოგიას და შეფასების კრიტერიუმებს [9,10].

პედაგოგი (Teacher) – ადამიანი, რომელიც პასუხისმგებელია სწავლის პროცესზე, შექმნის სწავლების სტრატეგიებს და უზრუნველყოფს სწავლის მხარდაჭერას.

სტუდენტი (Student) – ინდივიდი, რომელიც ეუფლება ცოდნას და მონაწილეობს სასწავლო პროცესში.

სასწავლო რესურსები (Learning Resources) – მასალები, რომლებიც ეხმარება სტუდენტებს, რათა ისწავლონ (წიგნები, ონლაინ რესურსები, ვიდეო გაკვეთილები, ელექტრონული პლატფორმები).

შეფასება (Assessment) – ინსტრუმენტები, რომლებიც გამოიყენება სტუდენტის ცოდნისა და უნარების გაზომვისთვის.

პედაგოგიური მიდგომა (Pedagogical Approach) – სწავლების სტრატეგიები [11], რომელიც განსაზღვრავს, როგორ უნდა მოხდეს სწავლების ორგანიზება (მაგ. პროექტებზე დაფუძნებული სწავლება, კონსტრუქტივიზმი, ინდივიდუალური მიდგომა).

ეს ელემენტები ერთმანეთთან უნდა იყოს დაკავშირებული, რადგან თითოეული კომპონენტი იწვევს სხვას. მაგალითად, სასწავლო პროგრამა განსაზღვრავს სწავლების სტრატეგიას და შეფასების კრიტერიუმებს, რაც თავის მხრივ, განსაზღვრავს პედაგოგის მუშაობის ფორმას.

განათლების მეტაენის მოდელირება გულისხმობს არა მხოლოდ კომპონენტების, არამედ მათი ურთიერთობების განსაზღვრასაც. ასეთ ურთიერთობებში შეიძლება გამოვყოთ:

„პედაგოგი – სტუდენტი“ ურთიერთობა – სწავლების პროცესში პედაგოგის როლი დამოკიდებულია სტუდენტის საჭიროებებზე და სწავლების სტრატეგიაზე.

„პედაგოგი – სასწავლო რესურსები“ ურთიერთობა – პედაგოგმა უნდა უზრუნველყოს სწავლის პროცესში რესურსების ადეკვატური გამოყენება და მათთან ურთიერთობის მენეჯმენტი.

„სტუდენტი – შეფასება“ ურთიერთობა – შეფასების სისტემა, რომელიც გეხმარება იმის გაგებაში, თუ როგორ უნდა განხორციელდეს სწავლის შედეგების შეფასება და როგორ უნდა შემოწმდეს სტუდენტის მიღწევები.

ამ ურთიერთობების გასაგებად უნდა განისაზღვროს, რომელი კომპონენტები განსაზღვრავს, თუ როგორ განვითარდება ეს ურთიერთობები. მაგალითად, თუ პედაგოგი იყენებს პროექტებზე დაფუძნებულ მიდგომას, მაშინ სტუდენტებს მიეცემათ შესაძლებლობა, რომ ისწავლონ დამოუკიდებლად, ხოლო შეფასება ხდება სასწავლო პროცესის განმავლობაში და არა მხოლოდ საბოლოო გამოცდის დროს.

მეტაენა განათლების სფეროში უნდა იყოს ფორმალიზებული, რათა იწვევდეს ცხად და გასაგებ ურთიერთობებს. განათლების მეტაენაში აუცილებელია ტერმინების მკაცრი და დამაკმაყოფილებელი განსაზღვრა, რათა მათი გამოყენება მოხდეს ერთიანი სტრუქტურით.

5. მაგალითი

სასწავლო პროგრამა: განისაზღვრება როგორც კურსი, საგანი, მოდული და მათი ურთიერთობები. თითოეული კურსი შეიძლება შეიცავდეს ერთზე მეტ მოდულს, რომელიც გაერთიანებული იქნება საერთო მიზნებითა და სწავლის შედეგებით.

შეფასება: შესაძლებელია შეფასების სამომხმარებლო მეთოდების დახარისხება, როგორიცაა: პროექტი, გამოცდა, ავტოპროექტი და მათი დაკავშირება საგანთან.

პედაგოგიური მიდგომები: შეიძლება გამოვყოთ სხვადასხვა მიდგომები, როგორიცაა კონსტრუქტივიზმი, რომელიც გულისხმობს აქტიურ მონაწილეობას სწავლის პროცესში და სტუდენტების თანამშრომლობას.

ამ ელემენტების ფორმალიზაცია და მათზე დაფუძნებული მეტაენის მოდელირება ხელს შეუწყობს სწავლის პროცესის უკეთეს გაკონტროლებას, ანალიზსა და ოპტიმიზაციას.

ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ასპექტი, რომელიც ხშირად მნიშვნელოვანია მეტაენის მოდელირების პროცესში, არის მისი ვიზუალიზაცია. შთამბეჭდავი ვიზუალური

წარმოდგენა (მაგალითად, სქემატური მოდელები და დიაგრამები) დაეხმარება როგორც პედაგოგებს, ისე სტუდენტებს კარგად გაიგონ და მარტივად შეამოწმონ განათლების პროცესის სტრუქტურა. მეტაენის ამგვარი წარმოდგენა საშუალებას იძლევა მარტივად გახდეს წარმოდგენილი სხვადასხვა კომპონენტების ურთიერთობები, მათი გავლენა და პროცესების განვითარება.

განათლების დარგში მეტაენის მოდელირებას აქვს მრავალი პრაქტიკული გამოყენება. იგი გამოიყენება არა მხოლოდ სასწავლო პროგრამების და მიდგომების აღწერაში, არამედ კლასებისა და სესიების დაგეგმვაში, სწავლების მეთოდოლოგიების მართვაში და სტუდენტების სწავლის პროგრესის მონიტორინგში.

მონიტორინგი – მყარად ჩამოყალიბებული მეტაენა წარმოადგენს ეფექტურ ინსტრუმენტს სწავლის მონიტორინგისთვის. თუ ყველა ელემენტი მკაფიოდ და ერთგვაროვნად არის აღწერილი, მაშინ მისი მოდელირება ასევე გაადვილდება.

შეფასება – განსაზღვრული მეტაენა დაგვეხმარება შეფასების ინსტრუმენტების გაშიფრვაში და მათი შედეგების გაგებაში.

6. მეტაენის პრაქტიკული გამოყენება და სარგებელი განათლების დარგში

მეტაენის ერთ-ერთი ყველაზე პრაქტიკული გამოყენება განათლების სფეროში არის სასწავლო პროცესის ოპტიმიზაცია. მასწავლებლებს, ადმინისტრატორებს და პოლიტიკის შემქმნელებს ხშირად სჭირდებათ სისტემური ხედვა სასწავლო პროცესზე — რა ისწავლება, როგორ ისწავლება, ვინ ასწავლის, როგორ ფასდება და რა შედეგები დგება. მეტაენის არსებობა ქმნის სტრუქტურას, რომელიც საშუალებას აძლევს ამ პროცესების წარმოდგენას და ანალიზს ერთიან ჩარჩოში.

მაგალითად, თუ სასწავლო პროგრამა მეტაენის ფარგლებში გაწერილია, ადვილი ხდება იმის შეფასება, შეესაბამება თუ არა კონკრეტული კურსი სასწავლო მიზნებს და სტუდენტების საჭიროებებს. ასევე, შესაძლებელია დინამიკურად განხორციელდეს ცვლილებები (მაგ. ახალი მიდგომების ინტეგრაცია) და მათი შედეგების შეფასება.

თანამედროვე ციფრული განათლება მოითხოვს სწავლის პროცესის სრულად სტრუქტურირებულ აღწერას, რათა შესაძლებელი გახდეს:

სასწავლო პლატფორმებზე კურსების ავტომატური აგება;

სტუდენტთა ინდივიდუალური პროგრესის ანალიზი;

პერსონალიზებული სწავლის გზების შეთავაზება.

მეტაენა ქმნის ამ ტექნოლოგიური გადაწყვეტილებების საფუძველს. მაგალითად, MOOC პლატფორმები (Massive Open Online Courses), როგორიცაა Coursera ან edX, იყენებენ შიდა მეტამოდელებს სასწავლო კურსების სტრუქტურირებისთვის [12]. სისტემებში თითოეული ასეთი კურსი, მისი თემები, აქტივობები და შეფასება აღწერილია წინასწარ განსაზღვრული მეტაენის მიხედვით.

სხვადასხვა სასწავლო დაწესებულებებს შორის ცოდნის გაცვლის ერთ-ერთი მთავარი დაბრკოლებაა არაერთგვაროვანი ტერმინოლოგია და სტრუქტურა. მეტაენა ამ დაბრკოლებას ამცირებს, რადგან ის უზრუნველყოფს სტანდარტიზებულ ჩარჩოს.

მაგალითად:

უნივერსიტეტებს შეუძლიათ ერთმანეთს გაუზიარონ მოდულები, კურსები და სასწავლო მასალა, თუ ისინი ერთსა და იმავე მეტაენაზეა დაფუძნებული;

სტანდარტიზებული მეტაენის არსებობა აუმჯობესებს აკრედიტაციის პროცესს, რადგან განსაზღვრულია კონკრეტული მოლოდინები, შედეგები და შეფასების მეთოდები.

განათლების სისტემის შეფასება ხშირად ეფუძნება დიდ მონაცემებზე: რამდენი სტუდენტი მოიპოვა წარმატება, რამდენად ეფექტურია სწავლების სტრატეგიები, რომელი კურსებია ნაკლებად ეფექტური და ა.შ. ეს მონაცემები მხოლოდ მაშინ ხდება ღირებული, როცა ისინი სტრუქტურირებულია — სწორედ ამას უზრუნველყოფს მეტაენა.

პოლიტიკის შემმუშავებლებს შეუძლიათ გამოიყენონ მეტაენაზე დაფუძნებული მონაცემები ისეთი კითხვების დასასმელად, როგორიცაა:

უნდა შეიცვალოს თუ არა შეფასების მეთოდოლოგია კონკრეტულ საფეხურზე?

როგორი გავლენა აქვს კონკრეტული პედაგოგიური მიდგომის დანერგვას სასწავლო მიღწევებზე?

როგორ შეიძლება გაუმჯობესდეს საგანმანათლებლო ხელმისაწვდომობა რეგიონებში?

წარმოიდგინეთ, რომ სკოლა იყენებს მეტაენაზე დაფუძნებულ მოდელს სასწავლო პროგრამის შესაფასებლად. ყველა საგანი, მასწავლებელი და შეფასების ფორმა წარმოდგენილია მეტაენის ელემენტების მეშვეობით. ანალიტიკური პლატფორმა საშუალებას აძლევს დირექტორს, რომ რამდენიმე წელიწადზე გადაჭიმული მონაცემები გააანალიზოს: სად არის ხარვეზები, რომელი მასწავლებლები იყენებენ ინოვაციურ მიდგომებს, როგორია შეფასების თანხვედრა სასწავლო მიზნებთან და ა.შ.

7. დასკვნა

ცოდნის თანამედროვე ეკოსისტემაში, სადაც ინფორმაცია სწრაფად გროვდება, ცვალებადია და მრავალ წყაროზეა დაფუძნებული, მეტაენა გვევლინება როგორც ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი ინსტრუმენტი მისი სტრუქტურირებისა და მართვისთვის. განათლების დარგში ეს საჭიროება განსაკუთრებით გამოკვეთილია, რადგან სასწავლო პროცესს ერთდროულად მართავენ პედაგოგები, ადმინისტრაციები, პოლიტიკის შემმუშავებლები და ტექნოლოგიური პლატფორმები — ყველა მათგანი საჭიროებს შეთანხმებულ ჩარჩოს ცოდნის სწორი გაგებისა და გადაცემისთვის.

ამ სტატიაში გავიარეთ მეტაენის მნიშვნელობა, მისი ფუნქციები და გამოყენების სფეროები, შევარჩიეთ კონკრეტული დარგი — განათლება, და ვაჩვენეთ, როგორ შეიძლება ამ დარგის სტრუქტურული კომპონენტების აღწერა მეტაენის მეშვეობით. გამოვყავით ძირითადი ელემენტები: სასწავლო პროგრამა, პედაგოგი, სტუდენტი, შეფასება და სწავლების მიდგომები, და განვიხილეთ, როგორ ებმიან ისინი ერთმანეთთან სისტემურ ჩარჩოში.

შემდეგი ეტაპი იყო ამ კომპონენტების ფორმალიზებული მოდელირება, რაც საშუალებას გვაძლევს არა მხოლოდ დავამუშაოთ არსებული ცოდნა, არამედ შევქმნათ ახალი ცოდნის ბაზები, მოვახდინოთ სასწავლო პროცესების ანალიზი, და გავაუმჯობესოთ სასწავლო პრაქტიკა. მეტაენის გამოყენება განათლებაში უკვე ასახულია ციფრულ პლატფორმებზე, სასწავლო პროგრამების განვითარებასა და შეფასების მექანიზმების გაუმჯობესებაში.

ძირითადი მიგნებები:

მეტაენა განათლების დარგში უზრუნველყოფს ცოდნის სტრუქტურირებულ წარმოდგენას;

ამარტივებს სასწავლო პროცესების შეფასებას, მოდელირებას და ოპტიმიზაციას;

საშუალებას იძლევა ციფრული ტექნოლოგიების სრულფასოვანი ინტეგრაციისა განათლებაში;

ქმნის წინაპირობას სტანდარტიზაციისთვის და ცოდნის გაზიარებისთვის სხვადასხვა დონეზე.

მომავალი პერსპექტივები

მეტაენის განვითარება განათლების სფეროში არ უნდა შეჩერდეს მხოლოდ ტერმინოლოგიური კატალოგების შექმნით. აუცილებელია ისეთი სისტემების ჩამოყალიბება, რომლებიც:

რეალურ დროში მოახდენენ სასწავლო პროცესის ანალიზსა და ადაპტაციას;

გააერთიანებენ სხვადასხვა საგანმანათლებლო სივრციდან მიღებულ ცოდნას ერთიან პლატფორმაში;

დაეხმარებიან მასწავლებლებს ინდივიდუალური სწავლების სტრატეგიების შემუშავებაში;

უზრუნველყოფენ უნივერსალურ სტანდარტებზე დაფუძნებულ შეფასებას და აკრედიტაციას.

გარდა ამისა, მეტაენის გამოყენება შეიძლება კიდევ უფრო გაფართოვდეს მულტიდისციპლინური მიდგომების მიმართულებით — მაგალითად, განათლების, ტექნოლოგიის და ფსიქოლოგიის გადაკვეთის წერტილში.

Simulation of Verbal Communication between a Human and a Computer System and the Development of a Knowledge Representation Metalanguage

Manvel Kloyan, Liana Lortkipanidze, Levan Makrakhidze

Summary

The article addresses the simulation of verbal communication between humans and computer systems and the development of a knowledge representation metalanguage, which constitutes one of the key tools in modern intelligent systems. The paper discusses the theoretical foundations of metalanguage, its role in structuring, formalizing, and interpreting knowledge. Metalanguage provides a universal framework for describing domain-specific concepts, actions, and goals. Special emphasis is placed on dialog systems, where metalanguage supports modeling of dialogue sequences and enables effective human-computer interaction. Practical examples are presented in the areas of user registration, medical consultation, and ticket booking, clearly demonstrating the applied value of the approach. In addition, the role of education is highlighted, where metalanguage allows structuring curricula, pedagogical strategies, and assessment models. The article also focuses on the future prospects of intelligent systems, stressing the convergence of neural and symbolic methods as a way to create more adaptive and efficient dialog platforms.

Симуляция вербальной коммуникации между человеком и компьютерной системой и разработка метаязыка представления знаний

Манвел Клоян, Лиана Лорткипанидзе, Леван Макрахидзе

Резюме

Статья посвящена симуляции вербальной коммуникации между человеком и компьютерной системой, а также разработке метаязыка представления знаний, который является одним из ключевых инструментов современных интеллектуальных систем. В работе рассматриваются теоретические основы метаязыка, его роль в структурировании, формализации и интерпретации знаний. Метаязык создает универсальную основу для описания специфических для домена понятий, действий и целей. Особое внимание уделено диалоговым системам, где метаязык используется для моделирования последовательности диалога и обеспечения эффективного взаимодействия с пользователем. Приведены практические примеры из областей регистрации пользователей, медицинской консультации и бронирования билетов, которые наглядно демонстрируют прикладную ценность подхода. Кроме того, подчеркивается значение образовательной сферы, где метаязык позволяет структурировать учебные программы, педагогические стратегии и модели оценивания. В статье также рассматриваются перспективы развития интеллектуальных систем, делается акцент на конвергенции нейронных и символьных методов как пути к созданию более адаптивных и эффективных диалоговых платформ.

ლიტერატურა – References – Литература

1. Gruber, T. (1993). A translation approach to portable ontology specifications. Knowledge Acquisition.
2. Studer, R., Benjamins, V., & Fensel, D. (1998). Knowledge engineering: Principles and methods. Data & Knowledge Engineering.
3. Sowa, J. F. (1984). Conceptual Structures: Information Processing in Mind and Machine. Addison-Wesley.
4. Davis, R., Shrobe, H., & Szolovits, P. (1993). What is a knowledge representation? AI Magazine.
5. Allen, J. (1995). Natural Language Understanding. Benjamin/Cummings.
6. Graesser, A. et al. (2005). AutoTutor: A cognitive system that simulates a tutor. Journal of Cognitive Systems Research.
7. Jurafsky, D., & Martin, J. H. (2023). Speech and Language Processing (3rd ed.). Draft.
8. Bengio, Y., Marcus, G., & others (2021). Neuro-symbolic AI: the state of the art.
9. Laurillard, D. (2012). Teaching as a Design Science. Routledge.
10. ISO/IEC 19788. Metadata for Learning Resources.
11. Vygotsky, L. (1978). Mind in Society. Harvard University Press.
12. Pappano, L. (2012). The Year of the MOOC. The New York Times.
13. Bruner, J. (1996). The Culture of Education. Harvard University Press.
14. Siemens, G. (2013). Massive Open Online Courses: Innovation in Education? Open Learning.

ნაშრომი განხორციელდა შოთა რუსთაველის საქართველოს
ეროვნული სამეცნიერო ფონდის მხარდაჭერით (გრანტი FR-24-11637)

კაუზატიური კონსტრუქციები ქართულ და ინგლისურ ენებში

ნინო ამირეზაშვილი

ninomaskh@yahoo.com

რეზიუმე

სტატიაში განხილულია კაუზატიური კონსტრუქციების ტიპები ინგლისურ და ქართულ ენებში მათი სემანტიკური როლების, სინტაქსური ფუნქციებისა და მორფოლოგიური მარკირების მიხედვით. გაანალიზებულია ბ. კომრის სინტაქსურ ფუნქციათა იერარქიისა და მ. ბეიკერის ბრუნვათა მარკირების განზოგადების მიხედვით, ზ. ბარათაშვილის მიერ წარმოდგენილი ქართულ ენაში კაუზატიური კონსტრუქციების ტიპები.

კაუზაცია ქართულ და ინგლისურ ენებში მრავალფეროვანი და სტრუქტურულად რთული მოვლენაა. მორფოლოგიური, ლექსიკური და სინტაქსური საშუალებების გამოყენება საშუალებას გვაძლევს, გადმოვცეთ რთული კაუზატიური ურთიერთობები ეფექტურად. ეს კონსტრუქციები მნიშვნელოვან როლს თამაშობს ენის დინამიკაში და მოქმედების მონაწილეთა როლის გადანაწილებაში.

საკვანძო სიტყვები:

კაუზაცია, ვალენტობა, პერიფრაზული, არგუმენტი.

1. კაუზატივის ლინგვისტური ცნება

1.1 რა არის კაუზატიური კონსტრუქცია?

ლინგვისტიკაში კაუზატიური კონსტრუქცია ცალსახად გამოხატავს მიზეზობრივ მოვლენას: ვიღაც ან რაღაც (ორგანიზატორი) იწვევს რაიმე კონკრეტული მოქმედების შესრულებას ან მდგომარეობის შეცვლას. კაუზატივი არის ენობრივი გამონათქვამი, რომელიც აღნიშნავს ისეთ სიტუაციას, სადაც წარმოდგენილია გარკვეული მოვლენა და მისი განხორციელებისთვის პასუხისმგებელი ძალა, ეს არის სტრუქტურა, რომელიც კონცეპტუალურ მიზეზობრივ ურთიერთობას გრამატიკაში ასახავს.

კაუზატიურ კონსტრუქციაში რეალურად მოქმედებს ორი პირი: ერთი, რომელიც ხელმძღვანელობს მოქმედებას (კაუზატორი), და მეორე, რომელიც უშუალოდ ასრულებს პირველი პირის მიერ გაცემულ დავალებას (კაუზირებული).

ბ. დიქსონი [1], ბ. კომრი [2] და კიდევ მრავალი სხვა მეცნიერი კაუზატიურ კონსტრუქციებს უფრო ფართო კონტექსტში, ვალენტობის შეცვლის ოპერაციებად მიიჩნევენ: ისინი, როგორც წესი, თავდაპირველ სუბიექტს გამომწვევის (ორგანიზატორის) როლამდე აქვეითებენ. კაუზატივი ვალენტობის შემცვლელი დერივაციის ერთ-ერთი სახეობაა; ის ზრდის პრედიკატის არგუმენტების რაოდენობას: სიტუაციაში შემოაქვს ახალი არგუმენტი. კაუზატიური კონსტრუქციის ანალიზი გულისხმობს სემანტიკას, სინტაქსსა და მორფოლოგიას შორის ურთიერთქმედებას.

1.2 კაუზატივის ტიპები

ლინგვისტები განასხვავებენ კაუზატივის რამდენიმე ტიპს:

ა) მორფოლოგიურად გამოხატული კაუზატივი: კაუზატიური მნიშვნელობა ჩადებულია მარკერის ან შინაგანი ცვლილების სახით ზმნის ფუძეში (ისეთ ენებში, როგორიცაა თურქული, იაპონური, ლიტვური, ქართული), ხოლო რაც შეეხება ინგლისურ ენას, ის არ იყენებს ამ პროდუქტიულ აფიქსაციას.

ბ) ლექსიკური კაუზატივების მაგალითია ზმნების წყვილები, რომელთა შორის არსებობს მიზეზ-შედეგობრივი სემანტიკური კავშირი. მაგ., ინგლისურ ენაში ორი ზმნა "kill" და „death"-ის შორის არსებობს კაუზატიური კავშირი, რომლის მიხედვითაც პირველი ზმნა მიუთითებს კაუზატორზე, მოქმედების მიზეზზე, ხოლო მეორე ზმნა კი არის მოქმედების - მოკვლის შედეგი, კაუზირებული, ფაქტი იმისა, რომ ვიღაც მკვდარია. ლექსიკური კაუზატების ამოცნობა შესაძლებელია, თუ პრედიკატი, სემანტიკური თვალსაზრისით კაუზატივად არის განმარტებული. ე.ი.ინგლისურ წინადადებაში *You killed him (შენ მოკალი იგი)*, შეიძლება kill-ის პერიფრაზირება, როგორც „სიკვდილის მიზეზი" და იმის მტკიცება, რომ kill სიკვდილთან კაუზაციურ კავშირშია.

გ) პერიფრაზული (ანალიტიკური ან სინტაქსური) კაუზატივი: ინგლისური კაუზაციის გამოსახატავად იყენებს დამხმარე ზმნებს (მაგ.make, have, get, let).

პერიფრაზულ ანუ სინტაქსურ კაუზატივებში გამოიყოფა:

ფაქტობრივი კაუზატივები (აიძულა): მაგ. make → "She made him laugh"- "მან გააცინა".

ნებართვითი კაუზატივები (ნება დართო): მაგ. let →"She let him leave"- "მან ნება დართო მას წასულიყო".

არაპირდაპირი კაუზატივები (დაიყოლია ან მოაგვარა): მაგ. get … to… →"He got her to help." "მან ის დასახმარებლად წაიყვანა".

მომსახურების კაუზატივები: have/get + ობიექტი + წარსულის მიმღეობა, რომელიც მიუთითებს მომსახურების განხორციელებაზე → "I had my car cleaned"-"მანქანა გავაწმენდინე".

2. კაუზატიური კონსტრუქციები ინგლისურ ენაში, მათი ფორმა და მნიშვნელობა

2.1 გავრცელებული კონსტრუქციები და ნიმუშები

ა) Make + object + ინფინიტივი to-ს გარეშე (ძალისმიერი მიზეზობრიობა)

სტრუქტურა: სუბიექტი + make + ობიექტი +ზმნა

მაგალითი:

She made her children finish their homework.- "მან შვილებს საშინაო დავალების დასრულება აიძულა".

მნიშვნელობა: მკაცრი, პირდაპირი მიზეზობრიობა - კაუზატორი კაუზირებულს აძალებს მოქმედების განხორციელებას.

ბ) Have / Get + object + past participle (მოგვარებული მომსახურება)

სტრუქტურა: სუბიექტი + have/get + ობიექტი + წარსულის მიმღეობა

მაგალითი:

I had my hair cut.- „ თმა შევაჭრევინე"

He got his car washed.- „მანქანა გაარეცხვინა"

მნიშვნელობა: მომხსენებელი საქმეს აგვარებს სხვისი საშუალებით.

გ) Get + object + to-infinitive (დარწმუნება ან წაქეზება/სტიმულაცია)

სტრუქტურა: სუბიექტი + get + ობიექტი + to + ძირითადი ზმნა

მაგალითი:

He got his students to do their assignments on time.- „მან თავის სტუდენტებს დავალებები დროულად შეასრულებინა"

მნიშვნელობა: გამომწვევი/კაუზატორი (მოქმედების ხელმძღვანელი) შემსრულებელს/კაუზირებულს აქეზებს, დროული მოქმედების სტიმულს აძლევს.

დ) Let + object + bare infinitive (ნებართვა)

სტრუქტურა: სუბიექტი let + ობიექტი + ინფინიტივი to-ს გარეშე

მაგალითი:

They let her go home early. – „მას სახლში ადრე წასვლის უფლება დართეს"

მნიშვნელობა: კაუზატორი კაუზირებულს მოქმედების ნებას რთავს, კი არ აიძულებს ან არწმუნებს.

ე) კაუზატიური ზმნები, როგორიცაა cause, force, allow, persuade უშუალოდაა გამოყენებული.

მაგალითი:

- *The noise caused her to wake up. – „ხმაურმა ის გამოაღვიძა“*
- *They forced him to comply. – „მათ მას დამორჩილება აიძულეს“*

მნიშვნელობა: ხშირად გამოიყენება უფრო ფორმალურ კონტექსტში.

კაუზატიური კონსტრუქცია შეიძლება იყოს მონოკლაუზური ან ბიკლაუზური ტიპის. მონოკლაუზური კაუზატიური კონსტრუქცია, განსხვავებით ბიკლაუზური კონსტრუქციისა-გან, გამოხატულია ერთი, მორფოლოგიურად წარმოებული, კაუზატიური ზმნით, რომელიც გულისხმობს როგორც მოქმედების გამომწვევს/კაუზატორს, ასევე იმ პირს, რომელზედაც ხორციელდება კაუზაცია/კაუზირებულს. მაგ.,

"The guard let the visitor pass." - მცველმა სტუმარი გაატარა.

ამ წინადადებაში *მცველმა* (კაუზატორმა) *სტუმარს* (კაუზირებულს) გავლის ნება დართო.

ბიკლაუზური კაუზატები მოიცავს ორ წინადადებას, რომელთაგან ერთი გამოხატავს მოქმედების მიზეზს, ხოლო მეორე კაუზატორის მიერ გამოწვეულ მოქმედებას. ბიკლაუზური კაუზატივები გამოიხატება ორი წინადადებით, რომლებიც, როგორც წესი, მოიცავს პერიფრაზულ კონსტრუქციას ისეთ კაუზატიურ ზმნებთან, როგორებიცაა "make", "have", "get" ან "let". დაქვემდებარებული წინადადების სტრუქტურა შეიძლება ოდნავ განსხვავდებოდეს გამოყენებული კაუზატიური ზმნის შესაბამისად. მაგ.,

"I made him go to bed."- „მე ის დასაძინებლად დავაწვინე.“

ამ წინადადებაში „make“ მთავარ წინადადებაში მოქმედების გამომწვევია, ხოლო „go to bed“ - დაქვემდებარებული წინადადებაა, რომელიც აღწერს კაუზაციის შედეგად გამოწვეულ მოქმედებას.

3. ვალენტობის ცვლილება და არგუმენტის სტრუქტურა

კაუზატიური კონსტრუქცია ვალენტობის შემცვლელი დერივაციის ერთ-ერთი სახეობაა; ის ზრდის პრედიკატის არგუმენტების რაოდენობას: სიტუაციაში შემოაქვს ახალი არგუმენტი - კაუზატორი, რის შემდეგაც საწყისი სუბიექტი ხდება ობიექტი (კაუზირებული).

- *She sleeps. - საწყისი გაზისური წინადადება: მას სძინავს (ერთი არგუმენტი)*
- *He made her sleep. - კაუზატივით: მან ის დააძინა (ორი არგუმენტი)*

განსხვავებული სურათი გვაქვს ქართულში.

განვიხილოთ კაუზატიური კონსტრუქციების ტიპები ქართულ ენაში მათი სემანტიკური როლების, სინტაქსური ფუნქციებისა და მორფოლოგიური მარკირების მიხედვით. კაუზატივი ქართულში შუალობითი კონტაქტის სახელით გვევლინება. ა. შანიძის მიხედვით „ კონტაქტის სახელით აღვნიშნავთ გარდამავალი ზმნის ფორმას, რომელიც გვიჩვენებს, რომ სუბიექტური პირი მოქმედებს პირდაპირ ობიექტზე უშუალოდ ან სხვა პირის საშუალებით“ [3].

კაუზატიურ პრედიკატში ძირითადად სამი არგუმენტია ასახული: სუბიექტურ პირად გვევლინება კაუზატორი, ფაქტიური შემსრულებელი ანუ კაუზირებული ირიბი ობიექტია, ხოლო მოქმედების სამიზნო კი პირდაპირი ობიექტია.

დაახატვინა დედამ შვილს ყვავილი (მან მას იგი).

მოცემულ მაგალითში დედამ სუბიექტია, შვილს - ირიბი ობიექტი, ყვავილი - პირდაპირი ობიექტი.

ქართულში გვაქვს მორფოლოგიურად გამოხატული კაუზატივი, ანუ კაუზატიური მნიშვნელობა ჩადებულია მარკერის ან შინაგანი ცვლილების სახით ზმნის ფუძეში. მისი მაწარმოებელია: ევ, ინ და ევინ.

- *ევ* უფრო ძველ და საშუალ ქართულში იყო გავრცელებული. თანამედროვე ქართულში სულ რამდენიმე ზმნაში გვაქვს შემორჩენილი: *სვამს - ასმ-ევ-ს, ჭამს - აჭმ-ევ-ს.*
- *ინ* ფორმები უფრო გავრცელებულია სალიტერატურო ქართულში: *აკეთებს - აკეთებ-ინ-ებს, წერს - აწერ-ინ-ებს, ხატავს - ახატვ-ინ-ებს.*
- *ევინ* რთული აფიქსია, რომელიც ევ და ინ-ის შეერთებით ჩამოყალიბდა: *კლავს - აკვლ-ევინ-ებს, ჭრის - აჭრ-ევინ-ებს, ხსნის - ახსნ-ევინ-ებს.*

ბ. კომრის გრამატიკულ მიმართებათა (სინტაქსურ ფუნქციათა) იერარქიისა და მ. ბეიკერის ბრუნვათა მარკირების განზოგადების (გენერალიზაციის) მიხედვით, ზ. ბარათაშვილის მიერ წარმოდგენილი იქნა ქართულ ენაში კაუზატიური კონსტრუქციების 4 ტიპი, სადაც გათვალისწინებულია პრედიკატის ცენტრალურ აქტანტთა რაოდენობა [4]:

1. ამოსავალი ერთვალენტიანი ზმნისგან წარმოქმნილი კაუზატივი (ერთი ცენტრალური აქტანტი + კაუზატორი):
   იჭმევა (ის) - ეჭმევინება (ის, მას) დარდს. კაუზატორი გახდა ირიბი დამატება (*დარდს*), ქვემდებარე გახდა კაუზირებული (ის).
2. ამოსავალი ორვალენტიანი გარდაუვალი ზმნისგან წარმოქმნილი კაუზატივი (ორი ცენტრალური აქტანტი + კაუზატორი):
   სცვივა (მას, ის) ხეს ფოთოლი - გააცვენინა (მან, მას ის) ქარმა ხეს ფოთოლი. კაუზატორია ქვემდებარე *(ქარმა)*, ხოლო კაუზირებულია პირდაპირი დამატება (*ფოთოლი*). გარდაუვალი ზმნისგან წარმოქმნილი კაუზატიური კონსტრუქციის კაუზირებული შეიძლება გამოიხატოს გარდამავალი ზმნის პირდაპირი დამატებით.
3. ამოსავალი ორვალენტიანი გარდამავალი ზმნისგან წარმოქმნილი კაუზატივი (ორი ცენტრალური აქტანტი + კაუზატორი):
   ვხატავ (მე, მას) მე ყვავილს - ვახატვინებ ბავშვს ყვავილს (მე, მას, მას). კაუზატორია ქვემდებარე (*მე*), კაუზირებულია ირიბი დამატება (*ბავშვი*). წარმოქმნილი კაუზატიური ზმნის კაუზირებული იკავებს ირიბი დამატების ადგილს.
4. სამვალენტიანი ზმნისგან წარმოქმნილი კაუზატივი (სამი ცენტრალური აქტანტი + კაუზატორი):
   გოგონამ დედას წერილი მისწერა - მასწავლებელმა გოგონას დედისთვის წერილი მიაწერინა. კაუზატორია ქვემდებარე (*მასწავლებელი*), კაუზირებულია ირიბი დამატება (*გოგონას*), ხოლო ყოფილი ირიბი დამატება გახდა უბრალო დამატება, რადგან წარმოქმნილი კაუზატიური ზმნა ოთხვალენტიანი ვერ გახდებოდა.

კაუზაცია ქართულ და ინგლისურ ენებში მრავალფეროვანი და სტრუქტურულად რთული მოვლენაა. მორფოლოგიური, ლექსიკური და სინტაქსური საშუალებების გამოყენება საშუალებას გვაძლევს, გადმოვცეთ რთული კაუზატიური ურთიერთობები ეფექტურად. ეს კონსტრუქციები მნიშვნელოვან როლს თამაშობს ენის დინამიკაში და მოქმედების მონაწილეთა როლის გადანაწილებაში.

მოგვყავს კაუზატიური კონსტრუქციების ქართული მაგალითები და მათი შესაბამისი ინგლისური თარგმანები, რომლებიც მოძიებული და ამოღებულია პარალელური კორპუსიდან [5].

