

ISSN 0135-0765

DOI: <https://doi.org/10.36073/0135-0765>

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის

არჩილ ელიაშვილის სახელობის მართვის სისტემების ინსტიტუტი

შრომათა კრებული

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

ИНСТИТУТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ИМЕНИ АРЧИЛА ЭЛИАШВИЛИ
ГРУЗИНСКОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
СБОРНИК ТРУДОВ

№27, 2023



თბილისი * Tbilisi * Тбилиси

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
არჩილ ელიაშვილის სახელობის მართვის სისტემების ინსტიტუტი

შრომათა კრებული

ყოველწლიური რეცენზირებადი და რეფერირებადი სამეცნიერო ჟურნალი

Annual peer-reviewed scientific journal

Ежегодный рецензируемый научный журнал

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

PROCEEDINGS

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

СБОРНИК ТРУДОВ

№27, 2023

თბილისი * TBILISI * ТБИЛИСИ

შრომათა კრებულში ძირითადად დაბეჭდილია ინსტიტუტის თანამშრომელთა მიერ 2023 წელს ჩატარებული სამეცნიერო კვლევების შედეგები და, ასევე, სტატიები სტუდენტთა მონაწილეობით.

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

The research results carried out mainly by the institute's scientists through 2023 as well as articles with the participation of students are printed in the proceedings.

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

Настоящий сборник трудов в основном содержит результаты исследований, проведенных научными сотрудниками института в 2023 году и также статьи с участием студентов. Труды отражают три главных научных направления исследований института: теорию управления, разработку систем и устройств управления, в том числе управление в энергетических системах, и информатику.

მთავარი რედაქტორი

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

სარედაქციო კოლეგია

სტუ არჩილ ელიაშვილის სახელობის მართვის სისტემების ინსტიტუტი:

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

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

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

ნ. ჯავაშვილი (მთ. რედაქტორის მოადგილე)

მ. გეგეჭკორი (პასუხისმგებელი მდივანი)

მ. მიქელაძე, აკად. დოქტორი

გ. ჩიკოძე, ფილოლ. მ.დ., ფიზ.მათ.მ.კ.

ა. ჩუტკერაშვილი, აკად. დოქტორი

ნ. მირიანაშვილი, ტ.მ.დ.

დ. ფურცხვანიძე, ტ.მ.კ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი:

ა. ფრანგიშვილი, აკადემიკოსი

ზ. გასიტაშვილი, პროფესორი

ზ. წვერაიძე, პროფესორი

აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

ა. ბარდაველიძე, პროფესორი

იოჰანეს კეკლერის უნივერსიტეტი, ლინცი, ავსტრია

თ. კუცია, პრიატ-დოცენტი, დოქტორი

ინსტიტუტის მისამართი:

0186 თბილისი, ე. მინდელის ქ.№10

ტელ.: (+995 32) 319871

ელ.ფოსტა: martsistem@gmail.com

ვებგვერდი: <http://gtu.ge/msi/>



კრებული ეძღვნება აკადემიკოს
მინდია სალუქვაძის 90-ე წლისთავს

The proceedings is dedicated to the 90th
anniversary of Academician Mindia Salukvadze

Сборник трудов посвящается 90-летию
академика Миндии Салуквадзе

სარჩევი – Contents – Содержание

მართვის თეორია – Control Theory – Теория Управления

The Formulation of Optimization Problems with Vector Functionals.....	9
<i>M. Salukvadze</i>	
Identification of closed-loop nonlinear systems using a nonlinear model with linear feedback	14
<i>B. Shanshiashvili</i>	
დისკრეტული ოპტიმიზაციის ერთი დინამიური ამოცანის შესახებ	22
<i>ქ. კუთხაშვილი</i>	
One Transportation Problem Solving Algorithm	27
<i>D. Sikharulidze, N. Dadiani</i>	
ოპტიმალური მართვის ამოცანა საფრენი აპარატის მაგალითზე	31
<i>დ. ცინცაძე, ქ. ოშიაძე, ნ. დადიანი</i>	
კვების პროდუქტების ნარჩენი ტენშემცველობის ავტომატური რეგულირების სისტემის შემუშავება და კვლევა	35
<i>ა. ბარდაველიძე, ბ. ბარდაველიძე</i>	

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

მცენარეთა წვეთოვანი მორწყვის ავტომატური სისტემა დისტანციური მართვით	45
<i>ნ. ყავლაშვილი, ო. ქართველიშვილი, ლ. გვარამაძე, ვ. ბახტაძე</i>	
წვეთოვანი ავტომატური მორწყვის სისტემის არხების ტიპური სტრუქტურა	52
<i>ნ. ყავლაშვილი, ლ. გვარამაძე, პ. სტავრიანიძე, ვ. ბახტაძე</i>	
Analysis and forecasting of innovative opportunities and their main prospective	59
<i>ა. ჭირაქაძე, ზ. ბუაჩიძე, ა. გიგინეიშვილი, ი. ნადირაძე</i>	
ორგანოზომილებიანი ხორკლიანობის ფორმის გავლენა თბოგაცემაზე ვერტიკალური მილის გარე ზედაპირზე წყლის აფსკის ჩამოდინების დროს	64
<i>გ. გიგინეიშვილი, თ. მაგრაქველიძე, ა. მიქაშავიძე, ტ. კობერიძე, ხ. ლომიძე, ლ. მაკრაჩიძე</i>	
უახლოეს ათწლეულებში საქართველოს ელექტროენერჯით უზრუნველყოფის ზოგიერთი საკითხის შესახებ	70
<i>თ. მაგრაქველიძე, ხ. ლომიძე, მ. ჯანიკაშვილი, ი. არჩვაძე</i>	
ლაბორატორიული დანიშნულების თბური ტუმბოს ექსპერიმენტული დანადგარი	76
<i>ნ. მირიანაშვილი, ნ. არაბიძე, თ. ბულია, ქ. კვირიკაშვილი, ფ. მშვილდაძე</i>	
მოზილური რობოტის დისტანციური მართვის სისტემები	81
<i>დ. ფურცხვანიძე, ნ. გმელიშვილი, ვ. ბახტაძე, ქ. კვირიკაშვილი</i>	
ვერტიკალურდერძიანი ქარის ტურბინის გამოყენების პერსპექტივები	88
<i>გ. ურუშაძე, ნ. შენგელია, ნ. დოდონაძე</i>	
ჰიდროაგრეგატის ბრუნთა რიცხვის რეგულირების ოპტიმალური კანონი	91
<i>პ. ჯოხაძე</i>	

ინფორმატიკა – Informatics – Информатика

სტატისტიკური ზმნების მორფოლოგიური ტეგები ქართულ-ინგლისური გრამატიკული ლექსიკონისათვის.....	99
<i>გ. ჩიკოიძე, ა. ჩუტკერაშვილი, ნ. ჯავაშვილი</i>	
სახელთა გრამატიკული ფორმების გენერირება ქართულ- ინგლისურ ლექსიკონში.....	108
<i>ლ. ლორთქიფანიძე, ლ. მაკრახიძე</i>	
დიალოგური სისტემის ანალიზატორის პროგრამული იმპლემენტაცია.....	114
<i>მ. კლოიანი, ლ. ლორთქიფანიძე</i>	
Adjectives in English and Georgian languages	124
<i>N. Amirezashvili</i>	
ზოგიერთი არათვლადი არსებითი სახელის მრავლობითი რიცხვის წარმოების საკითხები და მათი შესაბამისობები ქართულსა და ინგლისურში	130
<i>ლ. სამსონაძე</i>	
1832 წლის შეთქმულების კრიპტოგრაფიის მეთოდი	136
<i>მ. ცერცვაძე</i>	
ცოდნის წარმოდგენა იშვიათი დაავადებების მკურნალობის ინტელექტუალურ სისტემაში	144
<i>მ. მიქელაძე, ვ. რაძიევსკი, ნ. ჯალიაბოვა, ყ. ფალავა</i>	
იშვიათი დაავადებების დიაგნოსტიკისათვის საჭირო ინსტრუმენტალურ-ლაბორატორიული კვლევების ეფექტური დაგეგმვა	148
<i>ნ. ანანიაშვილი, მ. მიქელაძე</i>	
იშვიათი დაავადებების სიმპტომატური მკურნალობის შერჩევა.....	155
<i>ნ. ანანიაშვილი, მ. მიქელაძე</i>	
სამედიცინო მხარდამჭერი ინტელექტუალური სისტემის შექმნა მკურნალობის ამოცანათა გადასაწყვეტად.....	160
<i>ვ. რაძიევსკი, მ. მიქელაძე, დ. რაძიევსკი, ი. ოკონიანი</i>	
სამკურნალო პრეპარატების არჩევა „იდეალურ პრეპარატთან“ მათი სიახლოვის საფუძველზე.....	166
<i>ვ. რაძიევსკი, მ. მიქელაძე, დ. რაძიევსკი, ი. ოკონიანი</i>	
მონაცემთა რბოლის ანალიზი და გამკლავების გზების კვლევა OpenMP-ს პარადიგმაში	170
<i>თ. ბახტაძე, ი. როდონია, მ. გეგეჭკორი</i>	
ინტერფეისების მოდელირება ბიზნეს-პროცესების მართვის სისტემებისათვის	180
<i>თ. სუხიაშვილი</i>	

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

მზის ფოტოელექტრული სადგურის ეფექტურობის გაზრდის პრინციპები	187
<i>პ. ჯოხაძე, ნ. ბერიძე</i>	
სათბურის კონტროლისა და მონიტორინგის სისტემა	199
<i>გ. გიორგანაშვილი, ა. კობიაშვილი, მ. გეგეჭკორი</i>	
ბარემ ნაწილაკის ფორმალურ-სემანტიკური ანალიზი	201
<i>ნ. თავაძე</i>	
ნაცვალსახელის ანაფორული მიმართება ქართულში.....	208
<i>ნ. ჯვარიძე</i>	

მართვის თეორია

CONTROL THEORY

ТЕОРИЯ УПРАВЛЕНИЯ

აკადემიკოს მინდია სალუქვაძის დაბადების 90-ე წლისთავთან დაკავშირებით, მისი ხსოვნის პატივსაცემად (რომელსაც კრებულის ეს ნომერი ეძღვნება), გათვალისწინებულ ბატონი მინდიას მონოგრაფიის „Vector-Valued Optimization Problems in Control Theory“ II თავის „The formulation of Optimization Problems with Vector Functionals“ მცირე ნაწილს.

წარმოდგენილ გამოკვლევაში ასახულია წლების განმავლობაში ბატონი მინდიას მიერ მართვის თეორიის ერთ-ერთ ძირითად მიმართულებაში, კერძოდ, ვექტორულ ოპტიმიზაციაში მიღებული მნიშვნელოვანი შედეგები.

სარედაქციო კოლეგია დარწმუნებულია, რომ წინამდებარე მონაკვეთი თვალნათლივ ასახავს ბატონი მინდიას მეცნიერული მუშაობის სტილს და, ნაწილობრივ მაინც, წარმოაჩენს მის უდიდეს ღვაწლს ტექნიკური სისტემების მართვის თეორიის ფუნდამენტური პრობლემების დამუშავების საქმეში.

მონოგრაფიის ამ ნაწილის გამოქვეყნებით არჩილ ელიაშვილის სახელობის მართვის სისტემების ინსტიტუტი კიდევ ერთხელ მიაგებს პატივს ბატონი მინდია სალუქვაძის ნათელ ხსოვნას.

The Formulation of Optimization Problems with Vector Functionals

Mindia Salukvadze

1. The General Mathematical Formulation of the Problem

We formulate a new statement of the problem of optimizing of a vector functional. The idea of such a formulation was presented in the author's works [1,2]. Let each element of some space Z define a system $S(Z)$, which is characterized by some vector performance index $I=I(I_1, \dots, I_k)$. In each a situation each element of the space Z , defining the system $S(Z)$, will have associated with it a definite point with coordinates $I_1(z), I_2(z), \dots, I_k(z)$ in the space of performance indices $I(Z)$. So, for example, for the element $z \in Z$, the system $S_z \in S(Z)$, will have the performance indices $I_1(z), I_2(z), \dots, I_k(z)$, defining a point $I(z) \in I(Z)$.

We let $z_\alpha \in Z$ be an element of the space Z for which

$$I_\alpha(z_\alpha) = \sup_{z \in Z} I_\alpha(z), \alpha = 1, 2, \dots, k$$

This means, that for the element $z_\alpha \in Z$ only the performance index $I_\alpha(z)$ assumes its optimal value.

We consider the Euclidean space $I(Z)$ with coordinates $I_1(Z), I_2(Z), \dots, I_k(Z)$. Let the values $I_\alpha(z_\alpha), \alpha = 1, 2, \dots, k$ be given. It is always possible to say, that there exists an element $z^* \in Z$ forming a system $S_{z^*} \in S[Z]$, for which, in the space $I(Z)$, the values of the functionals $I_1(z^*), I_2(z^*), \dots, I_k(z^*)$ will be the best (in some agreed sense) approximation to the true optimal values of these functionals $I_1(z_1), I_2(z_2), \dots, I_k(z_k)$. As a criterion for such an approximation, it is possible to take any positive-definite function of the variables $I_1(z), I_2(z), \dots, I_k(z)$. We let $R(Z)$ denote such a function which forms one or another metric in the space $I(Z)$.

Definition. An element $z^* \in Z$ optimizes the system S in the $R(Z)$ -sense if

$$R(z^*) = \inf_{z \in Z} R(z) \tag{1}$$

Consequently, the problem of optimizing the system S with a vector criterion may be formulated as: given $S[Z], I(Z), R(Z)$, find $z^* \in Z$.

As noted in the last chapter, the vector optimization problem was considered in much the same spirit in [3]; however, it is important to emphasize the essential difference between the problem statement, given above and that in [3]. Recently, these ideas have been developed in the works [4-12].

2. A Statement of Optimal Trajectory Programming Problems with a Vector-Valued Criterion

We present a statement of the problem in the same form as it was given in [1]. Let the system dynamics be given by the differential equations

$$\dot{x}=f(x(t), u(t), t), \tag{2}$$

which are defined in some region $N(x(t), U(t)) \geq 0$ of state space $x(x_1, \dots, x_n)$ and control space $u(u_1, \dots, u_m)$, $t \in \tau$, $\tau=[t_0, T]$. The right side of the expression (2) is a vector with coordinates $f_1(x, u, t), f_2(x, u, t), \dots, f_n(x, u, t)$, which are assumed to be continuously differentiable functions in the variables x, u and t .

Let some admissible class of controls U be given where $u \in U$ assumes values in the region $N \geq 0$. Also, let there be given a vector functional

$$I(u)=\phi(x(t), u(t), t) \tag{3}$$

with components

$$I_\alpha(u)=\phi_\alpha(x(t), u(t), t), \alpha = 1, 2, \dots, k \tag{4}$$

It is assumed, that the functions $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n$ have continuous first partial derivatives with respect to all arguments in the region $N \geq 0$ for $t \in \tau$.

Let the boundary values for the vector $x(t)$ be

$$X(t_0) = x_0, x(T) = x_T, \tag{5}$$

where T is free. Symbolically, we denote this as $(i, f)=0$.

Using known procedures, for each $\alpha = 1, 2, \dots, k$, we determine the optimal control

$$u^{(\alpha)}=u^{(\alpha)}(t, x_0, x_T), \alpha = 1, 2, \dots, k \tag{6}$$

for each scalar functional $I_\alpha(u)$.

Here the vector $u^{(\alpha)}$ has components $u_1^{(\alpha)}, \dots, u_m^{(\alpha)}$ and is the optimal control vector under which the scalar functional $I_\alpha(u) = \phi_\alpha(x(t), u(t), t)$ assumes its optimal value along the trajectory of the system (2.2), which passes between the boundary points (5). Naturally, there are different periods of time T_1, \dots, T_k associated with the control vectors $u^{(\alpha)}, \alpha = 1, 2, \dots, k$. Moreover, when optimizing each scalar functional, additional conditions may be taken into account such as construction of the region $N \geq 0$ specific boundary conditions and also the class $V^{(\alpha)}$ of admissible controls.

We compute the value of the vector

$$I^*(u)\{I_1(u^{(1)}), I_2(u^{(2)}), \dots, I_k(u^{(k)})\} \tag{7}$$

Its components are known numbers.

We consider the Euclidean norm

$$R(u)=\|I(u) - I^*(u)\|^2 = \sum_{\alpha=1}^k [I_\alpha(u) - I_\alpha(u^{(\alpha)})]^2, \tag{8}$$

where the vector $I(u) - I^*(u)$ is defined for all admissible controls $u \in V$. Obviously, the set of admissible controls V must be the maximal restriction of all the admissible $V^{(1)}, \dots, V^{(k)}$.

Definition. We will say that the control $u^0(t, x_0, x_T)$ optimizes the vector functional (2.3) if the inequality

$$R(u^0) \leq R(u) \tag{9}$$

is satisfied for any admissible control u , we call such a control optimal relative to the vector functional.

Problem. Given the equation (2), the boundary conditions (5), the vector functional (3) and the class V of admissible controls, determine a control $u^0(t, x_0, x_T)$, optimizing the vector functional. In the

language of the preceding section, here the control vector $u(t)$ plays the role of z and determines the motion of the system (2). As a criterion of approximation $R(Z)$, we choose the expression (2.8), while the meaning of the equality (1) is embodied in the inequality (9).