*ცხენს მათრახი გადაუჭირა, რაღაც ოინები **გააკეთებინა,** მერე ჩამოხტა, ხალხს თავი დაუკრა და ცეკვით გაიქცა მოედნიდან. მაყურებლები პირდაპირ ღმუოდნენ განცვიფრებისა და სიამოვნებისაგან.*
*He lit into that horse with his whip and **made** him fairly **hum** and finally skipped off, and made his bow and danced off to the dressing-room, and everybody just howling with pleasure and astonishment.*

*მას ეს ძალით **გააკეთებინა.***
*He **forced** her to do it.*

*ქალაქის გასალამაზებლად პეტრემ სასაკლაოც კი ხელახლა – როკოკოს სტილში – **ააშენებინა.***
*To beautify the city Peter even **had** its abattoir **rebuilt** in the rococo style.*

*სწორედ მშობლიური ენის სიყვარულმა **დააწერინა** მას სქელყდიანი საერთო რვეული, რომელშიც ქართული ენის, ძირითადად, ტერმინოლოგიისა და აგრეთვე გრამატიკის ზოგი საკითხია განხილული.*
*Exactly the love of the home language **made** him **write** a work including the discussion of the Georgian language, especially the terminology and some issues of grammar.*

*მისი ორი ვაჟიშვილი დიდი ბეგლარბეგები - იმამ-ყული ხანი და დაუდ ხანი ქართულ საქმეს ემსახურებოდნენ, რისთვისაც შაჰ აბასის მემკვიდრემ შაჰ სეფიმ ორივე **მოაკვლევინა.***
*His two sons, the grand beglarbegs Imam-Quli Khan and Daud Khan, served the Georgian cause, because of which Shah Abbas' successor Shah Sefi **had** both of them **murdered**.*

*ასტყდა ალიაქოთი. ვოსტორგოვმა დუბროვინის თავი ოც ათას მანეთად დააფასა და კინალამ **მოაკვლევინა.***
*There was a terrific scandal, Vostorgov put a price of twenty thousand roubles on Dubrovin's head, and nearly **had him killed**.*

*მეორე მხრივ, შესაძლოა, სტალინმა მწერლის ბუნებრივი სიკვდილი პოლიტიკური მოწინააღმდეგეების მოსაშორებლად გამოიყენა, მაგრამ საიდუმლო სამსახურების მიერ გამოაშკარავებულ შეთქმულებასთან გორკის კავშირი გვაფიქრებინებს, რომ სტალინმა ისიც **მოაკვლევინა.***
*Perhaps on the other hand Stalin used the writer's natural death as a pretext to destroy his political enemies, but Gorky's involvement with the opposition makes it just as likely that Stalin **had him killed.***

*გენერალმა ბავშვი **დააჭერინა,** ყმების წინაშე შიშველი გაამათრახებინა, და მერე, სასოწარკვეთისგან გადარეული დედის თვალწინ მწევრებს დააგლეჯინა.*
*The general **had the serf boy arrested**, stripped naked in front of the other villagers, and, to the cries of his desperate mother, torn to shreds by a pack of hunting dogs.*

*„რა გაეწყობაო", – ამბობდნენ, – „ძალა ალმართსა ჰხნავს, მტერმა, რაც უნდა, ის გვიყოს, მაგრამ შინაურობაში კი წესსა და რიგს ვერც ჩვენ გავტეხთ და ვერც სხვებს **გავატეხინებთო"!***
*"What's the use?" - they said - "Force ploughs uphill. **Let** the enemy does as he will to us, but in our internal affairs we shan't go against custom and order nor shall we let others go against it".*

*ავისაც და კარგისაც თანასწორად შეგვეძლო ატანა; ამას არც არას ჩვენ ვნაღვლობდით და არც უფროსები გვეკითხებოდნენ, მაგრამ ეს კი იყო, რომ ცუდს არაფერს **გვაბედვინებდნენ.***
*We could put up equally well with good and bad times. We didn't moan about anything and our seniors didn't ask us how we were, but the fact was that nobody **let us** get away with anything we shouldn't have done.*

*ამ ჩექმებს ვაგლახად ნუ **გააფუჭებინებთ** ჩემ კაკოს!*
*Don't **let** our Kako ruin these boots carelessly.*

*სულიც აღარ **მომათქმევინეს,** ისე გადამწერეს ჯვარი.*
*They didn't force me to wait and **let** us marry straight away.*

*999 წელს მან ოქროს ბარძიმი **მოაჭედინა,** ქართული წარწერით შეამკო და შესწირა გედიის მონასტერ.*
*In 999 he **had a gold gob let mounted and donated** it with a Georgian inscription to the church of Bedia.*

Causative Constructions in Georgian and English

Nino Amirezashvili

Summary

The article discusses the types of causative constructions in English and Georgian according to their semantic roles, syntactic functions, and morphological marking. The types of causative constructions in the Georgian language presented by Z. Baratashvili according to B. Comri's hierarchy of syntactic functions and M. Baker's generalization of turnover marking are analyzed.

Causation is a diverse and structurally complex phenomenon in Georgian and English. The use of morphological, lexical, and syntactic means allows us to convey complex causal relationships effectively. These constructions play an important role in the dynamics of language and the distribution of roles among participants in an action.

Каузативные конструкции в грузинском и английском языках

Нино Амирезашвили

Резюме

В статье рассматриваются типы каузативных конструкций в английском и грузинском языках с точки зрения их семантической роли, синтаксических функций и морфологической маркировки. Анализируются типы каузативных конструкций в грузинском языке, представленные З. Бараташвили, согласно иерархии синтаксических функций Б. Комри и обобщению маркировки оборотов М. Бейкера.

Каузация – многообразное и сложное по структуре явление в грузинском и английском языках. Использование морфологических, лексических и синтаксических средств позволяет эффективно передавать сложные причинно-следственные связи. Эти конструкции играют важную роль в динамике языка и распределении ролей между участниками действия.

ლიტერატურა – References – Литература

1. Dixon R. M. W. (2010) Basic linguistic theory: methodology, volume 1. Oxford University Press.
2. Comrie B. (1989) Language universals and linguistic typology, second edition. Blackwell Publishers.
3. ა. შანიძე. ქართული ენის გრამატიკის საფუძვლები. თბილისი 1973.
4. Baratashvili, Z. The Types of the Causative Construction in Georgian. Bulletin of the Georgian national academy of sciences, vol. 13, no. 1, 2019.
5. პარალელური კორპუსი https://corp.dict.ge/

ნაშრომი განხორციელდა შოთა რუსთაველის საქართველოს
ეროვნული სამეცნიერო ფონდის მხარდაჭერით (გრანტი FR-24-11637)

არსებითი სახელები ატრიბუტულ მსაზღვრელად და მათი ინგლისური შესატყვისები

ლიანა სამსონაძე

liasams@yahoo.com

რეზიუმე

სტატიაში განხილულია არსებითი სახელების ატრიბუტულ მსაზღვრელად გამოყენება ქართულ და ინგლისურ ენებში. აღწერილია, თუ როგორ შეუძლია არსებით სახელს შეასრულოს მსაზღვრელის ფუნქცია სხვა არსებითი სახელისთვის და რა გრამატიკული მახასიათებლები ახასიათებს ამგვარ გამოყენებას. ყურადღება გამახვილებულია ბრუნვებზე, სიტყვათა თანმიმდევრობაზე, სემანტიკურ დატვირთვებზე (კუთვნილება, მასალა, წოდება, რაოდენობა და სხვ.) და ქართულ-ინგლისური სტრუქტურების შედარებაზე. ტექსტში მოყვანილი მრავალი მაგალითი მკითხველს საშუალებას აძლევს დაინახოს ორი ენის გრამატიკული სისტემების მსგავსებები და განსხვავებები.

საკვანძო სიტყვები:

არსებითი სახელი, ატრიბუტული მსაზღვრელი, შესატყვისები

არსებითი სახელების დასახასიათებლად ვარჩევთ ორ შემთხვევას - როცა სახელი სხვა სახელისგან დამოუკიდებლად არის ნახმარი, მას თავისთავად სახელს უწოდებენ, და როცა ის სხვა სახელის მსაზღვრელად არის გამოყენებული. ასეთ სახელს მსაზღვრელი ანუ ატრიბუტული სახელი ჰქვია.

მსაზღვრელის ფუნქციას, ძირითადად, ზედსართავი, რიცხვითი, კუთვნილებითი ნაცვალსახელები და მიმღეობები ასრულებენ. აქ კი განვიხილავთ არსებითი სახელებისა და საწყისების გამოყენებას ატრიბუტულ მსაზღვრელად. განვიხილავთ თავისთავად სახელთან ორგვარი შეწყობის ტიპებს, ბრუნვების სპეციფიკას. განვიხილავთ ატრიბუტული არსებითი სახელის ინგლისური შესატყვისობების თავისებურებებს.

ატრიბუტული არსებითი სახელი ხშირად გამოხატავს მასალას (ხის, ქვის, ...), კუთვნილებას (ბავშვის, ოკეანის,...), წოდებას (მეფე, ექიმი,...) და სხვა.

ინგლისურ ენაშიც შეიძლება ერთმა არსებითმა სახელმა განსაზღვროს მეორე არსებითი სახელი. ასეთ შემთხვევაში პირველი არსებითი თავსდება წინ და განსაზღვრავს მეორე არსებით სახელს. პირველი არსებითი - ასრულებს მსაზღვრელის როლს, მეორე არსებითი არის საზღვრული არსებითი.

ასეთ სტრუქტურას noun modifier ან attributive noun ეწოდება. მაგალითად, rice soup – ბრინჯის ფლავი, chicken soup – ქათმის სუპი, horse race – ცხენების შეჯიბრება, school bus – სასკოლო ავტობუსი, car door - მანქანის კარი.

მაგალითებისა და განმარტებებისთვის მასალა გამოყენებულია ვებგვერდებიდან [1-3].

ნელა მოძრაობდა, როგორც მყვინთავი *ოკეანის* ფსკერზე, ანდა - კოსმონავტი მთვარეზე.

He moved slowly like a diver at the bottom of the ocean, or a cosmonaut on the moon;

მამობილიც აკვნის ოსტატი იყო, *ხის* სუნით ისე გაჟღენთილიყო, კოდალები ასხდებოდნენ.

The foster-father was also a master cradle-maker, so imbued with the smell of wood that woodpeckers would perch on him;

ატრიბუტული მსაზღვრელი ქართულში, უმეტესად, ნათესაობით ბრუნვაშია, ინგლისურში იგი შეიძლება ნაწარმოები იყოს -en, -ish, -al, -ic, -ous და ა.შ. სუფიქსებით. მასალის აღმნიშვნელი მსაზღვრელები უმეტესად -en სუფიქსით იწარმოება (ხის სუფრა - wooden table; ოქროს საწმისი - golden fleece).

კომპანია რეკლამას უწევს მას, როგორც ხის შენობებში ხანძრის გაჩენის რისკის შემამცირებელ ძალზე ეფექტიან საშუალებას.

The company advertises it as being very effective in reducing fire hazards for wooden buildings;

მერე ორმა ბიჭმა შემოიტანა გრძელი და ვიწრო ხის სუფრა ოთხფეხიანი, რომელსაც ერთი გამოვარდნილი ჰქონდა.

Then two lads brought in a long narrow four-legged wooden table, with one leg falling off it;

მაგალითში - *„ოქროს* ბეჭედი - gold ring“ და *„ოქროს* ხანა - the Golden Age“. ქართულში მსაზღვრელი ორივე შემთხვევაში ნათესაობით ბრუნვაშია, იმის მიუხედავად თუ რა დატვირთვა აქვს. ინგლისურში gold ring ნიშნავს უშუალოდ ოქროს მასალისაგან გაკეთებულ რგოლს

18-კარატიანი ოქროს ბეჭედი.

An 18-carat gold ring;

მას ოქროს ბეჭედი ეკეთა.

She wore a gold ring;

განიერ მარმარილოს კიბესთან და შესავალში კარის ხალხი ირევა.

The broad marble staircase and the entrance were crowded with people;

„მომეხმარეო“ - გამწარებულმა გასძახა უცხოელს, მარმარილოს სვეტს რომ ამოჰფარებოდა.

"Help me", she called out angrily to the stranger who was hiding behind a marble pillar.

მეორე მაგალითში კი, the Golden Age, Golden ატრიბუტია რომელიც მიღებულია gold-იდან -en სუფიქსის დართვით და უფრო „ოქროსფერი/ბრწყინვალე“-ს დატვირთვას ატარებს.

საქართველოა (კოლხეთია) ლეგენდარული ოქროს საწმისის, აიეტის და მედეას ქვეყანა, საიდანაც არგონავტებმა მოიტაცეს ოქროს საწმისი.

Georgia (Colchis) is the country of the legendary golden fleece, Aeetes and Medea - the land from where the Argonauts stole the golden fleece;

ავტორი მიიჩნევს, რომ IX-XII საუკუნეები ქართული ლიტერატურის ოქროს ხანაა.

It is noted in the article that the 9th-12th centuries were the Golden Age of Georgian literature.

ინგლისურში, როცა მსაზღვრელი და საზღვრული ერთ ცნებად აღიქმება, მაშინ ის სიტყვა ერთად იწერება *(ოქროს* თევზი - goldfish).

ერთხელ მან პარკით ორი *ოქროს* თევზი მოიყვანა სახლში.

Once he brought home two goldfish in a plastic bag;

ატრიბუტულ მსაზღვრელად ხშირად ვხვდებით საწყისებსაც, რომელიც ოდენობას აღნიშნავს (ერთი *აცმა* ზაფრანი; სამი *გაბმა* თოკი).

ძირითადად, ატრიბუტულ მსაზღვრელად გამოიყენება ის არსებითი სახელები, რომლებიც იხმარება წონის, ზომის, ფართობის და სხვ. აღსანიშნად. როგორც წესი, მათ წინ უძღვის რაოდენობის აღმნიშვნელი რიცხვითი სახელი, რაც კარგად ჩანს ქვემოთ მოყვანილ მაგალითებში.

წონის:

მან ერთი *კილო* ფქვილი აიღო.

She weighed out a kilo of flour;

ნამცხვრის გამოსაცხობად ოთხი მთელი სამი მეოთხედი *კილოგრამი* შაქარი გჭირდება.

You need four and three-quarters kg of sugar to bake a cake;

ჩაიდანს ახლად ადუღებული წყალი გამოვავლე და ხუთი *გრამი* ჩაი ჩავყარე, შევანჯღრიე და სურნელი გავუსინჯე.

I rinsed the teapot with a bit of boiling water and then poured five gram of tea there, then shook it and smelled the aroma;

მართალია, სულ ექვს გრამს იწონის, მაგრამ ექვსი *გრამი* ოქროც ოქროა.

True, only six grammes, but six grammes of gold is still gold;

საწყაოსი:

გადავწყვიტე, ღვინო აღარ დამელია, რადგან ორი *ჭიქა* ვისკის გადაკვრის შემდეგ თავბრუ მეხვეოდა.

By then I had decided not to drink wine because the two scotch whiskeys gulped down in a rush were only now starting to have their full effect;

ერთი *ჭიქა* პორტვეინი კიდევ გადაყლაპა -He downed a glass of port;

მაცივარი გამოვაღე და ლუდის *ბოთლი* გავხსენი.

I unlocked the refrigerator and opened a bottle of beer;

შემდეგ შამპანურის *ბოთლით* ხელში, ჩემსა და ბიანკას შორის გადმოინაცვლა.

Then moved between Bianca and me with the champagne bottle;

ამიტომ მას შევუკვეთე ათი *მეტრი* დოლბანდი, ათი *მეტრი* თეთრი მიტკალი, ქინძისთავების ექვსი დიდი *აცმა,* ორი *შეკვრა* ბამბა, ორი *პინტა* ეთერი, ერთი პინცეტი და ორი მუდმივი კალმის სათადარიგო ნაწილი.

So from her I asked for ten yards of butter muslin, ten yards of white calico, six large packets of pins, two bundles of cotton wool, two pints of ether, a pair of forceps, and two fountain-pen fillers.

ბოლო მაგალითში თითქმის ყველა სახის ატრიბუტია მოცემული:

ათი მეტრი დოლბანდი - ten yards of butter muslin - სიგრძის ზომა;

ქინძისთავების ექვსი დიდი აცმა - six large packets of pins - რაოდენობა (საწყისი);

ორი შეკვრა ბამბა - two bundles of cotton wool - რაოდენობა (საწყისი);

ორი პინტა ეთერი - two pints of ether - ტევადობა;

ორი მუდმივი კალმის სათადარიგო ნაწილი - two fountain-pen fillers - რაოდენობა;

ატრიბუტულ მსაზღვრელებად გვევლინება პროფესიის და წოდებათა აღმნიშვნელი სახელები, როგორიცაა: მასწავლებელი, მუშა, მჭედელი, ვაჭარი, თავადი, მეფე, პროფესორი, გენერალი და სხვ.

გადაწყვიტე, რომ ექიმის რჩევას დაუჯერო?

Have you decided to accept the doctor's advice?;

– გრაფი ლევ ტოლსტოი, – მან თქვა.

“Count Leo Tolstoy,” he said.;

– გრაფი მონტე კრისტო გახსოვს? – კუნძულზე, მიწისქვეშა დილეგში იყო გამოკეტილი.

"Do you remember the Count of Monte Cristo?" "He was locked up in a dungeon on an island.";

შენმა დეიდამ გამოგაგზავნა, ძვირფასო? – ჰკითხა პოლიანას *მღვდლის* ცოლმა, მისის ფორდმა.

did your aunt send you, my dear? asked Mrs. Ford, the minister’s wife;

მღვდლის ლოცვები შესმენილ იქნა.

The priest's prayers were answered;

ქართულში არსებობს ორგვარი შეწყობა მსაზღვრელსა და საზღვრულს შორის იმის მიხედვით, თუ რომელ პოზიციას იკავებს ერთ-ერთი მათგანი. მსაზღვრელი საზღვრულის წინ დგას (მეფე ერეკლე) თუ საზღვრულის შემდეგ (ერეკლე მეფე). ინგლისურში კი მსაზღვრელი ყოველთვის საზღვრულის წინ დგას.

ერთ-ერთ ქვეთავში მკვლევარი გვთავაზობს ლეგენდას მეფე *თამარის* კახაბერთან სტუმრობის შესახებ.

In one of the sub-chapters, the researcher offers the legend about Queen Tamar visiting Kakhaber.

ეს მაშინ მოხდა, როდესაც ტახტზე *თამარ* მეფე იყო.

This happened when Queen Tamar was on the throne.

თანხმოვანფუძიანი არსებითი სახელი მსაზღვრელის როლში (კაცი ლეგენდა) ბრუნების დროს მხოლოდ სამ ბრუნვაში - სახელობითში (კაც-ი ლეგენდა), მოთხრობითში (კაც-მა ლეგენდამ) და წოდებითში (კაც-ო ლეგენდავ) ინარჩუნებს ბრუნვის ნიშნებს; ნათესაობითსა და ვითარებითში ნიშნები ნაწილობრივ შენარჩუნებულია (კაც-ი ლეგენდის; კაც-ი ლეგენდით), ხოლო მიცემითსა და ვითარებითში ბრუნვის ნიშნები სრულიად დაკარგულია (კაც ლეგენდას; კაც ლეგენდად). საზღვრული კი იბრუნვის ჩვეულებრივად, მისი შესაბამისი ტიპის მიხედვით.

ხმოვანფუძიანი მსაზღვრელი უბრუნველია. იბრუნვის მხოლოდ საზღვრული. ამ წესს ემორჩილება სახელ-გვარული სინტაგმებიც იმ განსხვავებით, რომ არა აქვს მნიშვნელობა სახელი თანხმოვანზე მთავრდება თუ ხმოვანზე [4].

ინგლისურში ორი ბრუნვაა - კუთვნილებითი (Possesive Case), რომელიც ქართულ ნათესაობით ბრუნვას შეესატყვისება და საერთო ბრუნვა (Common Case), რომელსაც არ აქვს სპეციალური დაბოლოება. ქართული ატრიბუტული სახელის ნათესაობითი ბრუნვის შესატყვისად ინგლისურში სულიერი არსებითი სახელებისათვის ჩვეულებრივ ვხმარობთ 's-ს მხოლობით რიცხვში და s'-ს მრავლობითში (the girl's name - გოგონას სახელი; the girls' name - გოგონების სახელი), ხოლო უსულო საგნებისთვის of-ს. (the name of the book - წიგნის სახელი). ცხადია, ქართული ატრიბუტული მსაზღვრელის ბრუნების შესიტყვება ინგლისურის ატრიბუტულ მსაზღვრელთან, ინგლისური ენის გრამატიკითაა განპირობებული. აღნიშნული საკითხის გაანალიზება განსაკუთრებულ მნიშვნელობას იძენს როგორც თარგმნით პრაქტიკაში, ისე ენათაშორისი პარალელების დასადგენად გრამატიკის სწავლებისა და ლინგვისტური კვლევის პროცესში. ატრიბუტული სახელები მნიშვნელოვან როლს თამაშობენ როგორც ქართულ, ისე ინგლისურ ენაში და მათი სწორი გრამატიკული გამოყენება აუცილებელია ზუსტი და ბუნებრივი კომუნიკაციისთვის.

Nouns as attributive determiners and their English equivalents

L. Samsonadze

Summary

The article considers the use of nouns as attributive modifiers in Georgian and English languages. It describes how a noun can function as a modifier for another noun and explores the grammatical features associated with such usage. Particular attention is given to case marking, word order, and semantic categories such as possession, material, classification, quantity, and others. The study offers a comparative analysis of Georgian and English structures. Numerous examples throughout the text illustrate the similarities and differences between the grammatical systems of the two languages, providing readers with a clearer understanding of their respective syntactic and semantic patterns.

Существительные как атрибутивные определители и их английские эквиваленты

Л. Самсонадзе

Резюме

В тексте рассматривается атрибутивное употребление имён существительных в грузинском и английском языках. Анализируется, как существительные могут выполнять

определяющую функцию по отношению к другим существительным, а также какие грамматические особенности сопровождают такое употребление. Особое внимание уделено падежам, порядку слов, семантическим значениям (принадлежность, материал, титул, количество и др.), а также сопоставлению синтаксических структур двух языков. Приведённые примеры помогают читателю понять сходства и различия между грамматическими системами грузинского и английского языков.

ლიტერატურა – References – Литература

1. ინგლისურ-ქართული პარალელური კორპუსი https://corp.dict.ge/
2. ქართული ენის გრამატიკული ლექსიკონი http://ena.ge/explanatory– online;
3. https://www.translate.ge/
4. შანიძე ა. ქართული ენის გრამატიკის საფუძვლები. თბილისი 1973.

ნაშრომი განხორციელდა შოთა რუსთაველის საქართველოს
ეროვნული სამეცნიერო ფონდის მხარდაჭერით (გრანტი FR-24-11637)

Code Elements in the Cryptography of the 1832 Conspiracy

Maia Tsertsvadze

maiatsertsvadze@yahoo.com

Abstract

This article addresses one significant aspect of the cryptography associated with the 1832 conspiracy, a pivotal event in Georgian history. It examines the secret correspondence system developed by the conspirators for purposes of concealment, which relied on code elements - that is, words, expressions, and phrases devised for encryption. The system was primarily employed for the exchange of confidential information between circles in St. Petersburg/Moscow and Tbilisi.

The study explores the use of code elements by the conspirators, presenting it as a cryptosystem and describing it through the lens of modern cryptographic terminology and parameters. It demonstrates that, like other methods of cryptography employed by the conspirators, the system functioned as a symmetric cryptosystem, in which encryption and decryption were performed using the same key.

The findings are important both for the field of cryptography in general and for historical scholarship: the conspirators' use of code elements constitutes a striking and meaningful page in the history of Georgian cryptography and in the narrative of the 1832 conspiracy.

Keywords:

Cryptography, history of Georgian cryptography, conspiracy of 1832, coded elements, symmetric cryptography.

As is well known, the most essential element of any historical conspiracy or conspiratorial movement, on which its organization, coordination, success, or failure largely depends, is the presence of secret communication. Its purpose is to conceal information, ensure the safety of conspirators, and protect the boundaries of the inner circle.

One of the most common forms of secret communication is cryptography, which was also widely employed by participants of such a significant event in Georgian history as the so-called Conspiracy of 1832.

The aim of this conspiracy was to expel the Russian Empire from Georgia and restore the country's independence. Its origins go back to 1826-1827, when two **Georgian Royal Princes** (batonishvili) exiled to Russia, **Dimitri, son of Iulon** (1803 -1845), and **Okropir, son of Giorgi** (1795 - 1857) (emphasis everywhere is ours – M. T.), both grandsons of King Erekle II (1720 - 1798), inspired young Georgian students studying in Russia with the idea of preparing and organizing an uprising. Unfortunately, the conspiracy did not evolve into an actual revolt due to the betrayal of one of its participants, Iase Phalavandishvili (? - 1857), which led to the arrest and punishment of the conspirators [1].

In previous studies dedicated to the cryptography of the Conspiracy of 1832, we identified its three components:

1. A method used for secret correspondence and information exchange between the conspirators of St. Petersburg/Moscow circle and the Tbilisi circle, employing a kind of paper stencil (the so-called "frame");

2. A secret alphabet;

3. Code elements.

Studies regarding the first two components have already been published. We revealed and discussed them as **cryptographic systems**, describing them using modern cryptographic terminology and parameters. In particular, we established that the two forms of secret correspondence employed in the Conspiracy of 1832 represents symmetric cryptosystems, having their own cipher, plaintext, ciphertext, and key, while their participants consistently and unconditionally followed a set of rules, the so-called **cryptographic protocols** [2], [3], [4].

In the present article, we shall discuss the third component of the cryptography of the Conspiracy of 1832, reveal its essence, and attempt to examine it as a cryptographic system, characterizing it with the aid of modern cryptographic terminology and parameters.

As in previous studies, this time as well we will primarily use the testimonies of the conspirators and other materials of the investigative commission on the conspiracy for analysis, the scholarly research and examination of which is still actively ongoing today.

As it turns out, for the purpose of sharing and exchanging secret thoughts and information, the conspirators used **code elements - conditional words, sintagms, and phrases.** Let us see what we know about them.

An acknowledgment of the use of code elements for secret correspondence can be found in the testimonies of one of the leaders of the conspiracy, **Elizbar Eristavi, son of Shanshe** (1810 -1872), and his brother, also an active participant in the conspiracy, **Dimitri Eristavi** (1811-1854). Elizbar and Dimitri Eristavi belonged to those Georgian patriots who, before the conspiracy began, in the 1820s, studied in Russia at the St. Petersburg Artillery School, where they met with Royal Princes Dimitri and Okropir, who had been exiled there, and received instructions from them. Let us examine some of their testimonies.

In his answers to the questions of the investigative commission on 4 July, 1833, Elizbar Eristavi speaks about letters addressed to **Princess Salome** (1797 - 1860), daughter of **Royal Prince Pharnaoz** (1775 - 1852), who was then in St. Petersburg, written in **"veiled expressions"** (style preserved everywhere - M. T.):

"In 1831 I wrote several times to Princess Salome in **veiled words** about the beginning of our conspiracy" [8].

On the same day, in his testimony, Dimitri Eristavi states:

"**Because of the conspiracy, all expressions were used figuratively, so that an outsider would not be able to understand them** [8].

To maintain secrecy, the conspirators called each other **"friends"** and **"ugly ones"** ("Уроды" in Russian – "ugly ones").

In the letter sent by Dimitri Eristavi from St. Petersburg to Elizbar in Georgia on 15 April, 1831, we read:

"...why do you not write to me much, do you have **friends** or not, and what do you think of your cause... Luarsab, Dimitri, and Alexander send their regards to you. They constantly curse you, saying how **urod (ugly)** you were..." [7].

In the same letter we encounter another coded phrase: **"your friend's uncle"**:

"Where is **your friend's uncle**, and what is he doing? What has happened to him? Why is he conducting his business so poorly? Teach him somehow?" [7].

The expression **"your friend's uncle"** referred to **Royal Prince Alexander** (1770 - 1844), a devoted fighter for the independence of Georgia, the real uncle of **Alexander Orbeliani** (1802 - 1869) (coded as "your friend") - the brother of Orbeliani's mother, **Royal Princess Tekle** (1776 - 1846). who at the time was in Persia.This becomes evident from Dimitri Eristavi's testimony before the investigative commission on 4 July, 1833:

"The expression that we were expecting Royal Prince Alexander was not used directly, but figuratively, i. e., that **we were expecting my friend's uncle**" [8].

The conspirators are also called **"urody"** ("ugly ones") in letters written in Russian by Royal Prince Dimitri, which he sent in 1832 from St. Petersburg to his sister **Tamar** (1791 - 1857), an active member of the Tbilisi circle of conspirators. Here are some excerpts from these letters (translation is ours – M. T.):

"Dimitri Orbeliani is just as much of **ugly,** or perhaps even more so, than he was before";

"My respects to Elizbar, Vakhtang, Dimitri, and all the other **ugly ones**";

"For a long time you have not written anything to me, especially about what our **ugly ones** are doing";

"My respects to all the **ugly ones,** i.e., to my friends. [4].

Below is a table listing these coded words (expressions) and their meanings.

Table 1

Elements to be encoded (Meaning)	**Code words**
Conspirator	Friend
Conspirato	Ugly one
Prince Alexander	Friend's uncle

Let us turn to other materials of interest preserved by the investigative commission.

In the inventory of papers confiscated from the prisoners, dated 31 March, 1833, there appears a reference to **"books and papers of artillery praporshchik Prince Dimitri Eristov."** The document further specifies that **"those items which were deemed suspicious have been retained by the commission"** [7].

Among the aforementioned suspicious papers was a note transmitted to Dimitri by Royal Prince Okropir. The note contained altered (coded) designations of certain nations and individuals, intended to serve the purposes of clandestine correspondence.

In his testimony of 23 April, 1833, Dimitri Eristov explained that the note "contained Russian proper names, while the Georgian ones represented their conditional equivalents. I wrote them down under the dictation of Royal Prince Okropir during his stay in Moscow. **They were to be employed by me for correspondence,** but in fact I never used them, since I did not write even once. **Their purpose was to facilitate communication, for with such general appellations it was possible to convey a particular meaning without naming anyone directly"** [7].

A copy of this note (see below) was later presented to Royal Prince Okropir during his interrogation by the investigative commission established in St. Petersburg to examine the activity of the local circle of the conspiracy. The Royal Prince was asked to provide an explanation:

"Praporshchik Dimitri Eristov, in addition to the accusations already known to you, testifies that among his papers a note was discovered, the contents of which are listed here. It contained an **indirect expression** that you delivered to Elizbar Eristov in Moscow, **in order to conduct secret correspondence more conveniently"** [8].

The entries of the copy of the note found in Dimitri Eristov's papers were recorded as follows:

Rosen

Prince Alexander

Mukhranski
The French
The Prussians
The Austrians
The Russians
The Emperor of Russia
The English
The King of the English
Turkey
The Armenians
The Georgians [8].

In the original note of this copy are recorded conditional correspondences, which we present here in Table 2. The left column of the table contains the elements to be encoded, while the right column shows their code names [8].

Table 2

Elements to be encoded (Meanings)	**Code elements**
Rosen	Rose
Prince Alexander	Nightingale
Mukhranski	Crow
The French	Feathered kinglet
The Prussians	The cruel
The Austrians	Philosophers
The Russians	Beasts
The Emperor of Russia	Lion
The English	Drunkards
The King of the English	Bacchus
Turkey	Mahomet
The Armenians	The accursed

As is evident from the contents of the latter table, these code names were presumably intended for encrypting the real names of foreign European and Asian states, their rulers, and their subjects. It is important to note one significant circumstance, which has been highlighted in the historiography of the conspiracy of 1832. In particular, recent scholarship emphasizes that although Georgian conspirators could hardly have expected substantial support from European states against the backdrop of ongoing political developments on the continent, they nevertheless deliberated on possible European assistance, sought ways of establishing relations with powerful states, and even elaborated specific plans [9].

This idea was especially prevalent among the Royal Princes, regarded as the legitimate rulers of a potential independent Georgia. Royal Prince Dimitri, from the very beginning, explained to his companions that it was necessary for one of the Royal Princes to travel to France to request assistance [9]. Prince Okropir also intended to go to Europe. In one of his testimonies, Aleksandre Orbeliani convincingly recalls **Solomon Dodashvili's** (1805 -1836) words, stating: "Whenever turmoil occurred in Georgia, and Prince Okropir learned of it, he was to leave for France by any means and negotiate there. Dodashvili told me: if something happens here, Okropir will go to Paris" [6].

The idea of traveling to Europe was also considered by Royal Prince Dimitri's sister, Royal Princess Tamar. Together with other conspirators, she intended first to depart for Jerusalem with the Emperor's permission, and thereafter proceed to Europe:

"We were to arrive in Jerusalem, worship at the Holy Sepulchre, and from there proceed to Paris, France. From Paris, it was our intention to send someone to England to inform the English of our arrival in Paris. Then, first in Paris, we wished to submit a complaint that Georgia had been unjustly taken away from the Bagrationi, and afterward we were to proceed to England, where we were likewise to submit our complaint and request support everywhere, so that their ancestral land - Georgia - might be restored to them and liberated from the Russians," Aleksandre Orbeliani told the investigative commission [6].

The realization of such an endeavor was an extremely difficult task, requiring considerable courage, given that the Russian imperial secret services constantly monitored the numerous Georgian royal families and their descendants exiled in Russia, and would not have permitted their departure to Europe.

The fact that the conspirators discussed and even corresponded on the problem of allied and supporting states is indirectly evidenced by the special set of code names developed for foreign European and Asian states, their rulers, and subjects, as demonstrated above in Table 2.

In his testimony of 7 August, 1833, Royal Prince Okropir categorically denied any intention of employing foreign states - subjects of international law -for the purposes of the conspiracy.

"I have already had the honor to inform the Commission that I have never had any relations with any foreign state, nor could I have reported anything of the kind to Prince Dimitri Eristov. Consequently, any attempt to substitute names would have been useless. However, precisely this testimony serves to justify and confirm that I possessed no means of secret correspondence by which it would have been possible to communicate one's thoughts to another without their being understood by outsiders" [8].

As appropriate research reveals, the testimonies of the conspirators often contradict one another, and they resort to falsehoods and provide mutually exclusive, inconsistent accounts in order to avoid or mitigate punishment. Taking this into consideration, despite the above-mentioned denial by Royal Prince Okropir (and not by him alone), the materials presented by the investigative commission of the conspiracy clearly demonstrate that attempts were indeed made, for the purposes of the conspiracy, to engage the support of foreign states and, accordingly, to employ coded elements (words, expressions, etc.) in correspondence. Thus, it can be affirmed that this third component of cryptographic practice in the conspiracy of 1832 did, in fact, exist.

Unlike the first two components, however, we do not possess any extended specimens of secret correspondence composed with these elements (it is known that the conspirators destroyed much incriminating evidence prior to their arrest) - in the surviving letters, encrypted fragments occupy only a limited space. Nevertheless, on the basis of what has come down to us, it is possible to examine this practice as a **cryptographic system** and to characterize it in terms of modern cryptographic terminology and parameters.

As an example, let us consider the above-cited letter of Dimitri Eristov:

"Now I ask you to write in detail about the local news: why do you not write whether you have many **friends** or not, and how you regard your business. How is the work of your saw-mill going - well or not? Where is **your friend's uncle** and what is he doing, what has happened to him, why is he managing his business so badly, and could you teach him somehow? Luarsab, Dimitri, and Alexander send you greetings. They always scold you, saying what an **ugly fellow** you were. 'What hope did he give us here?' they say. 'He left, and he doesn't even remember us anymore - perhaps he no longer thinks of us at all" [7].

After substituting the encrypted fragments with their corresponding equivalents, the text reads as follows:

"Now I ask you to write in detail about the local news: why do you not write whether you have many **conspirators** or not, and how you regard your business. How is the work of your saw-mill going -well or not? Where is **Royal Prince Alexander** and what is he doing, what has happened to him, why is he managing his business so badly, and could you teach him somehow? Luarsab, Dimitri, and Alexander send you greetings. They always scold you, saying what a **conspirator** you were. 'What hope did he give us here?' they say. 'He left, and he doesn't even remember us anymore - perhaps he no longer thinks of us at all.'"

The third component of the **conspiracy cryptography**, discussed above, represents a cryptographic system involving two parties (participants) – the sender (addresser) and the receiver (addressee) of a letter. The parties seek to transmit confidential information in such a way that it cannot be obtained by an unauthorized person outside the system.

Fragments of the letter composed of code elements **– "friends," "your friend's uncle," "ugly one"** – constitute the information to be transmitted, i.e., the so-called **plaintext.** The set of operations performed by the sender to compose this plaintext, namely the use of code elements for writing the message, represents **encryption.** The subsequent operations performed by the receiver upon obtaining the message – namely, the reading of the letter through the use of the agreed correspondences of code elements – represent the reverse process of encryption, i. e., **decryption**.

The confidential information obtained as a result of decryption – in particular, those parts of the letter that become legible through the correspondences of code elements, such as **"conspirators"**, **"Prince Alexander",** and **"conspirator"** – constitutes the **ciphertext,** or **cryptogram**. The entirety of the described algorithm of encryption and decryption forms a **cipher** [10,11,12].

Since the sender and receiver employ the same **key**, namely the mutually agreed set of code elements and their meanings (see Tables 1 and 2), it can be concluded, on the basis of the described process and example of conspirators' secret correspondence, that this case represents the so-called **symmetric cryptography**. This method involves the use of a **secret (symmetric) key** – a key identical for both encryption and decryption procedures – which, until 1976, was the only method in common use [13].

Therefore, it can be established that the method of correspondence employed by the conspirators of 1832, based on code elements, may be characterized through the lens of modern cryptographic terminology and parameters as a **symmetric cryptosystem**. It possesses its own cipher, plaintext, ciphertext, and key, while its participants consistently and unconditionally adhere to a set of rules, i .e., **cryptographic protocols.**

The research presented in this article appears to be of considerable significance both for cryptography in general and for historical science: the use of code elements by the conspirators represents a noteworthy and illustrative chapter in the history of Georgian cryptography and the conspiracy of 1832.

1832 წლის შეთქმულების კრიპტოგრაფიის საკითხები - კოდური ელემენტები

მაია ცერცვაძე

რეზიუმე

სტატია ეძღვნება საქართველოს ისტორიის მეტად მნიშვნელოვანი მოვლენის - 1832 წლის შეთქმულების კრიპტოგრაფიის ერთ საკითხს. იგულისხმება შეთქმულთა მიერ

თავიანთი საქმიანობის კონსპირაციისთვის შემოღებული საიდუმლო მიმოწერის ის საშუალება, რომელიც უკავშირდება კოდურ ელემენტებს ანუ დაშიფვრისთვის განკუთვნილ სიტყვებს, შესიტყვებებსა და ფრაზებს. იგი ძირითადად გამოიყენებოდა საიდუმლო ინფორმაციის გაცვლისათვის პეტერბურგულ/მოსკოვურ და თბილისურ წრეებს შორის.

ნაშრომში განხილულია შეთქმულთა მიერ კოდური ელემენტების მოხმარების პროცესი, წარმოჩენილია ის, როგორც კრიპტოსისტემა და დახასიათებულია თანამედროვე კრიპტოგრაფიული ტერმინოლოგიისა და პარამეტრების საშუალებით. დადგენილია, რომ იგი, ისევე როგორც შეთქმულთა კრიპტოგრაფიის სხვა საშუალებები, წარმოადგენს სიმეტრიულ კრიპტოსისტემას, რომელშიც შიფრაციაც და დეშიფრაციაც ერთი და იგივე გასაღებით ხდება.

ჩატარებული კვლევა მნიშვნელოვანია როგორც ზოგადად კრიპტოგრაფიისათვის, ასევე ისტორიული მეცნიერებისათვის - კოდური ელემენტების გამოყენება შეთქმულთა მიერ ქართული კრიპტოგრაფიისა და 1832 წლის შეთქმულების ისტორიის ერთი თვალსაჩინო და საგულისხმო ფურცელია.

Вопросы криптографии заговора 1832 года - кодовые элементы

Майя Церцвадзе

Резюме

Статья посвящена одному из аспектов криптографии, связанной с важнейшим событием в истории Грузии – заговором 1832 года. Речь идет о секретной переписке, введённой заговорщиками в целях конспирации их деятельности, а именно о таком средстве, которое связано с кодовыми элементами – словами, условными выражениями и фразами, предназначенными для шифрования. Оно в основном использовалось для обмена секретной информацией между петербургско-московскими и тбилисскими кругами.

В работе рассматривается процесс использования заговорщиками кодовых элементов, показано их функционирование как криптосистемы и охарактеризовано с помощью современной криптографической терминологии и параметров. Установлено, что она, как и другие средства криптографии заговорщиков, представляет собой симметричную криптосистему, в которой шифрование и дешифрование осуществляются с помощью одного и того же ключа.

Проведенное исследование важно как для криптографии в целом, так и для исторической науки: применение кодовых элементов заговорщиками является одной из ярких и примечательных страниц истории грузинской криптографии и заговора 1832 года.

ლიტერატურა – References – Литература

1. Jologua T. for the conspiracy of 1832. "Literary Researches" magazine. Tbilisi. 2017, 38. pp. 55-72.
2. Tsertsvadze M. 'The Cryptographic Method of the 1832 Conspirators. Archil Eliashvili Institute of Control Systems of the Georgian Technical University. Proceedings, #27. Tbilisi. 2023. pp. 136-143.
3. Tsertsvadze M. The Secret Correspondence of the 1832 Conspirators. Scientific Journal 'Semiotics' of the Semiotics Research Center, XXIII. Tbilisi.2023. pp. 189 -196.

4. Tsertsvadze M. Cryptographic Issues of the 1832 Conspiracy - Secret Alphabet. Archil Eliashvili Institute of Control Systems of the Georgian Technical University. Proceedings, #28. Tbilisi. 2024. pp. 131-136.
5. Tsertsvadze M. Letters of Dimitri Batonishvili sent to Tamar Batonishvili. “Georgian Emigration” - Journal of the Scientific-Research Institute of the History and Geography of the Georgian Emigration at Grigol Robakidze University, 11/2024, Tbilisi. pp. 87-98.
6. Gozalishvili G. Conspiracy of 1832. Vol. 1. State University Publishing House. Tiflis. 1935. pp. 365-366.
7. Gozalishvili G. Conspiracy of 1832. Vol. 2. "Merani". Tbilisi. 1970. pp. 534, 510-511, 582.
8. Gozalishvili G. Conspiracy of 1832. Vol. 3. "Soviet Georgia". Tbilisi. 1976. pp. 280, 277, 374, 375.
9. Shvelidze D. From the History of the 1832 Conspiratorial Movement. *Universali*. Tbilisi. 2014. pp. 47-49.
10. Fred Piper and Sean Murphy Cryptography: A Very Short Introduction. Oxford University Press Inc. New York. 2002.
11. Moldovyan A. A., Moldovyan N. A., Sovetov B. I. Cryptography. "Lan". SPb. 2000.
12. Asatiani T. Lominadze T. Lominadze. N Papiashvili R. Fundamentals of cryptography. "Technical University". Tbilisi. 2021.
13. Kekelia V. Kotrikadze G. Symmetric system methods and models of cryptography. "Technical University". Tbilisi. 2016.
14. Shnayer B. Substitution ciphers. Applied Cryptography. Protocols, Algorithms and Source Code in C. “Triumph”. Moscow. 2002.

გადაწყვეტილების ხეების გამოყენება სამედიცინო პრეპარატის ეფექტურობის დადგენის ამოცანის გადასაწყვეტად

ილია ოკონიანი, მაია მიქელაძე

i.okonian@gmail.com, mikeladzemaia@yahoo.com

რეზიუმე

წინამდებარე ნაშრომში შეთავაზებულია გადაწყვეტილების ხეების, კერძოდ CART ალგორითმის გამოყენება სამედიცინო პრეპარატების ეფექტურობის დასადგენად. სტატიაში განხილულია სირთულეები, რომლებიც თავს იჩენენ ამ ამოცანის გადაწყვეტისას, და ხაზგასმულია ამ კონტექსტში მონაცემთა ანალიზის თანამედროვე მეთოდების მნიშვნელობა. დეტალურად არის აღწერილი CART ალგორითმის მუშაობის პრინციპები, მათ შორის Gini-ს ინდექსი როგორც გადაწყვეტილების ხეში საუკეთესო კვანძის ამორჩევის მექანიზმი. ნაჩვენებია, რომ გადაწყვეტილების ხეების მეშვეობით შესაძლებელია კლინიკური მონაცემების დამუშავება პაციენტთა იმ კლასების დადგენის მიზნით, რომლებშიც მოცემულმა პრეპარატმა გამოავლინა იდენტური ეფექტურობა. ასეთი გადაწყვეტილების ხეები საშუალებას გვაძლევენ მოვახდინოთ პაციენტის მკურნალობის ეფექტურობის პროგნოზირება მისი ინდივიდუალური მახასიათებლების გათვალისწინებით, რაც ხელს შეუწყობს პერსონალიზებული მკურნალობის სტრატეგიების შემუშავებას.

საკვანძო სიტყვები:

გადაწყვეტილების ხეები, CART, სამედიცინო პრეპარატის ეფექტურობა, მანქანური დასწავლა.

შესავალი

თანამედროვე მედიცინა მუდმივად ვითარდება და ახალი სამედიცინო პრეპარატების შექმნა და კვლევა უმნიშვნელოვანესია დაავადებებთან ბრძოლაში. თუმცა, პრეპარატის კლინიკური კვლევა და მისი ეფექტურობის ზუსტი შეფასება ხშირად რთულ და მრავალეტაპიან პროცესს წარმოადგენს. პაციენტთა ინდივიდუალური მახასიათებლების, გენეტიკური ფაქტორების, თანმხლები დაავადებებისა და ცხოვრების სტილის მრავალფეროვნება ქმნის სირთულეებს ერთიანი, უნივერსალური მკურნალობის რეჟიმის დადგენისას. ამ კონტექსტში, Data Science და მანქანური დასწავლის მეთოდები სულ უფრო აქტუალური ხდება, რადგან ისინი შესაძლებლობას იძლევა, გამოვლინდეს რთული და არაწრფივი დამოკიდებულებები მონაცემთა დიდ მასივებში.

ამ სტატიის მიზანია, წარმოაჩინოს გადაწყვეტილების ხეების მეთოდის, კერძოდ CART ალგორითმის, გამოყენების შესაძლებლობა სამედიცინო პრეპარატის ეფექტურობის ამოცანის გადასაჭრელად. გადაწყვეტილების ხეები გვთავაზობენ ინტუიციურ და ინტერპრეტირებად მოდელებს, რომლებიც ხელს უწყობენ კომპლექსური მონაცემებიდან ღირებული ინფორმაციის ამოღებას [1].

სამედიცინო პრეპარატების ეფექტურობის ამოცანა

სამედიცინო პრეპარატის ეფექტურობის შეფასება კლინიკურ კვლევებში ერთ-ერთი ყველაზე კრიტიკული ეტაპია. ეს ამოცანა გულისხმობს იმის დადგენას, რამდენად კარგად მოქმედებს პრეპარატი დაავადების მიზეზზე, ხელს უწყობს სიმპტომების შემცირებას, პროგრესირების შეჩერებას ან პაციენტის ზოგადი მდგომარეობის გაუმჯობესებას. ეფექტურობის შეფასებისას გასათვალისწინებელია სხვადასხვა ფაქტორები როგორიცაა:

- **დემოგრაფიული მახასიათებლები:** ასაკი, სქესი, ეთნიკური კუთვნილება;

- **კლინიკური მონაცემები:** დაავადების სიმპტომები, სტადია, სიმძიმე, თანმხლები დაავადებები, ლაბორატორიული მაჩვენებლები;
- **გენეტიკური მარკერები:** ზოგიერთი პრეპარატის ეფექტურობა შეიძლება მჭიდროდ იყოს დაკავშირებული პაციენტის გენეტიკურ პროფილთან;
- **ცხოვრების სტილი:** დიეტა, ფიზიკური აქტივობა, მოწევა, ალკოჰოლის მოხმარება;
- **წინა მკურნალობა:** პაციენტის რეაქცია წინა მკურნალობაზე.

ტრადიციული სტატისტიკური მეთოდები, როგორიცაა t-ტესტი ან ANOVA, ხშირად გამოიყენება საშუალო ეფექტურობის შესაფასებლად. თუმცა, მათ შესაძლოა ვერ აღმოაჩინონ პრეპარატის ეფექტურობის ნიუანსები პაციენტთა განსხვავებულ ქვეჯგუფებში [2]. მაგალითად, პრეპარატი შეიძლება იყოს ძალიან ეფექტური ახალგაზრდა პაციენტებისთვის, მაგრამ არაეფექტური ხანდაზმულთათვის, ან პირიქით. ასეთი ეფექტების იდენტიფიცირება გადამწყვეტია პერსონალიზებული მედიცინისთვის, სადაც მკურნალობის პროცესები ინდივიდუალურად არის მორგებული პაციენტის საჭიროებებზე. სწორედ აქ ხელსაყრელია მანქანური დასწავლის მეთოდების გამოყენება, მათ შორის გადაწყვეტილების ხეების, რომლებიც შესაძლებლობას იძლევა, გამოვლინდეს ასეთი რთული ქვეჯგუფები.

გადაწყვეტილების ხეების მეთოდი (CART)

CART (Classification and Regression Trees) არის გადაწყვეტილების ხეების ერთ-ერთი ყველაზე პოპულარული და ფართოდ გამოყენებადი ალგორითმი, რომელიც შეიმუშავეს ლეო ბრაიმანმა, ჯერომ ფრიდმანმა, რიჩარდ ოლშენმა და ჩარლზ სტოუნმა [3]. CART ალგორითმი აგებს ბინარულ ხეს, რაც ნიშნავს, რომ ყოველი კვანძი იყოფა მხოლოდ ორ შვილობილ კვანძად. ხის აგება იწყება ძირეული კვანძიდან, რომელიც წარმოადგენს მთელ სასწავლო მონაცემთა ნაკრებს. შემდეგ ალგორითმი ეძებს ოპტიმალური დაყოფის წერტილს (split point), რომელიც მაქსიმალურად ამცირებს არაერთგვაროვნებას (impurity) შვილობილ კვანძებში [4]. ეს პროცესი მეორდება რეკურსიულად თითოეულ შვილობილ კვანძში, სანამ არ დაკმაყოფილდება გაჩერების რაიმე კრიტერიუმი (მაგალითად, კვანძში მონაცემთა მინიმალური რაოდენობა, ხის მაქსიმალური სიღრმე, ან არაერთგვაროვნების გარკვეული დონე).

ოპტიმალური დაყოფა მიიღება $Gini_{split}$ კრიტერიუმის საშუალებით, როდესაც მოცემული კრიტერიუმი აღწევს მაქსიმალურ მნიშვნელობას:

$$G_{split} = \frac{1}{L} \cdot \sum_{i=1}^{n} l_i^2 + \frac{1}{R} \cdot \sum_{i=1}^{n} r_i^2 \rightarrow max$$

სადაც. L და R ობიექტების რაოდენობაა მარცხენა და მარჯვენა შვილობილ კვანძებში, ხოლო l_i და r_i - i-ური კლასის ობიექტების რაოდენობა მარცხენა და მარჯვენა შვილობილ კვანძებში შესაბამისად, $i = 1 \ldots n$.

$Gini_{split}$ ინდექსის მაქსიმიზაცია გულისხმობს ისეთი დაყოფის წერტილის არჩევას, რომელიც მაქსიმალურად გაზრდის ერთგვაროვნებას შვილობილ კვანძებში. მაღალი ერთგვაროვნება ნიშნავს, რომ კვანძში მონაცემთა უმეტესობა ერთ კლასს მიეკუთვნება. ამგვარად, ალგორითმი ეძებს დაყოფას, რომელიც ქმნის ყველაზე ერთგვაროვან შვილობილ კვანძებს კლასების მიხედვით [2, 3].

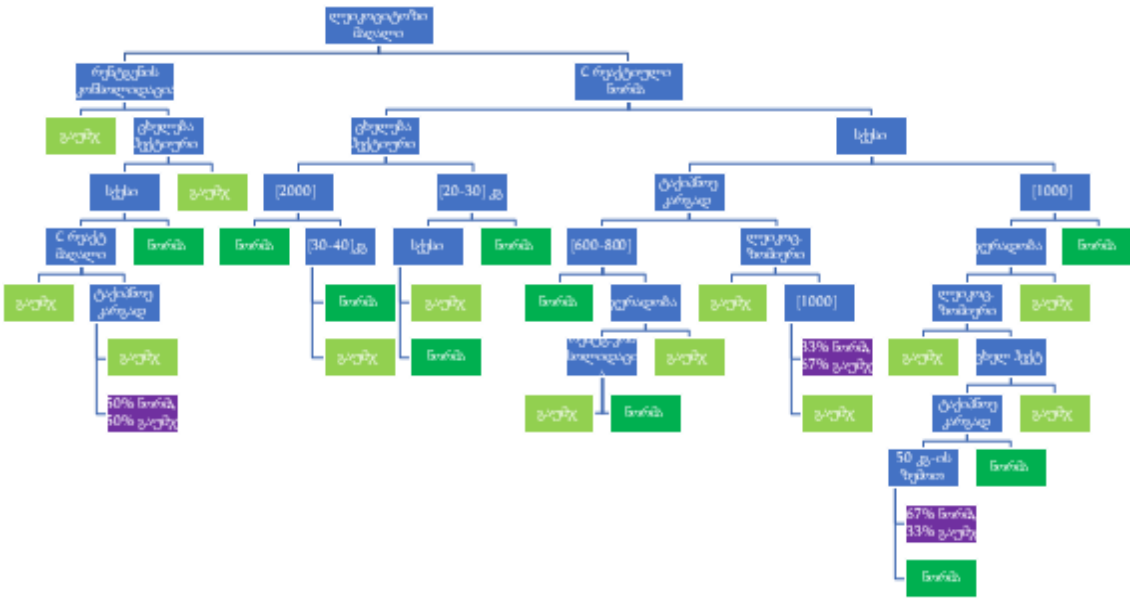
მოცემული კვლევა, რომელიც სამედიცინო პრეპარატის ეფექტურობას აფასებს, წარმოადგენს კლასიფიკაციის ამოცანას. მისი მიზანია იმის პროგნოზირება, თუ რამდენად ეფექტური იქნება პრეპარატი კონკრეტული პაციენტისთვის, CART ალგორითმის გამოყენებით.

ამ ამოცანის ფარგლებში მონაცემები ასე განისაზღვრება:

- **ობიექტები:** კვლევის თითოეული პაციენტი, რომლისთვისაც გროვდება მონაცემები და ფასდება მკურნალობის შედეგი.

- **ნიშან-თვისებები:** პაციენტის ის მახასიათებლები, რომლებიც შესაძლოა გავლენას ახდენენ პრეპარატის ეფექტურობაზე. ეს მოიცავს დემოგრაფიულ მონაცემებს (ასაკი, სქესი), კლინიკურ პარამეტრებს (დაავადების სიმპტომები, სტადია, ლაბორატორიული მაჩვენებლები), ანამნეზს (წინა მკურნალობა), ცხოვრების სტილის ფაქტორებს (მოწევა, დიეტა) და გენეტიკურ მარკერებს.
- **კლასები:** პრეპარატის ეფექტურობის შედეგები, რომლებიც იყოფა დისკრეტულ კატეგორიებად: "ნორმა", „გაუმჯობესდა“, „იგივე დარჩა“, „გაუარესდა“.

ჩვენ შემთხვევაში, პნევმონიის სამკურნალოდ, CART ალგორითმის გამოყენებით ჩვენ ავაგეთ გადაწყვეტილების ბინარული ხე Ceftriaxone პრეპარატისთვის, ნახ. (1) და შედეგად სატესტო მონაცემებზე შემოწმებით (გვყავდა 14 სატესტო და 55 სასწავლო პაციენტი) მივიღეთ, რომ ამ ალგორითმის სიზუსტე 65 პროცენტს წარმოადგენს. აღსანიშნავია, რომ ეს არცთუ ისე მაღალი სიზუსტეა და მის გასაუმჯობესებლად, როგორც ერთ-ერთი გამოსავალი შეიძლება შემთხვევითი ტყეები გამოვიყენოთ.



ნახ.1. გადაწყვეტილების ბინარული ხე CEFTRIAXONE პრეპარატისთვის

შემთხვევითი ტყეები (Random Forests) არის მანქანური დასწავლის მძლავრი ალგორითმი, რომელიც აერთიანებს მრავალი გადაწყვეტილების ხის ძალას უფრო ზუსტი და სტაბილური პროგნოზებისთვის. ის მუშაობს მრავალი ხის აგებით, რომელთაგან თითოეული იწვრთნება მონაცემთა შემთხვევით შერჩეულ ქვეჯგუფზე და პროგნოზირებისთვის იყენებს ატრიბუტების შემთხვევით ქვეჯგუფს. საბოლოო პროგნოზი მიიღება ინდივიდუალური ხეების პროგნოზების უმრავლესობით (კლასიფიკაციისთვის) ან საშუალო არითმეტიკულით (რეგრესიისთვის). ეს მეთოდი მნიშვნელოვნად ამცირებს გადამეტებული დასწავლის (overfitting) რისკს და გამოირჩევა მაღალი სიზუსტით, რაც მას ერთ-ერთ ყველაზე ეფექტურ ალგორითმად აქცევს კლასიფიკაციისა და რეგრესიის ამოცანებში [5].

დასკვნა

გადაწყვეტილების ხეები, კერძოდ CART ალგორითმი, წარმოადგენს მძლავრ და მოქნილ ინსტრუმენტს სამედიცინო პრეპარატების ეფექტურობის ამოცანის გადასაჭრელად. მათი გამჭვირვალობა და ინტერპრეტირებადობა განსაკუთრებით ღირებულია მედიცინაში, სადაც გადაწყვეტილების მიღებისას საჭიროა გაგება, თუ რატომ მიიღება კონკრეტული დასკვნა.

CART ალგორითმის გამოყენებით, შესაძლებელია პაციენტთა ჯგუფების იდენტიფიცირება, რომლებზეც პრეპარატი განსხვავებულად მოქმედებს. Gini დაყოფის

კრიტერიუმი გამოყოფს პროგნოზირებისთვის ყველაზე მნიშვნელოვან ფაქტორებს. ეს კი საშუალებას იძლევა, განხორციელდეს მოცემული პრეპარატით მკურნალობის ეფექტურობის პროგნოზირება, ჩამოყალიბდეს უფრო ზუსტი და პერსონალიზებული მკურნალობის სტრატეგიები, რაც უზრუნველყოფს პაციენტებისთვის მაქსიმალურ სარგებელს.

სამომავლოდ, გადაწყვეტილების ხეები, სხვა მანქანური დასწავლის მეთოდებთან (მაგალითად, შემთხვევითი ტყეები) კომბინაციაში, კიდევ უფრო მეტად გააძლიერებს კლინიკურ გადაწყვეტილების მიღებას და ხელს შეუწყობს მტკიცებულებებზე დაფუძნებული მედიცინის განვითარებას, რაც საბოლოოდ პაციენტთა ჯანმრთელობის გაუმჯობესებას მოემსახურება.

Using Decision Trees to Determine the Effectiveness of Medical Drugs

Ilia Okoniani, Maia Mikeladze

Summary

This paper proposes the application of decision trees, specifically the CART algorithm, for determining the effectiveness of medical drugs. The article discusses the challenges that arise in solving this problem and emphasizes the importance of modern data analysis methods in this context. The principles of the CART algorithm's operation are described in detail, including the Gini index as a mechanism for selecting the best node in the decision tree. It is shown that decision trees can process clinical data to identify patient classes in which a given drug has demonstrated identical effectiveness. Such decision trees allow for predicting the effectiveness of a patient's treatment, taking into account their individual characteristics, which will contribute to the development of personalized treatment strategies.

Применение деревьев решений для определения эффективности медицинских препаратов

Илья Оконян, Майя Микеладзе

Резюме

В статье предлагается применение деревьев решений, в частности алгоритма CART, для определения эффективности медицинских препаратов. Рассматриваются сложности, возникающие при решении этой задачи, и подчеркивается важность современных методов анализа данных в данном контексте. Подробно описаны принципы работы алгоритма CART, включая индекс Джини как механизм выбора наилучшего узла в дереве решений. Показано, что с помощью деревьев решений можно обрабатывать клинические данные с целью определения классов пациентов, в которых данный препарат проявил идентичную эффективность. Такие деревья решений позволяют прогнозировать эффективность лечения пациента с учетом его индивидуальных особенностей, что будет способствовать разработке персонализированных стратегий лечения.

ლიტერატურა - References – Литература

1. Alpaydin, E. (2020). Introduction to Machine Learning. MIT Press. (Chapter 6: Decision Trees)
2. James, G., Witten, D., Hastie, T., & Tibshirani, R. (2013). An Introduction to Statistical Learning with Applications in R. Springer. (Chapter 8: Tree-Based Methods)
3. Breiman, L., Friedman, J. H., Olshen, R. A., & Stone, C. J. (1984). Classification and Regression Trees. Wadsworth & Brooks/Cole Advanced Books & Software.
4. Hastie, T., Tibshirani, R., & Friedman, J. (2009). The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction. Springer. (Chapter 9: Tree-Based Methods).
5. Breiman, L. (2001). Random Forests. *Machine Learning*, 45(1), 5-32.

ხელოვნური ინტელექტის მიდგომები პერსონალიზებული თერაპიის შერჩევის ამოცანაში

ვადიმ რაძიევსკი, მაია მიქელაძე, დიმიტრი რაძიევსკი, ილია ოკონიანი

v_radzievski@yahoo.com, mikeladzemaia@yahoo.com, dradzievski@gmail.com, i.okonian@gmail.com

რეზიუმე

სტატიაში განიხილება პერსონალიზებული სამკურნალო პრეპარატის შერჩევის ამოცანა კონკრეტული პაციენტის მდგომარეობის გათვალისწინებით. შეთავაზებულია რაოდენობრივი მეთოდი სამკურნალო პრეპარატების ეფექტურობის შეფასებისთვის, რომელიც დაფუძნებულია პაციენტის მდგომარეობების შედარებაზე მედიკამენტის მიღებამდე და მიღების შემდეგ. ასევე განიხილება პრეპარატის შეფასება კონკრეტულ სიმპტომებზე გავლენის ხარისხის მიხედვით, რაც საშუალებას იძლევა მოვახდინოთ სხვადასხვა პრეპარატის ეფექტურობის შედარება სხვადასხვა სიმპტომის მქონე პაციენტებისთვის და შევარჩიოთ ოპტიმალური მედიკამენტი თითოეული პაციენტისთვის მისი ინდივიდუალური გამოვლინებების გათვალისწინებით.

საკვანძო სიტყვები:

სამკურნალო პრეპარატის ეფექტურობა, პროდუქციული წესები, გასაღები ნიშნები.

მედიცინის ერთ-ერთი მთავარი ამოცანა პაციენტის მკურნალობას უკავშირდება. სამკურნალო პრეპარატის ეფექტურობა ფასდება დაავადების მიმდინარეობაზე მისი დადებითი გავლენის საფუძველზე. ამ ეფექტურობის განსაზღვრა შესაძლებელია სხვადასხვა ასპექტში. ეს შეიძლება იყოს ეფექტურობა კლინიკური შედეგების, გვერდითი მოვლენების, სიმპტომებზე ზემოქმედების ან სხვა თვალსაზრისით [1]. ამ ნაშრომში ჩვენ განვსაზღვრავთ პრეპარატის ეფექტურობას სიმპტომებზე მისი ზემოქმედების თვალსაზრისით. პრეპარატის ეფექტურობის შეფასების ერთ-ერთი მიდგომა დაკავშირებულია პაციენტის ჯამრთელობის მდგომარეობების შედარებასთან პრეპარატის მიღებამდე და პრეპარატის მიღების შემდეგ. თუ სამკურნალო პრეპარატის მიღების შემდეგ მოხდა სიმპტომების ალაგება ან მათი ინტენსივობის შემცირება, მაშინ ვივარაუდებთ, რომ შესაბამისი სამკურნალო საშუალება საკმარისად ეფექტურია ამ პაციენტისთვის სიმპტომებზე ზემოქმედების თვალსაზრისით. აღსანიშნავია, რომ უფრო მიზანშეწონილია პრეპარატის ეფექტურობის შეფასება პაციენტთა ჯგუფზე, რომელიც ერთ კლასს მიეკუთვნება.

ხსენებული შეფასებები არის თვისობრივი ხასიათის. იმისათვის რომ ჩავატაროთ ეფექტურობის რაოდენობრივი შეფასება, პაციენტის ჯანმრთელობის მდგომარეობას გამოვსახავთ რიცხვითი ვექტორის სახით, რომლის კომპონენტები დაავადების სიმპტომებს წარმოადგენენ. თუ განვიხილავთ ორ ვექტორს, რომლებიც წარმოადგენენ პაციენტის მდგომარეობას სამკურნალო პრეპარატის მიღებამდე და მიღების შემდეგ, მაშინ ამ ვექტორებს შორის მანძილი გარკვეულ მეტრიკულ სივრცეში შეიძლება გამოვიყენოთ ამ პრეპარატის ეფექტურობის შეფასებად. ერთ-ერთი ფორმულა, რომელიც განსაზღვრავს $X(x_1 \dots x_n)$ და $Y(y_1 \dots y_n)$ ვექტორებს შორის მანძილს R_1^n მეტრიკულ სივრცეში, შემდეგია [2]:

$$R(X,Y) = \sum_{k=1}^{n} |X_k - Y_k| \qquad (1)$$

ამ შემთხვევაში თუ $X(x_1 \dots x_n)$ და $Y(y_1 \dots y_n)$ ვექტორები წარმოადგენენ კონკრეტული პაციენტის მდგომარეობებს პრეპარატის მიღებამდე და მის შემდეგ, მაშინ $R(X,Y)$ წარმოადგენს პრეპარატის ეფექტურობას ამ პაციენტისთვის სიმპტომებზე ზემოქმედების თვალსაზრისით.

თუ R_1, R_2, ... R_n პრეპარატის ეფექტურობის მნიშვნელობებია ერთ კლასში შემავალი პაციენტებისთვის, მაშინ მათი საშუალო მნიშვნელობის მოდული $\left|\frac{R_1+R_2+\cdots+R_n}{n}\right|$ წარმოადგენს პრეპარატის ეფექტურობის შეფასებას მოცემული კლასისთვის.

ფორმულა (1)-ის მიხედვით მიღებულ შეფასებებს წარმოვადგენთ პროდუქციების წესების სახით. თითოეული წესი შეესაბამება კონკრეტულ პაციენტს. დავუშვათ, გვაქვს ერთი სამკურნალო პრეპარატი და პაციენტების n რაოდენობა. ასევე ფორმულა (1)-ის მიხედვით დადგენილია თითოეული პაციენტის მოცემული პრეპარატით მკურნალობის ეფექტურობა. თუ i-ური პაციენტის მდგომარეობა აღიწერება $S_i(s_{i1} \cdots s_{im})$ ვექტორით და პაციენტს დაენიშნა L წამალი, რომელმაც ამ პაციენტის შემთხვევაში გამოავლინა R_i ეფექტურობა, მაშინ პროდუქციას ექნება შემდეგი სახე:

$$\textbf{თუ } s_{i1}, \cdots, s_{im}, \textbf{ მაშინ } R_i.$$

პროდუქციული წესების სახით წარმოდგენილი წამლების ეფექტურობის ცალკეული შეფასებები შეესაბამებიან თითოეულ პაციენტს სასწავლო ამონაკრეფიდან და წარმოადგენენ ცოდნის ბაზას. ამ წესების საშუალებით შესაძლებელია ახალი პაციენტისთვის მოცემული წამლით მკურნალობის ეფექტურობის პროგნოზირება.

ახალი პაციენტის მკურნალობისას უნდა მოიძებნოს ცოდნის ბაზაში პროდუქცია, რომლის პირობითი ნაწილი შეიცავს ამ პაციენტის სიმპტომებს. ამ პროდუქციის დასკვნითი ნაწილი მიგვითითებს ამ პაციენტის მკურნალობის ეფექტურობაზე. იმისათვის, რომ გავამარტივოთ შესაბამისი პროდუქციების ძიება ცოდნის ბაზაში, უნდა გამოვიყენოთ „გასაღები ნიშნების“ მეთოდი [3].

დავუშვათ, რომ არსებობს ცოდნის ბაზა პროდუქციული წესების სახით და წესები გადანომრილია. გადარჩევის შეკვეცის მიზნით ჩვენ ვიპოვით ნიშანს, რომელიც შედის წესების მთელი ნაკრების დაახლოებით ნახევარში და ამით ყოფს ნაკრებს ორ ქვესიმრავლედ. ამ დაყოფის განმახორციელებელ ნიშანს გასაღები ნიშანი ეწოდება. თითოეული ეს ქვესიმრავლე, თავის მხრივ, ასევე იყოფა ორ ქვესიმრავლედ სხვა გასაღები ნიშნების გამოყენებით და ა.შ. გასაღები ნიშნები შეიძლება წარმოვადგინოთ ხის კვანძების სახით, სადაც ხის თითოეულ მარცხენა შტოს ენიჭება წესების ნომრები, რომლებშიც შესაბამისი გასაღები ნიშანი არის წარმოდგენილი, ხოლო მარჯვენა შტოს ენიჭება წესების ნომრები, რომლებშიც შესაბამისი გასაღები ნიშანი არ არის წარმოდგენილი. ხის თითოეული ტერმინალური კვანძი შეესაბამება ერთ-ერთი წესის ნომერს. ახალი პაციენტის აღწერილობაში კონკრეტული გასაღები ნიშნების არსებობის შემოწმების შემდეგ, მივიღებთ რიცხვს, რომელიც ემთხვევა ერთ-ერთი წესის ნომერს. ამ წესის დასკვნით ნაწილში წარმოდგენილი მკურნალობის ეფექტურობა წარმოადგენს ახალი პაციენტის მოცემული პრეპარატით მკურნალობის ეფექტურობის პროგნოზს.