Remark 1. It is assumed that in the original problem all the variables and functionals are reduced to dimensionless form. If not, then instead of minimizing the expression (8) we must consider minimizing the sum of squares of the relative deviation of the functionals (4) from their nominal optimal values (7), i.e. we minimize the function

$$R(u) = \left\| \frac{I(u) - I^*(u)}{I^*(u)} \right\|^2 = \sum_{\alpha=1}^k \left[\frac{I_{\alpha}(u) - I_{\alpha}(u^{(\alpha)})}{I_{\alpha}(u^{(\alpha)})} \right]^2 \quad (10)$$

A generalized form of the approximation function $R(S)$ is to take the norm

$$R_L(u) = \left(\sum_{\alpha=1}^k [I_{\alpha}(u) - I_{\alpha}(u^{(\alpha)})]^L \right)^{\frac{1}{L}}, L \geq 1 \quad (11)$$

which for $L=1$ reduces to a linear combination of the components of the vector $I(u) - I^*(u)$, for $L=2$ it coincides with the Euclidean norm $\|I(u) - I^*(u)\|$ and for $L=\infty$ the supremum norm

$$R_{\infty}(u) = \max_{\alpha} \{ |I_{\alpha}(u) - I_{\alpha}(u^{(\alpha)})| \mid \alpha = 1, 2, \dots, k \} \quad (12)$$

Remark 2. It is natural to let T be either free or fixed. In particular, if the numbers T_1, \dots, T_k do not differ too greatly from each other, then the time T must also not deviate too greatly from these values. Moreover, it makes sense to consider the case when T is fixed and equals, for instance, $T = \frac{1}{k} \sum_{\alpha=1}^k T_{\alpha}$ or $T \leq \max\{T_{\alpha} \mid \alpha = 1, 2, \dots, k\}$.

A geometrical interpretation of the problem. We consider the Euclidean space for the vector $I(u)$. The sum (8) is the square of the distance from the point corresponding to the control u to the point having coordinates $I_1(u^{(1)}), I_2(u^{(2)}), \dots, I_k(u^{(k)})$. We call this latter point the ideal (or utopian) point. The problem consists in choosing a control u which minimizes this distance over a time T , which does not deviate too much from the numbers T_1, \dots, T_k .

A physical interpretation of the problem. If the vector $u^0(t, x_0, x_T)$ minimizes (8), then it will be the vector, under which the functionals $I_{\alpha}(u^0), \alpha = 1, 2, \dots, k$ assume values as near as possible to the numbers $I_1(u^{(1)}), I_2(u^{(2)}), \dots, I_k(u^{(k)})$.

The sense of this approximation is as follows: we assume, that we have chosen some scalar functional I_{α} , determined the desired class of admissible controls $V^{(\alpha)}$ for it and found the optimal control $u^{(\alpha)}$. The number $I_{\alpha}(u^{(\alpha)})$ we take as the index of quality of the system, which may be achieved in an ideal case. The ideal case is that in which the total control resources are used for achieving the optimal value for only one of the criteria. Moreover, in this ideal case it is possible, in general, to follow two different directions characterized by the choice of the class of admissible controls and also by the choice of boundary conditions for optimization of each scalar functional taken individually. In actuality, we may not ignore the other performance indices and often, in order to achieve an improvement in the system, relative to the set of all these indices, we must operate in a more restricted class of admissible controls.

For the chosen control u^0 , there takes place some deterioration of each performance index $I_{\alpha}(u)$, if taken separately (in comparison with that value obtained, if we would optimize only with respect to that particular criterion); however, this deterioration is spread throughout the whole set of criteria $I_{\alpha}(u)$ and is as small as possible.

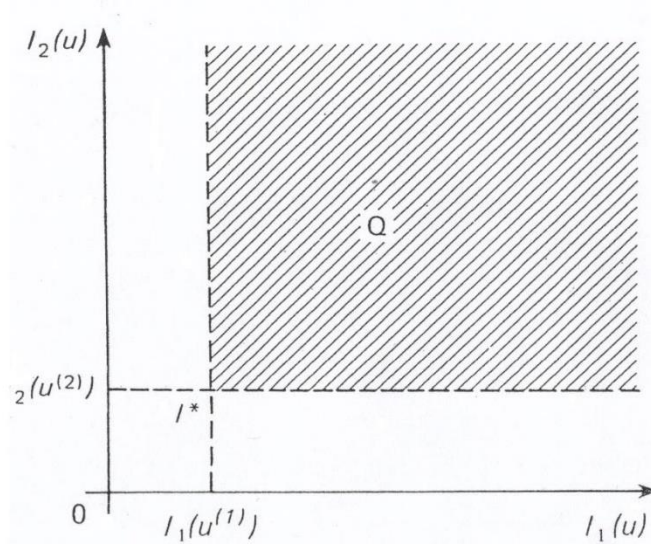
Remark 3. The usual approach to the problem of optimizing k functionals is to minimize the sum $\sum_{\alpha} \lambda_{\alpha} I_{\alpha}(u)$. Here it is assumed, that the weighting coefficients are given exactly, i.e. the weights of the functionals $I_{\alpha}(u), \alpha = 1, 2, \dots, k$, are known exactly. However, this is possible only in a few cases.

Let us now assume, that the statement of the vector optimization problem is freed from the constraint of knowing the weights of the functionals. We seek a control which uniformly approximates the values of the functionals $I_{\alpha}(u^0)$ to their optimal values $I_{\alpha}(u^{(\alpha)})$. There are now opportunities for other forms of approximation.

Remark 4. Here we have formulated the problem of programming optimal trajectories. Usually, it is also possible to formulate the problem of analytic construction of a regulator

$u^0(t,x)$, which optimizes the vector functional. Again it is relevant to emphasize the essential difference of the given problem statement from that, which was given in section 6 of Chapter I.

1. The choice of the numbers $I_1(u^{(1)}), I_2(u^{(2)}), \dots, I_k(u^{(k)})$ is stipulated in a unique fashion. In the space of the vector $I(I_1, \dots, I_k)$ this means the following (see figure below for a simple illustration of the case $k=2$). Let the point I^* have coordinates $I_1(u^{(1)}), I_2(u^{(2)}), \dots, I_k(u^{(k)})$.



Then it is clear, that optimization of the vector functionals (2.3) is possible only in the shaded positive octant Q . But this means that as a measure of the approximation of the vector $I(u)$ to the point I^* , we may choose not only the Euclidean norm (8) or (10), but also (11) for any $L \geq 1$ and the linear function

$$R(u) = \sum_{\alpha=1}^k c_{\alpha} [I_{\alpha}(u) - I_{\alpha}(u^{(\alpha)})] \quad (13)$$

for constants $c_{\alpha} > 0$ given in advance. We can also use any continuous positive function $R(u)$ defined on Q .

2. Assignment of the boundary values (5) may be carried out in a different manner for each optimization taking the functionals $I_{\alpha}(u)$ separately, but then for optimization of the function $R(u)$ these conditions must reflect a basic and not auxiliary aspect of the problem.
3. In each particular optimization problem, the set of admissible controls is particular to that problem. Since the statement of the vector optimization problem is developed for the set of admissible controls V , which is itself restricted by $V^{(1)}, \dots, V^{(k)}$, the position of the point I^* depends upon the structures of the sets $V^{(1)}, \dots, V^{(k)}$. The value $\min_{u \in V} R(u)$ will be minimal in the case when the point I^* is also defined for $u \in V$.

3. Flight at a Prescribed Altitude

We illustrate the given problem statement by an example from the book [13]. The equations of flight of an aircraft at a given altitude under reasonable assumptions may be expressed in the form (11).

We introduce the boundary conditions:

$$(i): x_i = 0, v_i = v_0, m_i = m_0, \quad (14)$$

$$(f): x_f = x_T, v_f = v_T, m_f = m_T$$

Here v_0, m_0, v_T, m_T are given numbers since the values x_T and T are free. As a functional we take

$$\Delta G = -x_T, \quad (15)$$

the minimum of which corresponds to maximizing the distance x_T .

Now among the admissible x, v, m, β we find that curve which minimizes the functional (15). According to the maximum principle [14], we form the function

$$H = v\psi_1 - \frac{Q}{m}\psi_2 + \left(\frac{c}{m}\psi_2 - \psi_3\right)^\beta \quad (16)$$

And write the equation for the co-state vector $\psi\{\psi_1, \psi_2, \psi_3\}$

$$\begin{aligned} \dot{\psi}_1 &= 0 \\ \dot{\psi}_2 &= -\psi_1 + \frac{Q_v}{m}\psi_2 \\ \dot{\psi}_3 &= \frac{1}{m} \left[Q_m + \frac{c\beta - Q}{m} \right] \end{aligned} \quad (17)$$

Here

$$Q_v = \frac{\partial Q}{\partial v}, \quad Q_m = \frac{\partial Q}{\partial m}$$

ლიტერატურა -References-Литература

1. Salukvadze, M. E. On the Optimization of Vector Functionals,1. Programming Optimal Trajectories, ABT, No.8,1971.
2. Salukvadze, M. E. On the Optimization of Vector Functionals,2. Analytic Construction of Optimal Regulators. ABT, No.9,1971.
3. Salama, A. I. A., and Gourishankar, V., Optimal Control of Systems with a Single Control and Several Cost Functionals, Int. J. Control, Vol. 14, No.4,1971.
4. Yu, P. L. A Class of Solutions for Group Decision Problems, Center for System Science 71-06, Graduate School of Management, University of Rochester, Rochester, New York,1972.
5. Yu, P. L. Introduction to Domination Structures in Multicriteria Decision Problems. Systems Analysis Program, Working Paper Series No. F-7219, Graduate School of Management, University of Rochester, Rochester, New York,1972.
6. Freimer, M., and Yu, P. L. The Application of Compromise Solutions to Reporting Games, Systems Analysis Program, Working Paper Series No. F-7219, Graduate School of Management, University of Rochester, Rochester, New York,1972.
7. Yu, P. L. Nondominate Investment Policies in Stock Markets (Including and Empirical Study). Systems Analysis Program, Working Paper Series No. F-7222, Graduate School of Management, University of Rochester, Rochester, New York,1972.
8. Yu, P. L. Cone Convexity, Cone Extreme Points and Nondominated Solutions in Decision Problems with Multiobjectives, Center for System Science 72-02. Graduate School of Management, University of Rochester, Rochester, New York,1972.
9. Freimer, M. and Yu, P.L., An Approach toward Decision Problems with Multiobjectives. Center for System Science 72-03. Graduate School of Management, University of Rochester, Rochester, New York,1972.
10. Yu, P.L., and Zeleny, M., The Set of all Nondominated Solutions in the Linear Cases and Multicriterial Simplex Method, Center for System Science 73-03. Graduate School of Management, University of Rochester, Rochester, New York,1973.
11. Yu, P. L., and Zeleny, M., On Some Linear Multi-Parametric Programs. Center for System Science 73-05. Graduate School of Management, University of Rochester, Rochester, New York,1973.
12. Yu, P. L. and Leitmann, G., Compromise Solutions, Domination Structures and Salukvadze's Solution. Center for System Science 73-08. Graduate School of Management, University of Rochester, Rochester, New York,1973.
13. Krasovskii, N." The Theory of Controlled Motion", Izd. Nauka,1968.
14. Pontriagin L. S., et al., "The Mathematical Theory of Optimal Processes", Fizmatgiz,1961

Identification of closed-loop nonlinear systems using a nonlinear model with linear feedback

Besarion Shanshiashvili

besoshan@hotmail.com

Abstract

A problem of parameter identification of the nonlinear systems with feedback in the frequency domain at the system input harmonic influences is considered. The system is represented by a nonlinear model with linear feedback, the nonlinear element of which is described by a polynomial function of the second degree and the linear element – by the ordinary differential equation, taking into account the peculiarities of the functioning of such systems. The solution of the problem of parameter identification based on the method of the least squares is reduced to the solution of the algebraic equations. The identification method allows us to determine the static characteristics in the stationary state, and dynamic characteristics in the steady state by using the Fourier approximation. The parameter identification method is investigated in terms of accuracy.

Keywords:

nonlinear system, identification, parameter, feedback, equation.

1. Introduction

Most real practical systems are nonlinear and possess many "inconvenient" features from the point of view of managing the control process.

An important class of nonlinear systems consists of closed-loop nonlinear systems that function with positive feedback. Such systems are defined by the fact, that a part of the initial material remained unprocessed up to the required condition, when passing through to the working part of the object, returns to the entry of this object forming the basis of the recirculation stream. Such closed-loop systems with positive feedback are characterized by the maximum raw material utilization and comparatively high efficiency [1]. Systems with feedback are widespread in industrial processes, particularly in metallurgical, mining, chemical, pulp-and-paper industries, ecology, etc.

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

The choice of automatic control type for any manufacturing process depends on the amount of existing information on the condition of the system formalized in the form of a mathematical model.

Methods of mathematical modeling or systems identification can be used to formalize processes in the production systems. When using systems identification methods, it is necessary to solve various problems while building a mathematical model of the system. These problems arise depending on the a priori information about the system [2]. The construction of the system's optimal model in many respects depends on successfully solving the parameter identification problems at the known model structure.

The nonlinear systems are generally represented by block-oriented models consisting of various connections of nonlinear static and linear dynamic elements [3] or general models, in particular, the Volterra [4] and Wiener [5] series and the Kolmogorov-Gabor [6-7] continuous and discrete polynomials.

When building models of nonlinear systems with feedback the circumstance that there is certain a priori information about the system should be taken into consideration. For example, for the mill of ore-dressing plant working with the feedback, proceeding from their functioning conditions, there is certain information about the static characteristic and system sluggishness, which is considered in the form of linear dynamic elements [8]. Therefore, block-oriented models can be used for the representation of systems with feedback.

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

This work uses the characteristics of nonlinear production systems with positive feedback to determine the mathematical equations describing the nonlinear model with linear feedback.

In this work, the problem of parameter identification of the closed-loop nonlinear systems when their feedback channel is represented by a nonlinear model with linear feedback based on the observation of the system's input and output variables at the input harmonic influences is considered. The offered parameter identification method allows determining the first part of the parameters – static characteristics in the stationary state, followed by dynamic parameters estimation in the steady state by using the Fourier approximation based on the least squares method. The developed parameter identification method is investigated on accuracy.

2. Classes of model and input signals

Let's consider the nonlinear model with linear feedback for the presentation of the feedback channel of nonlinear closed-loop systems (Fig. 1).

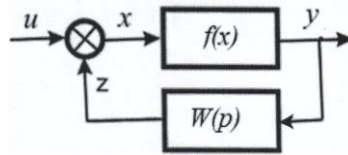


Fig. 1. Nonlinear model with linear feedback

This model is described by the equations:

$$z = W(p) f[u(t) + z], \quad (1)$$

where $w(p)$ is the transfer functions 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 of nonlinear systems it is supposed that the input variable of the system $u(t)$ is a harmonic function:

$$u(t) = A \sin \omega t + B. \quad (2)$$

3. Mathematical equations of the nonlinear model with linear feedback

To determine the mathematical equations of the mentioned model in a clear form, let's take advantage of the peculiarities of the functioning of practical feedback systems.

Based on a priori information, which is obtained taking into account the features of the functioning of systems with feedback [9], it is supposed the nonlinear static element, which is part of block-oriented models with feedback, is described by a second-degree polynomial function:

$$f(x) = c_1 x + c_2 x^2 \quad (3)$$

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

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

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

Considering the expression (3), we get:

$$f^{-1}(y) = -\beta + \sqrt{\beta^2 + \frac{1}{c_2} y}, \quad (5)$$

where from a physical point of view, there is a positive sign in front of the radical in (2) and

$$\beta = \frac{c_1}{2c_2}. \quad (6)$$

For this model, we have:

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

If we consider (4) and (5) in the expression (7), as a result of a number of transformations we get:

$$\dot{y} = -\frac{2}{T} y + \frac{2c_2}{T} \left\{ [T\dot{u}(t) + u(t) + y + \beta] \sqrt{\beta^2 + \frac{1}{c_2} y - \beta^2} \right\}. \quad (8)$$

Let's introduce the designation:

$$v = \sqrt{\beta^2 + \frac{1}{c_2} y}. \quad (9)$$

Then (8) is reduced to the following form:

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

Taking into account (4) and (5), you will get the following equations:

$$y = c_2 v^2 - c_2 \beta^2 \quad (11)$$

and

$$T\ddot{z} + \dot{z} = y(t), \quad (12)$$

4. Mathematical description of output forced oscillations

In order to solve the parameter problem, it is necessary to solve Riccati differential equation (10) taking into account (2), and then to solve equations (11) and (12). At the same time, it is necessary to take into account the stability conditions of the steady motion at the output of the closed-loop nonlinear systems.

For the nonlinear systems with feedback, it was obtained [8], that the implementation of the following conditions:

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

and

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

where \bar{u} - a value of the input signal for some steady state, guarantees the system stability. Therefore, for the nonlinear model with linear feedback, it is supposed that the conditions (13) - (14) are valid.

According to the above-mentioned, for the solution of Riccati equations (10), corresponding to the model, it is possible to use the method of a small parameter and to search for the solution of the equations in the form of the following series:

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

where μ is a small parameter.

If considering (2) in equation (10), we get:

$$\dot{v} = -\frac{1}{T}v + \frac{c_2}{T}v^2 + \frac{1}{T}A \sin \omega t + A\omega \cos \omega t + \frac{1}{T}B + \frac{1}{T}(\beta - c_2\beta^2). \quad (16)$$

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

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

The smallness of c_2 ensures rapid convergence of the solution (9). If in the expression (9) members of the second and higher orders small values are not taken into account, we can be limited to two members:

$$v(t) = v_0(t) + c_2v_1(t). \quad (18)$$

If we put (11) in equation (4) and equate coefficients of terms with the same degree c_2 on the right and left sides of the equation, we get:

$$\dot{v}_0 = -\frac{1}{T}v_0 + \frac{1}{T}A \sin \omega t + A \cos \omega t + \frac{1}{T}B + \frac{1}{T}(\beta - c_2\beta^2), \quad (19)$$

$$\dot{v}_1(t) = -\frac{1}{T}v_1(t) + \frac{1}{T}v_0^2. \quad (20)$$

Equations (19) and (20) are first-order linear ordinary differential equations. If we solve equation (19) with zero initial condition and consider the obtained solution in equation (20), then by solving it also at zero initial conditions we get in the established state:

$$v = B_1 + c_2B_1^2 + \frac{c_2A^2}{2} + A \sin \omega t + \frac{2c_2AB_1}{\sqrt{1 + \omega^2T^2}} \sin(\omega t - \varphi_1) - \frac{c_2A^2}{\sqrt{1 + 4\omega^2T^2}} \cos(2\omega t - \varphi_2), \quad (21)$$

where

$$B_1 = B + \beta - c_2\beta^2, \quad (22)$$

$$\varphi_1 = \arctg \omega T,$$

$$\varphi_2 = \arctg 2\omega T.$$

If we insert the expression (21) into (11) and do not take into account members of the second and higher order's small values during the calculation, then in the established state we get:

$$y = c_2B_1^2 - c_2\beta^2 + 2c_2AB_1 \sin \omega t. \quad (23)$$

If we solve the differential equation (12) taking into account the expression (23), then we get in the established state:

$$z = c_2B_1^2 - c_2\beta^2 + \frac{2c_2AB_1}{1 + \omega^2T^2} \sin \omega t - \frac{2c_2AB_1\omega T}{1 + \omega^2T^2} \cos \omega t. \quad (24)$$

5. Parameter identification

Block-oriented models are widely used for the identification of non-linear systems, but the majority of block-oriented models with the feedback are nonlinear concerning the parameters and the analytical solution of the parameter identification problem is possible for some low-order models.