ნაშრომ [4]-ში შემუშავებულია მიდგომა, რომელიც განსაზღვრავს პრეპარატების ეფექტურობას თითოეულ სიმპტომზე მათი ზემოქმედების ხარისხის შესაბამისად. პრეპარატს შეუძლია შეამციროს სიმპტომების რაოდენობა და თითოეულის სიმძიმე. ნაშრომ [5]-ის საფუძველზე შესაძლებელია პრეპარატების შედარებითი ანალიზის ჩატარება და კონკრეტული პაციენტისთვის საუკეთესოს შერჩევა. კონკრეტულ ავადმყოფს შეიძლება ჰქონდეს მხოლოდ ზოგიერთი სიმპტომი. ამ ამოცანის გადასაწყვეტად ავაგოთ (0,1) ბინარული ვექტორი, რომელიც მიგვითითებს რა სიმპტომები გააჩნია კონკრეტულ ავადმყოფს: 1 მიგვითითებს სიმპტომის არსებობაზე და 0 - არარსებობაზე. ავაგოთ აგრეთვე C მატრიცა, რომელშიც ყოველი A_j წამლის ეფექტურობა S_i სიმპტომის მიმართ მოიცემა c_{ij}

კოეფიციენტის მეშვეობით (ნახ.1):

$$C = \begin{array}{c} \\ S_1 \\ S_2 \\ \cdots \\ S_m \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} A_1 & A_2 & \cdots & A_n \end{array} \\ \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \cdots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \cdots & c_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{m1} & c_{m2} & \cdots & c_{mn} \end{bmatrix} \end{array}$$

ნახ. 1

აშკარაა, რომ კონკრეტული ავადმყოფისთვის ეფექტიანი წამლის ასარჩევად ყველა სვეტში უნდა შევკრიბოთ იმ სტრიქონების კოეფიციენტები, რომლებიც შეესაბამებიან ამ კონკრეტული ავადმყოფის სიმპტომებს. ფაქტობრივად, ხორციელდება პაციენტის მდგომარეობის ვექტორის წრფივი გარდაქმნა C მატრიცის მეშვეობით და მიღებულ $D(d_1\ d_2\ \ldots\ d_n)$ ვექტორში მაქსიმალური ელემენტის არჩევა [4]. ამ ელემენტის რიგითი ნომერი მიუთითებს ყველაზე ეფექტიან წამალზე არსებული ნუსხიდან:

$$D = S \cdot C,$$

სადაც $d_j = s_1c_{1j} + s_2c_{2j} + \cdots + s_mc_{mj},\ j = 1, 2, \ldots, n.$ $\max(d_1, d_2, \ldots, d_n)$ მიუთითებს წამალზე, რომელიც ნაჩვენებია კონკრეტული პაციენტისთვის.

საბოლოოდ, დამუშავდა სამკურნალო პრეპარატების ეფექტურობის შეფასების რაოდენობრივი მეთოდი, რომელიც დაფუძნებულია პაციენტის მდგომარეობების შედარებაზე მედიკამენტის მიღებამდე და მიღების შემდეგ. მიღებული შეფასებების წარმოდგენა შესაძლებელია პროდუქციული წესების სახით. ამ წესების საშუალებით შესაძლებელია ახალი პაციენტისთვის მოცემული წამლით მკურნალობის ეფექტურობის პროგნოზირება. ცოდნის ბაზაში გადარჩევის შეკვეცის მიზნით შემოთავაზებულია ინფორმაციის ძიება გასაღები ნიშნების გამოყენებით, რაც შეამცირებს პრობლემის გადასაჭრელად საჭირო ძალისხმევას. თუ ცნობილია პრეპარატების შეფასება კონკრეტულ სიმპტომებზე გავლენის თვალსაზრისით, მაშინ მეორე მეთოდის საშუალებით შესაძლებელი ხდება თითოეული პაციენტისთვის ოპტიმალური მედიკამენტის შერჩევა ამ პაციენტის ინდივიდუალური გამოვლინებების გათვალისწინებით.

Artificial Intelligence Approaches to the Task of Personalized Therapy Selection

Vadim Radzievski, Maia Mikeladze, Dimitri Radzievski, Ilia Okonian

Summary

The article discusses the task of selecting personalized medication based on the condition of a specific patient. A quantitative method is proposed for evaluating the effectiveness of medications, based on comparing the patient's condition before and after taking the drug. The evaluation also considers the impact of the medication on specific symptoms, which enables a comparison of the effectiveness of different drugs for patients with varying symptoms and allows for the selection of the optimal medication for each patient based on their individual manifestations

Подходы искусственного интеллекта в задаче выбора персонализированной терапии

Вадим Радзиевский, Майя Микеладзе, Дмитрий Радзиевский, Илья Оконян

Резюме

В статье рассматривается задача выбора персонализированного лекарственного препарата с учетом состояния конкретного пациента. Предлагается количественный метод оценки эффективности лекарств, основанный на сравнении состояния пациента до и после приема препарата. Также рассматривается оценка препарата по степени его воздействия на конкретные симптомы, что позволяет сравнивать эффективность различных препаратов для пациентов с разными симптомами и подбирать оптимальный медикамент для каждого пациента с учетом его индивидуальных проявлений.

.

ლიტერატურა – References – Литература

1. Майя Микеладзе, Дмитрий Радзиевский, Вадим Радзиевский, Нора Джалябова. Медицинская информационная система выбора лекарственных препаратов для лечения первичных головных болей. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის არჩილ ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული №22, თბილისი, 2018, გვ. 163-167.
2. Колмогоров А.Н., Фомин С. В. Элементы теории функций и функционального анализа. Москва. Наука. Главная редакция физико-математической литературы. 1968.
3. Вадим Радзиевский, Майя Микеладзе, Нора Джалябова, Дмитрий Радзиевский, Илья Оконян. Метод сокращения перебора при поиске информации в базе знаний и его использование в задачах медицинской диагностики. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის არჩილ ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული, №24, თბილისი, 2020 წ., გვ. 150 – 155.
4. ვადიმ რაძიევსკი, მაია მიქელაძე, დიმიტრი რაძიევსკი, ილია ოკონიანი. დაავადების გამოვლინების ინდივიდუალური თავისებურებების გათვალისწინებით სამკურნალო პრეპარატების შერჩევის ინტელექტუალური სისტემა. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის არჩილ ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული, №24, თბილისი, 2020 წ., გვ. 144 – 149.
5. ვ. რაძიევსკი, მ. მიქელაძე, ნ. ჯალიაბოვა, გ. ბესიაშვილი, პ. ქარჩავა, დ. რაძიევსკი. კონკრეტული ავადმყოფისთვის სამკურნალო პრეპარატების არჩევის ინტელექტუალური სისტემა. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის არჩილ ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის 60 წლისთავისადმი მიძღვნილი საიუბილეო კონფერენცია, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის არჩილ ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული №20, თბილისი, 2016, გვ.169 – 174.

MATLAB-ის გამოყენება მანქანური სწავლების მეთოდების შედარებითი შეფასებისთვის II ტიპის შაქრიანი დიაბეტის დიაგნოსტიკაში

ნათელა ანანიაშვილი

ia.ananiashvili@gmail.com

რეზიუმე

წინამდებარე ნაშრომის ძირითადი მიზანია MATLAB-ის პროგრამული გარემოს შესაძლებლობების გამოყენებით შაქრიანი დიაბეტის II ტიპის დიაგნოსტიკის მოდელირება და შეფასება. კვლევის ფარგლებში განხილულია მანქანური სწავლების ფართოდ გამოყენებული მეთოდები, მათ შორის: KNN (K უახლოესი მეზობლის მეთოდი), Decision Tree (გადაწყვეტილების ხე), Logistic Regression და SVM (Support Vector Machine – საყრდენი ვექტორების მანქანა). თითოეული ალგორითმის თეორიული საფუძველი წარმოდგენილია მოკლედ, ხოლო ყურადღება გამახვილებულია მათ ძლიერ და სუსტ მხარეებზე დიაგნოსტიკური ამოცანების გადაწყვეტის კონტექსტში. ნაშრომში გამოყენებულია MATLAB-ის მზა ფუნქციებისა და ავტორიზებული კოდების საფუძველზე შესრულებული იმპლემენტაციები, რაც უზრუნველყოფს პრაქტიკულ გამოყენებადობასა და შედეგების სიზუსტის შეფასებას. მიღებული ექსპერიმენტული შედეგების ანალიზი, მათ შორის პროცენტული სიზუსტის შედარება, ცხადყოფს MATLAB-ის ეფექტურობასა და პერსპექტივას სამედიცინო დიაგნოსტიკის მიმართულებით.

საკვანძო სიტყვები:

სამედიცინო დიაგნოსტირება, K უახლოესი მეზობლის მეთოდი, ლოგისტიკური რეგრესია, გადაწყვეტილების ხე, საყრდენი ვექტორების* მანქანა, *MATLAB.

1. შესავალი

სამედიცინო დიაგნოსტირების ამოცანების გადასაწყვეტად შესაძლებელია სხვადასხვა მეთოდების გამოყენება. წინამდებარე სტატიაში შემოგთავაზებთ ერთი მნიშვნელოვანი პრობლემის - მე-2 ტიპის დიაბეტის დიაგნოსტირების გადაჭრის რამდენიმე მეთოდს და მოვახდენთ მათ შედარებით ანალიზს.

მეტაბოლური მდგომარეობა, რომელიც ცნობილია როგორც მე-2 ტიპის შაქრიანი დიაბეტი (T2D), ხასიათდება სისხლში შაქრის მაღალი დონით. ის არის ქრონიკული დაავადება, რომელიც მთელ მსოფლიოში მილიონობით ადამიანს აწუხებს. სისხლში გლუკოზის მომატებული დონე გამოწვეულია ინსულინრეზისტენტობით ან ინსულინის მიწოდების შეუძლებლობით. მე-2 ტიპის დიაბეტის დროულმა გამოვლენამ შეიძლება გააუმჯობესოს პაციენტის მკურნალობის შედეგები და შესაბამისად მისი მდგომარეობა. ჩვენს წინაშე დგას დიაგნოსტირების ამოცანა: უნდა დავადგინოთ, აქვს თუ არა ადამიანს დიაბეტი. ამიტომ, ძალიან მნიშვნელოვანია შაქრიანი დიაბეტის დიაგნოზირება ადრეულ სტადიაზე, რათა მინიმუმამდე იქნას დაყვანილი ამ დაავადების სიმძიმე და სიკვდილიანობა. წინამდებარე ნაშრომში შემოთავაზებულია ამ ამოცანის გადაწყვეტის მანქანური სწავლების რამდენიმე მეთოდი, ეს მეთოდები ცნობილი მეთოდებია და გამოყენებულია სხვადასხვა ნაშრომებში: KNN (K უახლოესი მეზობლის მეთოდი), ეს მეთოდი ჩვენ უკვე გამოვიყენეთ [1] ნაშრომში, სადაც განიხილებოდა I და II ტიპის დიაბეტის დიაგნოსტირების ამოცანა პაციენტთა სიმპტომების საფუძველზე, ნაშრომი [2]-ის მიზანია ტიპი 2 დიაბეტის განვითარების პროგნოზირება, K-Nearest Neighbor (KNN) ალგორითმით, ავტორი იყენებს

პაციენტთა ელექტრონულ კლინიკურ ჩანაწერებს, როგორც დიაბეტიანების, ასევე ჯანმრთელი პირების, რომელიც მოიცავს შემდეგ მონაცემებს:

დემოგრაფიული და კლინიკური პარამეტრები: ასაკი, სქესი, BMI, სისხლის წნევა, ქოლესტეროლი, გლუკოზა;

ცხოვრების წესი: ფიზიკური აქტიურობა, მოწევა, ალკოჰოლი.

Decision Tree (გადაწყვეტილების ხე), ნაშრომში [3] შემოთავაზებულია პროგნოზირების მოდელი ტიპი 2 დიაბეტის სკრინინგისთვის, მხოლოდ რისკფაქტორებზე დაყრდნობით, გლუკოზის ან სხვა ლაბორატორიული ტესტების გარეშე, ავტორი იყენებს მონაცემებს ირანულ ბაზიდან (Tabriz, 2009–2011), სადაც ინახავდნენ ასაკის, სქესის, სისხლის წნევის, BMI(სხეულის მასის ინდექსი)-სა და ოჯახში დიაბეტის არსებობის ინფორმაციას. ლოგისტიკური რეგრესიის პრაქტიკული სახელმძღვანელოში - [4] განხილულია Logistic Regression მეთოდი და მისი გამოყენების სფეროები, მათ შორის სამედიცინო და ჯანდაცვის შედეგების კვლევისათვის. ნაშრომში [5] ავტორები გვთავაზობენ SVM (Support Vector Machines) გამოყენებას დიაბეტის დიაგნოსტირებისთვის. 2020 წელს გამოქვეყნებულ ნაშრომში [6] ავტორებმა დიაბეტის პროგნოზირებისთვის გამოიყენეს მანქანური სწავლების რამდენიმე ალგორითმი და შეაფასეს ისინი სხვადასხვა მაჩვენებლებით, როგორიცაა სიზუსტე, მგრძნობელობა და სპეციფიკურობა. ამ [6] კვლევის შედეგებმა აჩვენა, რომ Random Forest ალგორითმით მიიღება ყველაზე მაღალი სიზუსტე დიაბეტის პროგნოზირებაში, ასევე ეფექტური აღმოჩნდა SVM და KNN ალგორითმებიც.

დიაბეტის საერთაშორისო ფედერაციის (IDF) 2021 წლის შეფასებით, დაახლოებით 537 მილიონი ზრდასრული ადამიანი ცხოვრობს შაქრიანი დიაბეტით და მოსალოდნელია, რომ შაქრიანი დიაბეტით დაავადებულთა საერთო რაოდენობა 2030 წლისთვის 643 მილიონამდე გაიზრდება [7]. მანქანური სწავლება ჯანდაცვაში მზარდი სფეროა მისი პერსპექტიული შედეგების გამო ადრეული პროგნოზირების, დიაგნოზის დასმის თვალსაზრისით. წინამდებარე ნაშრომში შემოთავაზებულია ზემოთ ჩამოთვლილი 4 მეთოდის რეალიზება MATLAB-ში, რომელსაც აქვს მზა ფუნქციები, ამ ფუნქციების მოხერხებულად ჩადგმა კოდში საკმაოდ ამარტივებს დაპროგრამების პროცესს, ამავე დროს გვაძლევს ამონახსნის კარგ სიზუსტეებს - რაც ჩანს მათ პროცენტულ შეფასებაში. გარდა ამისა MATLAB-ს საუკეთესოდ შეუძლია მონაცემების - ჩვენს შემთხვევაში მიღებული შედეგების ვიზუალიზაცია. საილუსტრაციოდ კი მონაცემები ყველა მეთოდისათვის აღებულია ცნობილ მონაცემთა ბაზიდან: diabetes.csv ფაილიდან [8]. ამ ძიების საფუძველზე შესაძლებელი გახდა დაავადების დიაგნოსტირებისათვის უკეთესი სიზუსტის მქონე მოდელის შერჩევა.

2. მეთოდების განხილვა

მე-2 ტიპის დიაბეტის დიაგნოსტირებისათვის ზემოთ ხსენებული მეთოდების გამოსაყენებლად საჭიროა ნიმუშად აღებული პოპულაციის კლინიკური და ცხოვრების წესის მონაცემები. ინფორმაცია უნდა მოიცავდეს დიაბეტის განვითარების ხელშემწყობ ძირითად ფაქტორებს და ობიექტურ ცვლადს, დაუსვეს თუ არა ადამიანს მე-2 ტიპის დიაბეტის დიაგნოზი. სწორედ ამიტომ გამოვიყენებ diabetes.csv ფაილში მოცემულ მონაცემებს:

ფაილში არის 768 ჩანაწერი, 9 სვეტი;

ბოლო სვეტი "Result" არის სამიზნე ცვლადი (Yes / No);

დანარჩენი სვეტები გამოიყენება როგორც მახასიათებლები;

კერძოდ, მონაცემთა ნაკრები მოიცავს პაციენტის სხვადასხვა მახასიათებლებს, როგორიცაა:

ორსულობები: ორსულობის რაოდენობა;

გლუკოზა: პლაზმური გლუკოზის კონცენტრაცია 2 საათში ორალური გლუკოზის ტოლერანტობის ტესტში;

სისხლის წნევა: დიასტოლური არტერიული წნევა (მმ ვწყ.სვ.);

კანის სისქე: ტრიცეფსის კანის ნაკეცის სისქე (მმ);

ინსულინი: 2-საათიანი შრატის ინსულინი (მკმ/მლ);

BMI: სხეულის მასის ინდექსი (წონა კგ-ში/(სიმაღლე მ-ში)^2);

დიაბეტის გენეალოგიური ფუნქცია: დიაბეტის გენეალოგიური ფუნქცია;
ასაკი: ასაკი (წლები);
შედეგი: კლასის ცვლადი (0 ან 1).

პირველი მეთოდი, რომელსაც გამოვიყენებთ მე-2 ტიპის დიაბეტის დიაგნოსტირების-ათვის არის **K უახლოესი მეზობლის მეთოდი (KNN).** KNN (K-Nearest Neighbors) არის მარტივი, მაგრამ ეფექტური კლასიფიკაციის ალგორითმი, ის ხშირად გამოიყენება სამედიცინო სფეროში, მაგალითად, პაციენტების დაავადებების დიაგნოსტირებაში ან რისკ-ფაქტორების შეფასებაში. KNN ფართოდ გამოიყენება ჯანდაცვასა და სამეცნიერო კვლევებში, რათა კლასიფიცირდეს ან პროგნოზირდეს დაავადებები, ძირითადად პაციენტის მონაცე-მების საფუძველზე.

KNN (K-Nearest Neighbors) ალგორითმის გამოყენება MATLAB-ში საკმაოდ მარტივია, რადგან MATLAB-ს აქვს ჩაშენებული ფუნქცია fitcknn კლასიფიკაციისთვის.

კოდის ძირითადი ეტაპები:
readtable: CSV-ის წაკითხვა.
strcmp(data.Result, 'Yes'): კატეგორიული -> რიცხვითი გარდაქმნა.
normalize: მონაცემების ნორმალიზაცია (Feature Scaling).
cvpartition: მონაცემების გაყოფა.
fitcknn: KNN კლასიფიკატორის აგება.
predict: პროგნოზირება.
confusionmat: შეცდომათა მატრიცა.
confusionchart: ვიზუალიზაცია.
ალგორითმი აგრეთვე იყენებს:
ევკლიდურ მანძილს;
mode() ფუნქციას (MATLB-ის მზა ფუნქციაა, რომელიც გამოიყენება მასივში ხშირად შემხვედრი მონაცემის დასაბრუნებლად).

მონაცემები უნდა იყოს რიცხვითი, ნორმალიზებული (შესაძლებლობის ფარგლებში). კოდში გათვალისწინებულია აგრეთვე K-თვის ეფექტური მნიშვნელობის შერჩევა(როდესაც მეზობლების რაოდენობა აღებულია 1-20 შუალედიდან, ამ მაგალითისთვის გამოვიდა K=18).

კოდის შედეგი:

შეცდომათა მატრიცა გამოჩნდება როგორც ფერადი მატრიცა, რომელიც თავის მხრივ გვიჩვენებს რამდენად სწორად გაარჩია მოდელმა თითოეული კლასი. ანუ ჩვენს მაგალითში რამდენად სწორად იპოვა დადებითი შემთხვევები-პაციენტს აქვს დიაბეტი 2 (True Positive) და უარყოფითი შემთხვევები(True Negative); მოდელმა შეცდომით იპოვა ის შემთხვევები: რომ პაციენტი ავადაა(False Positive) და რომ პაციენტი ჯანმრთელია(False Negative). ფერები კი აჩვენებენ შედეგების რიცხვითი მნიშვნელობების სიდიდეს (მაღალი მნიშვნელობები უფრო მუქია, იხ. ნახ.1.). Confusion Matrix-ის მონაცემებიდან შეგვიძლია გამოვთვალოთ მეთოდის სიზუსტე (Accurac) და სხვა მეტრიკები.

მეორე მეთოდი: Decision Tree (გადაწყვეტილების ხე) კლასიფიკაციის ან რეგრესიისთვის ერთ-ერთი ყველაზე მარტივი და ხშირად გამოყენებადი ალგორითმია. Matlab-ში Decision Tree მოდელისთვის ძირითადად გამოიყენება fitctree (კლასიფიკაცია) და fitrtree (რეგრესია).

მეთოდის ძირითადი პრინციპი:

Decision Tree მუშაობს ისე, რომ ხის სტრუქტურის მიხედვით ყოფს მონაცემებს:

- ყოველ „კვანძში“ (node) არჩევს იმ მახასიათებელს, რომელიც ყოფს მონაცემებს კლასებად;
- საბოლოოდ მიიღება ფოთლები (leaves), რომლებშიც მოცემულია საბოლოო კლასები ან პროგნოზირებადი ცვლადის მნიშვნელობები;

უპირატესობები:

- ინტუიციური და ადვილად ახსნადი;
- მცირე პრეპროცესინგის საჭიროება;

- მუშაობს როგორც კატეგორიულ, ასევე რიცხვით მონაცემებზე;
- სწრაფად სწავლის უნარი მცირე მონაცემებზე;
- ნაკლოვანებები:
- იოლია overfitting–ი(ზედმეტად კარგად სწავლობს მხოლოდ საწვრთნელ მონაცემებზე);
- ხშირად ნაკლებად სტაბილურია (მცირე ცვლილებამაც კი შეიძლება დიდად შეცვალოს ხე);

ამ პრობლემების შესამცირებლად იყენებენ:

- ხის ზომის შეზღუდვას (MaxNumSplits, MinLeafSize);
- pruning-ს (ზედმეტი კვანძების მოჭრა);
- ensemble მეთოდებს, მაგ.: Random Forest, Boosting.

მესამე მეთოდი: Logistic Regression კლასიფიკაციის ერთ-ერთი ყველაზე პოპულარული და კლასიკური მეთოდია.

რა არის Logistic Regression?

Logistic Regression არის სტატისტიკური მოდელი, რომელიც იყენებს ლოგისტურ ფუნქციას (sigmoid function) იმისთვის, რომ პროგნოზირებული მნიშვნელობები მოაქციოს 0-სა და 1-ს შორის. ძირითადად გამოიყენება ბინარული კლასიფიკაციისთვის (მაგალითად, დაავადება არის/არ არის).

ძირითადი მახასიათებლები:

- მუშაობს რიცხვითი მახასიათებლებით;
- განსაზღვრავს ალბათობას, რომ ობიექტი მიეკუთვნება რომელიმე კლასს;
- შედეგი: კლასები 0 ან 1 (ან, მაგალითად, „Yes“/„No“, „Positive“/„Negative“);
  ლოგისტური ფუნქცია (Sigmoid) (1):

$$P(Y-1|X) = \frac{1}{1+e^{-(\beta_0+\beta_1 X_1+\beta_2 X_2+\cdots+\beta_n X_n)}} \qquad (1)$$

შეზღუდვები:

- ეფექტურია მაშინ, როდესაც კლასებს შორის საზღვარი წრფივია (linear);
- არ არის ეფექტური რთული არაწრფივი სტრუქტურის მქონე მონაცემებისთვის, თუ არ მოხდება მათი თვისებების ტრანსფორმაცია;

უპირატესობები:

- სწრაფი და მარტივი;
- ინტერპრეტირებადი (თითოეული მახასიათებლის გავლენა ჩანს);
- კარგი საბაზისო მოდელი;

ნაკლოვანებები:

- კარგად მუშაობს მხოლოდ წრფივი განაწილებისთვის;
- მგრძნობიარეა მრავალკოლინარობაზე (როდესაც თვისებები ერთმანეთზე დამოკიდებულია);
- რთულ მონაცემებში მუშაობს შედარებით სუსტად, ვიდრე სხვა მეთოდები (მაგ. Decision Tree, SVM);

სად გამოიყენება?

- სამედიცინო დიაგნოსტიკა (აქვს/არ აქვს დაავადება);
- საფინანსო მოდელები (სესხის დაბრუნება იქნება/არ იქნება);
- ბაზრის ანალიზი (კლიენტი იყიდის/არ იყიდის პროდუქტს);

მეოთხე მეთოდი: რას ნიშნავს SVM (Support Vector Machine).

SVM არის კლასიფიკაციის ალგორითმი, ის ცდილობს იპოვოს საუკეთესო გამყოფი წრფე ან ჰიპერსიბრტყე (decision boundary), რომელიც კლასებს შორის მაქსიმალურ დაშორებას (margin-ს) უზრუნველყოფს.

ძირითადი იდეა:

- Support Vectors - ესაა მონაცემთა ის ობიექტები, რომლებიც ყველაზე ახლოს არიან გამყოფ ხაზთან(ან ჰიპერსიბრტყესთან) და განსაზღვრავენ მის პოზიციას.
- Margin - გამყოფ ხაზიდან (ან ჰიპერსიბრტყიდან) support vector-მდე დაშორება. SVM-ის მიზანია: მაქსიმალურად გაზარდოს ეს დაშორება, ანუ იპოვოს ისეთი გამყოფი ხაზი(ჰიპერსიბრტყე), რომლიდანაც კლასების უახლოესი წერტილები მაქსიმალურად იქნებიან დაშორებული.

SVM მუშაობს კარგად:

- წრფივ (Linear) მონაცემებზე;
- არაწრფივ (Nonlinear) მონაცემებზე, როცა გამოიყენება Kernel ტრანსფორმაცია;
- შეზღუდვები:
- დიდი ზომის მონაცემებზე ნელია;
- მარტივად ვერ მუშაობს მრავალკლასიან ამოცანებზე (თუმცა One-vs-All ან One-vs-One სტრატეგიებით შეიძლება);
- საჭიროებს პარამეტრების სწორ შერჩევას (Kernel, BoxConstraint, KernelScale და სხვ.);

სად გამოიყენება SVM?

- სახეების ამოცნობა;
- ტექსტის კლასიფიკაცია (სპამი/არა სპამი);
- სამედიცინო დიაგნოსტიკა;
- ბიოინფორმატიკა (გენების კლასიფიკაცია).

3. შედეგები

ამ მეთოდების შედარებითი ანალიზისათვის გამოვიყენე MATLAB-ის გარემო, მონაცემები კი აღებულია ზემოთ ხსენებული diabetes.csv ფაილიდან. შედეგები ასახულია შემდეგ გრაფიკებზე:

- Confusion Matrix: ვიზუალიზაცია ცდომილების მატრიცის საშუალებით (ნახ. 1.), ის გვიჩვენებს, რამდენად სწორად ან არასწორად კლასიფიცირებს მოდელი ობიექტებს.

ორი კლასის (binary classification) შემთხვევაში მატრიცა ასეთი სახისაა:

	ნამდვილი დადებითი კლასი (Yes / 1)	ნამდვილი უარყოფითი კლასი (No / 0)
მოდელმა თქვა "Yes"	TP – True Positive (ნამდვილად დადებითი - სწორად ამოცნობილი)	FP – False Positive (ცრუ დადებითი, მოდელმა შეცდომა დაუშვა და No-ს ნაცვლად Yes დააფიქსირა)
მოდელმა თქვა "No"	FN – False Negative (ცრუ უარყოფითი, მოდელმა ვერ ამოიცნო Yes)	TN – True Negative (ნამდვილად უარყოფითი - სწორად ამოცნობილი)

- Roc curve გრაფიკი (ნახ. 2);

ROC გრაფიკი აჩვენებს “true positive rate” და “1 – false positive rate” შორის დამოკიდებულებას სხვადასხვა ზღვრულ მნიშვნელობებზე (thresholds) პრედიქციის შედეგებისთვის.

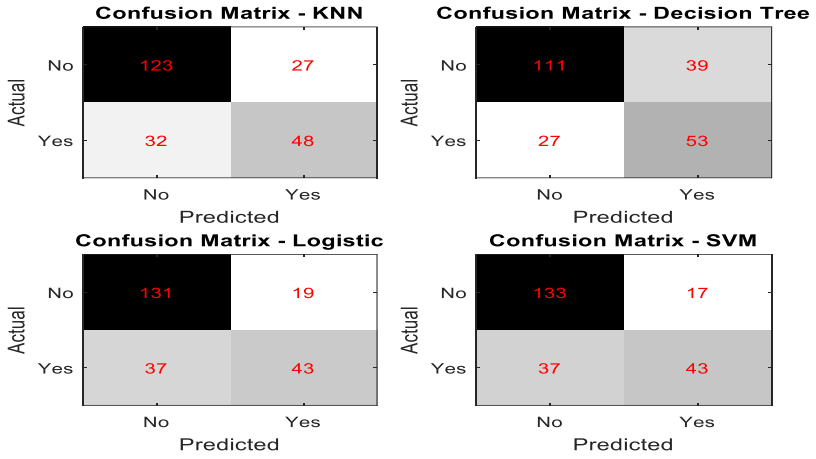
True Positive Rate (TPR) / სენსიტივობა (2)**:** რამდენად კარგად გამოყოფს მოდელი რეალურ დადებით შემთხვევებს:

$$TPR = \frac{TP}{TP + FN} \qquad (2)$$

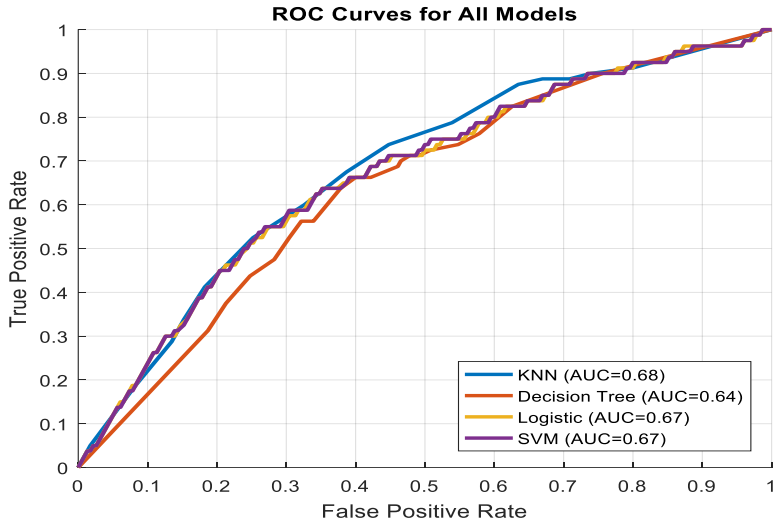
False Positive Rate (FPR) / 1 – სპეციფიკურობა (3)**:** რამდენად ხშირად აღნიშნავს მოდელი ფსევდო-დადებით შემთხვევებს:

$$FPR = \frac{FP}{FP + TN} \qquad (3)$$

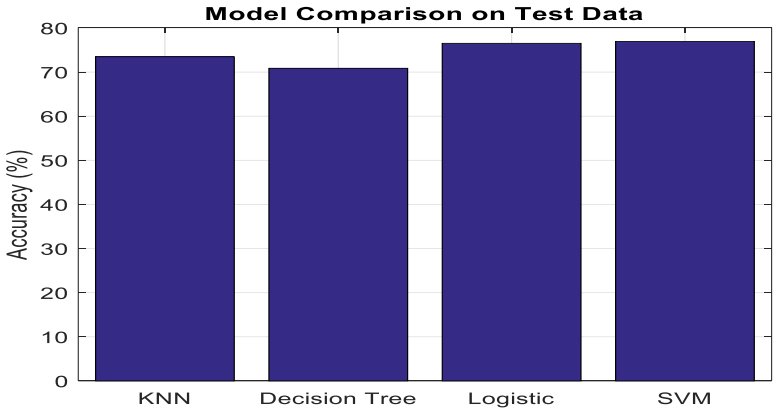
- სვეტოვანი დიაგრამის საშუალებით (ნახ. 3), რომელიც აჩვენებს თითოეული მოდელის სიზუსტეს პროცენტულად;



ნახ. 1. ცდომილების მატრიცები თითოეული მოდელისათვის



ნახ. 2. Roc curve გრაფიკი ყველა მოდელისათვის ერთ სიბრტყეზე



ნახ. 3. სვეტოვანი დიაგრამა ყველა მოდელისათვის

4. დასკვნა

ამ გრაფიკებზე (ნახ. 1-3) ჩანს რომ SVM მოდელი ყველაზე ეფექტური აღმოჩნდა (Diabetes.csv ფაილის მონაცემებისათვის). თუმცა, თითოეული განხილული მეთოდის ეფექტურობა ჩვენს მაგალითზე არის 70%-ზე მეტი. ზოგადად კი, სხვა კერძო ამოცანების ამოხსნისას საჭიროა მონაცემების რაოდენობის და თავისებურებების გათვალისწინება.

ასეთი კვლევის კლინიკურ გარემოში დანერგვა ექიმებს დაეხმარება პაციენტების სწორად სტრატიფიცირებაში, დაავადების უკეთ მართვაში და დროული შესაბამისი მკურნალობის გზით თანმხლები დაავადებების მინიმიზაციაში. ამიტომ, მნიშვნელოვანია ამ კვლევის გაგრძელება სხვა მეთოდებით და შემდეგ უკეთესის ამორჩევით. ამასთან MATLAB-ის გარემო იძლევა კარგ შესაძლებლობას როგორც თეორიული შედეგების მიღების, აგრეთვე მათი ვიზუალიზაციისათვის.

Application of MATLAB in Comparative Evaluation of Machine Learning Methods for Type 2 Diabetes Diagnosis

Natela Ananiashvili

Summary

The primary objective of the present study is to model and evaluate the diagnostic process of Type II diabetes through the application of the MATLAB programming environment. The research focuses on the implementation and comparative analysis of several widely adopted machine learning algorithms, including K-Nearest Neighbors (KNN), Decision Tree, Logistic Regression, and Support Vector Machine (SVM). A concise theoretical overview of each algorithm is provided, with particular emphasis on their respective strengths and limitations in the context of medical diagnostic tasks. The implementation of algorithms has been carried out using MATLAB built-in functions and authorized codes, which ensures the practical applicability and accuracy assessment of the obtained results. The analysis of the experimental outcomes, including comparative accuracy expressed in percentage terms, underscores the effectiveness and potential of MATLAB as a viable tool in the domain of medical diagnostics.

Использование MATLAB для сравнительной оценки методов машинного обучения в диагностике сахарного диабета II типа

Натела Ананиашвили

Резюме

Цель настоящего исследования заключается в моделировании и оценке процесса диагностики сахарного диабета II типа с использованием возможностей программной среды MATLAB. В рамках работы проведена реализация и сравнительный анализ ряда широко применяемых алгоритмов машинного обучения, включая метод k-ближайших соседей (KNN), дерево решений, логистическую регрессию и машину опорных векторов (SVM). Вкратце изложены теоретические основы каждого алгоритма, при этом особое внимание уделено их сильным и слабым сторонам в контексте решения задач медицинской диагностики. Реализация алгоритмов осуществлена с использованием встроенных функций MATLAB и авторизованных кодов, что обеспечивает практическую применимость и оценку точности полученных результатов. Анализ экспериментальных данных, включая сравнительную оценку точности в процентном выражении, демонстрирует эффективность и перспективность применения MATLAB в области медицинской диагностики.

ლიტერატურა-References-Литература

1. ანანიაშვილი ნ., მიქელაძე მ. სამედიცინო დიაგნოსტირების ამოცანის გადაწყვეტა „K უახლოესი მეზობლის“ ალგორითმის მიხედვით. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის არჩილ ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული №24, თბილისი, 2020, გვ. 128-132.
2. Suriya S., Joanish Muthu J., Type 2 Diabetes Prediction using K Nearest Neighbor Algorithm. Journal of Trends in Computer Science and Smart Technology, Vol. 5, №2, June 2023, pp. 190-205.
3. Habibi S., Ahmadi M., Alizadeh S., Type 2 diabetes mellitus screening and risk factors using decision tree: results of data mining. Global Journal of Health Science, Vol. 7, №5, 2015, p. 304.
4. Hilbe J. M., Practical Guide to Logistic Regression. Chapman & Hall/CRC, 2015.
5. Barakat N. H., Bradley A. P., Barakat M. N. H., Intelligible Support Vector Machines for Diagnosis of Diabetes Mellitus. IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, Vol. 14, №4, 2010, pp. 1114-1120. doi: 10.1109/TITB.2010.2047691.
6. Alanazi A. S., Mezher M. A., Using Machine Learning Algorithms for Prediction of Diabetes Mellitus. 2020 International Conference on Computing and Information Technology (ICCIT-1441), IEEE, 2020, pp. 1-5. doi:10.1109/ICCIT-144147971.2020.9213784.
7. Saeedi P., Petersohn I., Salpea P. და სხვ., Global and regional diabetes prevalence estimates for 2019 and projections for 2030 and 2045: Results from the International Diabetes Federation Diabetes Atlas, 9th edition. Diabetes Research and Clinical Practice, Vol. 157, 2019, p. 107843.
8. YBI Foundation, Diabetes.csv Dataset. GitHub Repository, Available at: https://github.com/YBI-Foundation/Dataset/blob/main/Diabetes.csv

სამკურნალო პრეპარატის ეფექტურობის შეფასების სისტემის შემუშავება K უახლოესი მეზობლის მეთოდის გამოყენებით

ნორა ჯალიაბოვა, მაია მიქელაძე, ელენე ფაღავა, ირმა გ. კორინთელი, ყარამან ფაღავა

nora.jaliabova@tsu.ge, mikeladzemaia@yahoo.com, e.phagava@tsmu.edu, irma.korinteli@tsmu.edu, k.pagava@tsmu.edu

რეზიუმე

ხელოვნური ინტელექტის მეთოდები სამკურნალო პრეპარატის ეფექტურობის შესაფასებლად ფართოდ გამოიყენება თანამედროვე მედიცინაში. ეს ტექნოლოგიები ხელს უწყობს მონაცემების სწრაფ და ზუსტ ანალიზს, რაც აუცილებელია წამლის ეფექტურობისა და უსაფრთხოების შეფასების პროგნოზირებისთვის. ამ კვლევის მიზანია სამკურნალო პრეპარატის ეფექტურობის შეფასების სისტემის შემუშავება ხელოვნური ინტელექტის ერთ-ერთ მეთოდის - K უახლოესი მეზობლის (KNN) ალგორითმის გამოყენებით. სისტემაში ალგორითმის გაუმჯობესებისთვის გამოყენებულია: მეზობელი ობიექტების წონითი შეფასება მანძილის მიხედვით; K-ს ოპტიმიზაცია ჯვარედინი ვალიდაციის მეშვეობით. სისტემა კლინიკური მონაცემების დამუშავების შემდეგ, პაციენტის ინდივიდუალური მახასიათებლების გათვალისწინებით ახდენს სამკურნალო პრეპარატის ეფექტურობის პროგნოზირებას.

საკვანძო სიტყვები:

სამკურნალო პრეპარატის ეფექტურობა, (k-Nearest Neighbors) K უახლოესი მეზობლის მეთოდი, მანქანური სწავლება.

შესავალი

თანამედროვე მედიცინაში ხელოვნური ინტელექტის გამოყენება გადავიდა ახალ დონეზე. დიდი მოცულობის სამედიცინო მონაცემების არსებობა ქმნის შესაძლებლობას, რომ პროგნოზირება, დიაგნოსტირება და მკურნალობა გახდეს უფრო ზუსტი, ინდივიდუალი-ზებული და ეფექტური.

ხელოვნურ ინტელექტს შეუძლია გააუმჯობესოს მკურნალობის ეფექტურობა, შეამციროს სამედიცინო შეცდომები, მკურნალობის ხარჯები და საბოლოო ჯამში, განაპირობოს ჯანდაცვის უკეთესი შედეგები [1].

ხელოვნური ინტელექტის (AI-artificial intelligence) მეთოდები წამლების ეფექტურობის შეფასებისთვის სულ უფრო ფართოდ გამოიყენება თანამედროვე მედიცინაში, კლინიკური კვლევების განხორციელების ჩათვლით. ეს ტექნოლოგიები ხელს უწყობს მონაცემების სწრაფ და ზუსტ ანალიზს, რაც აუცილებელია წამლის ეფექტურობისა და უსაფრთხოების შეფასების პროცესში. მიუხედავად ხელოვნური ინტელექტის დიდი პოტენციალისა საჭიროა დაბალანსებული მიდგომა, რადგან ტექნოლოგიამ უნდა შეავსოს და არა ჩაანაცვლოს ადამიანის ფაქტორი ჯანდაცვაში [1].

ხელოვნური ინტელექტის გამოყენების ძირითადი მიმართულებების არასრული ჩამონათვალია -

1. **კლინიკური მონაცემების ანალიზი:** მაღალი განზომილებიანი მონაცემების ანალიზი (High-dimensional data analysis). ხელოვნური ინტელექტი მნიშვნელოვნად აადვილებს მონაცემთა დიდ მასივებზე მუშაობას, პირველ რიგში მათ ოპტიმალურ ანალიზთან [2].

2. **კლინიკური კვლევების ოპტიმიზაცია**: კლინიკური კვლევების ორგანიზებაში ხელოვნური ინტელექტის როლი მდგომარეობს შემდეგში:

- ავტომატური sample size გათვლები (sample - ამონარჩევი, ეს არის კვლევის მონაწილეთა ან მონაცემების შერჩეული ჯგუფი, რომელიც წარმოდგენილია მთლიან პოპულაციაზე დასკვნის გასაკეთებლად);
- ბიოსტატისტიკური მოდელების შერჩევა თემის მიხედვით;
- წარსული კვლევების ანალიზი და შედარება;
- პროტოკოლის გენერაცია ტექსტის სახით.

კლინიკურ კვლევებში AI ტექნოლოგიების გამოყენება იძლევა შესაძლებლობას, დავადგინოთ არა მარტო სამკურნალო პრეპარატის ეფექტურობა ამა თუ იმ დაავადების მკურნალობისას, არამედ ისიც, თუ რამდენად უსაფრთხოა იგი პაციენტებისთვის, ანუ რამდენად იშვიათად იწვევს გვერდით ეფექტებს ან გართულებებს [3].

3. პაციენტის პერსონალიზებული მკურნალობა (Precision medicine): AI ალგორითმები აანალიზებს პაციენტების გენეტიკურ მონაცემებს, ანამნეზურ მონაცემებს, გარემოს ფაქტორებს და სხვა ინდივიდუალურ მახასიათებლებს, რათა პროგნოზირება მოახდინონ, როგორ რეაგირებს კონკრეტული პაციენტი კონკრეტულ წამალზე. ეს მნიშვნელოვნად აუმჯობესებს მკურნალობის ეფექტურობას [4].

4. **ადვანსირებული პროგნოზირება და რისკის შეფასება**: ადვანსირებული პროგნოზირება მოიცავს იმ მიდგომებს, რომლებსაც შეუძლიათ მოახდინონ მომავალი ქცევის პროგნოზირება. ადვანსირებული პროგნოზირება (ინგლ. *advanced predictive modeling* ან *advanced forecasting*) — ეს არის გაფართოებული და უფრო ზუსტი მიდგომა პროგნოზირებად ანალიტიკაში, რომელიც იყენებს რთულ ალგორითმებს, დიდი მოცულობის მონაცემებს და განვითარებული ანალიტიკის მეთოდებს (Advanced Analytics). მათ შორის მანქანური სწავლების (Machine Learning) მეთოდებს: K-Nearest Neighbors (KNN), Random Forest, Gradient Boosting, Support Vector Machines (SVM), ნეირონული ქსელები (Neural Networks) [5].

5. ტრენინგი და მოდელების ტესტირება: AI მეთოდები, როგორც, მაგალითად, reinforcement learning ალგორითმები, გამოიყენება კლინიკური განკურნების შესწავლის პროცესში, რომელიც გამოიყენება პაციენტების საუკეთესო მკურნალობის სტრატეგიის განსაზღვრისას [6].

გამოყენებული მეთოდის აღწერა

ნაშრომში განხილულია ხელოვნური ინტელექტის ერთ-ერთი ტექნოლოგიის გამოყენება სამკურნალო პრეპარატის ეფექტურობის შეფასებისთვის პოსტკლინიკურ კვლევაში, რომელიც წარმოადგენს ე.წ. რეალური სამყაროს მონაცემების (real-world data, RWD) ანალიზს. ამ შემთხვევაში სამკურნალო პრეპარატის ეფექტურობის შეფასების ამოცანა განიხილება როგორც კლასიფიკაციის ამოცანა და მის გადასაწყვეტად გამოყენებულია მონაცემთა ინტელექტუალური ანალიზის (Data Mining) და მანქანური სწავლების (Machine Learning) მეთოდი, კერძოდ კი „უახლოესი მეზობლის “ (k-Nearest Neighbors, KNN) ალგორითმი [7].

KNN მეთოდი ეფუძნება იმ იდეას, რომ „მსგავს შემთხვევებს აქვთ მსგავსი შედეგები“. ამისათვის საჭიროა მანძილის გამოთვლები (ხშირად გამოიყენება ევკლიდური მანძილი), იმისათვის, რომ შეირჩეს ყველაზე ახლო მეზობლები. რაც უფრო პატარა მანძილია ორ ობიექტს შორის, მით უფრო მსგავსები არიან ისინი. KNN ალგორითმის პრინციპი მდგომარეობს იმაში, რომ ახალი ობიექტის კლასიფიცირებისთვის უნდა მოიძებნოს სასწავლო ნაკრებში K ყველაზე ახლო მეზობელი, რომელსაც აქვს ანალოგიური მახასიათებლები [8].

წამლის ეფექტურობის შესაფასებლად ჯერ ხდება მონაცემთა შეგროვება. საჭიროა შეგროვდეს მონაცემები პაციენტებზე, რომლებიც იღებდნენ კონკრეტულ სამკურნალო პრეპარატს. შემდეგ საჭიროა მონაცემების დამუშავება და სტანდარტიზაცია, მონაცემების ნორმალიზება. ეს პროცესი აუცილებელია KNN მეთოდის გამოყენებისთვის, რადგან KNN ალგორითმი მუშაობს მანძილებთან. თუ სხვადასხვა მახასიათებლები განსხვავებული მასშტაბებით არიან მოცემულნი, მახასიათებლებმა, რომლებსაც უფრო დიდი მნიშვნელობა

აქვთ, შეიძლება გადაჭარბებული გავლენა იქონიოს მანძილის მნიშვნელობაზე. ამიტომ მნიშვნელოვანია მონაცემების სწორად მომზადება. ნორმალიზება — ეს არის პროცესი, რომელიც ცვლის რიცხვით მონაცემებს, აქცევს მათ მნიშვნელობებს ერთ კონკრეტულ დიაპაზონში, ჩვეულებრივ 0-დან 1-მდე. ეს მნიშვნელოვნად აუმჯობესებს KNN-ს სიზუსტეს.

$$x'_i = \frac{x_i - \min(x)}{\max(x) - \min(x)}$$

ზოგადად, იმისათვის, რომ მნიშვნელობები მოექცნენ მონაკვეთში $[a, b]$,

$$x'_i = a + \frac{(x_i - \min(x)) \cdot (b - a)}{\max(x) - \min(x)}$$

ჩვენ შემთხვევაში მასშტაბირება ხდება მონაკვეთზე [0,3]:

$$x'_i = \frac{x_i - \min(x)}{\max(x) - \min(x)} \cdot 3$$

სადაც, Xmin და Xmax - არის მახასიათებლის მინიმალური და მაქსიმალური მნიშვნელობები.

KNN მეთოდი კლასიფიკაციისთვის გამოიყენება იმისთვის, რომ გაირკვეს ახალი ობიექტი რომელ კლასს ეკუთვნის. როდესაც „K“ უახლოესი ობიექტები მოიძებნება, მათი უმრავლესობის კლასი განსაზღვრავს ახალი ობიექტის კლასს. ობიექტებს შორის მანძილის გამოთვლის რამოდენიმე ვარიანტი არსებობს [8]

1. ევკლიდური მანძილი

თუ გვაქვს ორი ობიექტი $A = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ და $B = (b_1, b_2, \dots, b_n)$, სადაც n არის რიცხვითი მახასიათებლების რაოდენობა, მათ შორის მანძილი გამოითვლება შემდეგნაირად:

$$D(A, B) = \sqrt{(a_1 - b_1)^2 + (a_2 - b_2)^2 + \cdots + (a_n - b_n)^2}$$

- a_i, b_i — ორი ობიექტის i-ური მახასიათებელი (ნიშანი).
- n — ნიშნების რაოდენობა.

2. მანჰეტენის მანძილი (Manhattan distance) $D(A, B) = \sum_{i=1}^{n} | a_i - b_i|$

3. ჩებიშევის მანძილი (Chebyshev distance)

$$D(A, B) = \max_{i=1}^{n} |a_i - b_i|$$

ვირჩევთ K-ს მნიშვნელობას, იმ მეზობლების რაოდენობას, რომლებიც ყველაზე ახლოს არიან პროგნოზირებად ობიექტთან, ანუ ყველაზე მცირე მანძილის მქონეს. იმისათვის, რომ შედეგი იყოს სტაბილური და არ იყოს გადამეტებული დამოკიდებულება მხოლოდ ერთ მაგალითზე, მნიშვნელოვანია K-ს სწორი შერჩევა. ხმების უმრავლესობით წყდება ახალი ობიექტის მიკუთვნება ამა თუ იმ კლასს.

აღწერილი მოდელის აპრობირება რეალურ RWD მონაცემებზე

მოდელი აპრობირებულია მონაცემებზე, რომლებიც შეიცავს პნევმონიით დაავადებულ პაციენტების ანონიმიზებულ ჩანაწერს. ხელთ გვაქვს პაციენტების მონაცემთა ბაზა, რომლებსაც დანიშნული ჰქონდათ სხვადასხვა ანტიბიოტიკები. თითოეული პაციენტისთვის ცნობილია:

- დემოგრაფიული მონაცემები (ასაკი, წონა, სქესი);
- კლინიკური პარამეტრები (ტემპერატურა, ხველა, ლეიკოციტოზი და სხვა);
- დანიშნული პრეპარატის დოზირება და დღიური ჯერადობა;
- მკურნალობის შედეგი (გაუმჯობესება, ნორმა, იგივე მდგომარეობა, გაუარესება).

მახასიათებლები კოდირდება რიცხვითი მნიშვნელობებით და შემდეგ ხდება მონაცემთა ნორმალიზება. პროგრამა ახორციელებს KNN ალგორითმს პაციენტების მონაცემთა ბაზაზე ახალი პაციენტის მდგომარეობის, წამლის და დოზების პროგნოზირებას.

ახალი პაციენტისთვის, რომლისთვის ამ პარამეტრებიდან მხოლოდ ნაწილია ცნობილი, KNN ალგორითმი მონაცემთა ბაზაში პოულობს ყველაზე მსგავს პაციენტებს და პროგნოზირებს:

- პრეპარატით მკურნალობის შემდეგ პაციენტის მდგომარეობას (გაუმჯობესდა, იგივეა, ნორმაა თუ გაუარესდა);
- წამლის დოზას და დღიურ ჯერადობას;

ალგორითმის გაუმჯობესებებისთვის გამოყენებულია:

- მეზობელი ობიექტების წონითი შეფასება მანძილის მიხედვით;
- K-ის ოპტიმიზაცია კროსვალიდაციის მეშვეობით;

შედეგის გაუმჯობესების მიზნით KNN მეთოდის რეალიზებაში გამოყენებული იქნა წონითი არჩევითობა, ჩვეულებრივი არჩევითობის ნაცვლად. ჩვეულებრივში არჩევითობა ხდება ხმათა უმრავლესობით. პაციენტების ის მდგომარეობა, რომელმაც მიიღო ხმათა უმრავლესობა, ხდება ახალი პაციენტის კლასის განმსაზღვრელი. წონითი არჩევითობის შემთხვევაში, უპირატესობა მიენიჭება იმ პაციენტის მდგომარეობას, რომლის წონითი მნიშვნელობა მეტია. ახლოს მყოფ მეზობლებს ენიჭებათ მეტი წონა, შორს მყოფ მეზობლებს ენიჭება ნაკლები წონა. არსებობს რამდენიმე წონითი ფუნქცია, რომელიც გამოიყენება ამ მიზნით. ერთ-ერთი მათგანია ინვერსიული მანძილის ფუნქცია (Inverse Distance Weighting). [9]:

$$w_i = \frac{1}{d_i + \varepsilon}$$

სადაც, w_i — i-ური მეზობლის წონაა, d_i — დისტანცია ახალი პაციენტიდან i-ურ მეზობლამდე, ε — მცირე რიცხვი (მაგ. 10^{-9}), რათა თავიდან ავიცილოთ ნულზე გაყოფა. წონითი K უახლოესი მეზობლის (weighted KNN) ალგორითმით კლასიფიკაციისას კლასის საბოლოო წონა გამოითვლება როგორც ყველა უახლოესი მეზობლის წონათა ჯამი:

$$\text{Score}(class) = \sum_{\text{all } i \in k\text{-neighbors}} w_i \cdot 1(class_i = class)$$

სადაც:

w_i — i-ური მეზობლის წონაა, $1(class_i = class)$ — ინდიკატორული ფუნქცია, რომელიც აბრუნებს 1-ს, თუ მეზობელი ეკუთვნის მოცემულ კლასს, და 0-ს, წინააღმდეგ შემთხვევაში ჯამი ითვლება ყველა k მეზობელზე, რომლებიც არჩეულია ახალი პაციენტის გარშემო. თითოეული შესაძლო კლასისთვის ითვლება Score, ანუ წონების ჯამი იმ მეზობლებისთვის, რომლებიც ამ კლასს ეკუთვნიან. საბოლოოდ ახალი ობიექტი მიეკუთვნება იმ კლასს, რომლის Score ყველაზე მაღალია:

$$\hat{y} = \arg\max_{c \in \text{classes}} \text{Score}(class)$$

სადაც:

$\hat{y}$ — პროგნოზირებული კლასის მნიშვნელობაა [8, 9].

ეს საშუალებას იძლევა გაკეთდეს უფრო გონივრული არჩევანი, რადგან კლასიფიცირების დროს ახლო პაციენტების მდგომარეობა გაცილებით მნიშვნელოვანია, ვიდრე უბრალოდ რომელიმე 5 ან მეტი მეზობლიდან ერთ-ერთის.

მოდელის რეალიზება განხორციელდა დაპროგრამების ენა C++ -ზე. ვირჩევთ K-პარამეტრს (K არის მეზობლების რაოდენობა, რომელსაც ვიყენებთ კლასიფიკაციისთვის). K-ს სხვადასხვა მნიშვნელობების გამოყენებით ვადგენთ, რომელი მნიშვნელობა იძლევა საუკეთესო შედეგს. KNN ალგორითმში მნიშვნელოვანია სწორად შეირჩეს ჰიპერპარამეტრები (მეზობლების რაოდენობა, მანძილის მეტრიკა, ინვერსიული მანძილი).

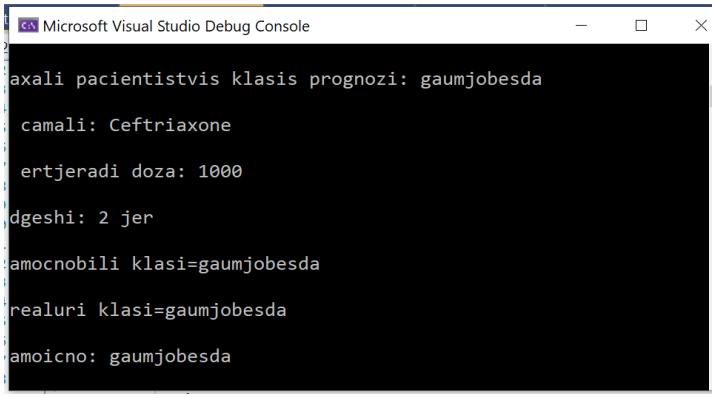
უკეთესი შედეგის მისაღებად მანძილის გამოსათვლელად შერჩეული იქნა მანჰეტენის ფორმულა, რომელიც ახდენს მნიშვნელოვან გავლენას კლასიფიცირებაზე. სხვა ფორმულებისგან განსხვავებით, რომლებიც ალგორითმის მუშაობის დროს იძლევიან 70% სიზუსტეს, მანჰეტენის მანძილი იძლევა 80%-ს. ასევე K - მეზობელთა რაოდენობის

მნიშვნელობის ოპტიმალური ვარიანტი შეირჩა ჯვარედინი ვალიდაციის (cross-validation) საშუალებით.

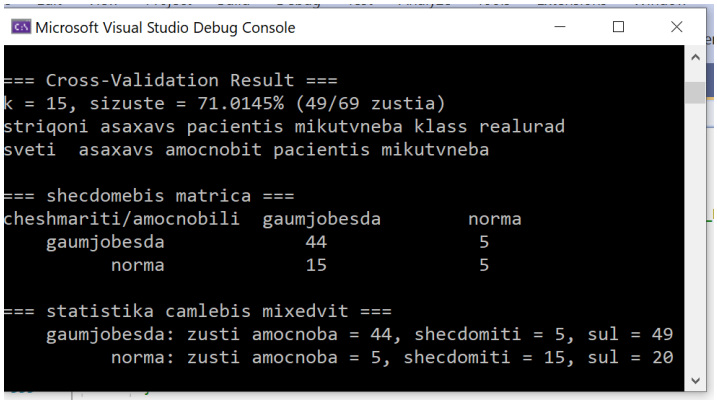
ჯვარედინი ვალიდაცია არის მოდელის მუშაობის ხარისხის შეფასების პროცედურა, რომელიც ფართოდ გამოიყენება მანქანურ სწავლებაში. ის ხელს უწყობს სხვადასხვა მოდელების შედარებას და კონკრეტული ამოცანისთვის საუკეთესოს არჩევას. ყველაზე გავრცელებული მეთოდია k-fold ჯვარედინი ვალიდაცია. ამ მეთოდის დროს: მთელი მონაცემთა ნაკრები იყოფა k თანაბარ ნაწილად (folds). შემდეგ მოდელი k-ჯერ იწვრთნება: ყოველი ციკლის დროს, ერთი fold ხდება ტესტის მონაცემები, ხოლო დანარჩენი k–1 ნაწილი — სასწავლო მონაცემები. თითოეულ ასეთ ციკლში გამოითვლება შეფასების მეტრიკა (მაგ. სიზუსტე, შეცდომის დონე). ბოლოს ხდება ყველა ციკლის საშუალო შედეგის აღება — და ეს შედეგი წარმოადგენს მოდელის რეალურ პროგნოზულ შესაძლებლობებს [9]. საბოლოოდ შეგვიძლია გამოვთვალოთ მოდელის საშუალო სიზუსტე ყველა ტესტზე.

- ზუსტი შეფასება — რამდენად კარგად იმუშავებს მოდელი ახალ მონაცემებზე.
- დამოუკიდებელი ტესტირება — ყოველი fold ტესტირდება იმ მონაცემებზე, რაც ადრე არ უნახავს.
- overfitting-ის კონტროლი — გაწვრთნილი მოდელის უნარების შემოწმება ისე, რომ არ ემთხვეოდეს მხოლოდ სასწავლო მონაცემებს.

სასწავლო ნაკრებად ამოვიღეთ მონაცემები კონკრეტული წამლისთვის-Ceftriaxone. სასწავლო ამონაკრები შეადგენდა 55 ჩანაწერს, ახალი პაციენტების რაოდენობა, რომლებიც არ შედიოდა ამ ამონაკრებში, შეადგენდა 14 პაციენტს. სურათ 1-ზე ასახულია პროგრამის მუშაობის შედეგი -ერთ-ერთი სატესტო ახალი პაციენტის მიკუთვნება კლასს „გაუმჯობესდა“.



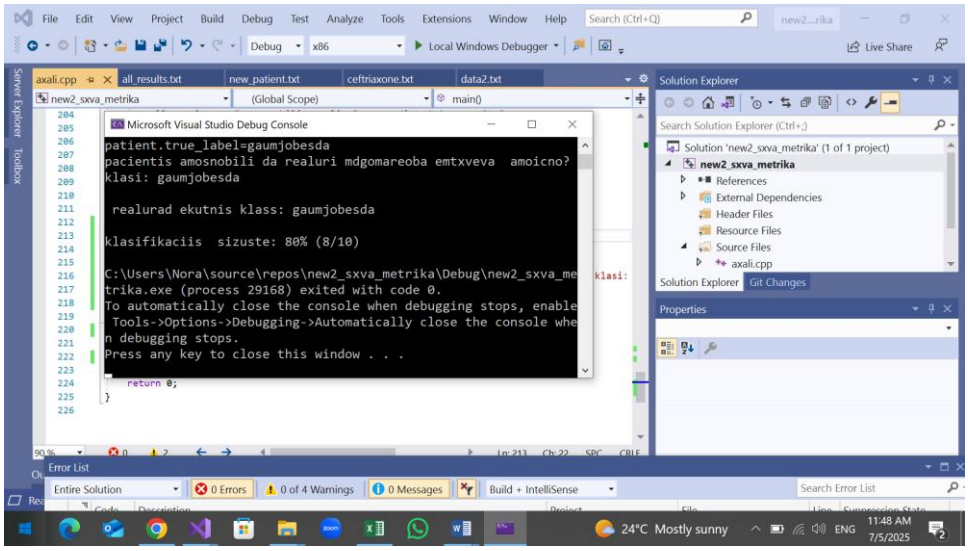
სურათი 1



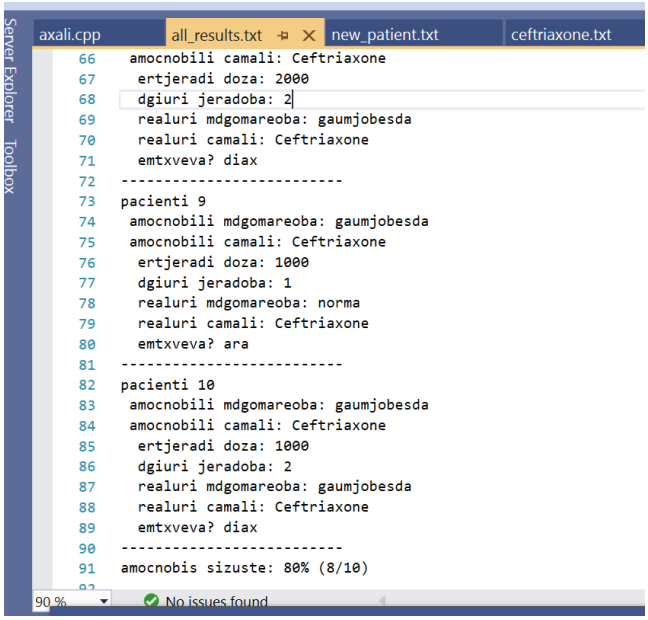
სურათი 2

სურათი 2 ასახავს ამ პრეპარატისთვის ჩატარებული ტესტის პასუხებს - სტრიქონი ასახავს რეალურად რომელ კლასს ეკუთვნის, სვეტი ასახავს ამოცნობილ კლასის მიკუთვნებას.

მეტრიკის შეცვლის შემდეგ და კლასიფიკაციისთვის წონითი KNN (weighted KNN) ალგორითმისთვის შემოტანამ გავლენა იქონია შედეგებზე (იხ. სურათი 3).



სურათი 3



სურათი 4

all_rezult.txt ფაილში იწერება სატესტო ამონაკრების შედეგები (სურ.4).

KNN მეთოდის უპირატესობებია: KNN ალგორითმი წარმოადგენს ეფექტურ და მარტივად ინტერპრეტირებად ინსტრუმენტს სამედიცინო გადაწყვეტილებების მხარდამჭერი სისტემისთვის. არ მოითხოვს განსაკუთრებულ მონაცემთა ანალიზს, კარგად მუშაობს მცირე და საშუალო ზომის მონაცემებზე. K უახლოესი მეზობლის მეთოდში არ ხდება მოდელის

აგება. კლასიფიკაცია ხორციელდება უშუალოდ სასწავლო ამონაკრეფის საფუძველზე; შეიძლება გამოყენებულ იქნას როგორც კლასიფიკაციის, ისე რეგრესიის ამოცანებისთვის; ასევე, ახალი მონაცემების დამატება შესაძლებელია მოდელის ხელახალი სწავლის გარეშე.

KNN-ის ნაკლოვანებები: შეიძლება ძალიან ნელა იმუშაოს დიდ მონაცემთა ნაკრებზე, ყოველი ახალი მონაცემისთვის საჭიროა მანძილის გამოთვლა ყველა სასწავლო ობიექტამდე; დამოკიდებულება პარამეტრებზე (K და მანძილის მეტრიკა) – შედეგი საგრძნობლად დამოკიდებულია მათ სწორ არჩევანზე - გადაჭარბებული რაოდენობის მეზობელი (k) ხშირად იწვევს overfitting-ს; ხშირად საჭიროა ჯვარედინი ვალიდაცია; მონაცემების წინასწარი სკალირება და ნორმალიზება აუცილებელია.

დასკვნა

სისტემა კლინიკური მონაცემების შესწავლის შემდეგ ახდენს პაციენტების კლასიფიცირებას გამოყენებული სამკურნალო პრეპარატის შედეგის მიხედვით, რითაც შესაძლებელი ხდება პრეპარატის ეფექტურობის პროგნოზირება პაციენტის ინდივიდუალური მახასიათებლების გათვალისწინებით.

AI მეთოდების გამოყენება წამლების ეფექტურობის შეფასებაში განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია იმისათვის, რომ სწრაფად და ზუსტად დადგინდეს წამლის რეალური გავლენა პაციენტების სხვადასხვა ჯგუფებში. ეს ხელს უწყობს კვლევებში დროისა და რესურსების დაზოგვას, ახალ პრეპარატებზე სწრაფი რეაგირების შესაძლებლობას და კლინიკური პრაქტიკის უფრო მაღალი ხარისხის უზრუნველყოფას.

Development of a drug efficacy evaluation system using an method – K-Nearest Neighbors

Nora Jaliabova, Maia Mikeladze, Elene Phagava, Irma G. Korinteli, Karaman Pagava

Summary

Artificial intelligence (AI) methods are widely used to assess the efficacy of medicinal agents in modern medicine. These technologies enable fast and accurate data analysis, which is essential for evaluating the efficacy and safety of medications. The aim of this study is to develop a drug efficacy evaluation system using one of the AI methods — the K-Nearest Neighbors (KNN) algorithm. To improve the accuracy of the algorithm, the system implements: weighted assessment of neighboring objects based on distance; optimization of the K value using cross-validation. Based on clinical data analysis and taking into account the individual characteristics of the patient, the system predicts the effectiveness of the medicine.

Разработка системы оценки эффективности лекарственного препарата с использованием метода К-ближайших соседей

Нора Джалябова, Майя Микеладзе, Елена Пагава, Ирма Г. Коринтели, Караман Пагава

Резюме

Методы искусственного интеллекта широко используются для оценки эффективности лекарственных препаратов в современной медицине. Эти технологии способствуют быстрому и точному анализу данных, что необходимо для оценки эффективности и безопасности лечебных препаратов. Целью данного исследования является разработка системы оценки эффективности лекарственного препарата с использованием одного из методов искусственного интеллекта — алгоритма К-ближайших соседей (KNN). Для повышения точности алгоритма в системе

применены: взвешенная оценка соседних объектов по расстоянию; оптимизация значения K с помощью кросс-валидации. Система, на основе анализа клинических данных и с учётом индивидуальных характеристик пациента, осуществляет прогнозирование эффективности лекарственного препарата.

ლიტერატურა – References –Литература

1. Topol, E. J. *High-performance medicine: the convergence of human and artificial intelligence*. Nature Medicine, 2019, 25(1), pp. 44–56.
2. Beam, A. L., Kohane, I. S. *Big data and machine learning in health care*. JAMA, 2018, 319(13), pp. 1317–1318.
3. Wang, Y., et al. *Clinical trial optimization using AI: current status and future directions*. npj Digital Medicine, 2019, 2(1), pp. 1–4.
4. Collins, F. S., Varmus, H. *A new initiative on precision medicine*. New England Journal of Medicine, 2015, 372(9), pp. 793–795.
5. Esteva, A., et al. *A guide to deep learning in healthcare*. Nature Medicine, 2019, 25, pp. 24–29.
6. Komorowski, M., Celi, L. A., Badawi, O., Gordon, A. C., Faisal, A. A. *The Artificial Intelligence Clinician learns optimal treatment strategies for sepsis in intensive care*. Nature Medicine, 2018, 24(11), pp. 1716–1720.
7. მიქელაძე, მ., რაძიევსკი, ვ., ჯალიაბოვა, ნ., ფაღავა, ე., კორინთელი, ი., ფაღავა, ყ. ხელოვნური ინტელექტის ტექნოლოგიების შესაძლებლობები სამკურნალო პრეპარატების შექმნაში. არჩილ ელიაშვილის სახელობის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული, თბილისი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2024, № 28, გვ. 137–143.
8. Bishop, C. M. *Pattern Recognition and Machine Learning*. New York: Springer, 2006. Chapter 2, “Density Estimation and Nearest Neighbor Methods,” pp. 76–82.
9. Hastie, T., Tibshirani, R., Friedman, J. *The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction*. 2nd ed. New York: Springer, 2009. 745 p.

საქართველოს თანამშრომლობა უცხო ქვეყნებთან ელექტრონული ტენდერების საშუალებით: გამოწვევები და შესაძლებლობები

მამუკა მელიქიძე, ანა კობიაშვილი, მერი გეგეჭკორი

mamukamelikidze@yahoo.com, a.kobiashvili@gtu.ge, m.gegechkori@gtu.ge

რეზიუმე

საჯარო შესყიდვების მოდერნიზაცია წარმოადგენს გამჭვირვალობის, ეფექტიანობისა და საერთაშორისო თანამშრომლობის მნიშვნელოვან მამოძრავებელ ძალას. ელექტრონული ტენდერების სისტემა, ანუ ელექტრონული შესყიდვების პლატფორმა, მნიშვნელოვნად ცვლის სახელმწიფოებისა და ბიზნესის ურთიერთქმედებას გლობალურ ბაზარზე. საქართველო ერთ-ერთი პირველი პოსტსაბჭოთა ქვეყანა გახდა, რომელმაც 2010 წელს დანერგა სრულად ელექტრონული შესყიდვების სისტემა. ამ რეფორმამ მნიშვნელოვნად გაზარდა გამჭვირვალობა, შეამცირა კორუფციის რისკები და საქართველოს ბაზარი გახსნა საერთაშორისო მომწოდებლებისთვის.