Most of the parameter identification methods are developed for opened models (e.g., [10-14]) using nonlinear block-oriented models.

In the works [15-17] is offered a method of parameter identification of nonlinear systems with feedback that allows defining dynamic parameters in a transitive mode. However, when determining the dynamic characteristics, it is necessary to calculate the derivatives based on experimental data related to the acceptance of errors.

It is necessary to note that there are also other approaches (e.g., [18-19]) to the identification of nonlinear systems by using feedback.

5.1. Identification of static parameters

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

$$(1 - c_1)x - c_2x^2 = u. \quad (25)$$

Static parameters estimates by the least squares method were previously obtained [15-17] using expressions (25):

$$\hat{c}_1 = 1 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i^4\right)\left(\sum_{i=1}^n u_i x_i\right) + \left(\sum_{i=1}^n x_i^3\right)\left(\sum_{i=1}^n u_i x_i^2\right)}{\left(\sum_{i=1}^n x_i^2\right)\left(\sum_{i=1}^n x_i^4\right) - \left(\sum_{i=1}^n x_i^3\right)^2}, \quad (26)$$

$$\hat{c}_2 = \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i^2\right)\left(\sum_{i=1}^n u_i x_i^2\right) + \left(\sum_{i=1}^n x_i^3\right)\left(\sum_{i=1}^n u_i x_i\right)}{\left(\sum_{i=1}^n x_i^2\right)\left(\sum_{i=1}^n x_i^4\right) - \left(\sum_{i=1}^n x_i^3\right)^2}. \quad (27)$$

In expressions (26) - (27) - $u_i, x_i (i = 1, 2, \dots, n)$ are the values of the system's input and total variables in the steady state at the moment $t_i (i = 1, 2, \dots, n)$.

5.2. Identification of dynamic parameter

The application of the Fourier approximation [20] for the output periodic signal of the Hammerstein model enables us to obtain the estimates of the Fourier coefficients: $a_0/2, a_1, b_1$.

By equating the estimate \hat{b}_1 with its theoretical values from (24), and considering (22), we'll get:

$$\hat{b}_1 = \frac{2c_2AB + c_1A}{1 + \omega^2 T^2}. \quad (28)$$

From (28), we get:

$$\hat{b}_1 + \hat{b}_1 \omega^2 T^2 = 2c_2AB + c_1A. \quad (29)$$

Using the expression (29) at different frequencies $\omega = \omega_i (i = 1, 2, \dots, n)$, we obtain:

$$\hat{b}_1 \omega_i^2 T_0 + \varepsilon_i = 2c_2AB + c_1A - \hat{b}_1, \quad (30)$$

where $\hat{b}_1 (i = 1, 2, \dots, n)$ - values of the Fourier coefficient at the frequency ω_i and $\varepsilon_i (i = 1, 2, \dots, n)$ - errors of measurements and approximations, and

$$T_0 = T^2. \quad (31)$$

Let's consider the features for T parameter estimation by the method of least squares using the expression (30).

The error squared sum is:

$$S = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^n \left(2c_2AB + c_1A - \hat{b}_1 - \hat{b}_1 \omega_i^2 T_0\right)^2. \quad (32)$$

If we differentiate (32) by T_0 , we'll obtain:

$$\frac{dS}{dT_0} = -2 \sum_{i=1}^n (2c_2 AB + c_1 A - \hat{b}_i - \hat{b}_i \omega_i^2 T_0). \quad (33)$$

Equating (33) to zero, we'll obtain the following expression for estimating \hat{T}_0 :

$$\sum_{i=1}^n (2\hat{c}_2 AB \hat{b}_i \omega_i^2 + \hat{c}_1 A \hat{b}_i \omega_i^2 - \hat{b}_i^2 \omega_i^2) = \sum_{i=1}^n \hat{b}_i^2 \omega_i^3 T_0. \quad (34)$$

If we take into account (31), from the expression (34) we get:

$$T = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (2\hat{c}_2 AB \hat{b}_i \omega_i^2 + \hat{c}_1 A \hat{b}_i \omega_i^2 - \hat{b}_i^2 \omega_i^2)}{\sum_{i=1}^n \hat{b}_i^2 \omega_i^3}}. \quad (35)$$

\hat{T} can be also obtained by using expression a_1 and compare the estimates obtained using b_1 .

6. Accuracy of the received results

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

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

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

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

We used both the tool package Simulink-toolbox for the system modeling and the tool Symbolic Math Toolbox for the solution of the equations.

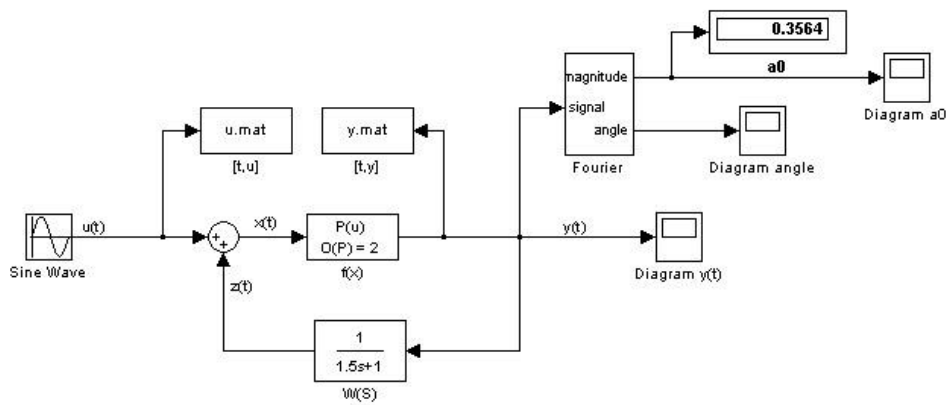


Fig. 2. Scheme for the nonlinear model with linear feedback.

During the experiment, at the parameter values: $T=1,5$, $c_1=0,3$, $c_2 = 0.02$, the following parameter values were obtained for this model by calculations: $T=1.4949$, $c_1 = 0.2341$, $c_2 = 0.0121$.

Computer modeling confirmed the correctness of the results obtained from the theoretical studies and the expediency of using them to solve practical problems.

7. Conclusions

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

The method of parameter identification of nonlinear systems with feedback in the steady state at their representation by the nonlinear model with linear feedback based on active experiments under input sinusoidal influences is offered in the given work. Analytical expressions of forced oscillations obtained at the system output are used to solve parameter identification problems.

At the parameter identification under the determined input influences static parameters are estimated first, followed by dynamic parameters estimation based on the least squares method. The developed parameter identification method is investigated on accuracy.

უკუკავშირიანი არაწრფივი სისტემების იდენტიფიკაცია არაწრფივი მოდელის გამოყენებით წრფივი უკუკავშირით

ბესარიონ შანშიაშვილი

რეზიუმე

განხილულია უკუკავშირიანი არაწრფივი სისტემების პარამეტრული იდენტიფიკაციის ამოცანა სიხშირულ არეში სისტემის შემავალი ჰარმონიული ზემოქმედებისას. სისტემა წარმოდგენილია არაწრფივი მოდელით წრფივი უკუკავშირით, რომლის არაწრფივი ელემენტი აღიწერება მეორე ხარისხის პოლინომიური ფუნქციით, ხოლო წრფივი ელემენტი - ჩვეულებრივი დიფერენციალური განტოლებით, ასეთი სისტემების ფუნქციონირების თავისებურებების გათვალისწინებით. პარამეტრული იდენტიფიკაციის ამოცანის ამოხსნა უმცირესი კვადრატების მეთოდით დაყვანილია ალგებრული განტოლებების ამოხსნამდე. იდენტიფიკაციის მეთოდი საშუალებას გვაძლევს განვსაზღვროთ სტატიკური მახასიათებლები სტაციონარულ მდგომარეობაში, ხოლო დინამიური მახასიათებლები დამყარებულ მდგომარეობაში ფურიეს აპროქსიმაციის გამოყენებით. პარამეტრული იდენტიფიკაციის მეთოდი გამოკვლეულია სიზუსტის თვალსაზრისით.

Идентификация нелинейных систем с обратной связью с применением нелинейной модели с линейной обратной связью

Виссарион Шаншиашвили

Резюме

Рассматривается задача параметрической идентификации нелинейных систем с обратной связью в частотной области при входных гармонических воздействиях. Система представлена нелинейной моделью с линейной обратной связью, нелинейный элемент которой описывается полиномиальной функцией второй степени, а линейный элемент – обыкновенным дифференциальным уравнением с учетом особенностей функционирования таких систем. Решение задачи идентификации параметров на основе метода наименьших квадратов сводится к решению алгебраических уравнений. Метод идентификации позволяет определять статические характеристики в стационарном состоянии и динамические характеристики в установившемся

состоянии с помощью аппроксимации Фурье. Метод идентификации параметров 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. Eykhoff, P. System identification. Parameter and state estimation. John Wiley and Sons Ltd, London, 1974.
3. Haber R., Keviczky L Identification of nonlinear dynamic systems. In: Preprints of the IV IFAC Symposium on Identification and System Parameter Estimation, part 1. Institute of Control Sciences, Moscow, 1976, pp. 62-112.
4. Volterra V. Theory of functionals and of integral and integro-differential equations. Dover Publ., New York, 1959.
5. Wiener N. Nonlinear problems in random theory. Wiley, New York, 1958.
6. Kolmogorov A. N. Interpolation and extrapolation of stationary random series. Bulletin of the Academy Sciences of USSR, Mathematical series. No. 5, 1941, pp. 3-14.
7. Gabor L, Wilby PL., Woodcock 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. Arefiev B.A. Inertial processes optimization. Mashinostroenie, Leningrad, 1969. (in Russian).
9. Shanshiashvili B. Features and models of operation of closed-loop nonlinear systems. Archil Eliashvili Institute of Control Systems of the Georgian Technical University. Proceedings, № 25. Tbilisi. 2021, pp. 9-15.
10. Shanshiashvili B.G. Frequency method for identification of a model structure of nonlinear continuous-time systems. Preprints of the 9 th IFAC/IFORS Symposium on Identification and System Parameter Estimation, vol. 1, Budapest, 1991, pp. 640 – 643.
11. Giri F., Bai E-W. (Eds). Block-oriented nonlinear system identification. Springer, Berlin, 2010.
12. Schoukens M., Tiels K. Identification of block-oriented nonlinear systems starting from linear approximations: A survey. Automatica, vol. 85, 2017, pp. 272-292.
13. Giordano G., Sjöberg J. Maximum Likelihood identification of Wiener-Hammerstein system with process noise. IFAC-PapersOnLine, vol. 51, issue 15, 2018, pp. 401-406.
14. 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.
15. 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.
16. 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.
17. 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.
18. Burghi T., Schoukens M. and Sepulchre R Feedback for nonlinear system identification. Proceedings of the 18th European Control Conference (ECC), 2019, pp. 1344-1349.
19. 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.
20. Hamming R. W. Numerical methods for scientists and engineers. Dover Publications Inc., New York, 1987.

დისკრეტული ოპტიმიზაციის ერთი დინამიკური ამოცანის შესახებ

ქეთევან კუთხაშვილი

kkutkhashvili@yahoo.com

რეზიუმე

მრავალი წარმატებული კომპანიის გამოცდილების მაგალითზე შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ უძლიერესი კონკურენციის პირობებში ეკონომიკური და საწარმოო საქმიანობის დაგეგმვა არის მათი გადარჩენის, ეკონომიკური ზრდისა და კეთილდღეობის უმნიშვნელოვანესი პირობა. ტექნოლოგიების განვითარებამ ხელი შეუწყო მონაცემებისა და ინფორმაციის დიდი ნაკადების დამუშავებას. ეკონომიკური ამოცანების უდიდესი რაოდენობა ეყრდნობა ისეთ მონაცემებს, რომლებიც დისკრეტული ბუნებისაა და ძალიან ხშირად არასტაბილურია, რაც იმას ნიშნავს, რომ მონაცემები დაგეგმვის პროცესში შეიძლება შეიცვალოს.

ნაშრომში შემოთავაზებულია დაგეგმვის ერთი დინამიკური ამოცანის გადაჭრის ალგორითმი, რომლის ასაგებად გამოყენებულია გრაფთა თეორიის მეთოდის მოდიფიცირებული ვერსია, რაც შტოებისა და საზღვრების მეთოდის სახელწოდებითაა ცნობილი. გამოყენებულია აგრეთვე დინამიკური დაპროგრამების მეთოდი.

საკვანძო სიტყვები:

დისკრეტული; ოპტიმალური; განრიგი; დინამიკური მოდელი; ალგორითმი.

შესავალი

ისეთი საწარმოს ან კომპანიის მუშაობის გრძელვადიანი დაგეგმვის პროცესი, სადაც ძალიან დიდი რაოდენობის მონაცემების დამუშავებაა საჭირო, თანამედროვე მათემატიკური მეთოდებისა და კომპიუტერული გამოთვლების გარეშე წარმოუდგენელი ხდება. ხშირად საჭიროა გადაწყვეტილების მიღება ინფორმაციის უზარმაზარი ნაკადისა შეზღუდვათა რაიმე სისტემის ფარგლებში, რაც ჩასატარებელ ღონისძიებათა გარკვეული გარემოებებით განისაზღვრება. იმისათვის, რომ უფრო ეკონომიკური, დასაბუთებული და სწორი გადაწყვეტილება მოვიღოთ, მეცნიერული მეთოდების გამოყენება ხდება საჭირო. ერთ-ერთ ასეთ მეთოდს მათემატიკური მოდელირება წარმოადგენს. მათემატიკური მოდელის აგება რთული პროცესია, რადგან მოდელი ერთი მხრივ ზუსტად უნდა ასახავდეს ფიზიკურ თუ ეკონომიკურ პროცესს და მეორე მხრივ, უნდა იყოს იმგვარი, რომ მისი შესაბამისი ალგორითმი ამოცანის ამოხსნას და, შედეგების მიღებას რეალურად შესაძლო დროში იძლეოდეს.

განსახილველი ამოცანების შესაბამისად არსებობს უწყვეტი და დისკრეტული მათემატიკური მოდელები. ფიზიკური თუ დაგეგმვის ეკონომიკური ამოცანების უმრავლესობა სწორედ დისკრეტული მათემატიკური მოდელებით აღიწერება. როგორც წესი ასეთი ამოცანები კომბინატორული ხასიათისაა და ოპტიმალური გადაწყვეტილების მისაღებად სრულ გადარჩევას საჭიროებს, რაც თავის მხრივ მონაცემების რაოდენობის ზრდასთან ერთად გამოთვლების რაოდენობის ზრდას იწვევს. ამიტომ მათთვის არაპოლინომიალური ალგორითმების აგება, არცთუ მარტივი საქმეა. ალგორითმის სირთულეს ერთი მხრივ იმ მონაცემთა მოცულობა, რომელიც საჭიროა ამოცანის

გადასაჭრელად, ხოლო მეორე მხრივ ამ მონაცემებზე დადებული შეზღუდვები განსაზღვრავს [2, 3]. ამოცანის ამოსახსნელად დახარჯული მანქანური დროს დამოკიდებულება მონაცემთა მოცულობაზე განსაზღვრება ფუნქციით, რომელიც შეიძლება იყოს პოლინომიალური ან არაპოლინომიალური. ალგორითმის ხარისხის შესაფასებლად სწორედ ეს კრიტერიუმი გამოიყენება. თუმცა შესაძლოა პოლინომიალური ალგორითმიც იყოს არაეფექტური, თუ პოლინომის ხარისხი ძალიან მაღალია. ამიტომ, ინტერესმოკლებული არ არის თუნდაც უკვე არსებული ალგორითმის გაუმჯობესება პოლინომის ხარისხის დაწვევის შემთხვევაში [2].

როგორც უწყვეტ, ასევე დისკრეტულ შემთხვევაში ამოცანები შეიძლება დავყოთ სტატიკურ და დინამიკურ ამოცანებად. ამოცანის დინამიკური ხასიათი ალგორითმის აგებას კიდევ უფრო აართულებს. დისკრეტული ოპტიმიზაციის ამოცანების ერთ-ერთი მიმართულებაა კალენდარული დაგეგმვის ამოცანების კვლევა.

ნაშრომში განხილულია კალენდარული დაგეგმვის ერთი დინამიკური ამოცანა და შემოთავაზებულია მისი გადაჭრის ალგორითმი. დაგეგმვის ამოცანების კლასის ჩამოყალიბება დაკავშირებულია 1950-იანი წლების დასაწყისში ეკონომიკური პრობლემების მათემატიკური პროგრამირების მეთოდებით გადაჭრის ერთ-ერთ პირველ მცდელობასთან. მას შემდეგ მნიშვნელოვნად გაიზარდა ამ პრობლემების გადაჭრის აქტუალობა. მათი გადაწყვეტის მიდგომების დიაპაზონი გაიზარდა, მაგრამ ამავე დროს, მათი განხორციელების სირთულეები რჩება. დინამიკური ამოცანების გადაჭრის მეთოდები ძირითადად ემყარება დინამიკური დაპროგრამების (DP) მეთოდს, რომელიც თავის მხრივ ემყარება ოპტიმალურობის პრინციპს, რომელიც 1953 წელს ჩამოაყალიბა ამერიკელმა მათემატიკოსმა რ.ე.ბელმანმა. DP ალგორითმები მრავალსაფეხურა ალგორითმებია და ყოველ საფეხურზე უნდა შეირჩეს სტრატეგია, რომელიც ითვალისწინებს შემდგომ საფეხურებზე მომქმედ ზემოქმედებას და საბოლოო ჯამში ოპტიმალურ ამოხსნამდე მიგვიყვანს [1].