სტატიაში ნაჩვენებია იმის შესახებ ჩატარებული კვლევების შედეგები, თუ როგორ უწყობს ხელს საქართველოს ელექტრონული შესყიდვების სისტემა უცხო ქვეყნებთან თანამშრომლობას, აფასებს მის მიღწევებს და იდენტიფიცირებს არსებულ გამოწვევებს. დოკუმენტების, საერთაშორისო შეფასებებისა და შედარებითი მაგალითების ანალიზის საფუძველზე ნაშრომი აჩვენებს, რომ ელექტრონული ტენდერები საქართველოში ხელს უწყობს უცხოურ ინვესტიციებს, აძლიერებს კავშირებს საერთაშორისო საფინანსო ინსტიტუტებთან და ემსახურება ევროკავშირის სტანდარტებთან დაახლოებას. თუმცა, კვლავ არსებობს გარკვეული ბარიერები: ენობრივი შეზღუდვები, სამართლებრივი ჰარმონიზაციის სირთულეები და კიბერუსაფრთხოების რისკები. ნაშრომი ასკვნის, რომ საქართველოსთვის აუცილებელია დამატებითი ნაბიჯების გადადგმა საერთაშორისო შესყიდვების გარემოში კონკურენტუნარიანობის გასაძლიერებლად.

ნაშრომი ეფუძნება ხარისხობრივ კვლევებს. გამოყენებულია საქართველოს სახელმწიფო შესყიდვების სააგენტოს ანგარიშები, OECD-სა და მსოფლიო ბანკის პოლიტიკის შეფასებები, ევროკავშირის დოკუმენტები და სამოქალაქო ორგანიზაციების კვლევები. ასევე გამოყენებულია შედარებითი ანალიზი ევროკავშირის პრაქტიკასთან მიმართებით.

საკვანძო სიტყვები:

ელექტრონული ტენდერი, საჯარო შესყიდვები, სახელმწიფო სერვისები.

შესავალი

საჯარო შესყიდვები სახელმწიფო ხარჯების ერთ-ერთ უმსხვილეს ნაწილს წარმოადგენს და ბევრ ეკონომიკაში მშპ-ის 12–15%-ს აღწევს. შესაბამისად, ეფექტიანობის, სამართლიანობისა და ანგარიშვალდებულების უზრუნველყოფა საჯარო შესყიდვებში თანამედროვე საჯარო მმართველობის უმთავრესი ამოცანაა. ბოლო ათწლეულებში ელექტრონული შესყიდვები იქცა იმ მექანიზმად, რომელმაც გაამარტივა პროცედურები, გააუმჯობესა გამჭვირვალობა და გაზარდა კონკურენცია.

საქართველო რეგიონში ერთ-ერთ ლიდერად ითვლება შესყიდვების რეფორმების კუთხით. 2010 წელს ამოქმედდა სახელმწიფო შესყიდვების სააგენტოს მიერ ადმინისტრირებული ელექტრონული შესყიდვების პლატფორმა. სისტემა სავალდებულოა ყველა შესყიდვისთვის, რომელიც მინიმალურ ზღვარს აჭარბებს და სრულად ონლაინ არის ხელმისაწვდომი. მსოფლიო ბანკმა, OECD-მ (ეკონომიკური თანამშრომლობისა და

განვითარების ორგანიზაცია) და „გამჭვირვალობა საქართველომ“ არაერთხელ აღნიშნა ამ სისტემის გამჭვირვალობა და ეფექტიანობა.

2010 წლიდან ყველა ტენდერის შესახებ ინფორმაცია ხელმისაწვდომია საჯაროდ, ონლაინ რეჟიმში. სისტემა უფასოა მომწოდებლებისთვის და სრულად ელექტრონულ განაცხადებზეა დაფუძნებული. გამჭვირვალობის მაღალი ხარისხი გამოიხატება იმაში, რომ ხელმისაწვდომია არა მხოლოდ განცხადებები და შედეგები, არამედ ყველა ხელშეკრულება.

ტრადიციულ ტენდერებს რამდენიმე ნაკლი აქვს:

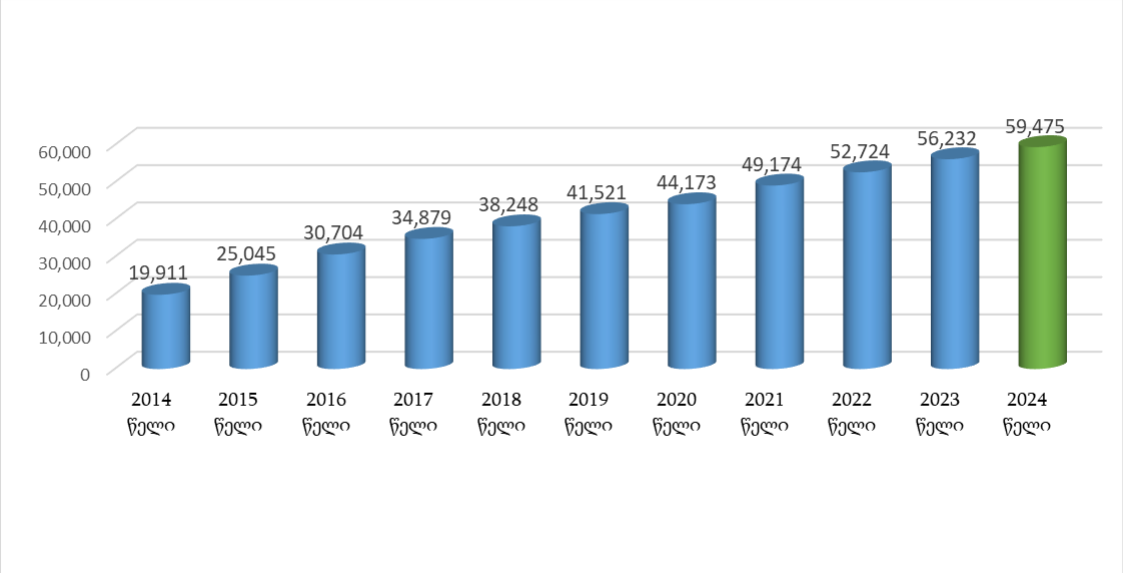
- **დროის დიდი დანახარჯები.** აუცილებელია მომწოდებლების შესახებ ინფორმაციის მოგროვება, შემოთავაზებების შედარება, დოკუმენტაციის გაფორმება, რაც საჭიროებს საკმაოდ დიდ დროით რესურსებს.
- **შეცდომები და უზუსტობები.** ადამიანის ფაქტორი ყოველთვის იწვევს დოკუმენტაციაში შეცდომებს.
- **კონტროლის სირთულე.** შესყიდვების მთელი პროცესის ცალკეული ეტაპების ხელით წარმოებისას თითქმის შეუძლებელია დანახარჯების ზუსტი კონტროლი და ასევე უარესდება გამჭვირვალობა.
- **ინფორმაციისადმი შეზღუდული წვდომა.** მიმწოდებლებისა და შესყიდვების ერთიანი მონაცემთა ბაზის არარსებობა ართულებს ბაზრის ანალიზს და უკეთესი ვარიანტების ძებნის შესაძლებლობას.
- **გართულებული ურთიერთქმედება.** სუსტი გამჭვირვალობა და დანაყოფებს შორის კოორდინაციის გართულება ხშირად იწვევს ინტერესთა კონფლიქტებსა და შესყიდვების განხორციელების დაყოვნებებს.

ელექტრონული შესყიდვების დანერგვამ კარდინალურად შეცვალა ბიზნეს-პროცესები, გახადა ისინი მეტად გამჭვირვალე და ეფექტური. შესყიდვების გაციფრულებამ უზრუნველყო შემდეგი უპირატესობები:

- **დროისა და რესურსების ეკონომია.** ყოველდღიური საკითხების მოგვარების ავტომატიზაცია თანამშრომლებს საშუალებას აძლევს ფოკუსირდნენ სტრატეგიულ საკითხებზე და არ დახარჯონ დრო რუტინულ საქმიანობაზე; ის ასევე ამცირებს ადამიანურ ფაქტორთან დაკავშირებული შეცდომების რაოდენობას.
- **დანახარჯების შემცირება.** მონაცემთა ანალიზი საშუალებას იძლევა თავიდან ავირიდოთ არაეფექტური დანახარჯები და მივიღოთ უფრო მომგებიანი გადაწყვეტილებები მომწოდებლების შერჩევისას.
- **მონაცემთა ხარისხის გაუმჯობესება.** მომწოდებლების, საქონლისა და სერვისების შესახებ ინფორმაცია ინახება სტრუქტურირებული სახით, რაც ამარტივებს ანალიზსა და გადაწყვეტილების მიღებას ამა თუ იმ პროდუქტის ან მომწოდებლის სასარგებლოდ.
- **მოქნილობის ამაღლება.** ციფრული პლატფორმები ადვილად ადაპტირდება დაწესებულებისა და ბაზრის ცვალებად მოთხოვნებთან.
- **გამჭვირვალობის ამაღლება.** შესყიდვების შესახებ ყველა ცნობა ინახება ერთიან სისტემაში, რაც ამარტივებს შესყიდვის პროცედურის ყველა ეტაპზე კონტროლის შესაძლებლობას.
- **მომწოდებლების რაოდენობის ზრდა.** ელექტრონული პლატფორმები მომწოდებლების უფრო ფართო სპექტრზე წვდომას გვაძლევენ, რაც დადებითად აისახება შესასყიდი პროდუქციის ფასების შემცირებაზე.
- **პროცესის დაჩქარება.** ავტომატიზაცია შესყიდვების პროცესის შემოკლებას უზრუნველყოფს.

დღევანდელი პერიოდისთვის დამახასიათებელია შესყიდვების პროცესის გლობალიზაცია, რაც გამოიხატება სხვადასხვა ქვეყნებს შორის ელექტრონული შესყიდვების განვითარებით.

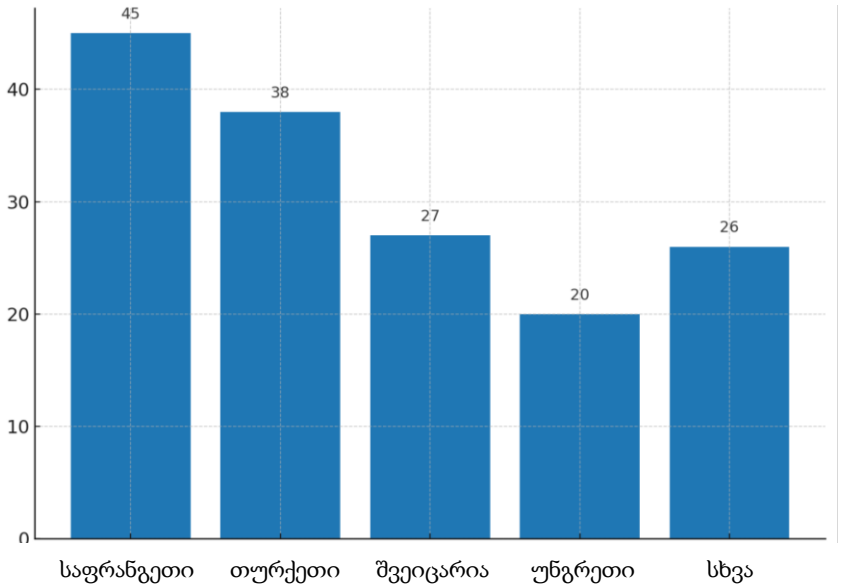
შესაბამისად, თანამედროვე დინამიკურ ბაზარზე კონკურენტული უპირატესობების მოსაპოვებლად საჭიროა მსოფლიოში შესყიდვების უახლესი ტენდენციების გათვალისწინება და საქართველოს შესყიდვების სისტემაში შესაბამისი ცვლილებების დანერგვა [1].



სურ.1. სახელმწიფო შესყიდვების მაჩვენებლები უკანასკნელ წლებში

2024 წელს, სისტემაში დარეგისტრირდა 3,243 ახალი ბიზნეს სუბიექტი და ჯამში რეგისტრირებული მიმწოდებლების რაოდენობამ, წლის ბოლოსთვის 59,475 შეადგინა (იხ. დიაგრამა სურ.1-ზე) [2]. აღსანიშნავია, სისტემაში რეგისტრირებული არარეზიდენტი მიმწოდებლების ზრდაც. 2024 წლის ბოლოს, 118 ახალი არარეზიდენტი მიმწოდებელი დარეგისტრირდა და ამჟამად ჯამურად 77 ქვეყნის 2,623 არარეზიდენტი მიმწოდებელია რეგისტრირებული, რომლებიც აქტიურად იღებენ მონაწილეობას გამოცხადებულ ტენდერებში.

ამასთანავე, სისტემას დაემატა 61 ახალი შემსყიდველი ორგანიზაცია და მათმა რიცხვმა წლის ბოლოსთვის შეადგინა 4,751. 2024 წელს 156 მილიონი ლარის კონტრაქტები გაფორმდა უცხო ქვეყნის ფირმებთან.

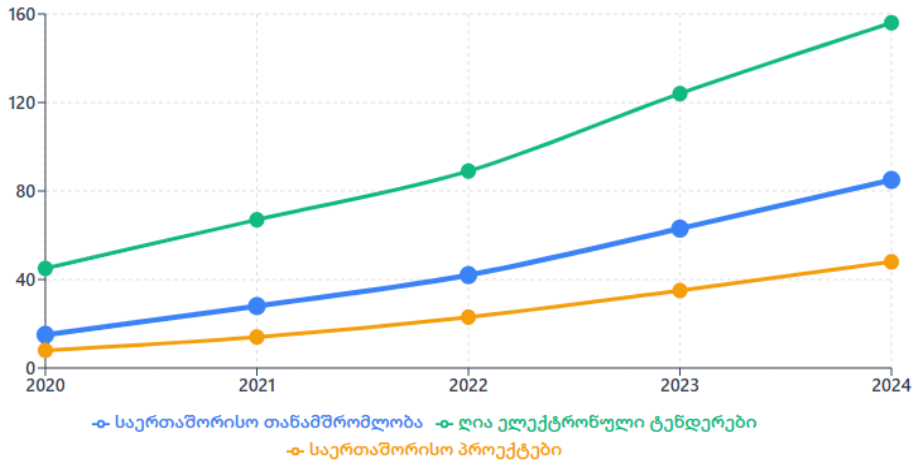


სურ.2. საქართველოს შესყიდვების ხელშეკრულებები უცხოურ კომპანიებთან (2024)

სურ.2-ზე ნაჩვენებია სვეტოვანი დიაგრამა, რომელშიც y ღერძზე წარმოდგენილია ხელშეკრულებების ღირებულება მილიონ ლარებში, ხოლო x ღერძზე – შესყიდვების ხელშეკრულებები სხვადასხვა ქვეყნებთან. დიაგრამა გვიჩვენებს, რამდენად მაღალია ხელშეკრულებების ღირებულება საქართველოს მსგავსი პატარა ქვეყნისთვის.

ელექტრონული შესყიდვები ფართოდ არის შესწავლილი როგორც კარგი მმართველობის, ასევე საერთაშორისო ვაჭრობის კონტექსტში. მკვლევართა უმეტესობა რამდენიმე მთავარ უპირატესობას გამოყოფს:

1. **გამჭვირვალობა და ანგარიშვალდებულება** – პლატფორმა ამცირებს კორუფციის რისკებს.
2. **კონკურენციის ზრდა** – ონლაინ ხელმისაწვდომობა იზიდავს უფრო მეტ მომწოდებელს, მათ შორის უცხოეთიდან.
3. **ეფექტიანობა და ხარჯების შემცირება** – ავტომატიზაცია ამცირებს როგორც ადმინისტრაციულ, ასევე ფინანსურ ტვირთს.



სურ.3. საქართველოს თანამშრომლობა უცხო ქვეყნებთან ელექტრონული ტენდერების საშუალებით ბოლო 5 წლის განმავლობაში (2020-2024 წლებში)

სურ.3 გვიჩვენებს საქართველოს თანამშრომლობას უცხო ქვეყნებთან ელექტრონული ტენდერების გზით ბოლო 5 წლის განმავლობაში (2020-2024 წლებში). მასზე ნაჩვენებია სამი ძირითადი მიმართულება: საერთაშორისო თანამშრომლობა, ღია ელექტრონული ტენდერები და საერთაშორისო პროექტები. გრაფიკიდან ჩანს:

- **საერთაშორისო თანამშრომლობა**: უცხო ქვეყნებთან პარტნიორობის შესახებ დადებული ხელშეკრულებების რაოდენობა გაიზარდა 15-დან 85-მდე (467%-იანი ზრდა);
- **ღია ელექტრონული ტენდერები**: საერთაშორისო პარტნიორებთან განხორციელებული ელექტრონული შესყიდვების რაოდენობა გაიზარდა 45-დან 156-მდე;
- **საერთაშორისო პროექტები**: ელექტრონული ტენდერების საშუალებით შესრულებული საერთაშორისო პროექტების რაოდენობა გაიზარდა 8-დან 48-მდე.

ამ გრაფიკის თანახმად, საქართველოს ციფრული თანამშრომლობა მნიშვნელოვნად გაიზარდა უცხოეთის ქვეყნებთან, რაც ასახავს ქვეყნის განვითარებას ციფრული მმართველობისა და საერთაშორისო ინტეგრაციის მიმართულებით.

საერთაშორისო დონეზე, ევროკავშირი და მსოფლიო ბანკი აქტიურად უჭერენ მხარს ელექტრონული შესყიდვების დანერგვას. ევროკავშირის დირექტივები წევრ სახელმწიფოებს ავალდებულებს ტენდერების ელექტრონულ ფორმატზე გადასვლას [3].

საქართველოს შემთხვევაში, აკადემიურ და პოლიტიკურ ლიტერატურაში ხაზგასმულია მისი სისტემის უნიკალურობა პოსტსაბჭოთა სივრცეში. „გამჭვირვალობა საქართველომ“ (2016) პლატფორმა „გამჭვირვალობის მოდელად“ მოიხსენია. OECD SIGMA-მ ასევე აღნიშნა მისი თანხვედრა ევროკავშირის ასოცირების შეთანხმების მოთხოვნებთან. მიუხედავად ამისა, რჩება პრობლემები: უცხოენოვანი მხარდაჭერის შეზღუდულობა, უცხოელი მომწოდებლების დაბალი ჩართულობა და კიბერუსაფრთხოების გამოწვევები [4, 5].

პლატფორმა ღიაა როგორც ადგილობრივი, ისე უცხოური მომწოდებლებისთვის. ბოლო წლებში შვეიცარიის, დიდი ბრიტანეთის, აშშ-ის, თურქეთის, აზერბაიჯანის, უკრაინის და ევროკავშირის წევრი ქვეყნების კომპანიები აქტიურად მონაწილეობდნენ ტენდერებში. ეს ზრდის კონკურენციას და აუმჯობესებს მიწოდებული საქონლისა და მომსახურების ხარისხს.

თუმცა, უცხოელთა მონაწილეობა მაინც შეზღუდულია. მთავარი ბარიერებია: ენობრივი პრობლემა (პლატფორმა ძირითადად ქართულ ენაზე ფუნქციონირებს), სამართლებრივი განსხვავებები და ინფორმაციის ნაკლებობა. ასევე გამოწვევას ქმნის ადგილობრივ საგადასახადო და რეგისტრაციის პროცედურები.

საქართველოს შესყიდვების სისტემამ მიიპყრო საერთაშორისო საფინანსო ინსტიტუტების ყურადღება. მსოფლიო ბანკი, ევროპის რეკონსტრუქციისა და განვითარების ბანკი (EBRD) და აზიის განვითარების ბანკი (ADB) ხშირად იყენებენ ქართულ სისტემას საქართველოში დაფინანსებული პროექტებისთვის. ეს ნდობა ქვეყნის მიმართ სისტემის გამჭვირვალობაზე მეტყველებს. გარდა ამისა, საქართველო გამოცდილებას უზიარებს მეზობელ ქვეყნებსაც.

ევროკავშირთან ასოცირების შეთანხმება ავალდებულებს საქართველოს მოერგოს ევროკავშირის შესყიდვების დირექტივებს. ელექტრონული ტენდერები ამ პროცესის საფუძველია. მიუხედავად იმისა, რომ გარკვეული პროგრესი მიღწეულია, კვლავ საჭიროა კანონმდებლობის უფრო ღრმა ჰარმონიზაცია და ევროკავშირის პლატფორმებთან ტექნიკური თავსებადობა.

მიუხედავად წარმატებებისა, არსებობს გამოწვევები და რისკები, კერძოდ, რამდენიმე ფაქტორი ხელს უშლის სრულფასოვან საერთაშორისო თანამშრომლობას:

ენობრივი ბარიერი – პლატფორმის ქართული ინტერფეისი უცხოელებს ზღუდავს.

სამართლებრივი განსხვავებები – ზოგი პროცედურა არ ემთხვევა ევროკავშირის სტანდარტებს.

კიბერუსაფრთხოება – სრული დიგიტალიზაცია ზრდის კიბერ-რისკებს.

ინფორმაციის ნაკლებობა – უცხოეთში ბევრი კომპანია არ არის ინფორმირებული საქართველოს ტენდერების შესახებ.

დასკვნა

საქართველოს ელექტრონული შესყიდვების სისტემა მნიშვნელოვანი რეფორმაა, რომელმაც გაზარდა გამჭვირვალობა, ეფექტიანობა და ხელი შეუწყო საერთაშორისო თანამშრომლობას [6]. ტენდერების გახსნამ უცხოელი მომწოდებლებისთვის და ევროკავშირთან ჰარმონიზაციის პროცესმა საქართველო რეგიონში ლიდერად აქცია. საერთაშორისო ორგანიზაციების ნდობა კიდევ უფრო აძლიერებს მის პოზიციებს.

თუმცა რჩება ბარიერები: ენობრივი და სამართლებრივი პრობლემები, ასევე კიბერუსაფრთხოების გამოწვევები. მომავალი განვითარებისათვის აუცილებელია:

- მრავალენოვანი ინტერფეისის დანერგვა;
- ევროკავშირის დირექტივებთან სრული ჰარმონიზაცია;
- საქართველოს ტენდერების პოპულარიზაცია საერთაშორისო დონეზე;
- კიბერუსაფრთხოების სისტემების გაძლიერება.

ამ ნაბიჯებით საქართველოს შესყიდვების სისტემა არა მხოლოდ შიდა მმართველობის ინსტრუმენტი, არამედ საერთაშორისო თანამშრომლობის, ინვესტიციებისა და ევროპულ სივრცეში ინტეგრაციის მნიშვნელოვანი პლატფორმა გახდება.

Georgia's Cooperation with Foreign Countries through Electronic Tender Systems: Challenges and Opportunities

Mamuka Melikidze, Ana Kobiashvili, Mary Gegechkori

Summary

The modernization of public procurement has become a key driver of transparency, efficiency, and international cooperation. Electronic tender systems, or e-procurement platforms, have transformed the way governments and businesses interact in the global marketplace. Georgia has been recognized as one of the first post-Soviet countries to introduce a fully electronic procurement system, launched in 2010. This reform has significantly enhanced transparency, reduced corruption risks, and opened Georgia's market to international bidders.

The present paper explores how Georgia's e-procurement system supports cooperation with foreign countries, evaluates its achievements, and identifies persisting challenges. By analyzing policy documents, international assessments, and comparative examples, this study demonstrates that Georgia's electronic tendering fosters foreign investment, strengthens ties with international financial institutions, and contributes to harmonization with European Union standards. However, several barriers remain, including language limitations, legal harmonization, and cybersecurity risks. The paper concludes with recommendations for strengthening Georgia's role in the global procurement environment.

Сотрудничество Грузии с иностранными странами через систему электронных тендеров: вызовы и возможности

Мамука Меликидзе, Анна Кобиашвили, Мери Гегечкори

Резюме

Модернизация государственных закупок стала ключевым фактором обеспечения прозрачности, эффективности и международного сотрудничества. Системы электронных тендеров, или платформы электронных закупок, существенно изменили способы взаимодействия государственных структур и бизнеса на мировом рынке. Грузия признана одной из первых постсоветских стран, внедривших полностью электронную систему закупок, запущенную в 2010 году. Эта реформа значительно повысила уровень прозрачности, снизила риски коррупции и открыла рынок Грузии для международных участников.

Настоящая работа рассматривает, каким образом система электронных закупок Грузии способствует сотрудничеству с иностранными странами, оценивает достигнутые результаты и

выявляет сохраняющиеся проблемы. Анализируя политические документы, международные оценки и сравнительные примеры, исследование показывает, что электронные тендеры в Грузии стимулируют иностранные инвестиции, укрепляют связи с международными финансовыми институтами и содействуют гармонизации с нормами Европейского союза. Однако сохраняются и определённые барьеры, включая языковые ограничения, необходимость правовой гармонизации и риски в области кибербезопасности. В заключение работа формулирует рекомендации по усилению роли Грузии в глобальной системе государственных закупок.

ლიტერატურა - References - Литература

1. მ. მელიქიძე, ა. კობიაშვილი, მ. გეგეჭკორი. სახელმწიფო შესყიდვების ელექტრონული სისტემის გაუმჯობესების შესაძლებლობები. სტუ, არჩილ ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული, N28, თბილისი, 2024, გვ. 181-185.
2. საქართველოს სახელმწიფო შესყიდვების სააგენტო. (2024). საჯარო შესყიდვების წლიური ანგარიში. თბილისი.
   https://procurement.gov.ge/ka/page/analyticalstudiesreports
3. ევროკავშირი. (2014). ევროკავშირსა და საქართველოს შორის ასოცირების შეთანხმება. ბრიუსელი.
   https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/PDF/?uri=CELEX:22014A0830(02)
4. Transparency International. (2016). საჯარო შესყიდვები საქართველოში: მიღწევები და არსებული გამოწვევები. თბილისი.
   https://www.transparency.ge/en/
5. World Bank. An Electronic Approach: Streamlining Georgia's Procurement (2017)
   http://www.worldbank.org/en/news/video/2017/07/20/an-electronic-approach-streamlining-georgias-procurement
6. R. Kutateladze, A. Kobiashvili, M. Melikidze. Analytics of Electronic Tenders in Georgian Economics. Contemporary Business Challenges in a Globalized World: Research, Study, Examination. (Volume 4), Collective Monograph, Lambert Academic Publishing, Germany, 2023, pp. 5-11.

ფსევდო შემთხვევითი რიცხვების გენერატორების შედარებითი ანალიზი C++ ენის გამოყენებით

ბაჩანა ლომიძე, თენგიზ ბახტაძე

Lomidze.bachana22@gtu.ge, t.bakhtadze@gtu.ge

რეზიუმე

მოცემულ ნაშრომში განხილულია ფსევდო შემთხვევითი რიცხვების გენერატორები, კონკრეტულად rand() და Mersenne Twister-ის 32 ბიტიანი mt19937. ჩვენ გვაქვს მოყვანილი მათი შედარებითი ანალიზი C++ ენაზე Visual Studio 2022-ში. ექვსწახნაგიანი კამათლის გაგორების მოდელირების დაწერილი ალგორითმის საშუალებით, რომელიც ერთსა და იმავე პირობებში გვიჩვენებს ორივე გენერატორის საშუალო კვადრატულ გადახრას და გადახრის ცდომილებას პროცენტებში. რიცხობრივად ნაჩვენებია mt19937 უპირატესობები. ორივე გენერატორისათვის არ გამოიკვეთა საშუალო კვადრატული გადახრის მონოტონური კლება და გამოიკვეთა გადახრის ცდომილების კლება.

საკვანძო სიტყვები:

ფსევდო შემთხვევითი რიცხვების გენერატორი, rand(), Mersenne Twister, mt19937, C++.

C++ და სხვა ენების დახმარებით დაპროგრამებისას ხშირად შეიძლება მოგვიწიოს ფსევდო შემთხვევითი რიცხვების გენერატორის გამოყენება სხვადასხვა მიზეზებით. ამ გენერატორებისადმი ინტერესზე მეტყველებს პუბლიკაციები [1-6]. ასეთი გენერატორების გამოყენებისას ისინი წინასწარ მითითებულ არეალში აირჩევენ შემთხვევით რიცხვს და შემდეგ გამოიტანენ, შეინახავენ ან სხვ. დამპროგრამებლის ბრძანების მიხედვით. თუმცაღა, იმის გამო რომ ეს გენერატორებიც კიდევ ერთი კომპიუტერული ალგორითმია სრული შემთხვევითობის მიღწევა შეუძლებელია, ამიტომაც დაერქვა ფსევდო შემთხვევითი რიცხვების გენერატორი. ასეთი გენერატორები თავის შემთხვევითობას აღწევენ მარცვლის (seed) გამოყენებით. ეს მარცვალი ჩაიწერება გენერატორთან დაკავშირებულ ბრძანებაში და შეიძლება იყოს რაიმე კონკრეტული ციფრების მიმდევრობა, ასევე შემთხვევითობის გარანტიის გასაზრდელად შეიძლება მარცვალი რაიმე მუდმივად ცვალებად პარამეტრს მივაბათ, მაგალითად ერთ-ერთი ასეთი პარამეტრია დრო.

ჩვენ დღეს განვიხილავთ ორ ფსევდო შემთხვევითი რიცხვების გენერატორს, ყველასთვის ცნობილ rand()-ს და Mersenne Twister-ის ყველაზე გავრცელებულ ვერსიას 32 ბიტიან mt19937 გენერატორს.

დასაწყისისთვის, rand() გენერატორი უკვე მოძველებულია და სიტუაციებიც რომლებშიც მისი გამოყენება საჭირო გახდება არც თუ ისე ხშირია. შემთხვევები როდესაც ის შეიძლება დაგვჭირდეს არის როდესაც ძველ პლატფორმასთან გვიწევს მუშაობა ან თუ გვჭირდება ძალიან ჩქარა ოპერაციის შესრულება. ასევე პერიოდი რომლის შემდეგაც უკვე გამოტანილი შემთხვევითი რიცხვების მეორეჯერ გამოტანას დაიწყებს არც ისე დიდია, მოძველებულ სისტემებზე ეს პერიოდი არის 2^{15}-1, ხოლო ახლებზე უმეტეს შემთხვევაში 2^{31} ან 2^{32}. არც შემთხვევითობის ხარისხია მაინცდამაინც კარგი, სხვა გენერატორებთან შედარებით ნაკლებად შემთხვევითია და ასევე როდესაც მცირე არეალის რიცხვებს ვაგენერირებთ rand() შეიძლება მიკერძოებული გახდეს და რომელიმე მონაცემის გამოტანა სხვებზე ხშირად დაიწყოს. მაგრამ, თავისი მსუბუქი და ადვილად შესასრულებელი ალგორითმის გამო ძალიან

ჩქარა მუშაობს. ასევე არის ერთი საინტერესო ფაქტი Rand()-ის სიჩქარესთან დაკავშირებით, გავრცელებულია ინფორმაცია,რომ rand() მინიმუმ 2-ჯერ, მაქსიმუმ კი 10-ჯერ უფრო ჩქარია ვიდრე mt19937, თუმცაღა საკუთარი დაკვირვების შემდეგ შეუზღუდავი დიაპაზონის მქონე mt19937 2-ჯერ უფრო ჩქარია ვიდრე rand() (mt19937 = 0.027 – 0.032, rand() = 0.06-0.07), მაგრამ შეზღუდული დიაპაზონის ქონის დროს, ამ შემთხვევაში 1-6, სიტუაცია მკვეთრად განსხვავდება, ამჯერად უკვე Rand() გენერატორია 2-ჯერ უფრო ჩქარი(mt19937 = 0.13-0.15, rand() = 0.058-0.087), მაგრამ ღირს იმის თქმაც რომ განსხვავებული მონაცემების მქონე კომპიუტერის შემთხვევაში შეიცვლება დროც რომელიც დასჭირდება ალგორითმს ოპერაციის შესასრულებლად (შეუზღუდავი: mt19937 = 0.0181- 0.183 rand() = 0.0105 - 0.0145, შეზღუდული: mt19937 = 0.0174 -0.02 rand() = 0.056 – 0.062). Rand()-ის გამოყენება შეიძლება ისეთ პროექტებში სადაც შემთხვევითი რიცხვების გენერაციას დიდი მნიშვნელობა არ აქვს.

Mersenne Twister-ის mt19937 გენერატორი rand()-გან განსხვავებით გამოირჩევა კომპლექსური ალგორითმით რომელიც განაპირობებს შემთხვევითი რიცხვების ხარისხიან შერჩევას, მაგრამ ამავდროულად ესაა იმის მიზეზი რომ ის შედარებით ნელია, თუმცაღა ადამიანის გადმოსახედიდან ის მაინც საკმაოდ ჩქარია. ასევე rand()-თან შედარებით უსასრულოდ დიდი პერიოდი აქვს, ამ პერიოდიდანვე გამომდინარეობს ამ გენერატორის სახელი: 2^{19937}–1. სწორად გამოყენებისას მიკერძოებულობის აღმოჩენა ფაქტობრივად შეუძლებელია და ყოველი რიცხვი გარანტირებულად შემთხვევითია. mt19937 გენერატორის გამოყენების შემთხვევები საკმაოდ ხშირია. მას იყენებენ როგორც სიმულაციებში და მეცნიერულ კომპიუტინგში, ასევე კომპიუტერულ თამაშებში და სხვა აპლიკაციებში სადაც მაღალი დონის შემთხვევითობის გამოყენებაა საჭირო.

ამ ორი ფსევდო შემთხვევითი რიცხვების გენერატორის შესადარებლად ჩვენ გამოვიყენებთ ალგორითმს რომელიც გააგორებს ორ კამათელს წინასწარ გადაწერილი ოდენობით, ამოსული გვერდები იქნება დამოკიდებული ერთი კამათლისთვის rand() გენერატორზე, ხოლო მეორე კამათლისთვის mt19937 გენერატორზე. შემდეგ ალგორითმი ამოსულ გვერდებს დაითვლის, გამოთვლის საშუალო კვადრატულ გადახრას და შეადარებს ერთმანეთს, რის შემდეგაც კამათელი გაგორდება ხელმეორედ მაგრამ უკვე გაზრდილი რაოდენობით და პროცესი განმეორდება რამდენჯერმე. მიღებული შედეგებით ჩვენ შევძლებთ დადგენას რომელი გენერატორი ასრულებს საკუთარ სამუშაოს უფრო ხარისხიანად, rand() თუ mt19937.