ამ კვლევაში დინამიკური დაგეგმვა ხორციელდება თითოეული დავალების ვადის გათვალისწინებით, ნაკადის დამუშავების დროს წარმოქმნილი დატვირთვების საფუძველზე და დავალებათა შესრულება ხდება უწყვეტი ერთსაფეხურა სისტემით. პროცესორები ნაწილობრივ ურთიერთშეცვლადია. დავალებათა შესრულების თანმიმდევრობა შეზღუდული არ არის ნაწილობითი დალაგების სიმრავლის მიხედვით და დამატებითი რესურსების სიმრავლე ცარიელია. განსახილველი პერიოდის დასაწყისში დავალებათა სისტემაში მოხვედრის დრო წინასწარ მკაცრად განსაზღვრულია, თუმცა სისტემის მუშაობის თითოეულ საფეხურზე შეიძლება სიტუაცია შეიცვალოს. ოპტიმალურობის კრიტერიუმად განიხილება დავალებათა მთლიანი სისტემის დამუშავების საერთო ღირებულება.

ამოცანის დასმა

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

დავალებათა შესრულება შესაძლებელია ერთსაფეხურიანი დეტერმინირებული სისტემის საშუალებით [2, 3]. ერთსაფეხურა სისტემა რამდენიმე მოწყობილობისაგან შედგება, ხოლო სისტემაში მოხვედრილი ყველა დავალება სრულად უნდა იქნას დაკმაყოფილებული. წინასწარ ცნობილია მოწყობილობათა წარმადობა, სისტემაში მოხვედრილი ყველა დავალების დამუშავებისათვის საჭირო დრო. მომსახურების ღირებულება ცვლადი სიდიდეებია და რამდენიმე პარამეტრზე დამოკიდებული ფუნქციების

საშუალებით მოიცემა. დავალებათა სისტემაში მოხვედრის დრო წინასწარ ცნობილია. თუმცა დავალებათა შესრულების ყოველ საფეხურზე შეიძლება შეიცვალოს.

გარდა ამისა, უნდა სრულდებოდეს შემდეგი პირობები: წინასწარ მოცემულია პერიოდი, $[0, T]$ ინტერვალი, რომლის განმავლობაშიც სისტემა მთლიანად უნდა იყოს შესრულებული; არ შეიძლება ერთი და იგივე პროცესორზე ერთდროულად ორი ან რამდენიმე დავალება ერთდროულად სრულდებოდეს; დროის ყოველ ინტერვალზე დაკავებულია ყოველი მოწყობილობა (განიხილება ე.წ. ამოცანა მოცდენების გარეშე) [4].

მათემატიკური მოდელი

დასმული ამოცანის მათემატიკური მოდელი შეიძლება შემდგენიარად ჩამოვყალიბოთ:

მოცემული გვაქვს პროცესორების სიმრავლე $P=\{P_1, \dots, P_m\}$, $j=1, \dots, m$, რომლებიც ერთმანეთისაგან განსხვავდებიან ფუნქციონალური შესაძლებლობებით და სწრაფმოქმედებითაც. მოცემულია $[0, T]$ პერიოდში P პროცესორების საშუალებით უნდა შესრულდეს დავალებათა $X_k=\{\xi_1^k, \dots, \xi_n^k\}$ სისტემა. X_k სისტემის მდგომარეობა თითოეულ საფეხურზე შეიძლება იცვლებოდეს და k ინდექსის მნიშვნელობა დამოკიდებულია იმაზე. თუ რამდენ საფეხურად დაიყოფა $[0, T]$ პერიოდი. თითოეული დავალებისათვის ცნობილია $[\tau_{ij}]_{i=1, \dots, m, j=1, \dots, n}$ მატრიცა, რომლის τ_{ij} ელემენტი m გვიჩვენებს ξ_j^k დავალების P_i პროცესორზე შესრულების ხანგრძლივობას. ცხადია, $0 \leq \tau_{ij}(Y) \leq T$, $i=1, \dots, m, j=1, \dots, n$.

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

მოცემულია ξ_j^k $j=1, \dots, n$ დავალების სისტემაში მოხვედრის სავარაუდო დრო $t_i^0 \in [a_i; b_i]$, სადაც a_i არის i -ური დავალების სისტემაში მოხვედრის სავარაუდო მინიმალური დრო, ხოლო b_i კი i -ური დავალების სისტემაში მოხვედრის სავარაუდო მაქსიმალური დროა [5, 6].

ე.წ. ნულოვან ეტაპზე განისაზღვრება თითოეული პროცესორის განთავისუფლების დრო და მიღებულ რიცხვებს შორის მინიმალური არის პირველი საფეხურის დასასრული. ცხადია გათავისუფლებულ პროცესორზე დაინიშნება შემდეგი ის დავალება, რომელიც მოცემულ მომენტში მზად არის შესასრულებლად. შემდეგი საფეხური განისაზღვრება იმ დროით, როდესაც დამთავრდება რომელიმე დავალების რომელიმე პროცესორზე შესრულება და გადაიხედება ამ დროისთვის X_k სისტემის მდგომარეობა. დადგინდება $f_{ij}(s)$ ფუნქციათა მნიშვნელობები, რომლებიც დავალებათა დანიშვნის დროს განსაზღვრავენ.

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

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

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

აღნიშნული ამოცანისათვის აგებულია P სირთულის ალგორითმი, რომელიც შტოებისა და საზღვრების, სტატისტიკურ და ინტერვალური მეთოდების კომბინირებულ მეთოდს ეფუძნება [4,5].

ალგორითმის აღწერა

ალგორითმი მოიცავს შემდეგ ძირითად ბლოკებს:

1. X_k სისტემის განსაზღვრა და მასში შემავალი კომპონენტებისთვის τ_i^k , $t_i^k \in [a_i; b_i]$ და $\omega_{ij}(Z)$ პარამეტრების ფორმირება;
2. განშტოების წესი - იგი განსაზღვრავს ძებნის ხის განშტოების სტრატეგიას და პროცესს. მისი ამოცანაა ამოხსნათა სივრცე დაიყოს არათანამკვეთ ქვესიმრავლეებად, რომელთაგან თითოეული მათგანი ან მოიკვეთება, ან ფორმირდება შემდგომ ეტაპზე განსახილველად. $X_1^{(k)} \subset X$.
3. ამორჩევის წესი - ამორჩევს ხის წვეროს, რომლიდანაც უნდა დაიწყოს შემდეგი განშტოება. ამისათვის ამოვარჩიოთ $\eta = \min_{\xi_i \in X_1^{(k)}} (t_{\xi_i}^{(k)} + \tau_i)$.
4. მახასიათებელი ფუნქციის მნიშვნელობის გამოთვლა და საექსპერტო შეფასება - ამ გამოთვლილი მნიშვნელობის მიხედვით ხდება ხის შტოს შეფასება და იმ შტოების მოკვეთა, რომლებიც სასურველ ამონახსნს არ შეიცავენ. $\rho_k = \rho_k + (t_{\xi^{(k)}}^{(k)} + \tau_{i_l} - d_{i_l}) * \omega_{i_l}$.
5. ახალი საფეხურის ფორმირება. $\text{mint}_{(J_1^*)}^{(2)} = \text{mint}_{\xi^{(1)}}^{(1)} + \tau_{i_1}$, $X_1^{(k+1)} \subset X$. ხდება გადასვლა მეორე საფეხურზე იმ შემთხვევაში, თუ არ არის მიღწეული $[0, T]$ შუალედის ბოლო წერტილს. წინააღმდეგ შემთხვევაში გადავდივართ შემდეგ ეტაპზე.
6. ქვედა საზღვრის ფუნქციის აგება და გამოთვლა - რომელიც ყოველ კერძო ამონახსნს მისი ღირებულების ქვედა ფასს შეუსაბამებს. $\rho_l(S_k) \leq \rho_l(S_{k+1})$.
7. ღირებულების ზედა ზღვრის შემოწმება და კორექცია - ღირებულების ზედა ზღვარი დასაწყისში რომელიმე იმ სრული ფასის ტოლია, რაც წინასწარ მიახლოებით, ან გონივრული მოსაზრებებით არის ცნობილი. ხოლო იმ შემთხვევაში, თუ წინასწარ ასეთი არანაირი მოსაზრება არ არსებობს, მაშინ ის მანქანური უსასრულობის ტოლია.
8. ალგორითმის მუშაობის დასასრულის შემოწმება - ალგორითმის მუშაობა სრულდება იმ შემთხვევაში, თუ X_k სიმრავლის ყველა ქვესიმრავლე ცარიელი აღმოჩნდება.

On a single dynamic problem of discrete optimization

Ketevan Kutkhashvili

Summary

Based on the experience of many successful companies, it can be concluded that planning of business and production activities in a highly competitive environment is the most important condition for their survival, economic growth and well-being. The development of technology has facilitated the processing of large flows of data and information. A large number of economic tasks rely on data that are discrete in nature and very often unstable, which means that data can change during the planning process.

The paper proposes an algorithm for solving one dynamic planning problem, for the construction of which a modified version of the graph theory method is used, which is known as the method of branches and boundaries. Dynamic programming method is also used.

Об одной динамической задаче дискретной оптимизации

Кетеван Кутхашвили

Резюме

Основываясь на опыте многих успешных компаний, можно сделать вывод, что планирование хозяйственной и производственной деятельности в условиях сильнейшей конкуренции является важнейшим условием их выживания, экономического роста и благополучия. Развитие технологий облегчило обработку больших потоков данных и информации. Большое количество экономических задач опирается на данные, которые дискретны по своей природе и очень часто нестабильны, а это означает, что данные могут меняться в процессе планирования.

В статье предлагается алгоритм решения одной динамической задачи планирования, для построения которой используется модифицированный вариант метода теории графов, известный как метод ветвей и границ. Также используется метод динамического программирования

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 კუთხაშვილი ქ., გაბისონია ვ. ალგორითმი განრიგთა თეორიის ერთი ამოცანისათვის ორი კრიტერიუმის გათვალისწინებით. სსიპ არჩილ ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული. თბილისი, გამომცემლობა მოდესტა, 2009 წ. გვ. 61.
- 5 გაბისონია ვ., კუთხაშვილი ქ. განრიგთა თეორიის ერთი კერძო ამოცანის შესახებ. სტუ არჩილ ელიაშვილის სახელობის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული. თბილისი, გამომცემლობა „პოლიგრაფია“, 2017 წ.
- 6 კუთხაშვილი ქ., გაბისონია ვ. დისკრეტული ოპტიმიზაციის ერთი ამოცანის ალბათური მოდელი. სტუ არჩილ ელიაშვილის სახელობის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული. თბილისი, 2018 წ.

One Transportation Problem Solving Algorithm

Dali Sikharulidze, Nugzar Dadiani

dali_sx@yahoo.com, nugzar_dadiani@yahoo.com

Abstract

In the article the problem of some product necessary quantity delivery along the shortest path to the plant from the warehouses chain is considered. The quantity of the product in particular warehouses is not sufficient. Input supplier of the plant can visit each warehouse only once and then comes back to the plant. He has to visit several warehouses to gather sufficient quantity of the product. This is a combinatorial problem. Since the number of computations increases greatly when the problem dimension increases, the algorithm, comparatively lessening the amount of the computations was worked out. In the algorithm special functions of MATLAB or EXCEL are used for generating possible variants and for solving TSP on each step. Final decision based on results of computations has to be made by decision maker.

Key words:

Hamiltonian contour, TSP.

Introduction

Any producing authority or company has ahead of it the problem of planning properly the work of its transport. Because of the importance of this problem there arise many problems which should be brought together into the “transportation problems” class [1]. Under present day conditions along with the evolution of computing facilities and methods the great interest arises to the perfection of goods transportation automatized planning systems, as existing algorithms don’t solve the problems or need a lot of time for getting the effective solution. New algorithms elaboration will lessen solution time in the high dimensionality problems and at the same time will improve the quality of the obtained solutions. The main problem arising when modelling transportation systems is making appropriate model and getting optimal solution by the methods of combinatorial optimization.

Our subject of research is the following transportation problem. The plant has to get some amount H of certain product, which isn’t available in sufficient quantity in the nearest warehouses and maybe is available in sufficient quantity in the warehouses, far from the plant. The distances from the plant to the warehouses and between the warehouses are given. Input supplier of the plant can visit each warehouse only once and then has to come back to the plant. He has to visit several warehouses to gather sufficient quantity of the product. Suppose, that the number of warehouses is n . Let’s enumerate them. The quantity of the product in each warehouse is given, p_1, p_2, \dots, p_n are the product quantities in the corresponding warehouses.

Let’s b_i be the Boolean variables.

$$b_i = \begin{cases} 1 & \text{- when visiting } i\text{-th warehouse} \\ 0 & \text{- otherwise.} \end{cases}$$

Then, under the conditions of the problem, we have

$$\sum_{i=1}^n b_i p_i \geq H \quad (1)$$

Let’s assume number 0 to the plant. Let $x_{ij}, i = 0, \dots, n, j = 0, \dots, n$ be the distances from the point i to the point j , we assume, that $x_{ij} = x_{ji}$. The problem is to buy sufficient quantity of the product and then to come back to the plant by the shortest path.

Algorithm

Let's separate out the warehouses with sufficient quantity of the product, suppose, that their numbers are p_{k_1}, \dots, p_{k_r} , so $p_{k_i} \geq H$, $i=1, \dots, r$. Separate from them the warehouse with minimal distance from the plant, memorize its number and the distance from it to the plant, the left numbers from the list k_1, \dots, k_r will not be considered any more. From the numbers of the left $n-r$ warehouses we consider C_{n-r}^2 combinations, for every such combination (i, j) we take the sums $p_i + p_j$ and choose the pairs, for which $p_i + p_j \geq H$, take the sums $x_{0i} + x_{ij} + x_{j0}$, memorize the pair of indices with the minimal such sum, the left pairs of indices, for which $p_i + p_j \geq H$ we don't consider while considering the combinations C_{n-r}^3 and so on. When the number of the plants is large, the combinations of the numbers should be generating by the function `nchoosek` (v, k) of MATLAB (the list of C_n^k). From the list of obtained C_{n-r}^k combinations, the ones, containing the indices, eliminated on the $k-1$ -th step should not be considered. For the left k -element combinations j_1, \dots, j_k we take the sums $\sum_{t=1}^k p_{j_t}$ and verify the condition

$$\sum_{t=1}^k p_{j_t} \geq H, \tag{2}$$

Similarly, we choose the combinations, for which this condition holds. On the k -th step the problem is to visit all these points only once and then to come back to the initial point 0, besides this, the traversed path must be shortest, i.e., we must find Hamiltonian circuit for these $k+1$ points. This is so called Travelling Salesman Problem (TSP) which is the subject of investigation for a long time, there are suggested many methods for solving this problem, the complexity of it is the large number of computations. (In MATLAB, EXCEL and DELPHI there are special functions for solving this problem but the amount of computations increases greatly with the increase of n). We continue this process for all 2, 3, ..., $n-r$ -element combinations and memorize the best variant on each step. At last, from these variants, we choose the one, for which (1) holds and the distance is minimal. This solution will be exact, unlike the branch and bound method, generally used when solving binary linear programming problems.

Example

As the illustration for the algorithm we consider the simple example: $n=5$, $H=850$ units. In the table below there are given the distances between the plant and warehouses. For simplicity we consider the distances between the points without travel expenses, so $x_{ij} = x_{ji}$, $i, j = 0, 1, 2, \dots, 5$, they are given in km (see table below, here x_{ij} is at the intersection of i -th row and j -th column)

The table of distances x_{ij} , $i, j = 0, 1, \dots, 5$.

№	0	1	2	3	4	5
0	-	20	30	130	40	50
2	30	40	-	30	20	40
3	30	50	30	-	40	10
4	40	20	30	40	-	30
5	50	20	40	10	30	-

Let $p_1=150$ units., $p_2=200$ units , $p_3=900$ units , $p_4 = 450$ units, $p_5=500$ units be the quantities of product in each warehouse.

Step 1. $p_3 = 900$, $2x_{03} = 260$. The point 3 is not considered any more, we memorise data (3,260;900).

Step 2. There are left the points 1,2,4,5. $C_4^2 = 6$.

$$p_1+p_2 = 350, \quad p_1+p_4 = 600, \quad p_1+p_5 = 650$$

$$p_2+p_4=650, \quad p_2+p_5=650, \quad \underline{p_4+p_5=950}$$

As $x_{04} + x_{45} + x_{50} = 120$, memorize these data (4,5,120;950), the pair (4,5) will not be considered on the next steps.

Step 3. $C_4^3 = 4$.

$$p_1+p_2 + p_4=800,$$

$$p_1+p_2 + p_5=850;$$

(1,4,5) and (2,4,5) aren't considered, as it was said above. For the combination (0,1,2,5) we consider TSP problem-to find Hamiltonian contour with the minimal length and initial and terminal point 0. In this case we consider $3! = 6$ variants (1,2,5); (1,5,2); (2,1,5); (2,5,1); (5,1,2); (5,2,1)

$$x_{01} + x_{12} + x_{25} + x_{50}=130 \tag{3}$$

$$x_{01} + x_{15} + x_{52} + x_{20}=110 \tag{4}$$

$$x_{02} + x_{21} + x_{15} + x_{50}=120 \tag{5}$$

$$x_{02} + x_{25} + x_{51} + x_{10}=110 \tag{6}$$

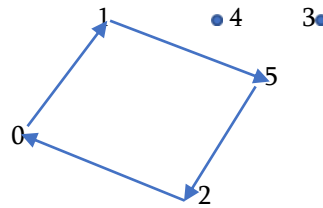
$$x_{05} + x_{51} + x_{12} + x_{20}=120 \tag{7}$$

$$x_{05} + x_{52} + x_{21} + x_{10}=130 \tag{8}$$

As for the computation simplicity we assumed, that $x_{ij} = x_{ji}$, $i, j = 0,1,2,\dots,5$, (3) coincides with (8); (4) with (6); (5) with (7); it is clear, that the best variant is (1,5,2;110;850).

$$p_1+p_2 + p_4 = 800 < 850,$$

but as the (4,5) combination was eliminated on the step 2, we finish the computations and choose from the memorized variants (3;260,900); (4,5;120,950); (1,5,2;110;850) the best. It is the last variant (1,5,2;110;850) (see drawing).



Along with the increase of n , the number of necessary computations increases very fast, we need to consider $n!$ variants, this is complicated to do by human force even for $n = 6$. By the considered algorithm the number of computations decreases greatly, but for considering all possible variants it is necessary to use matched functions of MATLAB or EXCEL for generating all possible sums of product and then for finding Hamiltonian contours on each step. Thereto it is possible to use the method, considered in [2]. Evaluation of variants has to be made by the programmer and final decision is made by the manager of the plant, according to the results of the computations.

Comments

In the paper the algorithm, comparatively lessening the amount of the computations for one transportation problem, which is the combinatorial one, was worked out. On the first step for generating all possible variants and on the second step, for solving arising TSP problems, one needs to use

corresponding functions of MATLAB or other program package. It is desirable to write the program, combining these two problems.

ერთი სატრანსპორტო ამოცანის ამოხსნის ალგორითმი

დალი სიხარულიძე, ნუგზარ დადიანი

რეზიუმე

ნაშრომში განიხილება საწყობების ქსელიდან საწარმოში საჭირო რაოდენობის გარკვეული პროდუქტის უმოკლესი გზით მიტანის ამოცანა. ცალკეულ საწყობებში პროდუქტის რაოდენობა საკმარისი არ არის. საწარმოს მომმარაგებელს შეუძლია მხოლოდ ერთხელ მოხვდეს თითოეულ საწყობში და შემდეგ ბრუნდება უკან საწარმოში, მას უწევს რამდენიმე საწყობში მისვლა, რომ შეაგროვოს პროდუქტის საჭირო რაოდენობა. ეს არის კომბინატორული ამოცანა. რადგან ამოცანის განზომილების ზრდასთან ერთად გამოთვლების რაოდენობა საგრძნობლად იზრდება, შემუშავებულია ალგორითმი, რომელიც შედარებით შეამცირებს გამოთვლების რაოდენობას. ალგორითმი იყენებს MATLAB-ის ან EXCEL-ის სპეციალურ ფუნქციებს შესაძლო ვარიანტების გენერირებისა და თითოეულ ბიჯზე მიღებული კომბინაციის ამოცანის ამოსახსნელად. საბოლოო გადაწყვეტილებას გამოთვლების შედეგების საფუძველზე იღებს გპ (გადაწყვეტილების მიმღები პირი).

Алгоритм решения одной транспортной задачи

Дали Сихарулидзе, Нугзар Дадияни.

Резюме

В работе рассматривается задача доставки в предприятие необходимого количества определенного продукта кратчайшим путем из сети складов. Количество продукта на отдельных складах недостаточно. Поставщик предприятия может побывать на каждом складе всего один раз и затем возвращается в предприятие. Ему приходится побывать на нескольких складах, чтобы собрать достаточное количество продукта. Это-комбинаторная задача. Т.к. с ростом размерности задачи количество вычислений существенно увеличивается, разработан алгоритм, который сравнительно уменьшит количество вычислений. В алгоритме применяются специальные функции MATLAB или EXCEL для генерирования всевозможных вариантов и решения на каждом шаге задачи коммивояжера. Окончательное решение на основе результатов вычислений принимает ЛПП (лицо, принимающее решение).

ლიტერატურა -References-Литература

1. Самойленко Н.И., Кобец А.А., Транспортные системы большой размерности. Из-во, "НТМТ", Харьков, 2010.
2. Kirtlwant P. Ghadle, Yogesh M. Muleg. Travelling Salesman Problem with MATLAB Programming. International Journal of Advances in Applied Mathematics and Mechanics, 2015.

ოპტიმალური მართვის ამოცანა საფრენი აპარატის მაგალითზე

დუდუხანა ცინცაძე, ქეთევან ომიადე, ნუგზარ დადიანი

dudutsin@gmail.com, Komiadze@mail.ru, nugzar_dadiani@yahoo.com

რეზიუმე

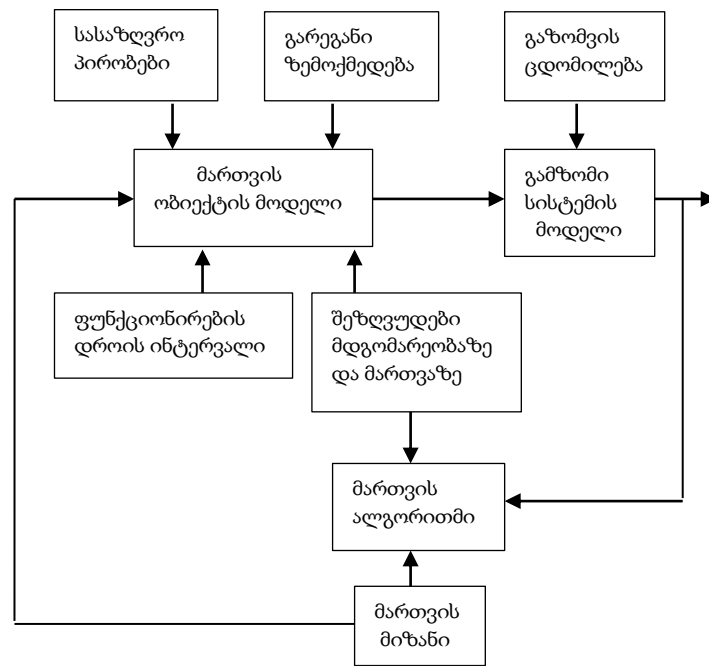
სტატიაში წარმოდგენილია ოპტიმალური მართვის სისტემის სქემა დინამიკური პროცესებისათვის. მასში შემავალი ელემენტები ერთმანეთთან დაკავშირებულნი არიან ინფორმაციული ზემოქმედებით და წარმოადგენენ ოპტიმალური მართვის სინთეზის ამოცანის მათემატიკურ აღწერას. მართვის ობიექტის მოდელის სახით განხილულია საფრენი აპარატის მოძრაობის განტოლება. საბოლოო სახით ეს განტოლება წარმოდგენილია ვექტორული სახით (პროექციით კოორდინატთა სისტემის ღერძებზე). მიღებული შედეგის გამოყენებით სტატიაში დასმულია ფაზური სივრცის მოცემულ წერტილში სა-ს მინიმალურ დროში მიყვანის ამოცანა, კერძოდ, განსაზღვრულია მართვაზე შეზღუდვების და ოპტიმალურობის კრიტერიუმის გამომსახველი ფორმულები.

საკვანძო სიტყვები: მართვის თეორია, ოპტიმალური მართვა

ბუნებაში მიმდინარე მრავალი პროცესი არის მართვადი. ანუ მათი მიმდინარეობის ხასიათი შესაძლებელია შეიცვალოს მასზე მოქმედი გარე ძალების მოქმედებით. აქ დგება საკითხი - მოიძებნოს უკეთესი ვარიანტი გარკვეული კრიტერიუმებისა, (უკეთესი სიზუსტე, დროის ნომინალური და ენერგეტიკული დანაკარგი და ა.შ.), რომლის მეშვეობით განხორციელებული მართვა იქნება ოპტიმალური.

ნახაზზე 1 წარმოდგენილია დინამიკური პროცესების ოპტიმალური მართვის სისტემის სქემა. ოპტიმალური მართვის სინთეზის ამოცანა მოიცავს სწორედ მართვის სისტემაში არსებული ელემენტების მათემატიკურ აღწერას.

1. მართვის ობიექტის მოდელი - აღიწერება ჩვეულებრივი დიფერენციალური, კერძო და სხვაობითი დიფერენციალური განტოლებებით. მოდელის პარამეტრები შეიძლება იყოს სტატიკური, უმეტეს შემთხვევაში კი ისინი წარმოადგენენ შესაძლო მნიშვნელობების სიმრავლეს. მოდელის მდგომარეობა მოიცემა ფუნქციით, რომელიც აერთიანებს ობიექტის პარამეტრების ცვლილებას, ან ფუნქციით, რომელიც ასახავს ობიექტის ქცევას სივრცესა და დროში სასაზღვრო (საწყისი და საბოლოო) პირობები - ეს პირობები შეიძლება იყოს დეტერმინებული, განსაზღვრული სტატისტიკური მახასიათებლებით, ან აღწერილი დასაშვებ მნიშვნელობათა სიმრავლით.
2. სასაზღვრო (საწყისი და სასრული), პირობები - ეს პირობები შეიძლება იყოს დეტერმინებული, განსაზღვრული სტატისტიკური მახასიათებლებით, ან აღწერილი დასაშვებ მნიშვნელობათა სიმრავლით.
3. გარეგანი ზემოქმედება - როგორც წესი აღიწერება სტატიკური მახასიათებლებით და დასაშვებ მნიშვნელობათა სიმრავლით.
4. სისტემის ფუნქციონირების დროის ინტერვალი - შესაძლებელია მოიცემოდეს საბოლოო (საწყისი $t=0$), ან შუალედური დრო, რომელიც დაექვემდებარება უკეთესს არჩევანს.
5. შეზღუდვები მდგომარეობაზე და მართვაზე - ჩვეულებრივ აღიწერება სისტემაზე დასაშვები მნიშვნელობების სიმრავლით.
6. გამზომი სისტემის მოდელი - აღიწერება ფუნქციით ან მდგომარეობის ოპერატორით, სტოხასტიკური დიფერენციალური განტოლებებით. მოდელის შესავალად ითვლება მდგომარეობა, გამოსავლად კი გაზომვის მნიშვნელობა.



ნახაზი 1

7. გაზომვის ცდომილება - აღიწერება სტატისტიკური მახასიათებლებით ან შესაძლო მნიშვნელობათა სიმრავლით.
8. მართვის ალგორითმი - (გაზომვების შესახებ ინფორმაციის გამოყენების ხარისხისა და მართვის ზემოქმედების შემუშავების მეთოდების განსაზღვრა). ჩვეულებრივ, მოიცემა დასაშვები მართვის სიდიდეებით აღწერილი სიმრავლით. მართვის ალგორითმი გაზომვების შესახებ მიღებული ინფორმაციის მიხედვით გამოიმუშავებს მართვის ზემოქმედებას. ასე, რომ ოპტიმალური სისტემის აგებისას გამოყენებულია უკუკავშირი.
9. მართვის მიზანი - როგორც წესი აღიწერება ხარისხის სხვადასხვა კრიტერიუმებით, რომლებიც ჩვეულებრივ დააკმაყოფილებენ პირობას საუკეთესო კრიტერიუმის მიღების თვალსაზრისით [1].

მოკლედ რომ ჩამოვაცალიხოთ: ოპტიმიზაციის ამოცანაა სასრულ-განზომილებიანი ვექტორული სივრცის რომელიმე მონაკვეთში მიზნობრივი ფუნქციის ექსტრემუმის (მინიმუმი ან მაქსიმუმი) პოვნა. როგორც სქემიდან (ნახაზი 1) ჩანს, მართვის ობიექტის მოდელის გარდა უნდა მოიცემოდეს: შეზღუდვები მართვასა და ფაზურ ვექტორზე, სასაზღვრო პირობები და ოპტიმალობის კრიტერიუმი. ასე რომ ოპტიმალური მართვის სინთეზის ამოცანა, მიეკუთვნება რა ოპტიმალური მართვის ამოცანათა კლასს, ფორმირებულია, როგორც ვარიაციული აღრიცხვის კლასის ამოცანა. ყველა ოპტიმალური მართვის ამოცანა არის მათემატიკური პროგრამირების ამოცანა, ამიტომ მის ამოსახსნელად გამოყენებულია რიცხვითი მეთოდები.

დინამიკური პროცესის ერთერთი მაგალითია საფრენი აპარატის მოძრაობა სივრცეში. მასთან დაკავშირებით შესაძლებელია რამდენიმე ამოცანის დასმა. კერძოდ [3]:

1. ფაზური სივრცის მოცემულ წერტილში სა-ს მიყვანა მინიმალურ დროში.
2. გეომეტრიული სივრცის მოცემულ წერტილში სა-ს მიყვანა მინიმალურ დროში.
3. სა-ს გადატანა მაქსიმალურ მანძილზე.
4. სა-ს გადატანა მაქსიმალურ სიმაღლეზე.

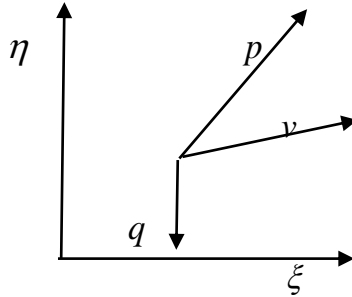
განხილულია რა მხოლოდ პირველი ამოცანა, მიღებულია გარკვეული შედეგები. კერძოდ: მართვის ობიექტის მოდელის, შეზღუდვები მართვაზე და ოპტიმალურობის კრიტერიუმის მათემატიკური გამოსახულებები.

განვიხილოთ ვერტიკალურ სიბრტყეში სა-ს მოძრაობის გამარტივებული განტოლება [2]

$$m\dot{v} = p + q \quad (1)$$

და მოძრაობის გრაფიკი, (ნახაზი 2). ფორმულა (1)-ით მოცემული მასის პროექცია უძრავი კოორდინატთა სისტემის ჰორიზონტალურ და ვერტიკალურ ღერძებზე ასე ჩაიწერება:

$$m\ddot{\xi} = p_1 + q_1, \quad m\ddot{\eta} = q_1 + q_2, \quad (2)$$



ნახაზი 2

სადაც: $m = m_f + m_p(t)$ არის საფრენი აპარატის მასა, $m_p(t)$ - რეაქტიული მასა, $v = (\dot{\xi}, \dot{\eta})^T$ - საფრენი აპარატის სიჩქარე, $p = (p_1, p_2)^T$ - რეაქტიული ძალა, $q = (q_1, q_2)^T$ - დანარჩენი ძალების თანაბარმოქმედი ძალა, კერძოდ სიმძიმის ძალა, ჰაერის წინააღმდეგობის ძალა და ა.შ. [2]. რეაქტიული ძალის გამოსახულებას აქვს შემდეგი სახე: $p = mw$ [3], სადაც $|w| = \text{const}$ არის განცალკევებული ნაწილაკების ფარდობითი სიჩქარე და გამოსახება $w = (\omega_1, \omega_2)^T$.

$W = \sqrt{\omega_1^2 + \omega_2^2}$ არის ევკლიდეს ნორმა; $|\dot{m}| = |\dot{m}_p|$ - არის რეაქტიული მასის წამიერი მოხმარება.

შემოვიტანოთ შემდეგი აღნიშვნები:

$$x_1 = \xi, x_2 = \eta, x_3 = \dot{\xi}, x_4 = \dot{\eta}, u_1 = \frac{p_1}{m}, u_2 = \frac{p_2}{m}, \bar{q}_1 = \frac{q_1}{m}, \bar{q}_2 = \frac{q_2}{m},$$

საფრენი აპარატის მოძრაობის განტოლებას ნორმალური ფორმით შემდეგი სახე აქვს:

$$\dot{x}_1 = x_3, \quad \dot{x}_2 = x_4, \quad \dot{x}_3 = u_1 + \bar{q}_1, \quad \dot{x}_4 = u_2 + \bar{q}_2 \quad (3)$$

ტოლობები (3) ვექტორული სახით წარმოდგენილი, შემდეგია:

$$\dot{X} = Ax + Bu + \bar{q} \quad (4)$$

სადაც:

$$x = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix}, \quad A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad \bar{q} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \bar{q}_1 \\ \bar{q}_2 \end{pmatrix} \quad (5)$$

გამოსახულებები (4) და (5) წარმოადგენენ მართვის ობიექტის მოდელის მათემატიკურ აღწერას.

მიღებული შედეგების მიხედვით შესაძლებელია საფრენ აპარატთან დაკავშირებული სხვადასხვა ამოცანების დასმა. კერძოდ [3]:

განვიხილოთ პირველი ამოცანა. მინიმალურ დროში სივრცის მოცემულ წერტილში სა-ს მიყვანა. ვინაიდან ოპტიმალური მართვა ფორმულირდება, როგორც ვარიაციული ამოცანა, გარდა მართვის ობიექტისა (ნახ. 1), მოცემული უნდა იყოს შეზღუდვები მართვასა და ფაზურ ვექტორზე, სასაზღვრო პირობები და ოპტიმალურობის კრიტერიუმი.

მართვის ობიექტის მოდულის (საფრენი აპარატის მოძრაობის განტოლებებიდან გამომდინარე), მათემატიკურ აღწერას წარმოადგენს ფორმულები (4) და (5).