ქვემოთ მოყვანილია ამ ალგორითმის კოდი:

```
#include <iostream>
#include <cstdlib>
#include <cmath>
#include <random>
#include <iomanip>
using namespace std;
int main()
{
   mt19937 generator(987564321);
   int sawyisi = 300;
   int biji = 300;
   int gverdi = 6;
   int cikli = 10;
   srand(987654321);
   cout << fixed << setprecision(2);
   cout << setw(10) << right << "gagoreba"
```

```
    << setw(30) << right << "sash. kvad. gadaxra Rand()"
    << setw(30) << right << "gadaxris procentuloba Rand()"
    << setw(24) A<< right << "sash. kvad. gadaxra mt"
    << setw(26) << right << "gadaxris procentuloba mt" << "\n";
  for (int i = 0; i < cikli; i++) {
    int gagoreba = sawyisi + i * biji;
    int one = 0;
    int two = 0;
    int three = 0;
    int four = 0;
    int five = 0;
    int six = 0;
    int one_mt = 0;
    int two_mt = 0;
    int three_mt = 0;
    int four_mt = 0;
    int five_mt = 0;
    int six_mt = 0;
    int ganayofi = gagoreba / gverdi;
    double expected_prop = 1.0 / gverdi;
    for (int i = 0; i < gagoreba; i++) {
      int random = 1 + (rand() % gverdi);
      if (random == 1) {
        one += 1;
      }
      else if (random == 2) {
        two += 1;
      }
      else if (random == 3) {
        three += 1;
      }
      else if (random == 4) {
        four += 1;
      }
      else if (random == 5) {
        five += 1;
      }
      else if (random == 6) {
        six += 1;
      }
    }
    for (int j = 0; j < gagoreba; j++) {
      uniform_int_distribution<> distribution(1, 6);
      int random_mt = distribution(generator);
      if (random_mt == 1) {
        one_mt += 1;
      }
      else if (random_mt == 2) {
        two_mt += 1;
      }
      else if (random_mt == 3) {
```

```
            three_mt += 1;
        }
        else if (random_mt == 4) {
            four_mt += 1;
        }
        else if (random_mt == 5) {
            five_mt += 1;
        }
        else if (random_mt == 6) {
            six_mt += 1;
        }
    }
    double dispersia = (pow((ganayofi - one), 2) + pow((ganayofi - two), 2) + pow((ganayofi - three), 2) +
        pow((ganayofi - four), 2) + pow((ganayofi - five), 2) + pow((ganayofi - six), 2)) / gverdi;
    double dispersia_mt = (pow((ganayofi - one_mt), 2) + pow((ganayofi - two_mt), 2) + pow((ganayofi - three_mt), 2) +
        pow((ganayofi - four_mt), 2) + pow((ganayofi - five_mt), 2) + pow((ganayofi - six_mt), 2)) / gverdi;

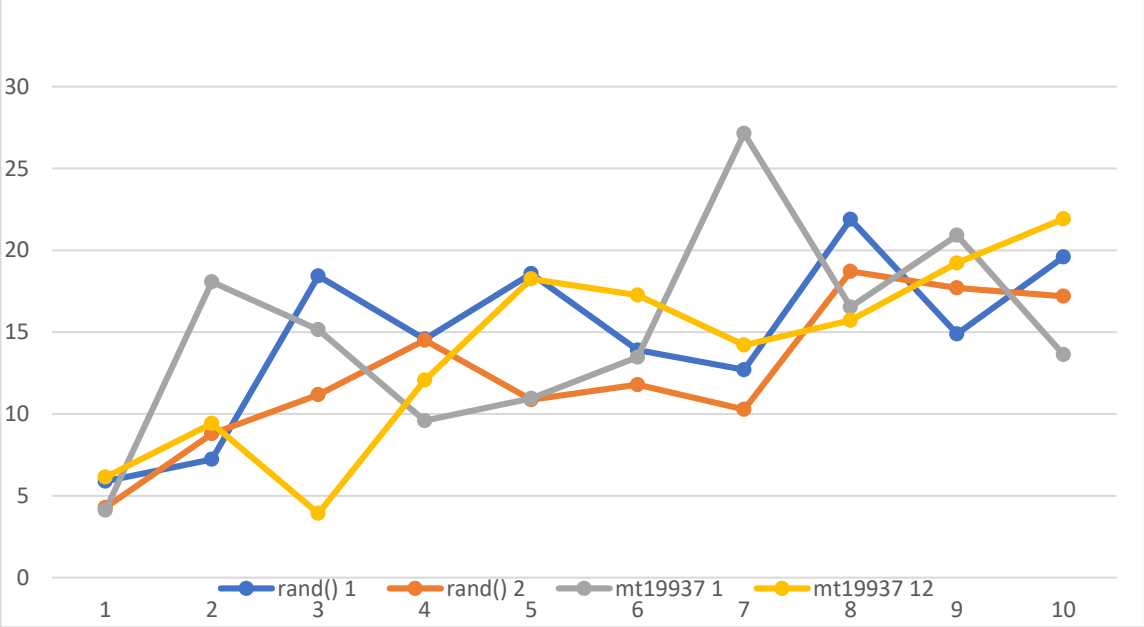
    double sash_kvad_gadaxra_rand = sqrt(dispersia);
    double sash_kvad_gadaxra_mt = sqrt(dispersia_mt);
    double percentage_rand = (sash_kvad_gadaxra_rand / gagoreba) * 100;
    double percentage_mt = (sash_kvad_gadaxra_mt / gagoreba) * 100;
    cout << setw(7) << right << gagoreba
        << setw(20) << right << sash_kvad_gadaxra_rand
        << setw(28) << right << percentage_rand << "%"
        << setw(28) << right << sash_kvad_gadaxra_mt
        << setw(26) << right << percentage_mt << "%" << "\n";
  }
  return 0;
}
```

	Rand()	mt19937	Rand()	mt19937
გაგორება	საშ. კვადრატული გადახრა		გადახრის პროცენტულობა	
300	5.89	4.12	1.96%	1.37%
600	7.23	18.07	1.21%	3.01%
900	18.43	15.15	2.05%	1.68%
1200	14.57	9.59	1.21%	0.80%
1500	18.57	10.95	1.24%	0.73%
1800	13.9	13.47	0.77%	0.75%
2100	12.7	27.14	0.60%	1.29%
2400	21.89	16.53	0.91%	0.69%
2700	14.89	20.92	0.55%	0.77%
3000	19.59	13.63	0.65%	0.45%

Seed: 123456789

	Rand()	mt19937	Rand()	mt19937
გაგორება	საშ. კვადრატული გადახრა		გადახრის პროცენტულობა	
300	4.28	6.14	1.43%	2.05%
600	8.79	9.42	1.47%	1.57%
900	11.18	3.92	1.24%	0.44%
1200	14.51	12.07	1.21%	1.01%
1500	10.87	18.25	0.70%	1.22%
1800	11.79	17.26	0.65%	0.96%
2100	10.28	14.21	0.49%	0.68%
2400	18.71	15.72	0.78%	0.65%
2700	17.7	19.22	0.66%	0.71%
3000	17.19	21.92	0.57%	0.73%

Seed: 987654321



როგორც შედეგებიდან და გრაფიკიდან ვხედავთ, ყოველი შემდეგი mt19937 გენერატორის გამოტანილი შემთხვევითი რიცხვების საშ. კვად. გადახრა უფრო ძნელად დასაკავშირებელია წინა გაგორების გადახრასთან, შეიძლება რიცხვები ახლოს იყოს ერთმანეთთან და შეიძლება დიდი განსხვავებაც დაგვხვდეს. Rand() გენერატორში კი საპირისპიროდაა საქმე, ყოველი დისპერსია ერთმანეთისგან უფრო მცირე დაშორებითაა და შედარებით ადვილი წარმოსადგენია თუ რა არეალში იქნება შემდეგი. რა თქმა უნდა ალგორითმის შედეგი მარცვლის მიხედვით განსხვავებული იქნება, ამიტომაც რამდენიმე ცხრილი წარმოვადგინე სხვადასხვა მარცვლის შედეგებით.

ასევე შეიძლება გაჩნდეს კითხვა, რატომ იზრდება საშ. კვად. გადახრა გაგორების ოდენობასთან ერთად იმის მიუხედავად, რომ მთლიანობაში გვერდების ოდენობა უნდა თანაბრდებოდეს გაგორების ოდენობის ზრდასთან ერთად. მისი ზრდის მიზეზი ისაა, რომ გაგორებების რაოდენობასთან ერთად იზრდება იმის დიაპაზონი, თუ რამდენად შეიძლება ასცდეს მოსალოდნელ რიცხვს გაგორებული გვერდების რაოდენობა და რადგანაც შემთხვევითი რიცხვების გენერატორთან გვაქვს საქმე, მოსალოდნელ ოდენობას შეიძლება ავცდეთ როგორც 1-ით, ასევე ბევრი გაგორების შემთხვევაში 100-ით ან მეტით. დაბნეულობის თავიდან ასარიდებლად შემოვიტანეთ საშ. კვადრატული გადახრის პროცენტულობა. როგორც ვხედავთ პროცენტულობა იკლებს რაც მეტჯერ ვაგორებთ. ეს მიგვანიშნებს იმაზე, რომ თუმცაღა საშ. კვად. გადახრა იზრდება გაგორებასთან ერთად, რეალურად უფრო და უფრო თანაბარი განაწილება ხდება ამოსული გვერდების. ასევე ღირს იმის ხსენება, რომ Rand() გენერატორის თანაბარი განაწილება უმეტეს შემთხვევაში სჯობს mt19937-ის თანაბარ განაწილებას.

საბოლოოდ შეიძლება თამამად ვთქვათ, რომ იმის მიუხედავად რომ Rand() გენერატორი სჯობს mt19937 გენერატორს სიჩქარეში და თანაბარ განაწილებაში, mt19937 თავის საქმეს როგორც ფსევდო შემთხვევითი რიცხვების გენერატორი არაჩვეულებრივად ასრულებს და მასში ნაკლების პოვნა ძალიან ძნელია და თუ ოდესმე დაგვიდგება არჩევანის გაკეთების დრო, გამოვიყენოთ Rand() თუ mt19937 შეგვიძლია უყოყმანოდ ავირჩიოთ უკანასკნელი.

Comparative analysis of pseudo-random number generators using C++ language

Bachana Lomidze, Tengiz Bakhtadze

Summary

This paper discusses pseudo-random number generators, specifically rand() and the 32-bit Mersenne Twister mt19937. We have provided their comparative analysis in C++ in Visual Studio 2022. Using an algorithm written to simulate rolling a six-sided dice, which shows the mean square deviation and deviation error in percent for both generators under the same conditions. The advantages of mt19937 are numerically shown. For both generators, no monotonic decrease in the mean square deviation was observed, and a decrease in the deviation error was observed.

Сравнительный анализ генераторов псевдослучайных чисел на языке C++

Бачана Ломидзе, Тенгиз Бахтадзе

Резюме

В этой статье рассматриваются генераторы псевдослучайных чисел, в частности rand() и 32-битный Mersenne Twister mt19937. Мы провели их сравнительный анализ на C++ в Visual Studio 2022. Используя алгоритм, написанный для моделирования броска шестигранной игральной кости, который показывает среднеквадратичное отклонение и ошибку отклонения в процентах для обоих генераторов при одинаковых условиях. Преимущества mt19937 показаны

численно. Для обоих генераторов не наблюдалось монотонного уменьшения среднеквадратичного отклонения, а также наблюдалось уменьшение ошибки отклонения.

ლიტერატურა – References – Литература

1. Matsumoto & Nishimura. Mersenne Twister: A 623 Dimensionally Equidistributed Uniform Pseudo Random Number Generator. ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation, Vol. 8(1), pp. 3–30, 1998.
2. Demchik. Pseudo random number generators for Monte Carlo simulations on Graphics Processing Units"arXiv:1003.1898, March 2010 (preprint).
3. Saito & Matsumoto. Variants of Mersenne Twister Suitable for Graphic Processors arXiv:1005.4973, May 2010 (preprint).
4. Cannizzo.VMT19937: A SIMD Friendly Pseudo Random Number Generator based on Mersenne Twister 19937".Publisher: arXiv:2309.16682, August 2023.
5. Rubinstein. Pseudo random number generation for Monte Carlo simulation in queueing networks Publisher: Krieger Publishing, 1992.
6. Thomas et al. Gaussian Random Number Generators" (Section III: Uniform RNG comparison) ACM Computing Surveys, Vol. 39(4):11, October 2007.

სტატიები სტუდენტების მონაწილეობით

ARTICLES WITH STUDENT PARTICIPATION

СТАТЬИ С УЧАСТИЕМ СТУДЕНТОВ

მოთხრობითი ბრუნვის ათვისება ქართულენოვან ბავშვებში

ნათია თავაძე[1], ანა ჩუტკერაშვილი

natia.tavadze@tsu.ge

რეზიუმე

ფსიქოლინგვისტიკაში ერთ-ერთი ყველაზე აქტუალური და კომპლექსური საკითხი ენის ათვისების შესწავლაა. ეს პროცესი იწყება ჯერ კიდევ ნაყოფის მუცლად ყოფნის პერიოდში და მუდმივად ვითარდება ახალ გარემოში კომუნიკაციისას. ენის ათვისების კვლევისას სხვადასხვა მკვლევარს სხვადასხვა ინტერესი შეიძლება ჰქონდეს: კონკრეტული ენის, ანდაც ერთი კონკრეტული კატეგორიის ათვისება, რამდენიმე მშობლიური ენის ერთდროულად ათვისების შესწავლა და სხვა.

მოცემულ სტატიაში წარმოდგენილი საპილოტე კვლევის ობიექტია მოთხრობითი ბრუნვის ათვისება სკოლამდელი ასაკის ქართულენოვან ბავშვებში. კვლევის ამოცანაა ვნახოთ, შეიცვალა თუ არა მოთხრობითი ბრუნვის ათვისების ტენდენციები. ბავშვები დღეს ტექნოლოგიებთან დიდ დროს ატარებენ, უსმენენ და უყურებენ ვიდეოებს ნომინატიური წყობის ენაზე. ამან განაპირობა კვლევის ერთ-ერთი მთავარი ამოცანა, დავაკვირდეთ რამდენად ახდენს გავლენას ნომინატიური წყობის ენა (ამ შემთხვევაში სოციუმში კარგად შემოჭრილი ინგლისური) ერგატიული წყობის ენებზე. ასევე, ჩვენთვის საინტერესო იყო გაგვერკვია, რამდენად სწორად იყენებენ სკოლამდელი ასაკის ბავშვები მოთხრობით ბრუნვას და რომელი ასაკია ამ თვალსაზრისით ყველაზე კრიტიკული.

საკვანძო სიტყვები:

ენის ათვისება, მოთხრობითი ბრუნვის ათვისება, ერგატიული წყობა, კვლევა, საპილოტე კვლევა.

ერგატიულ-აბსოლუტიური წყობა

ენის ათვისების შესწავლის გზაზე ერგატიულობის ათვისება ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ნაწილია, ვინაიდან ის მხოლოდ ერგატიულ-აბსოლუტიური წყობის ენებში გვხვდება. საწყის ეტაპზე მნიშვნელოვანია განვსაზღვროთ, თუ როგორი წყობის ენები გვხვდება ზოგადად და რას გულისხმობს ერგატიული წყობა.

ენებში გრამატიკულ წყობას განსაზღვრავს გრამატიკულ-სემანტიკური პრიმიტივები, რომელთა შესახებ საკმაოდ დიდი ინფორმაცია მოიპოვება [9, 14, 15] და ამ სტატიაში ვრცლად არ განვიხილავ, გვაქვს ხუთი ძირითადი გრამატიკულ-სემანტიკური პრიმიტივი: S, A, P, R, T, რომლებიც იმის მიხედვით ნაწილდებიან წინადადებაში თუ როგორი ტიპის ზმნას შეეწყობიან (გარდამავლობა და ვალენტობა) [1]:

1. ერთვალენტიანი გარდაუვალი – ასეთი ტიპის ზმნას შეეწყობა მხოლოდ ერთი აქტანტი და გამოიხატება როგორც S.

2. ორვალენტიანი გარდამავალი – ამ შემთხვევაში ზმნასთან შეწყობილი პრიმიტივები იქნება A და P.[2]

[1] თსუ, ფილოლოგიის ფაკულტეტის, თეორიული და გამოყენებითი ენათმეცნიერების სადოქტორო პროგრამის პირველი კურსის სტუდენტი

[2] რ. დიქსონი იყენებს შემდეგ პრიმიტივებს: A და O, სადაც O გამოხატავს ობიექტს. ბ. კომრი კი იყენებს A და P პრიმიტივებს, სადაც P შეესაბამება პაციენსს. ამ ორი მიდგომის შეპირისპირებით, ჩვენ ვემხრობით ბ. კომრის თეორიას, ვინაიდან, როდესაც ვსაუბრობთ გრამატიკულ-სემანტიკურ პრიმიტივებზე მათ პროტოტიპებს ვიღებთ სემანტიკური როლებიდან და შესაბამისად, უფრო გამართლებულია P-ს, როგორც პაციენსის გამოყენება, ვიდრე სინტაქსიდან გადმოსული ტერმინისა.

3. ორვალენტიანი გარდაუვალი – ამგვარი ტიპის ზმნას შეეწყობა S და R.

4. სამვალენტიანი გარდამავალი – ასეთ ზმნებთან წარმოდგენილი იქნება A, R და T.

იმის მიხედვით, თუ რომელი გრამატიკულ-სემანტიკური პრიმიტივი როგორაა მარკირებული, განისაზღვრება სხვადასხვა წყობის ენები. შესაბამისად, ერთმანეთს შეიძლება დაუპირისპირდნენ, ერთი მხრივ, A/P ~ S, მეორე მხრივ – T/R ~ P. პირველი ვარიანტის შემთხვევაში ორვალენტიანი გარდამავალი ზმნის პროტოტიპული აგენსი და პაციენსი უპირისპირდება ერთვალენტიან ზმნაში წარმოდგენილ აქტანტს. მეორე შემთხვევაში სამვალენტიანი გარდამავალი ზმნის პროტოტიპული თემა და რეციპიენტი უპირისპირდება ორვალენტიანი გარდამავალი ზმნის პროტოტიპულ პაციენსს. ამის მიხედვით განისაზღვრება ექვსი ტიპის გრამატიკული წყობა, პირველი ტიპის დაპირისპირებისას (A/P ~ S) გამოიყოფა ნომინატიური, ერგატიული და ნეიტრალური წყობები, მეორე ტიპის დაპირისპირებისას (T/R ~ P) გამოიყოფა ინდირექტიული, სეკუნდატიური და ნეიტრალური წყობები [1, 2, 4]**.** მოცემულ სტატიაში განვიხილავთ მხოლოდ ერგატიული წყობის რაობას.

ერგატიული წყობა – ამ ტიპის წყობაში ორვალენტიანი გარდამავალი ზმნის A მარკირებულია განსხვავებულად, ერგატიული ბრუნვით, ხოლო ამავე ზმნის P და ერთვალენტიანი ზმნის S მარკირებულია მსგავსად, აბსოლუტივით. ერგატიული წყობა მრავალ სხვა ენასთან ერთად წარმოდგენილია ბასკურში:

(1) ბასკური

ა. *Martin* *ethorri* *da*
მარტინი.ABS მოვიდა AUX-3SG.S
„მარტინი მოვიდა“ [8].

ბ. *Martin-ek* *haurra* *igorri* *du*
მარტინი-ERG ბავშვი.ABS გაგზავნა AUX.3SG.3SG.P
„მარტინმა გაგზავნა ბავშვი“ [8].

(1) მაგალითის (ა) წინადადებაში მარტინი და (ბ) წინადადებაში ბავშვი მარკირებულია მსგავსად აბსოლუტიური ბრუნვით, ხოლო (ბ) წინადადებაში მარტინი მარკირებულია მათგან განსხვავებულად – ერგატივით. ამ ორი ბრუნვის დაპირისპირების გამო ასეთ წყობას ერგატიულ-აბსოლუტიურ წყობასაც უწოდებენ.

ქართული ენა მიიჩნევა ერგატიულ-აბსოლუტიური წყობის ენად [7, 16], რამდენადაც ქართულში ერგატიულ-აბსოლუტიურ წყობასთან ერთად სხვა გრამატიკული წყობებიც გვხვდება (ნომინატიურ-აკუზატიური, ნეიტრალური), ის ძალიან კარგი მაგალითია ხლეჩილი ერგატიულობის ტიპის ენებისა [1, 8, 10, 11, 12].

ქართულში გრამატიკული წყობები დაყოფილია იმის მიხედვით, თუ რომელ სერიაშია წარმოდგენილი ზმნა. პირველ სერიაში გვხვდება ნომინატიურ-აკუზატიური წყობა:

(2) ა. *კაც-ი გარბის*

ბ. *კაც-ი აშენებს სახლ-ს*

როგორც ვხედავთ, პირველი წინადადების S და მეორე წინადადების A მსგავსადაა მარკირებული ნომინატიურ ბრუნვით, ხოლო P – მათგან განსხვავებულად დატივით.

მეორე სერიაში წარმოდგენილია ერგატიულ-აბსოლუტიური წყობა:

(3) ა. *კაც-ი გაიქცა*

ბ. *კაც-მა ააშენა სახლ-ი*

გარდა ნომინატიურ-აკუზატიური და ერგატიულ-აბსოლუტიური წყობებისა ქართულში ასევე გვხვდება ნეიტრალური წყობა, როდესაც საქმე ეხება პირველი და მეორე პირის ნაცვალსახელებს, მაგ.,

(4) [1] ა. *(მე) დაგჭერი (შენ)*

ბ. *(მე) გავიქეცი*

გ. *(მე) (შენ) წიგნი მოგეცი*

კვლევა

როგორც ზემოთ განხილულ ინფორმაციაში ვნახეთ, ერგატიულობა საკმაოდ კომპლექსური და, შესაბამისად, რთულად ასათვისებელია ბავშვების მიერ. განსაკუთრებით მაშინ, როდესაც ენაში გვაქვს ხლეჩილი ერგატიულობა, ბავშვისთვის რთულია განსაზღვროს სწორი კონსტრუქცია მოთხრობითი ბრუნვის გამოყენებისათვის.

სანამ უშუალოდ ჩვენი კვლევის აღწერასა და შედეგების ანალიზს წარმოვადგენთ, მნიშვნელოვანია ვნახოთ, რას წერენ ქართულში ერგატიულობის ათვისების შესახებ ნ. იმედაძე და კ. ტუიტი. მიცემითი ბრუნვის გამოყენებიდან დაახლოებით 1 თვეში ბავშვის მეტყველებაში ჩნდება მოთხრობითი ბრუნვაც. პრობლემურია ორი ნიშნით წარმოება -მა და -მ, რომელთაგან ბავშვის მეტყველებაში ჯერ -მ ჩნდება. ავტორები ვარაუდობენ, რომ სახელთა უმეტესობა, როლებსაც ბავშვები იყენებენ ხმოვანფუძიანია, ამიტომ -მ-ს უფრო აქტიური გამოყენება აქვს. საინტერესო შემთხვევებია ასევე ორმაგი მოთხრობითის წარმოება, რომელიც დაახლოებით 5 წლამდეც კი შეიმჩნევა ბავშვთა მეტყველებაში (კახაძის დღიურებიდან [5]): ქალმამ და კაცმამ და ბავშმამ წავიდნენ [4, 13].

როგორც ჩვენთვის ცნობილი იყო, ბავშვები დაახლოებით მეორე წლის ბოლოს უკვე იწყებენ მოთხრობითი ბრუნვის გამოყენებას. მიუხედავად ამისა, ჩვენ დღეს ვხვდებით ისეთ შემთხვევებს, როდესაც ბავშვები ექცევიან ნომინატიური წყობის მქონე ენის (ამ შემთხვევაში ინგლისურის) გავლენის ქვეშ და ზოგჯერ არ ითვისებენ, ზოგჯერ კი ივიწყებენ უკვე ათვისებულ მოთხრობით ბრუნვას. ჩვენი კვლევის მიზანი იყო, ერთი მხრივ, დაგვედგინა რამდენად მაღალი სიხშირისაა ეს ტენდენცია, ხოლო, მეორე მხრივ, მოგვეპოვებინა ბავშვის მეტყველების ახალი მონაცემები და ჩანაწერები.

კვლევის მოსამზადებელ ეტაპზე შევარჩიეთ თბილისის №75 საჯარო ბაღი, გავესაუბრეთ გამგეს და მივმართეთ განცხადებით როგორც ბაღს, ისე თბილისის ბაღების გაერთიანებას, მოეცათ ჩვენთვის ბავშვებთან გასაუბრების და აუდიოჩანაწერის გაკეთების უფლება. დასტურის მიღების შემდეგ შევადგინეთ ნებართვის ფორმა, შევხვდით მშობლებს, დეტალურად ავუხსენით ჩვენი კვლევის პროცედურები და მიზნები და თითოეულ მშობელს მოვაწერინეთ ხელი ნებართვის ფორმაზე.

ბავშვის მეტყველების აუდიოჩანაწერის მოსამზადებლად შევარჩიეთ სამი ჯგუფი. აქედან ორი იყო 2-3-წლიანთა ჯგუფი, ხოლო ერთი – 3-4-წლიანი ასაკობრივი კატეგორიისა. ჩვენი მოლოდინი იყო დადასტურებულიყო კითხვაზე პასუხისას საჭირო ადგილას მოთხრობითი ბრუნვის ნაცვლად სახელობითის გამოყენების შემთხვევა. გენდერული განაწილების გაკონტროლება, რა თქმა უნდა, მნიშვნელოვანი იყო, მაგრამ ამის დაბალანსება ვერ მოხერხდა.

თითო ჯგუფში დავყავით 2 დღე. პირველ დღეს მივედით, გავეცანით, მათთან ერთად ჩავერთეთ თითოეულ აქტივობაში. ამან შეამცირა ახალი ადამიანის უეცარი გამოჩენით მიღებული სტრესის მოსალოდნელ რისკები, ბავშვებისთვის შეიქმნა უფრო ნაცნობი და თბილი გარემო.

კვლევისთვის შევარჩიეთ რამდენიმე აქტივობა, რომლებიც უნდა გამოგვეყენებინა საუბრისათვის და კონკრეტულ კითხვებზე სასურველი, ანდაც არასასურველი პასუხების მისაღებად.

ბავშვებს მივუტანეთ გასაფერადებლები, რომლებზეც 3 სხვადასხვა სურათი იყო გამოსახული. ერთ ფოტოზე ბიჭს ეჭირა ბურთი; მეორე ფოტოზე გოგონას ეჭირა ბურთი; მესამე ფოტოზე ერთმანეთს ესროდნენ ბურთს გოგო და ბიჭი. მათ ეს ფოტოები უნდა გაეფერადებინათ და ეპასუხათ კითხვებზე, რომლებიც მოითხოვდა ერგატიულ ბრუნვას:

1. *ვინ დაიჭირა ბურთი?*
2. *ვინ ისროლა ბურთი?*
3. *ვინ ითამაშა ბურთით?*

აქვე გვქონდა საკონტროლო შეკითხვა, რომელიც დაისმებოდა იმ შემთხვევაში, თუკი ბავშვთან ვერ მოვახერხებდით გეგმის მიხედვით გასაუბრებას:

4. *ვინ მოგიყვანა ბაღში?*

გვსურდა, ბავშვებს ამბები მოეფიქრებინათ ამ ფოტოებზე დაკვირვებით და გაბმულ მეტყველებაში დავკვირვებოდით ბრუნვის გამოყენების მაგალითებს.

სამწუხაროდ კვლევის ფარგლებში უამრავი გაუთვალისწინებელი გარემოება გამოვლინდა.

როდესაც ბავშვები იწყებდნენ გაფერადებას, მათ აღარ ჰქონდათ სურვილი სხვა საკითხებზე საუბრისა.

გაუთვალისწინებელი იყო ასევე ის, რომ ვერ შევძელით თანაბარი რაოდენობის გოგოებისა და ბიჭების ჩაწერა, ვინაიდან დამოკიდებული ვიყავით, თუ რამდენი მშობელი მოიყვანდა იმ დღეს ბავშვს ბაღში და ამ ბალანსის დაცვა ჩვენი კონტროლის მიღმა აღმოჩნდა.

საუბარი მიდიოდა სრულიად წამიერი ინტერპრეტაციით. ხშირად იყო შემთხვევები, როდესაც მხოლოდ ერთი კითხვის დასმას ვახერხებდით; „ვინ მოგიყვანა ბაღში“ და მიღებული პასუხით ვცდილობდით დასკვნების გამოტანას. მაგრამ იყო შემთხვევა, როდესაც მოსალოდნელი ერგატივის ნაცვლად ნომინატივში მივიღეთ პასუხი და ამ შემთხვევაში დამატებითი კითხვების საშუალებით ვცდილობდით გადაგვემოწმებინა მიღებული მასალა.

3-4-წლიან ჯგუფში ჩავწერეთ 3 გოგონა და 5 ბიჭუნა (იხ. ცხრილი 1). ცხრილში წარმოვადგენთ მათ ასაკობრივ კატეგორიას, ბავშვებს პირობითად მინიჭებული ექნებათ ნომრები, ვინაიდან, ხელშეკრულების პირობის თანახმად, მათი სახელების გასაჯაროების უფლება შეზღუდული გვაქვს.

ნომერი და სქესი	ასაკი (ჯგ. 3-4)
ბ. № 1	3, 8, 2 [3]
ბ. № 2	4, 0, 11
ბ. № 3	4, 0, 13
ბ. № 4	4, 5, 8
ბ. № 5	4, 7, 1
გ. № 1	3, 9, 10
გ. № 2	3, 9, 28
გ. № 3	4, 7, 22

ცხრილი 1

2-3 წლიან ჯგუფში ჩავწერეთ მონაცემები 2 ბიჭისგან და 4 გოგონასგან, მათი ზუსტი ასაკი ცხრილშია მოცემული (იხ. ცხრილი 2):

ნომერი და სქესი	ასაკი (ჯგ. 2-3)
ბ. № 6	3, 5, 20
ბ. № 7	3, 5, 28
გ. № 4	2, 7, 4
გ. № 5	2, 8, 20
გ. № 6	2, 11, 27
გ. № 7	3, 4, 7

ცხრილი 2

2-3-წლიანი მეორე ჯგუფიდან ჩავწერეთ 5 გოგონა და 2 ბიჭი. დეტალური ინფორმაცია ცხრილშია ასახული (იხ. ცხრილი 3):

[3] ასაკის მითითებისას ვიყენებთ შემდეგ პრინციპს: პირველი ციფრი აღნიშნავს წელს, მეორე – თვეს, მესამე – დღეს, მაგ., 3,8,2 – 3 წლის 8 თვისა და 2 დღის. ყველა სხვა შემთხვევაშიც ასაკი მითითებული იქნება ამ პრინციპის მიხედვით.

ნომერი და სქესი	ასაკი (ჯგ. 2-3)
ბ. № 8	2, 6, 26
ბ. № 9	3, 6, 8
გ. № 8	2, 7, 11
გ. № 9	2, 10, 30
გ. № 10	3, 3, 4
გ. № 11	3, 4, 20
გ. № 12	3, 7, 15

ცხრილი 3

როგორც ცხრილში ხედავთ ჩავწერეთ 9 ბიჭი და 12 გოგო, ყველაზე პატარა ასაკის იყო 2, 6, 26 წლის ბიჭი, ხოლო ყველაზე დიდი ასაკის 4, 7, 22 წლის გოგონა.

როგორც უკვე აღვნიშნეთ, კვლევა მიდიოდა არასტანდარტულად, ვინაიდან დიალოგი დგებოდა იმის მიხედვით, თუ რამდენად შემოვიდოდა ბავშვი კონტაქტში და რამდენად იყო საუბრის საშუალება. გვქონდა ისეთი ხანგრძლივი საუბრების საშუალება, როგორიცაა მაგალითად შემდეგი დიალოგი:

როლური თამაში სათამაშოების დახმარებით, გ. № 7 (3,4)

ინტერვიუერი: სად გტკივა აბა მითხარი?

გ. № 7: ფეხზე.

ინტერვიუერი: ფეხზე გტკივა? რა მოგივიდა ფეხზე?

გ. № 7: მე ლა მომივიდა ფეხზე, მოდიოდა გელი და შემწამა ფეხზე.

ინტერვიუერი: ვინ შეგიჭამა?

გ. № 7: ფეხი შემიჭამა და მეტინა.

ინტერვიუერი: ვინ შეგიჭამა?

გ. № 7: აი, ესე მტივოდა და დავეცი ესე.

ინტერვიუერი: ხოდა, ვინ შეგიჭამა ფეხი?

გ. № 7: გელი შემიჭამა ფეხი.

ინტერვიუერი: მოდი ვუმკურნალოთ, ვნახოთ აბა რა გჭირს.

გ. № 7: მე დავწვები, ექიმის საწოლია, ექიმის საწოლია იცი?

ინტერვიუერი: ხო ვიცი.

გ. № 7: ამაზე უყიდა ექიმის საწოლი ექიმი, იცი? ექიმიმ მოიტანა წამალი.

ინტერვიუერი: ვინ მოიტანა წამალი?

გ. № 7: წამალი მოიტანა ექიმი, ეს ალ გვინდა.

ინტერვიუერი: მე რომ გავაგრძელო შენთან თამაში უნდა ვიცოდე შენი სახელი. რა გქვია შენ?

გ. № 7: ეს გამოწიე, აქ დადე აქ.

ინტერვიუერი: კარგი, ამას აქ დავდებ, მაგრამ შენ მითხარი, რა გქვია?

გ. № 7: მე მითალი სენ ლა გქვია.

ინტერვიუერი: მე მქვია ნათია და შენ რა გქვია?

გ. № 7: მე *** (კონფიდენციალურია).

ინტერვიუერი: ვაიმე, რა ლამაზი სახელი გქვია, *** ბაღში ვინ მოგიყვანა დღეს?

გ. № 7: მე მომიყვანა დედა ბაღსი.

ინტერვიუერი: კარგად ხარ ***?

გ. № 7: ალ ვიცი, ექიმო, წკალი მინდა, ექიმო.

ინტერვიუერი: წყალი გინდა, აი, მოგიტან წყალს, აი გამომართვი.

გ. № 7: დავლიე.

ინტერვიუერი: უკვე კარგად ხარ?

გ. № 7: მე უკვე დავამთავრე წკალი ექიმო.

მცივა, დედა, პლედი მინდა.

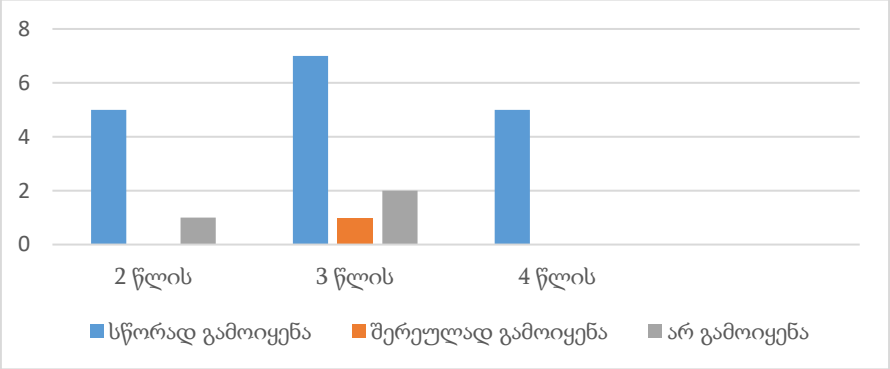
ინტერვიუერი: რა გინდა?