საფრენი აპარატის მოძრაობის საწყისი ფიქსირებული წერტილი და ბოლო ფიქსირებული წერტილი გამოსახულია ფორმულებით:

$$x(t_0) = x_0 \quad (6)$$

$$x(t_f) = x^f \quad (7)$$

საფრენი აპარატის მასისა და რეაქტიული ძალის თანაფარდობა მიიღება, როგორც მართვა. საფრენი აპარატის ტრაექტორიამ არ უნდა გადაკვეთოს დედამიწის ზედაპირი [2]. ამიტომ უნდა შესრულდეს შეზღუდვები ფაზურ ვექტორზე.

$$x_2 \geq 0 \quad (8)$$

თუ რეაქტიული ძალა შეზღუდულია პირობით $|p| = p_m$ და $|u| = u_m$, მაშინ შეზღუდვა მართვაზე მოიცემა ფორმულით:

$$u_m = \frac{p_m}{m} \quad (9)$$

ბოლო ოპტიმალურობის კრიტერიუმში

$$J = t_f - t_0 \quad (10)$$

სადაც: t_0 -ით საწყისი მომენტი არის მოცემული და ფიქსირებული, t_f -ით საბოლოო მომენტი, ანუ, როცა საფრენი აპარატი მიაღწევს წერტილს x^f , რომელიც წინასწარ არ არის მოცემული და არაფიქსირებულია.

Optimal control problem on the example of a flying machine

Dudukhana Tzintzadze, Ketevan Omiadze, Nugzar Dadiani

Summary

The article presents a structural scheme of the optimal control system. Each block included in it is interconnected with each other by information influence and represents a mathematical description of the problem of optimal control synthesis. The equation of motion of the aircraft is considered as a model of the control object. In its final form, this equation is represented in vector form (by projecting the equation formula onto the axes of the coordinate system). Using the obtained result, the article sets the task of bringing the SA to a given point in the phase space in minimum time; in particular, formulas are determined that express control restrictions and the optimality criterion.

Задача оптимального управления на примере летательного аппарата

Дудухана Цинцадзе, Кетеван Омиадзе, Нугзар Дадияни

Резюме

В статье представлена структурная схема оптимальной системы управления. Каждый входящий в него блок связан между собой информационным воздействием и представляет собой математическое описание задачи синтеза оптимального управления. Уравнение движения летательного аппарата рассматривается как модель объекта управления. В окончательном виде это уравнение представляется в векторном виде (проецированием формулы уравнения на оси системы координат). Используя полученный результат, в статье ставится задача доведения ЛА до заданной точки фазового пространства за минимальное время, в частности, определяются формулы, выражающие ограничения на управление и критерий оптимальности.

ლიტერატურა – References – Литература

1. А.В. Пантелеев, А.С. Бортаковский, Т.А.Летова - Оптимальное управление в примерах и задачах, Москва, Изд. МАИ, 1996 г.
2. И.Остославский, И.В.Стражева - Динамика полета, Москва, Изд. «Машиностроение», 1969 г.
3. Д.П. Ким – Теория Автоматического управления. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы. Москва, Изд. Юрайт, 2019 г.

კვების პროდუქტების ნარჩენი ტენშემცველობის ავტომატური რეგულირების სისტემის შემუშავება და კვლევა

ავთანდილ ბარდაველიძე, ხათუნა ბარდაველიძე

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

რეზიუმე

საშრობი აპარატის გარდამავალი მახასიათებლების აპროქსიმაციის შედეგად შემუშავებული იქნა ხილის შრობის გადამცემი ფუნქციები. დასაბუთებულია ხილის ნარჩენი ტენშემცველობის სიჩქარულ-თბურარხიანი ავტომატური რეგულირების სისტემის (არს) მუშაობის უნარიანობა და კომპიუტერული მოდელი. დასმულია და გადაწყვეტილია ხილის შრობისას საბოლოო ტენშემცველობის სიჩქარულ-თბურ არხიანი არს-ის ოპტიმიზაციის ამოცანა ტექნოლოგიური შეზღუდვებისას. დინამიკური მახასიათებლების შედარებითი ანალიზის საფუძველზე დადგენილია სიჩქარულ-თბურ არხიანი არს-ის უპირატესობა, ცალკეულ სიჩქარულ და თბურ არხიან სისტემებთან შედარებით. კვლევის შედეგები წარმოდგენილია ცხრილის სახით. კვლევის ყველა ეტაპზე ანგარიში ჩატარებულია Matlab გარემოში.

საკვანძო სიტყვები:

შრობის პროცესი, ნარჩენი ტენშემცველობა, თბური არხი, სიჩქარული არხი, ორარხიანი სისტემა.

შესავალი

ზოგადად სამრეწველო საწარმოებში მოხმარებული ენერჯის 30% მოდის შრობის ტექნოლოგიურ პროცესზე. ამიტომ შრობის პროცესის ოპტიმალური მართვის საკითხებს საკმაოდ დიდი მნიშვნელობა ენიჭება ენერჯის ეკონომიის და პროდუქციის ხარისხის გაუმჯობესების მიზნით. მთავარი მოთხოვნა ტექნოლოგიური პროცესის განხორციელების დროს არის შრობაზე დახარჯული ენერჯის შემცირება, მაქსიმალური მწარმოებლობა და საშრობი აპარატის გამოსასვლელზე გამომშრალი პროდუქტის საბოლოო (ნარჩენი) ტენიანობის სტანდარტული – რეგლამენტირებული მნიშვნელობის (ხილისათვის 16–18 %) მიღწევა, რომელიც განსაზღვრავს გამომშრალი პროდუქტის შენახვის ხანგრძლივობას. პროდუქტის ნარჩენი ტენიანობის კონტროლი ძალიან მნიშვნელოვანია, ვინაიდან გადაშრობას მიყვავართ ენერჯის მნიშვნელოვან გადახარჯვასთან და ხარისხის შემცირებასთან, ხოლო გამოუმშრობლობას - პროდუქტის მიკრობიოლოგიურ ფუჭებასთან, რის გამოც აქტუალობას არ კარგავს ხილის შრობის პროცესის ავტომატური მართვის სისტემის სინთეზის საკითხი [1,2,3].

[4,5] ნაშრომებში შესწავლილია ხილის შრობის პროცესის ნაკლოვანობები. შემუშავებულია შრობის ავტომატიზებული მართვის სისტემა. ნაშრომში შედგენილია ობიექტის მართვის ფუნქციონალურ-ტექნოლოგიური სქემა და ობიექტის ფუნქციონირების პროგრამული უზრუნველყოფა.

[6] ნაშრომში წარმოდგენილი კვლევის მიზანს წარმოადგენს ვაშლის და გარგარის საცდელ-სამრეწველო საშრობ დანადგარზე შრობის პროცესის ექსპერიმენტული გზით ფიზიკურ-ქიმიური მაჩვენებლების შეფასება. დანადგარი ითვალისწინებს საშრობი აგენტის ტემპერატურის ან მოძრაობის სიჩქარის რეგულირებას.

[7] ნაშრომში წარმოდგენილია გადამწოდვიდან მიღებული სიგნალის რობასტულად ნორმირებული კორელაციური ფუნქციების ანგარიშის ტექნოლოგია, რომლის საფუძველზე ფორმირდება ინფორმაციული ბრძანებების კომბინირებული კომპლექტები, რომლებიც შეესაბამებიან ობიექტის მდგომარეობას. ნაშრომში დემოსტრირებულია, რომ წარმოდგენილი კომპლექტები შეიძლება გამოყენებული იყოს ტექნოლოგიური პროცესის იდენტიფიკაციის და მართვის ამოცანების გადაწყვეტისათვის.

[8,9] ნაშრომებში მოცემულია შრომის პროცესის კონტროლის უახლოესი მეთოდები, რომლებიც გამოიყენებიან ხილ-ბოსტნეულის ხარისხის ცვლილების კონტროლისათვის. ყურადღება გამახვილებულია თანამედროვე ტექნოლოგიებზე დაფუძნებული სენსორების ონლაინ პროცესში დანერგვაზე. ეს აუცილებელი ნაბიჯია ჩვეულებრივი საშრომის ჭკვიან საშრომად გადაქცევისთვის, რომელიც უფრო მდგრადი გზაა მაღალი ხარისხის ხილ-ბოსტნეულის ჩირის წარმოებისთვის.

წარმოდგენილი თემატიკით არსებული სამეცნიერო ნაშრომების ანალიზის საფუძველზე აღმოჩნდა, რომ სხვადასხვა მეცნიერების მიერ არის მცდელობა ხილის შრომის პროცესის ეფექტურობის მიიღწევისა საშრომის აგენტის ტემპერატურის ან მისი დაბერვის სჩქარის ცვლილებით, შრომის პროცესების ინოვაციური და კომბინირებული მეთოდების გამოყენებით, რომელზეც დამოკიდებულია შრომის პროცესის ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლები. ხილის კონვექციური შრომის არსებული მართვის მეთოდები და ავტომატიზაციის პროგრამული საშუალებები ვერ უზრუნველყოფენ ტექნოლოგიური პროცესის ოპტიმალურ წარმართვას.

ნაშრომის სამეცნიერო სიახლეს წარმოადგენს ხილის კონვექციური შრომისას ნარჩენი ტენშემცველობის ორარხიანი ავტომატური რეგულირების სისტემის (არს) სტრუქტურული სინთეზის ალგორითმის შემუშავება და კვლევა.

ნაშრომის კვლევის მიზანს წარმოადგენს კონვექციური შრომის პროცესში ხილის ნარჩენი ტენშემცველობის ოპტიმალური ორარხიანი არს-ის შემუშავება, რომელიც უზრუნველყოფს ხილის შრომაზე დახარჯული ენერჯის შემცირებას და ჩირის ხარისხის გაუმჯობესებას, საბოლოო ტენშემცველობის სტანდარტით მინიჭებული მნიშვნელობის მიღწევა.

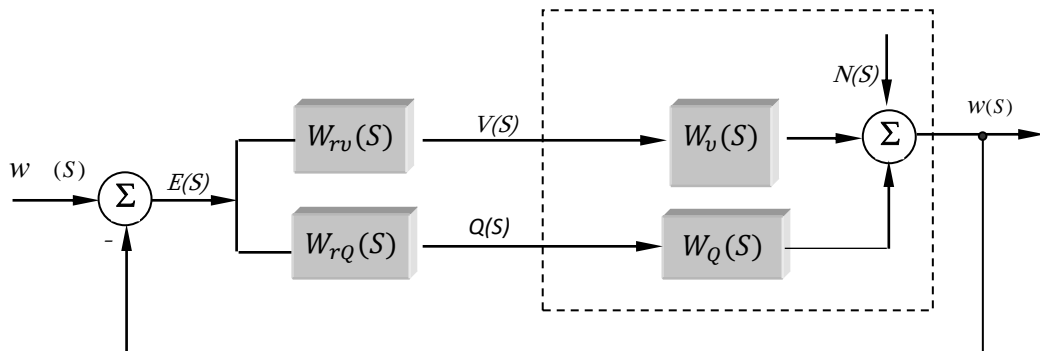
ძირითადი ნაწილი

კონვეიერული და გვირაბული ტიპის საშრომ აპარატებში გამოიყენება ხილ-ბოსტნეულის კონვექციური შრომის მეთოდი, სადაც საბოლოო-ნარჩენი ტენშემცველობის ავტომატური რეგულირება ხდება საშრომის აგენტის ტემპერატურის ან მასალის გადაადგილების სიჩქარის (ან და მასალაზე ცხელი ჰაერის დაბერვის სიჩქარის) მარეგულირებელ ორგანოზე ზემოქმედებით. პირველ შემთხვევაში საშრომის აპარატის დიდი თბოტევადობის გამო ავტომატური რეგულირების სისტემა (არს) ინერციულია, ხოლო მეორე შემთხვევაში არს ახასიათებს დიდი აჩქარებები. შრომის პროცესის ძირითად მოთხოვნას წარმოადგენს მოხმარებული ენერჯის მინიმუმამდე დაყვანა და პროდუქტის საბოლოო ტენშემცველობის სტანდარტით მინიჭებული მნიშვნელობის მიღწევა [4-6].

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე საშრომის აპარატის გამოსასვლელზე მასალის ნარჩენი ტენშემცველობის არსებულ არს-ს, შრომის ტექნოლოგიური პროცესის სირთულისა და სპეციფიურობის გამო გააჩნია გარკვეული ნაკლოვანებები და ვერ აკმაყოფილებენ პროდუქტის ხარისხზე წაყენებულ მოთხოვნებს. ამიტომ გთავაზობთ ხილის ნარჩენი ტენიანობის არს-ის უფრო რთულ და გამართლებულ ვარიანტებს.

ხილის ნარჩენი ტენშემცველობის არს-ის ზოგადი სქემა, რომელიც ითვალისწინებს

ნარჩენი ტენშემცველობის სიდიდეზე ერთდროული ზემოქმედების შესაძლებლობას, როგორც ე.წ. სიჩქარული, ისე თბური არხით, წარმოადგენს ორარხიანი არს. ზოგადი სახით ორარხიანი სისტემის სტრუქტურა წარმოადგენილია ნახ.1-ზე, რომელზეც $w(s)$ - გამოსაშრობი მასალის ნარჩენი ტენშემცველობის დავალებული მნიშვნელობის სიდიდეა; $w(s), E(s)$ - ნარჩენი ტენშემცველობა და რეგულირების შეცდომაა; $N(s)$ - შემაშფოთებელი ზემოქმედება; $W_{rv}(s), W_{rq}(s)$ - სიჩქარული და თბური არხების რეგულატორების გადამცემი ფუნქციებია;



ნახ. 1 ხილის ნარჩენი ტენშემცველობის ორარხიანი არს -ის სტრუქტურული სქემა

$W_v(s), W_q(s)$ - ობიექტის გადამცემი ფუნქციებია, შესაბამისად სიჩქარული და თბური არხით. ხოლო ჩაკეტილ სისტემაში გარდამავალი პროცესების ხარისხის შეფასებისას გამოიყენება რეგულირების შეცდომის კვადრატული ინტეგრალი - სისტემის ხარისხის შეფასების კრიტერიუმი [10,11]:

$$J = \int_0^T e^2(\tau) d\tau \rightarrow \min, \quad (1)$$

სადაც $e(\tau) = w(\tau) - w_{opt}$ - ნარჩენი ტენშემცველობის რეგულირების შეცდომაა, $w(\tau)$ - ნარჩენი ტენშემცველობის მიმდინარე მნიშვნელობაა და w_{opt} - ნარჩენი ტენშემცველობის (სტანდარტით მინიჭებული) ოპტიმალური მნიშვნელობაა. (1) თანახმად, ერთ-ერთ ძირითად მოთხოვნას წარმოადგენს რეგულირების დამყარებული ცდომილების მნიშვნელობის მინიმუმამდე დაყვანა, ე.ი. r_v და r_q რეგულატორებიდან ერთ-ერთი უნდა იყოს PI ან PID ტიპის, ვინაიდან მხოლოდ ამ დროს ხდება ჩაკეტილი სისტემის ასტატიზმის უზრუნველყოფა [10].

ვთქვათ სიჩქარული არხის r_v რეგულატორი P - ტიპისაა, რთული არ არის იმის ჩვენება, რომ ამ დროს მარეგულირებელ ზემოქმედებას ექნება იმპულსური ხასიათი. რადგან, შესაბამისად ობიექტის სიჩქარული და თბური არხების დაგვიანებების დროებს შორის არსებობს $\tau_v \ll \tau_q$ დამოკიდებულება, ამიტომ შემოფოთებაზე რეგულირება გამომუშავდება მხოლოდ სიჩქარულ არხში და $Q(\tau)$ მარეგულირებელი ზემოქმედება არ მოახდენს გავლენას რეგულირების პროცესის მიმდინარეობაზე. მეორე მხრივ, ცხადია $v(\tau)$ მარეგულირებელი ზემოქმედება მიისწრაფის ნულისკენ, როცა $\tau \rightarrow +\infty$, ვინაიდან სისტემის ასტატიზმის უზრუნველყოფა ხდება თბური არხის r_q რეგულატორით. ასე რომ, ზემოქმედებას ექნება მიღევადი იმპულსური მახასიათებელი, როცა $\tau \rightarrow +\infty$.

ორარხიანი არს-ის ალგორითმის ძირითადი იდეა მდგომარეობს თბური არხის როგორც, მაკორექტირებელი ზემოქმედების გამოყენებაში. იმისათვის, რომ ფორმირებულ იქნას გარდამავალი პროცესის საწყისი ეტაპი, როცა თბური ზემოქმედება გავლენას არ ახდენს სარეგულირებელ სიდიდეზე, მოხდება თბური არხით საშრობი აპარატის

მნიშვნელოვანი დაგვიანების გათვალისწინება. შემდგომში, როცა გარდამავალი პროცესის დრო თბური არხის დაგვიანების დროის ტოლი გახდება, მარეგულირებელი ზემოქმედების ცვლილება სიჩქარული არხით თანდათანობით შეწყდება, ხოლო მარეგულირებელი ზემოქმედების ფორმირების ფუნქციები გადაეცემა თბურ არხს. სიხშირულ არეში, ეს იმას ნიშნავს, რომ შემაშფოთებელი ზემოქმედების დაბალსიხშირული კომპონენტები $\omega = 0$ სიხშირემდე კომპენსირდება თბურ არხში, ხოლო მაღალ სიხშირული კომპონენტები კი - სიჩქარულ არხში.

იმისათვის, რომ შევავასოთ ჩვენს მიერ შესამუშავებელი ორარხიანი არს-ის შესაძლებლობები, სისტემის ოპტიმალური გამართვის საკითხი, განვიხილოთ (1) კრიტერიუმის გათვალისწინებით. შემაშფოთებელი არხით ჩაკეტილი ორარხიანი არს-ის გადამცემი ფუნქცია ნახ. 1-ის მიხედვით შეიძლება ჩავწეროთ შემდეგი სახით:

$$\Phi(S) = (1 + W_v(S) + W_q(S))^{-1}, \quad (2)$$

ხოლო, შესაბამისად გახსნილი ორარხიანი არს -

$$W_{vq-op}(s) = W_{rv}(S)W_v(S) + W_{rq}(S)W_q(S) \quad (3)$$

სახით, სადაც $W_v(S) = W_{rv}(S)W_v(S)$ - სიჩქარული არხით გახსნილი სისტემის გადამცემი ფუნქციაა, ხოლო $W_q(S) = W_{rq}(S)W_q(S)$ - თბური არხით გახსნილი სისტემის გადამცემი ფუნქციაა.

ცნობილია, რომ, როგორც ერთარხიანი, ისე ორარხიანი სისტემებისათვის PI და PID რეგულატორებით რეგულირების ცდომილების კვადრატულ ინტეგრალური კრიტერიუმი პირდაპირპროპორციულია T_r/K_r თანაფარდობისა, როცა შემაშფოთებელი ზემოქმედების სიხშირული ზოლი შემოსაზღვრულია ზემოდან ω_c - კვეთის სიხშირით, ვინაიდან $\omega_c \ll \omega_r$, სადაც ω_r - ჩაკეტილი სისტემის რეზონანსული სიხშირეა ($|\Phi(j\omega)|$ მაქსიმუმის წერტილი) [10,11].

ორარხიანი სისტემის ოპტიმიზაციის ამოცანა (1) კრიტერიუმის გათვალისწინებით, შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგი სახით:

$$\{K_{rq}/T_{rq}\} \rightarrow \max. \quad (4)$$

(1) კრიტერიუმით ოპტიმალური პარამეტრების ძებნის ამოცანა გადაწყდება ჩაკეტილი სისტემის დასაშვები მდგრადობის მარაგზე შეზღუდვისას:

$$M = \max_{\omega \geq 0} |\Phi(j\omega)| \leq 1,4, \quad (5)$$

სადაც M - რხევადობის მაჩვენებელია, $|\Phi(j\omega)|$ - ჩაკეტილი სისტემის ამპლიტუდურ-ფაზურ-სიხშირული მახასიათებლის მოდულია. ე.ი. იმისათვის, რომ სისტემაში შევავასოთ რეგულირების სიზუსტის გაზრდის საზღვრები აუცილებელია K_{rq} სიდიდის გავლენა $\{K_{rq}/T_{rq}\}$ პარამეტრის ცვლილების დიაპაზონზე, რომელიც დაშვებულია (1) პირობით.

საშრობი აპარატის ოპტიმალური რეგულირების ამოცანის ამოხსნისას, ზემოთ აღნიშნული მდგომარეობის დროს აუცილებლად უნდა გავითვალისწინოთ

$$T_{min} \leq T(t) \leq T_{max}, t_0 \leq t \leq t_F, \quad (6)$$

$$v_{min} \leq v(t) \leq v_{max}, t_0 \leq t \leq t_F, \quad (7)$$

ტექნოლოგიური შეზღუდვები, (სადაც T - პროდუქტის ტემპერატურაა, ხოლო v - ცხელი ჰაერის მოძრაობის სიჩქარეა) რომლის დროსაც მიიღწევა მასალის სასურველი მახასიათებლები [12]. ტექნოლოგიური შეზღუდვები დადებულია არამარეგულირებელ ზემოქმედებებზე, არამედ ობიექტის შუალედურ ფაზურ ცვლადებზე. სიჩქარული არხით მარეგულირებელ ზემოქმედებას წარმოადგენს საშრობი აპარატის კონვეიერის (ან ვენტლატორის) ამძრავის მართვის სქემის შესასვლელზე $u(\tau)$ ძაბვა, ხოლო ტემპერატურის მართვა ხორციელდება ორთქლის მიწოდების ხაზზე მარეგულირებელი სარქველის

მდებარეობის ცვლილებით, რაც იწვევს ორთქლის $P(\tau)$ წნევის მყისიერ ცვლილებებს.

შრობის პროცესის ძირითად პარამეტრებზე არასასურველ ზემოქმედებას ახდენს არა მარტო $\Delta v_m(\tau)$ სიჩქარის მაქსიმალური გადახრა ნომინალურიდან, არამედ სიჩქარის არასტაბილურობაც მთელი გარდამავალი პროცესის განმავლობაში. აღნიშნული არასასურველი გარემოება გათვალისწინებული უნდა იყოს რეგულირების შეცდომის კვადრატულ ინტეგრალურ (1) სიდიდესთან ერთად. გარდა ამისა, ნაშრომში სისტემის გარდამავალი მახასიათებლების ხარისხის შეფასების კრიტერიუმების სახით გამოიყენება

$$\sigma = \max |e(\tau)/w_{in}| \quad (8)$$

-გადარეგულირება, % და

$$T_s = \min\{T: |e(\tau)/w_{in}| < 0,05, \tau > T\}, \quad (9)$$

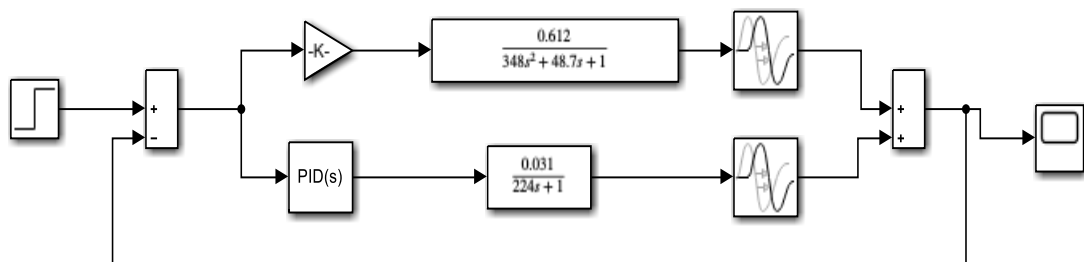
-რეგულირების დრო (წმ), სადაც w_{in} - პროდუქტის სტანდარტით მინიჭებული ენშემცველობაა. ხილის საბოლოო ტენშემცველობის ორარხიან არს-ში (იხ. ნახ. 2) საშრობი აპარატის გადამცემი ფუნქციები შესაბამისად სიჩქარული

$$W_v(S) = \frac{0,612}{348s^2 + 48,7s + 1} \cdot e^{-14s}, \quad (10)$$

და თბური

$$W_q(S) = \frac{0,031}{224s + 1} \cdot e^{-55s} \quad (11)$$

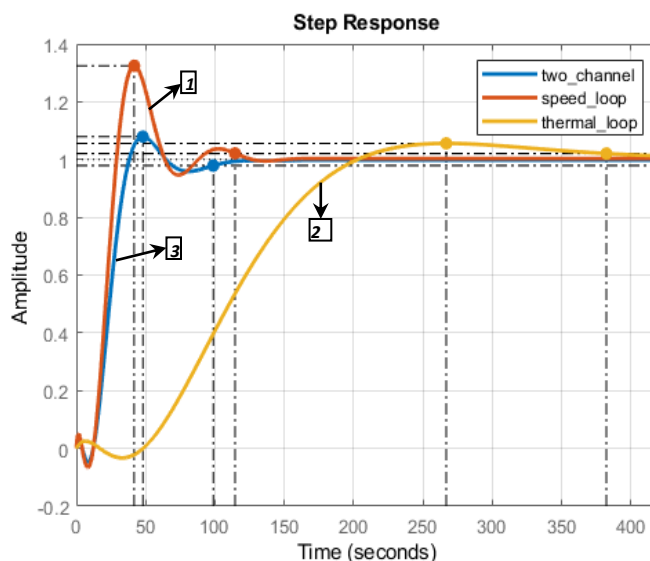
არხებით შემუშავებული იქნა კონვეიერულ საშრობ აპარატის გამოსასვლელზე ვაშლის საბოლოო ტენშემცველობის ექსპერიმენტული დინამიკური მახასიათებლების აპროქსიმაციის შედეგად.



ნახ. 2 ვაშლის ნარჩენი ტენშემცველობის არს-ის კომპიუტერული მოდელის ბლოკ-სქემა სიჩქარული და თბური არხით

ობიექტის გადამცემი ფუნქციები, P და PID რეგულატორების პარამეტრები $K_p=3,68$ და $K_p=54,4$; $K_i=0,3$; $K_d=23,3$ სისტემის მდგრადობის პრობის გათვალისწინებით განისაზღვრენ Matlab სისტემის pidtune ფუნქციის გამოყენებით და Simulink პროგრამის Control System Toolbox პაკეტის PID კონტროლერის ბლოკის ავტომატური მომართვით - რეალური დროის რეჟიმში [13].

საშრობი აპარატის გამოსასვლელზე ხილის ნარჩენი ტენშემცველობის არს არსებული სტრუქტურული სისტემების ანალიზის საფუძველზე დადგენილია ჩვენს მიერ შემუშავებული ორარხიანი არს-ის უპირატესობა ერთარხიან არს-თან შედარებით, რაც ნათლად ჩანს ნახ.3-ზე მოცემული დინამიკური მახასიათებლების ანალიზიდან. შემუშავებული ორარხიანი არს-ის ხარისხის მაჩვენებლები წარმოდგენილია ცხრილში 1.



ნახ. 3 ვაშლის ნარჩენი ტენშემცველობის არს-ის დინამიკური მახასიათებლები:
 1 – სიჩქარული არხით, 2 – თბური არხით, 3 – სიჩქარული და თბური არხით

ცხრილი 1. ვაშლის ნარჩენი ტენშემცველობის ოპტიმალური არს-ის ხარისხის მაჩვენებლები

ავტომატური რეგულირების სისტემა	არს ხარისხის მაჩვენებლები	
	T _s , წმ	σ, %
სიჩქარული არხით	114	32,6
თბური არხით	382	5,59
ორარხიანი (სიჩქარული და თბური)	120	6,66

დასკვნა

ამრიგად, ხილის ნარჩენი ტენშემცველობის არსებული ერთარხიანი არს-ების ანალიზის საფუძველზე ნაშრომში შემუშავებული შრომის პროცესის ორარხიანი მართვის სისტემა უზრუნველყოფს პროდუქტის სასურველი ნარჩენი ტენიანობის სტაბილურ ავტომატურ შენარჩუნებას, შესაბამისად პროდუქციის მაღალ ხარისხს და შრომაზე დახარჯული ენერჯის მინიმუმს.

Development and research of automatic regulation system of residual moisture content for food products

Avtandil Bardavelidze, Khatuna Bardavelidze

Summary

As a result of approximating the transient characteristics of the drying machine, the transfer functions of fruit drying were developed. The operability and computer model of the speed-thermal channel for the automatic control system (ACS) of the residual moisture content of fruits are proved. The task of optimization of the residual moisture content during drying of fruits by the speed-thermal channel

ACS in the conditions of technological limitations was set and solved. On the basis of the comparative analysis of dynamic characteristics, the advantage of speed-thermal channel ARS, in comparison with the systems of separate speed and thermal channel systems, has been established.

The results of the research are presented in the form of a table. At all stages of the research, the report was held in the Matlab environment.

Разработка и исследование системы автоматического регулирования остаточной влажности пищевых продуктов

Автандил Бардавелидзе, Хатуна Бардавелидзе

Резюме

В результате аппроксимации переходных характеристик сушильной машины разработаны передаточные функции сушки плодов. Обоснована работоспособность и компьютерная модель скоростно-теплого канала системы автоматического регулирования (САР) остаточной влажности плодов. Поставлена и решена задача оптимизации конечного влагосодержания при сушке плодов скоростно-теплым каналом АРС в условиях технологических ограничений. На основе сравнительного анализа динамических характеристик установлено преимущество скоростно-теплого канала АРС по сравнению с системами отдельных скоростных и тепловых каналов.

Результаты исследования представлены в виде таблицы. На всех этапах исследования отчет проводился в среде Matlab.

ლიტერატურა – References – Литература

1. Ángel Calín-Sánchez, Leontina Lipan, Marina Cano-Lamadrid, Abdolreza Kharaghani, ... Comparison of Traditional and Novel Drying Techniques and Its Effect on Quality of Fruits, Vegetables and Aromatic Herbs. *Foods*. 2020 Sep; 9(9), 126; <https://doi.org/10.3390/foods9091261>
2. Milivoj Radojčin, Ivan Pavkov, Danijela Bursać Kovačević, Predrag Putnik, ... Effect of Selected Drying Methods and Emerging Drying Intensification Technologies on the Quality of Dried Fruit: A Review. *Processes* 2021, 9(1), 132; <https://doi.org/10.3390/pr9010132>
3. Ionuț Dumitru Veleșcu, Roxana Nicoleta Rațu, Vlad-Nicolae Arsenoiaia, Research on the Process of Convective Drying of Apples and Apricots Using an Original Drying Installation. *Agriculture* 2023, 13(4), 820; <https://doi.org/10.3390/agriculture13040820>
4. A. M. Nigmatov, hX. Sirojova, N. Abdykahxorova. Control system and control of the state of the fruit dryer. *Scientific progress*. Volume 2, Issue 5, 2021, pp. 30-34
5. Mehmet Tümay, Halil Murat Ünver. Design and implementation of smart and automatic oven for food drying. *Measurement and Control*. Volume 54, Issue 3-4, March-April 2021, pp. 396-407; <https://doi.org/10.1177/00202940211000084>
6. Ionuț Dumitru Veleșcu, Roxana Nicoleta Rațu, Vlad-Nicolae Arsenoiaia, ... Research on the Process of Convective Drying of Apples and Apricots Using an Original Drying Installation. *Agriculture* 2023, 13(4). pp. 1-32; <https://doi.org/10.3390/agriculture13040820>.

7. T.A. Aliev, A.H. Rzayev, G.A. Guluyev, Robust technology and system for management of sucker rod pumping units in oil wells. *Mechanical Systems and Signal Processing*. Volume 99, 15 January 2018, pp.47-56; <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2017.06.010>
8. Carsten Seidel , Robert Dürr , Andreas Bück ^c. Robust multi-variable control of continuous yeast drying. *Journal of Process Control*. Volume 114, June 2022, pp.42-53; <https://doi.org/10.1016/j.jprocont.2022.04.004>
9. Flavio Raponi, Roberto Moschetti, Danilo Monarca,..... Monitoring and Optimization of the Process of Drying Fruits and Vegetables Using Computer Vision: A Review. *Sustainability* 2017, 9(11); <https://doi.org/10.3390/su9112009>.
10. Leontiev V.N. Analysis of automatic control systems: textbook/SPBGTURP. - St. Petersburg. 2014. Part 2. – 111pg.; <http://nizrp.narod.ru/metod/kafinfizmtex/6.pdf>.
11. A. Bardavelidze, Kh. Bardavelidze. Computer Modeling of Automation Systems. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2019, 112 pg.
12. Avtandil Bardavelidze, Khatuna Bardavelidze. Research Investigation on Automatic Control System of Drying Apparatus Based on Fuzzy Logic. *Journal of Technical Science& Technologies*, Volume 6, Issue 1, 2017, pp. 26-29.
13. Dean G. Duffy. *Advanced Engineering Mathematics with MATLAB*. Fourth edition. CRC Press Taylor & Francis Group, 2017, 1005 pg.

მართვის სისტემები და მოწყობილობები

CONTROL SYSTEMS AND DEVICES

СИСТЕМЫ И УСТРОЙСТВА УПРАВЛЕНИЯ

მცენარეთა წვეთოვანი მორწყვის ავტომატური სისტემა დისტანციური მართვით

*ნუგ ზარ ყავლაშვილი, ოთარ ქართველიშვილი, ლევან გვარამაძე, ვერიკო ბახტაძე
okartvel@gmail.com, l.gvaramadze@yahoo.com*

რეზიუმე

მიმოხილულია წვეთოვანი მორწყვის არსებული სისტემები და განხორციელებულია მათი კლასიფიკაცია თვისობრივი განვითარების თვალსაზრისით.

გამოკვეთილია სისტემის აგების თავისებურებები და მათ შორის არსებული განსხვავებები.

ჩვენს მიერ რეკომენდებულია მცენარეთა მორწყვის სისტემის სტრუქტურული სქემა მიკროპროცესორის ბაზაზე და მისი ფუნქციონირების პროგრამული რეალიზაცია, როცა სისტემის სამართი პარამეტრები ფორმირდება ორი ნაწილისაგან: ერთი ნაწილის ფორმირება ხორციელდება ნიადაგის ტენიანობის გაზომვის შედეგად, მეორე ნაწილი - სისტემაზე მოქმედი აღმშფოთი ზემოქმედებისაგან.

აღნიშნული პარამეტრების ნაწილის მონაწილეობა მორწყვის რეჟიმის ფორმირებაში დაკავშირებულია გარკვეულ სიმნელებთან, ამიტომ ისინი მონაწილეობენ მორწყვის რეჟიმის მართვაში არაცხადად, მაკორექტირებელი კოეფიციენტების სახით. მორწყვის სისტემიდან მიღებული პარამეტრების კონკრეტული მნიშვნელობების მიხედვით სისტემიდან დაცილებული ოპერატორის მიერ ნორმატიული დოკუმენტებიდან ამოკითხული კოეფიციენტები გადაეგზავნება მართვის სისტემას და მონაწილეობენ მორწყვის ხანგრძლივობის რეგულირებაში. მონაცემთა გადაცემა ოპერატორსა (მობილურ ტელეფონსა) და მორწყვის სისტემას შორის სრულდება უგამტარო კავშირით.

ნაშრომში განხილულია მცენარეთა მორწყვის ავტომატური მართვის სისტემაში დისტანციური მართვის ორგანიზაცია, ერთ-ერთი არსებული ტექნოლოგიის საშუალებით. წარმოდგენილია აპარატურული და პროგრამული კომპონენტების დაგეგმარების ძირითადი მომენტები და შემოთავაზებულია კონკრეტული რეკომენდაციები.

საკვანძო სიტყვები:

პირდაპირი მართვა, მართვა უკუკავშირით, პარამეტრების კონტროლი, სამართი ზემოქმედება, უსადენო კავშირი, დისტანციური მართვის სისტემა.