გ. № 7: პლედი მინდა.

ამის პარალელურად გვქონდა ძალიან მოკლე ინტერვიუები, მხოლოდ 1 კითხვით შემოფარგლული, მაგალითად:

გ. № 9 (2,10,30)
ინტერვიუერი: შენ რა გქვია სახელი?
გ. №9: ***
ინტერვიუერი: *** ვინ მოგიყვანა ბაღში?
გ. №9: დედიკომ.

გამოკითხული 21 ბავშვიდან, მხოლოდ 3-მა არ გამოიყენა სწორი ფორმა და 1-მა გამოიყენა შერეული სახით. წარმოვადგინოთ მოცემული შედეგები დიაგრამის სახით.



დიაგრამაზეც ნათლად ჩანს, რომ სწორად გამოყენების შემთხვევები ბევრად ჭარბობს შერეულად ან არასწორად გამოყენების შემთხვევებს.

ყურადღება უნდა გავამახვილოთ ერთ ინტერვიუზე, რომელშიც საერთოდ არ დასტურდება ერგატივის გამოყენება, მაგრამ განსაკუთრებით ამყარებს ჩვენს მოსაზრებას სხვა ენის გავლენის შესახებ:

ბ. № 1 (3,8,2)
ინტერვიუერი: შენ რა გქვია?
ბ. № 1: ***
ინტერვიუერი: შეიძლება რაღაც გკითხო? რამდენი წლის ხარ?
ხელით მაჩვენებს სამს.
ინტერვიუერი: სამი წლის ხარ? ბაღში ვინ მოგიყვანა?
ბ. № 1: მაკო.
ინტერვიუერი: მოიცადე, ვერ გავიგე, ვინ მოგიყვანა?
ბ. № 1: მაკო
ინტერვიუერი: იცი რა მაინტერესებს, ბაღში რას აკეთებთ ხოლმე?
ბ. № 1: ვთამაშობთ.
ინტერვიუერი: რას თამაშობთ?
ბ. № 1: ავაწყობთ.
ინტერვიუერი: ასაწყობები ვინ მოიტანა ბაღში?
ბ. № 1: მე.
ინტერვიუერი: შენ მოიტანე?
ბ. № 1: ხვალ მოვიტან.
ინტერვიუერი: არა აქ რომ არის ის ვინ მოიტანა, ეს ღრუბელი ვინ გააკეთა?
სხვა ბავშვი: ანა მასწავლებელმა.
ინტერვიუერი: აბა ახლა ***-მ გვითხრას.
ბ. № 1: ანა მასწავლებელმა.
ინტერვიუერი: იცი რა მაინტერესებს? რისი კეთება გიყვარს სახლში?

ბ. № 1: იმას, ობობა რომ გალახავს მერე იმას და ...
ინტერვიუერი: ვიდეოებს უყურებ?
ბ. № 1: ხო.
ინტერვიუერი: ვინ გირთავს ხოლმე ვიდეოებს?
ბ. № 1: მამა.
ინტერვიუერი: გუშინ ვინ ჩაგირთო?
ბ. № 1: ტელევიზორი გაფუჭებული იკო.
ინტერვიუერი: აბა სად უყურე?
ბ. № 1: იქა, ჩემ ოთახში რო დავიძინო, ტელეფონი ლო არი.
ინტერვიუერი: და ვინ ჩაგირთო?
ბ. № 1: დედა.

მიუხედავად მცირე რაოდენობის მონაცემებისა, გარკვეული დასკვნების გამოტანა მაინც შესაძლებელია. შედეგებმა აჩვენა, რომ:

ყველაზე მეტი შეცდომა და შერეული გამოყენება დაფიქსირდა სამი წლის ასაკში, აქედან გამომდინარე, შეიძლება ვივარაუდოთ, რომ ბავშვებმა 2 წლის ასაკიდან კარგად იციან სად და როგორ უნდა გამოიყენონ მოთხრობითი ბრუნვა, მაგრამ სამი წლის ასაკი გარკვეულწილად კრიტიკული პერიოდია. ნ. ხარაბაძის კვლევებიც [6] დაახლოებით მსგავს შედეგებს ავლენს. ის ამბობს, რომ 3 წელი არის ეტაპი, როდესაც ბავშვებს უკვე აქვთ გარკვეული გრამატიკული ინფორმაცია, მაგრამ თითქოს გარდამავალი ეტაპია 4 წლის ასაკიდან, სადაც ეს ინფორმაცია უფრო მოწესრიგებული და დალაგებული ხდება. ამას ადასტურებს ჩვენი შედეგებიც, ვინაიდან 4 წლის ასაკში არც ერთ ბავშვს არ დაუშვია შეცდომა ბრუნვის გამოყენებისას; ამ გარდამავალ ეტაპს მოწმობს შერეულად გამოყენების მაგალითიც, როცა ბავშვი გარკვეულ შემთხვევებში სწორად იყენებს მოთხრობითი ბრუნვის მარკერს, გარკვეულ შემთხვევებში – არ/ვერ;

ერგატიულ ენებზე მართლაც გავლენას ახდენს განსხვავებული წყობის ენის აქტიურად მოსმენა. 21 შემთხვევიდან არასწორი გამოყენების მხოლოდ 1 შემთხვევა დაგვიფიქსირდა ისეთი, რომლის აშკარა მიზეზიც ვიდეოების ყურება იყო. საინტერესოა, რა გამოვლინდება, როდესაც კვლევა უფრო ფართო სახეს მიიღებს და ასეულობით ბავშვზე ჩატარდება;

საინტერესოა ისიც, რომ ინტერვიუში, როდესაც ბავშვი არ გამოიყენებს არც ერთი კითხვის პასუხად მოთხრობით ბრუნვას, გვაქვს შემთხვევა, როცა მისი თანაჯგუფელი ამბობს სახელს მოთხრობითის მარკერით: ანა მასწავლებელმა და შემდგომში, კითხვის გამეორებისას ბ. № 1-ც მოთხრობით ბრუნვაში სვამს სახელს, იმეორებს თანაჯგუფელის ნათქვამს. ეს იმის მანიშნებელია, რომ ბავშვს იმიტაციით ათვისების უნარი განვითარებული აქვს და სავარაუდოა, მასთან კომუნიკაციის ნაკლებობა, რაც ასევე ერთ-ერთ მიზეზად ვივარაუდეთ შესავალში.

დასკვნა

მოცემულ ნაშრომზე და კვლევაზე დაყრდნობით გამოვლინდა რამდენიმე მნიშვნელოვანი საკითხი. პირველ რიგში, უნდა აღინიშნოს ის, რომ კვლევა იყო საპილოტე. ჩვენ არ გვაქვს საკმარისი მონაცემები იმისთვის, რომ გადაჭრით ვისაუბროთ ამა თუ იმ საკითხზე, მაგრამ ეს იყო ერთგვარი ნიადაგის მომზადება სამომავლო კვლევისთვის.

ამ კვლევის ფარგლებში გამოვლინდა, რომ გაჯეტებთან ურთიერთობა გარკვეულწილად აფერხებს მეტყველების ათვისების პროცესს, ვინაიდან ბავშვებს, რომლებიც დიდი დროის განმავლობაში უსმენენ ნომინატიური წყობის ენას, უჭირთ ერგატივის გამოყენება საჭირო ადგილას.

მნიშვნელოვანი ფაქტი იყო ისიც, რომ კვლევის ფარგლებში დაფიქსირდა შემთხვევა იმიტაციით საჭირო ფორმის გამეორებისა, რაც ერთ-ერთი აქტუალური პრობლემისკენ მიგვითითებს: ბავშვებთან შემცირებული კომუნიკაცია.

მიუხედავად იმისა, რომ კვლევა იყო საპილოტე და მხოლოდ მცირე რაოდენობით ჩანაწერები გვაქვს წარმოდგენილი, ვფიქრობთ, ეს ჩანაწერები მეტად ღირებულია, ვინაიდან,

ასახავს თანამედროვე მდგომარეობას სკოლამდელი ბავშვების ენის ათვისების პროცესში. მნიშვნელოვანია, ასეთი ჩანაწერების რეგულარულად გაკეთება, რაც სხვადასხვა ახალი კვლევის საფუძველი შეიძლება გახდეს.

Ergative Case Acquisition by Georgian-Speaking Children

Natia Tavadze, Anna Chutkerashvili

Summary

In psycholinguistics, one of the most burning and complex questions concerns language acquisition. This process begins as early as the prenatal stage and continues to develop through communicative interaction in new environments. Scholars investigating language acquisition may pursue various research interests, such as the acquisition of a specific language, mastery of a particular grammatical category, simultaneous acquisition of multiple native languages, among others.

This article reports a pilot study focusing on the acquisition of the ergative case by preschool-aged Georgian-speaking children. The central aim is to examine whether tendencies in acquiring the ergative case have changed. In contemporary contexts, children spend considerable time engaging with technology, listening to and watching audiovisual materials in a nominative-alignment language. This situation prompted one of the principal research questions: to what extent does exposure to a nominative-alignment language (in this case, English, which has deeply penetrated the social sphere) influence languages with ergative alignment? Additionally, we sought to investigate how accurately preschool children use the ergative case and to identify the age range that may be considered most critical in this regard.

Усвоение эргативного падежа у грузиноязычных детей

Натиа Тавадзе, Анна Чуткерашвили

Резюме

В психолингвистике одним из наиболее актуальных и сложных вопросов является исследование усвоения языка. Этот процесс начинается ещё на пренатальном этапе и непрерывно развивается в ходе коммуникативного взаимодействия в новых условиях. Учёные, изучающие усвоение языка, могут преследовать различные исследовательские цели: усвоение конкретного языка, овладение отдельной грамматической категорией, исследование одновременного усвоения нескольких родных языков и др.

В настоящей статье представлен пилотный анализ усвоения эргативного падежа у дошкольников, говорящих на грузинском языке. Основная цель исследования – определить, изменились ли тенденции в усвоении нарративного падежа. В современных условиях дети проводят значительное время за технологиями, слушая и просматривая аудиовизуальные материалы на языке с номинативным строем. Это обстоятельство обусловило одну из ключевых исследовательских задач: выяснить, в какой степени воздействие языка с номинативным строем (в данном случае английского, глубоко проникшего в социум) отражается на языках с эргативным строем. Кроме того, нас интересовало, насколько корректно дошкольники используют эргативный падеж и какой возраст можно считать наиболее критическим в данном отношении.

ლიტერატურა – References – Литература

1. ბარათაშვილი ზ., გარდამავლობა, ვალენტობა და ზმნის აქტანტური სტრუქტურები შუმერულ ენაში, გამომცემლობა „ნეკერი“, თბილისი, 2022;
2. ბარათაშვილი ზ., ზოგიერთი სინტაქსური ტერმინის ქართულად გადმოტანისათვის, საერთაშორისო ტერმინოლოგია: თარგმნა და სტანდარტიზაცია. საერთაშორისო კონფერენცია, თბილისი, საქართველო, 2018;
3. გამყრელიძე თ., კიკნაძე ზ., შადური ი., შენგელაია ნ., თეორიული ენათმეცნიერების კურსი, თსუ-ს გამომცემლობა, თბილისი, 2008;
4. იმედაძე ნ., ბავშვის მიერ ქართულის, როგორც მშობლიური ენის, დაუფლების საიდუმლოებები, ილიას სახელმწიფო უნივერსიტეტის გამომცემლობა, თბილისი, 2017;
5. კახაძე ვ., ორიდან ხუთ წლამდე ბავშვის მეტყველება და მისი განვითარების გზები, გამომცემლობა „განათლება“, თბილისი, 1969;
6. ხარაბაძე ნ., ქართული ენაში ზმნის მორფო-სინტაქსური წესების დაუფლების ნეიროლინგვისტური თავისებურებები სკოლამდელ ბავშვებში (სამაგისტრო ნაშრომი), 2018;
7. Boeder W., The South Caucasian languages, Lingua 115, 2003;
8. Comrie B., Ergativity, Syntactic Typology: Studies in the Phenomenology of Language, The University of Texas Press, 1981;
9. Comrie B., Language Universals and Linguistic Typology: syntax and morphology, The university of Chicago Press, 1989;
10. Dixon, R. M. W. Ergativity. Cambridge Studies in Linguistics 69. Cambridge: Cambridge University Press;
11. Dixon R.M.W., Ergativity, Cambridge University Press, 2002;
12. Dixon R.M.W., Ergativity, Language, Vol.55 No1, 2004;
13. Imedadze N., Tuite K., The Acquisition of Georgian, The Crosslinguistic Study of Language Acquisition Vol. 3, 1992;
14. Malchukov A., Haspelmath M., Comrie B., Studies in Ditransitive Constructions a Comparative Handbook, 2010;
15. Haspelmath M., On S, A, P, T, and R as comparative concepts for alignment typology, Linguistic Typology 15, Walter de Gruyter, 2011;
16. Hewitt B.G., Georgian: Ergative or Active? Lingua 71, 1987.

თანამედროვე AI მოდელებით ვექტორული ძიების ეფექტურობა ქართულ ტექსტებში

ანზორ ქევხიშვილი[1]

akevkhishvili@gmail.com

რეზიუმე

სტატიაში განხილულია თუ რამდენად ეფექტურია თანამედროვე ხელოვნური ინტელექტის (AI) მოდელები, როდესაც საქმე ეხება ქართულენოვანი ტექსტის სემანტიკურ ძიებას. ქართული ენის მდიდარი მორფოლოგიის, აგლუტინაციურობის, სინონიმების და ხშირად გამოყენებული ბარბარიზმებისა და ვებმომხმარებლების მიერ დაშვებული ტიპოგრაფიული შეცდომების გამო, ტრადიციული SQL-ზე დაფუძნებული ძიება ხშირად ვერ უზრუნველყოფს ყველა რელევანტური საძიებო რეზულტატების მიღებას. ამ პრობლემის გადასაჭრელად შეიქმნა სატესტო სისტემა დაფუძნებული Laravel Freimwork-სა და Typesense საძიებო სისტემაზე, რომლის საშუალებით შესაძლებელია ვექტორული ძიების განხორციელება ხელოვნური ინტელექტის სხვადასხვა მოდელის მეშვეობით. ექსპერიმენტში გამოყენებულია სამი AI მოდელი ts/ multilingual-e5-small, ts/ multilingual-e5-large, openai/text-embedding-3-large და მონაცემთა ბაზა, რომელიც შეიცავს ქართული წყაროებიდან აღებული სტატიების 70000 სათაურს ინგლისურ და ქართულ ენაზე. ექსპერიმენტის შედეგად დადგინდა, რომ ვექტორული ძიება მნიშვნელოვნად აღემატება ტრადიციულ „keyword“ ძიებას განსაკუთრებით სიტყვის ბრუნვის და სინონიმების გამოყენების დროს, მაგრამ ასევე კვლევამ აჩვენა რომ ქართულენოვანი სიტყვების ძიების ეფექტურობა 50-80%-ია, რაც მიანიშნებს იმაზე, რომ არსებულ AI მოდელებს ჯერ კიდევ არ გააჩნიათ საკმარისი სასწავლო რესურსი ქართულ ენაზე. კვლევა ყურადღებას ამახვილებს სემანტიკური ძიების სიძლიერესა და პერსპექტივებზე. ასევე ყურადღებას ამახვილებს იმ ფაქტზე, რომ თანამედროვე AI მოდელების უკეთესი ქართულენოვანი მონაცემებით ტრენინგი გააუმჯობესებს სემანტიკური ძიების რეზულტატებს.

საკვანძო სიტყვები:

სემანტიკური ძიება, ვექტორული ძიება, ქართულენოვანი ძიება, ხელოვნური ინტელექტი.

სწორად გამართული საძიებო სისტემა ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი კომპონენტია, როდესაც საქმე ეხება ვებგვერდებზე ინფორმაციის მოძიებას. ხშირად ვებგვერდის მომხმარებელი კონკრეტული სიტყვით ცდილობს მოიძიოს მისთვის სასურველი ინფორმაცია, აქ კი ჩნდება რამდენიმე საკითხი, რომლის ეფექტურად გადაწყვეტა აუცილებელია, რათა ვებგვერდმა მომხმარებელი არ დაკარგოს. როგორც კვლევები აჩვენებს, მომხმარებელი წყვეტს ძიებას და ტოვებს ვებგვერდს, თუ სასურველი შედეგი ვერ მიიღო 2-3 ძიების შემდეგ [1].

განვიხილოთ მომხმარებელმა რატომ ვერ შეიძლება მოახდინოს სასურველი შედეგის მიღება ქართულად ძიების დროს:

1. ქართული ენის მდიდარი მორფოგრაფია. თუ სახელი რომელიმე ბრუნვის ფორმით არის ტექსტში, მაგალითად სიტყვა “თბილისი”, ძიებისას SQL სინტაქსით – SELECT * FROM `articles` WHERE `title` LIKE '%თბილისი%', ვერ იპოვის სტატიას სათაურით „თბილისში წელს ხუთი საერთაშორისო კონფერენცია ჩატარდა“.

[1] საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ინფორმატიკის სადოქტორო პროგრამის სტუდენტი

2. აგლუტინაცია. აფიქსის მექანიკური დაკავშირება სიტყვის ძირთან ან ფუძესთან. წინა საძიებო სიტყვის მსგავსად, სიტყვა *შექმნა* ვერ მოძებნის წინადადებას „ვაკანსია თანამდებობაზე, უფროსი კონტენტის შემქმნელი“.

3. ბარბარიზმები. ხშირად ზოგი პროფესიული მიმართულება (ავტომექანიკა, სამშენებლო და ელექტროსაინჟინრო საქმე) საკმაოდ გაჯერებულია ბარბარიზმებით, რაც ასევე ხელშემშლელია ძიებისთვის, რადგან მომხმარებლის მიერ ნაგულისხმევი სიტყვა შესაძლოა ვებგვერდზე იმ ფორმით არ იყოს წარმოდგენილი, რასაც მომხმარებელი ეძებს შინაარსის მიუხედავად.

4. სინონიმები. ბარბარიზმების მსგავსად, ქართულ ენაში უხვადაა საერთო შინაარსის მქონე სიტყვები.

5. არასწორად ჩაწერილი საძიებო სიტყვა. მაგალითად, „თბლიში“ თბილისის მაგივრად.

1. არსებული ქართული ვებ-გვერდების კვლევა

კვლევისთვის რამდენიმე ქართულ ვებგვერდზე შევამოწმოთ რამდენად კარგად მუშაობს ზემოთ ჩამოთვლილი კომპონენტები.

პირველი სატესტო ვებგვერდია https://www.jobs.ge/

- სიტყვის ძიებისას „სტაჟიორი“ გვაქვს დადებითი რეზულტატი და ვებგვერდი გვიბრუნებს ვაკანსიების ჩამონათვალს, მაგრამ სიტყვაზე „სტაჟიორად“ ვებგვერდი შედეგს არ იძლევა.
- მეორე სიტყვა, რომელსაც ვეძებთ არის „გერმანულენოვანი“ და სასურველი რეზულტატია „გერმანული ენის მასწავლებელი“. ამ შემთხვევაშიც ცარიელ რეზულტატს ვიღებთ.
- მესამე წინადადება, რისი პოვნაცაა საჭირო, არის „შესყიდვების მენეჯერის თანაშემწე“ და ვეძებთ „თანაშემწე“ სიტყვის სინონიმით „დამხმარე“ და ამ შემთხვევაშიც სასურველი რეზულტატი არ მოიძებნა.
- მეოთხე საძიებო სიტყვად გამოვიყენე არასწორად ჩაწერილი სიტყვები „დამხმრე“ და „თანაშემწე“. ორივე საძიებო სიტყვის რეზულტატი ცარიელია.

შემდეგი სატესტო გვერდია https://www.domino.com.ge

- შემდეგი საძიებო სიტყვაა „ბურღი“. სასურველ შედეგებში „სადგამი ბურღვისთვის“. ძიების რეზულტატი დადებითია.
- შემდეგი შემოწმება. არასწორად ჩაწერილ სიტყვად ვიღებთ „კუტხსახეხი“ კუთხსახეხის მაგივრად. ძიების რეზულტატი ცარიელია.
- შევამოწმოთ საიტი თუ აღიქვამს ბარბარიზმებს. საურველი შედეგი არის „კუთხსახეხი მანქანა“ საძიებო ბარბარიზმი სიტყვა „ბარგალკა“ რეზულტატი დადებითია, ძიების შედეგში ჩანს სიტყვის შესაბამისი ჩამონათვალი.

როგორც ეს მცირე კვლევა აჩვენებს ქართულენოვან ვებ-გვერდებზე ქართულად ძიება, უმეტესწილად, არ არის კარგად ოპტიმიზებული.

როდესაც საქმე ეხება ძიების ოპტიმიზაციას, ბოლო დროს ხშირად გამოიყენება ისეთი ხელსაწყოები, როგორებიცაა ხელოვნური ინტელექტი და ვექტორებით ძიება. ვექტორებით ძიება, ასევე ცნობილი როგორც მსგავსებების ძიება, არის ისეთი პროცესი, როდესაც ძიება ხდება ისეთი ელემენტებით, რომლებიც ყველაზე მეტად შეესაბამება მოთხოვნილ ელემენტს. ეს პროცესი ეყრდნობა ვექტორულ დანართებს (vector embeddings), რომელიც მონაცემების სემანტიკურ მნიშვნელობას გამოხატავს, რაც მონაცემების მნიშვნელობითი შედარების საშუალებას იძლევა.

მაგალითად, თუ შევადარებთ სიტყვებს *გერმანული* და *გერმანულენოვანი,* სემანტიკური მსგავსება შეგვიძლია წარმოვიდგინოთ 0.93, ხოლო *გერმანულენოვანისა* და *ინგლისურენოვანის* 0.58-ით. რაც ნიშნავს, რომ რაც უფრო ახლოსაა მსგავსების მნიშვნელობა „1“-თან, მით უფრო მაღალია სიტყვების სემანტიკური მსგავსება, და რაც უფრო ახლოსაა მნიშვნელობა 0-თან, მით უფრო მაღალია მათი განსხვავება.

ზემოთ მოყვანილი მცირე კვლევიდან გამომდინარე, სემანტიკურ ძიებას დიდი პერსპექტივა აქვს, რადგან მას შეუძლია მომხმარებელს აპოვნინოს ისეთი რეზულტატები, რომლების მოძიებაც ჩვეულებრივი ძიებით ვერ ხერხდება.

2. საძიებო გარემოს შექმნა და კონფიგურაცია

ინგლისურენოვან ვებგვერდებზე სემანტიკური ძიების გამოყენება ბოლო წლებში საკმაოდ პოპულარულია და დღითი დღე მეტ პოპულარობას იძენს, რაც განპირობებულია ძიების მაღალი შედეგებით.

სემანტიკური ძიების მთავარი მამოძრავებელი ძალაა ხელოვნური ინტელექტი, კერძოდ, მისი მოდელი და მოდელის ტრენინგის ხარისხი კონკრეტულ საკითხსა და ენაზე.

კვლევისთვის შევქმენი სატესტო გარემო შემდეგი პროგრამული უზრუნველყოფით:

- მონაცემთა ბაზა SqlLite რომელშიც განთავსებულია 70000 სტატიის სათაურები აღებული ქართული წყაროებიდან. მონაცემთა ცხრილების სტრუქტურა შემდეგნაირია id (bigint), title (varchar 255). ექსპერიმენტისთვის ვიყენებ ორ განცალკევებულ ცხრილს ქართულენოვანი და ინგლისურენოვანი დასახელებით.
- საძიებო სისტემისთვის ვიყენებ Php/Laravel Framework-ს და პაკეტს Laravel Scout, რომელსაც ვიყენებ ვექტორული ძიების ინტეგრაციისთვის.
- საძიებო სისტემად გამოვიყენე Typesense, რომელიც საშუალებას იძლევა ხელოვნური ინტელექტის დახმარებით განხორციელდეს ვექტორული ძიება.

საძიებო სისტემის კონფიგურაციაში კვლევის მიზნებისთვის გამოყენებული იქნება ხელოვნური ინტელექტის შემდეგი მოდულები:

- ts/ multilingual-e5-small
- ts/ multilingual-e5-large
- openai/text-embedding-3-large

სრული სისტემის კონფიგურაცია მოყვანილია დანართში.

3. ქართულენოვანი ტექსტის სემანტიკური ძიება.

კვლევისთვის შერჩეული იქნა რამდენიმე სიტყვა, რომელიც აჩვენებს ქართული ენის სპეციფიკას და გამოამჟღავნებს რეზულტატებს შემდეგი მიმართულებით:

- ზუსტი რეზულტატი
- სინონიმი
- ბარბარიზმი
- ტიპოგრაფიული შეცდომა
- შინაარსობრივად მსგავსი სიტყვა

მაგალითად, ვიღებ სიტყვას „თბილისი“ და ინგლისურ შესატყვისს „Tbilisi“. შემდეგ თითოეული სიტყვისთვის ცალ-ცალკე ვამოწმებთ ვექტორულ ძიებას შემდეგნაირად:

- ვეძებ სიტყვას *თბილისი* და ველოდები, რომ რეზულტატებში მივიღებ ისეთ სიტყვებს როგორებიცაა (თბილისი, თბილისში, თბილისთან და ა.შ).
- ვეძებ არასწორად ჩაწერილს სიტყვას მაგალითად „ტბილისი“ და ველოდები რომ რეზულტატებში სწორ სიტყვას ვიპოვი.
- ასევე ვეძებ სიტყვას „დედაქალაქი“ და ველოდები რეზულტატს, სადაც გამოყენებული იქნება სიტყვა დედაქალაქი, ან მისი შესატყვისი, ან სინონიმი, მაგალითად, თბილისი, ვაშინგტონი, ლონდონი და ა.შ.

მოდელები შეფასდა შემდეგი კრიტერიუმებით:

- ზუსტი დამთხვევა,
- სინონიმის ამოცნობა,
- ტიპოგრაფიული შეცდომის ამოცნობა და სწორი სიტყვის დაბრუნება,
- ნაწილობრივი შესაბამისობა,
- არასწორი შედეგი.

ძიების ყველაზე მაღალი რეიტინგის შედეგები გამოიყურება შემდეგნაირად:

3.1. AI მოდელი ts/multilingual-e5-small

საძიებო სიტყვა	ზუსტი დამთხვევა	სინონიმი	Typo (შეცდომით აკრეფილი)	ნაწილობრივი შესაბამისობა	არ არის შესაბამისობაში
თბილისი	90%				10%
Tbilisi	70%		10%		20%
დედაქალაქი	10%	80%			10%
capital city	40%	10%		70%	
მსაჯული	10%	30%		60%	

3.2 AI მოდელი ts/multilingual-e5-base

საძიებო სიტყვა	ზუსტი დამთხვევა	სინონიმი	Typo (შეცდომით აკრეფილი)	ნაწილობრივი შესაბამისობა	არ არის კავშირში
თბილისი	50%			30%	20%
Tbilisi	10				
დედაქალაქი	30%	50%		20%	
capital city	80%	10%		1%	
მსაჯული	10%	30%		60%	

3.2. AI მოდელი openai/text-embedding-3-large

საძიებო სიტყვა	ზუსტი დამთხვევა	სინონიმი	Typo (შეცდომით აკრეფილი)	ნაწილობრივი შესაბამისობა	არ არის კავშირში
თბილისი	50%			30%	20%
Tbilisi	80%	20%			
დედაქალაქი	10%	60%		30%	
capital city	80%	10%		10%	
მსაჯული		30%		70%	

4. დასკვნა

ერთის მხრივ, როგორც ზემოთ ჩატარებული მცირე კვლევიდან ჩანს, პირდაპირი Sql ძიებისგან განსხვავებით, სადაც მხოლოდ ზუსტი რეზულტატის პოვნაა შესაძლებელი, ქართული ტექსტის შემთხვევაში ვექტორებით ძიება გაცილებით მეტ შესაძლებლობას

იძლევა. ვექტორული ძიებით შესაძლებელია, როგორც ძირი სიტყვის, ისე მისი ბრუნვების, სინონიმების და მსგავსებების პოვნაც. ასევე, ამ სახის ძიებას შეუძლია არასწორად ჩაწერილი სიტყვებითაც კი იპოვოს რეზულტატი. მეორეს მხრივ, იკვეთება ასეთ ძიებაში არსებული მოდელების არასრულყოფილი მხარდაჭერა ქართული ენის მიმართ. ძირითად შემთხვევაში ძიების სიზუსტე შეადგენს 50-80%, რაც მიანიშნებს, რომ დღეისათვის თანამედროვე AI მოდელებს არ გააჩნიათ საკმარისი ქართულენოვანი სასწავლო ბაზა, რათა დაფარონ ამ უზუსტობის დიდი ნაწილი.

დანართი

სატესტო სისტემის მომზადება და კონფიგურაცია:

- composer global require laravel/installe
- laravel new georgian-search-demo
- cd georgian-search-demo
- php artisan make:model EnArticle -m
- php artisan make:model GeArticle -m
- მიგრაციაში ვამატებთ ველებს $table->string('title', 255);
- php artisan migrate
- composer require laravel/scout
- php artisan vendor:publish --provider="Laravel\Scout\ScoutServiceProvider"
- config/scout.php-ში ვაახლებთ ჩანაწერებს 'driver' => env('SCOUT_DRIVER', 'typesense'), და

```
'embed'=>[
   'from'=>['title'],
   'model_config'=>[
      'model_name'=>'ts/multilingual-e5-small
   ]
]
```

- Article მოდელში შემოგვაქვს use Laravel\Scout\Searchable; use Searchable; თრეითი.
- ასევე ვამატებთ public function toSearchableArray(): array

```
{
   return [
      'id' => (string) $this->id,
      'title' => $this->title_ge,    ];
}
```

ძიების ძრავში შეგვაქვს მონაცემები, რომელიც მონაცემთა ბაზაშია განთავსებული.

- php artisan scout:import "App\Models\GeArticle"
- php artisan scout:import "App\Models\EnArticle" [3]

მონაცემების ინდექსაციის შემდეგ ვამოწმებთ შეიქმნა თუ არა ვექტორები. ამისთვის სერვერზე, სადაც typesense არის გაშვებული, ვუშვებთ შემდეგ ბრძანებას,

- curl http://localhost:8108/collections/ge_articles/documents/1 -H "X-TYPESENSE-API-KEY:<Typesense-api-key>

პასუხად სისტემისგან ველოდებით შემდეგი სახის მასივს:

{"created_at":1756377962,"embedding":[0.29327431321144104,-0.13493508100509644, ...]}

თუ embedding-ში მოცემულია ზემოთ ნაჩვენები ციფრების მასივი, ეს მიანიშნებს, რომ ვექტორები შექმნილია და შეგვიძლია გადავიდეთ ძიების ტესტირებაზე.

ძიებისთვის ვქმნით კონტროლერს და მისამართს, სადაც მოვახდენთ ძიებას შემდეგნაირად,

- php artisan make:controller SearchController

ვამატებთ მისამართს

/search ./routes/web.php-ში, “Route::*get*('/search', [SearchController::class, 'search']);”

რის შემდეგაც SearchController-ში ვქმნით ძიების ფუნქციას,

```
public function search(Request $request)
{
   $query = $request->input('q');
   $results = GeArticle::search($query)
      ->options([
         'query_by' => 'embedding',
         'exclude_fields' => 'embedding'
      ])
      ->get();
   return response()->json($results);
}
```

ძიების ტესტირების დროს GeArticle და EnArticle შევცვლით საძიებო ენის მიხედვით.
და ბოლოს ვუშვებთ ლოკალურ სერვერს ბრძანებით, php artisan serve.
ამის შემდეგ შეგვიძლია დავიწყოთ ძიების რეზულტატების კვლევა.

Evaluating the Efficiency of Vector Search in Georgian Texts with Modern AI Models

Anzor Kevkhishvili

Summary

This study examines the performance of artificial intelligence (AI) models in semantic search for the Georgian language. Due to complex morphology, agglutination, synonyms, frequent borrowings, and typos made by web users, traditional SQL-based search often fails to retrieve all relevant results in Georgian. To address this issue, a prototype system was developed using the Laravel framework and the Typesense search engine to perform vector semantic search using different AI models. Three AI models, ts/multilingual-e5-small, ts/multilingual-e5-large, and openai/text-embedding-3-large, and a dataset of 70,000 article titles in Georgian and English were used in the experiment. The results show that vector search significantly outperforms traditional keyword search, especially in handling inflections and synonyms. However, the study also shows that the efficiency of semantic search in Georgian remains at 50-80%, indicating that existing AI models still lack the resources to train in Georgian. The study highlights both the strengths and potential of semantic search, and also emphasizes that more efficient training of AI models on Georgian data will further improve search results.

Оценка эффективности векторного поиска в грузинских текстах с использованием современных моделей искусственного интеллекта

Анзор Кевхишвили

Резюме

В этом исследовании изучается эффективность современных моделей искусственного интеллекта (ИИ) в семантическом поиске для грузинского языка. Из-за сложной морфологии, агглютинации, синонимов, частых заимствований и опечаток, допускаемых веб-пользователями, традиционный поиск на основе SQL часто не может получить все релевантные результаты на грузинском языке. Для решения этой проблемы был разработан прототип системы с использованием фреймворка Laravel и поисковой системы Typesense, позволяющей выполнять векторный семантический поиск с использованием различных моделей ИИ. В эксперименте использовались три модели ИИ: ts/multilingual-e5-small, ts/multilingual-e5-large и

openai/text-embedding-3-large, а также набор данных из 70 000 заголовков статей на грузинском и английском языках. Результаты показывают, что векторный поиск значительно превосходит традиционный поиск, по ключевым словам, особенно в обработке словоизменений и синонимов. Однако исследование также показывает, что эффективность семантического поиска на грузинском языке остаётся на уровне 50–80%, что указывает на то, что существующим моделям ИИ по-прежнему не хватает ресурсов для обучения грузинскому языку. Исследование подчёркивает как сильные стороны, так и потенциал семантического поиска, а также подчёркивает, что более эффективное обучение моделей ИИ на данных на грузинском языке ещё больше улучшит результаты поиска.

ლიტერატურა – References – Литература

1. Illhoi Yoo, A. S. (2015, Jul 3). Retrieved from pmc.ncbi.nlm.nih.gov: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4526974/?utm_source=chatgpt.com
2. Kogan, G. (2023, Jun 22). *What is Vector Search? 2024 Guide for Developers*. Retrieved from https://www.pinecone.io: https://www.pinecone.io/learn/vector-search-basics
3. Retrieved from Laravel: https://laravel.com/docs/12.x. 2025

სტამბა დამანი
Print House Damani

თბილისი, პ. ჩანჩიბაძის ქუჩა 6
☎ 214 34 01, 577 33 38 57
stamba.damani@gmail.com
სტამბა დამანი / Print House Damani