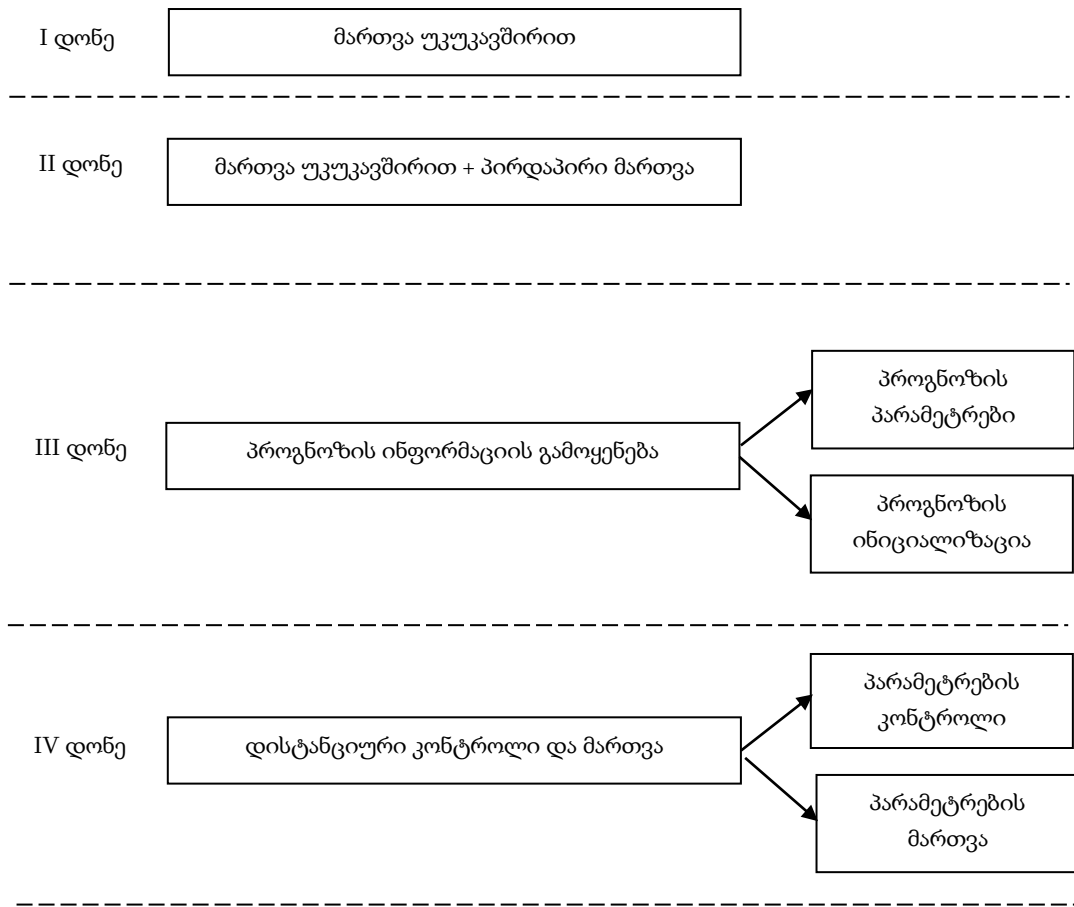
სოფლის მეურნეობაში მორწყვის ერთ-ერთი თანამედროვე ტექნოლოგია არის მცენარეთა წვეთოვანი მორწყვა, რომელიც იძლევა წყლის რესურსის რაციონალური გამოყენებისა და ერთდროულად, სასუქის ინგრედიენტების ნიადაგში შეტანის შესაძლებლობას [1]. დარგის პროდუქციაზე მოთხოვნების ზრდა ითხოვს ამ პროცესის ეფექტურობის გაზრდას წარმოების ინტენსიფიკაციის პირობებში და ეს თავისთავად განაპირობებს ავტომატური მართვის ტექნოლოგიის და თანამედროვე მიკროპროცესორული ტექნიკის გამოყენებას ასეთი სისტემების დაგეგმარებასა და რეალიზაციაში [2].

ნახ.1-ზე მოყვანილია წვეთოვანი მორწყვის ავტომატიზებული სისტემების კლასიფიკაცია, რომელშიც ასახულია ავტომატიზებული სისტემების თვისობრივი განვითარების სხვადასხვა ეტაპები.

განვითარების პირველი დონე წარმოადგენს ტრადიციულ ავტომატურ მართვის სისტემებს უკუკავშირით [3]. მართვის პროცესი ხორციელდება სამართი პარამეტრის - ნიადაგის ტენიანობის კონტროლით. შედეგის კონტროლის შესაბამისად იცვლება ნიადაგში საწვეთურებით მიწოდებული წყლის რაოდენობა.

მეორე დონე გულისხმობს მართვის პროცესის ხარისხის გაუმჯობესების მიზნით დამატებითი ინფორმაციის გამოყენებას სისტემაზე მოქმედი აღმშფოთი ზემოქმედებების შესახებ, რომელშიც შედის: ინფორმაცია ქარის სიჩქარის, ნალექების არსებობის და რაოდენობის, გარემოს ტემპერატურისა და ტენიანობის ცვლილების და წყლის არსებული რესურსის შესახებ [4, 5]. ჩვენს მიერ დაპროექტებული სისტემის შემთხვევაში ამ ზემოქმედების კომპენსირება ხორციელდება K კოეფიციენტის ფორმირებით, რომელიც განსაზღვრავს აღმშფოთი ზემოქმედებების ჯამურ რეაქციას სისტემაზე [5].

მესამე დონე გულისხმობს მართვის პროცესში ამინდის პროგნოზის ინფორმაციის გამოყენებას.



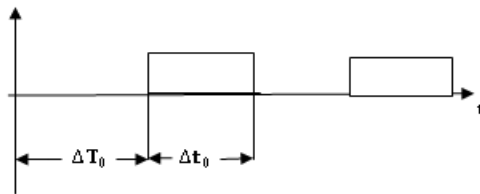
ნახ. 1

პირველი ორი ეტაპი ასახავს მართვის პროცესის რეალიზაციას სისტემის მიერ რეალური დროის მომენტში მიღებული ინფორმაციის დამუშავების შედეგად. მესამე დონის სისტემაში ხორციელდება ოპერატორის მიერ პროგნოზის ინფორმაციის მიწოდება და ამ ინფორმაციის შედეგად გარკვეული ზემოქმედების ინიცირება. შესაბამისად, სისტემა იძენს ავტომატიზებული მართვის ფუნქციას.

უფრო ფართო შესაძლებლობებით ხასიათდება მეოთხე დონის სისტემები, რომლებიც ითვალისწინებენ ავტომატური მართვის სისტემასა და ოპერატორს შორის უგამტარო კავშირს.

მორწყვის სისტემის ნორმალური ფუნქციონირებისათვის, ესე იგი მცენარეთა ნორმალური ვეგეტატიური პროცესის რეალიზაციისათვის, აუცილებელი წყლის მიწოდება

რეზერვუარიდან ხორციელდება პერიოდულად, ერთმანეთისაგან ΔT_0 ინტერვალით დაშორებული Δt_0 დროის განმავლობაში გაცემული პორციებით (ნახ. 2).



ნახ. 2

ცხადია, რომ წყლის რაოდენობის მიწოდება ნიადაგის ტენიანობის ცვლისათვის შეიძლება ვარეგულიროთ როგორც მიწოდების ციკლის ΔT დროის ვარიაციით მუდმივი Δt მიწოდების ხანგრძლივობის შემთხვევაში, ასევე Δt ინტერვალის ცვლილებითაც.

ადრე გამოქვეყნებულ სტატიაში [6] ავტორების მიერ ტრადიციულ მორწყვის სისტემაში უკუკავშირით, რომლის სამართ პარამეტრს წარმოადგენს გრუნტის ტენიანობა, დამატებით გათვალისწინებული იქნა სისტემაზე მოქმედი აღმშფოთი ზემოქმედებები:

- ქარის არსებობა და მისი სიდიდე;
- ნალექის არსებობა და მისი სიდიდე;
- გარემოს ტემპერატურისა და ტენიანობის ცვლილება;
- სარეზერვო წყლის რესურსის ცვლილება.

აქედან გამომდინარე, იმავე ავტორების მიერ შემოთავაზებულია მართვის პროცესის წარმოდგენა ორ ნაწილად: მორწყვის ΔT შუალედის მართვა ნიადაგის ტენიანობის მაჩვენებლით, ხოლო Δt მორწყვის ხანგრძლივობის დაკომპენსირება სისტემაზე მოქმედი აღმშფოთი ზემოქმედებით.

აღმშფოთი ზემოქმედების სიდიდის გასათვალისწინებლად მიზანშეწონილია ისინი წარმოვადგინოთ სპეციალური მაკორექტირებელი K კოეფიციენტების სახით, რომლითაც შეგვაქვს კორექტირება Δt ინტერვალის სიდიდეში და შესაბამისად ერთ ციკლში ნიადაგისთვის მიწოდებული წყლის რაოდენობაში.

$$\Delta t = K * \Delta t_0, \quad \text{სადაც, } K = K_1 * K_2 * K_3$$

- K_1 - ქარის არსებობის კოეფიციენტი, $1 < K_1 < K_{\max}$;
- K_2 - ნალექების არსებობის კოეფიციენტი, $K_{\min} < K_2 < 1$;
- K_3 -სარეზერვო წყლის დონის ცვლილება, $K_3 = 1; 0,5; 0,25; 0$.

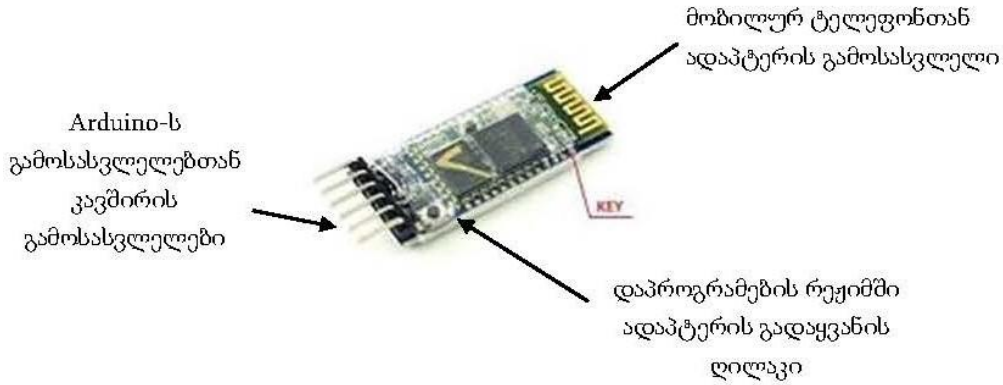
ზემოთ აღწერილი რეჟიმის რეალიზაციისათვის ჩვენს მიერ შექმნილია Arduino UNO-ს ბაზაზე აგებული ავტომატური მართვის სისტემა, რომლის მიერ ხდება სენსორებიდან მიწოდებული პარამეტრების საფუძველზე მართვის სიგნალების ფორმირება. ამ პარამეტრების ნაწილი უშუალოდ მონაწილეობს მორწყვის რეჟიმის მართვაში, სხვა ნაწილი კი (ქარის არსებობა და სიდიდე, წვიმის არსებობა და სიდიდე) მონაწილეობს მართვის რეჟიმში არაცხადად, მაკორექტირებელი კოეფიციენტების სახით, რომელთა მეშვეობით სრულდება მორწყვის რეჟიმის კორექტირება.

მაკორექტირებელი კოეფიციენტების განსაზღვრა პარამეტრების მნიშვნელობების საფუძველზე უშუალოდ მართვის სისტემაში დაკავშირებულია გარკვეულ სიმძლევებთან. ამიტომ, ჩვენს მიერ შემოთავაზებულია საკითხის შემდეგი სახით გადაწყვეტა: კოეფიციენტების განსაზღვრა წინასწარ ექსპერიმენტულად და შედეგის წარმოდგენა ნორმატიული დოკუმენტების სახით. სისტემიდან ამოკითხული პარამეტრების მნიშვნელობის შესაბამისად დაშორებული ოპერატორი ნორმატიული დოკუმენტიდან მართვის სისტემაში აგზავნის კოეფიციენტის მნიშვნელობას, რომელიც შემდგომში მონაწილეობს რეჟიმის ფორმირებაში.

ოპერატორის (მობილური ტელეფონის) ურთიერთობა მართვის სისტემასთან ხორციელდება დისტანციურად, უგამტარო კავშირით.

ამჟამად პოპულარულია უგამტარო კავშირის ორგანიზება ცნობილი ტექნოლოგიების საშუალებით, როგორც არის Bluetooth, Wi-Fi, IoT და სხვა. ჩვენს მიერ უგამტარო კავშირის ორგანიზებისათვის გამოყენებულია Bluetooth ტექნოლოგია.

Arduino UNO-ს არ გააჩნია Bluetooth პროტოკოლთან უშუალოდ მუშაობის შესაძლებლობა, ამიტომ მობილური კავშირის დასამყარებლად ვსარგებლობთ Arduino-ს Bluetooth გამაფართოებელით (ადაპტერით) - HC-05 [7, 9] (ნახ. 3).

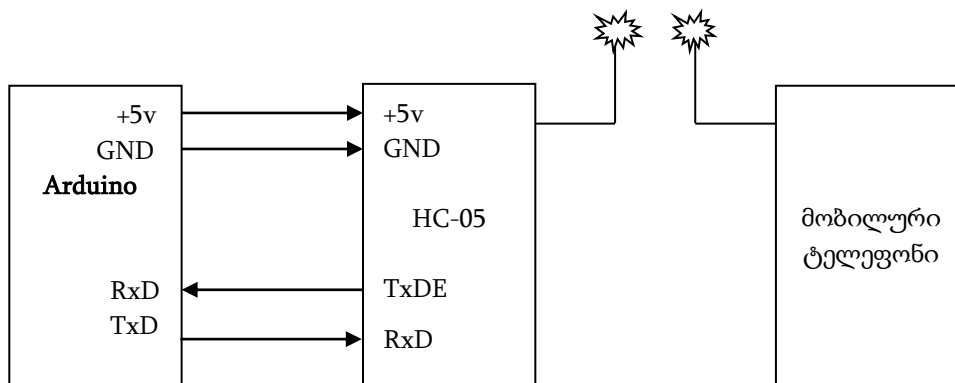


ნახ. 3

გადაცემა ადაპტერსა და Arduino-ს შორის ხორციელდება სადენებით, რომლითაც ადაპტერის გამომყვანები უკავშირდება Arduino-ს გამოსასვლელებს: +5 → +5; GND → GND; TxD → RxD; RxD → TxD. მონაცემების გადაცემა ხორციელდება USART პროტოკოლით. კავშირი ადაპტერსა და მობილურ ოპერატორს (მობილურ ტელეფონს) შორის კი - რადიოტალღებით.

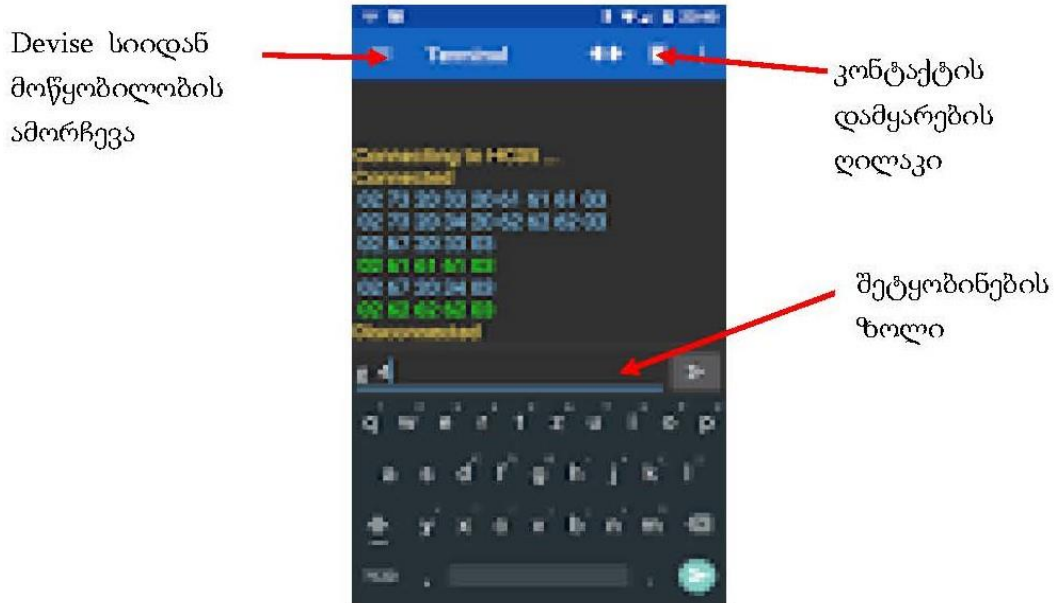
ავტომატურად, Bluetooth ადაპტერი გაწყობილია მწარმოებლის მიერ მონაცემთა გადაცემის რეჟიმზე. ამგვარად, ყველა პარამეტრი, რომლებიც მონაწილეობენ მონაცემთა გადაცემაში უკვე დაყენებულია ადაპტერში. მიუხედავად ამისა, მომხმარებელს შეუძლია პარამეტრების შეცვლა მისი სურვილის მიხედვით. მაგალითად, ადაპტერის სახელი (ავტომატურად ადაპტერს მინიჭებული აქვს სახელი - HC-05), პაროლი (ავტომატურად მინიჭებული აქვს 1,2,3,4 ან 0,0,0,0), ადაპტერის მისამართი ქსელში და სხვა. ადაპტერის გადაწყობა ხორციელდება მისი დაპროგრამირების რეჟიმში გადაყვანის შემდეგ, რაც შეიძლება შესრულდეს ადაპტერის პლატაზე არსებულ დილაკზე მცირე ხნით დაჭერით. ადაპტერის დაპროგრამება სრულდება AT-ბრძანებების საშუალებით, კომპიუტერის ეკრანიდან მიმდევრობითი (USB) სალტით.

ნახ. 4-ზე ნაჩვენებია ადაპტერის ჩართვა Arduino-სთან და მონაცემთა გადაცემის ტრაქტი.



ნახ. 4

მობილურ ტელეფონში პროგრამის გამოძახების შემდეგ ტელეფონის ეკრანს ექნება ნახ. 5-ზე ნაჩვენები სახე.



ნახ. 5

მობილურ ტელეფონსა და ადაპტერს შორის კონტაქტის დასამყარებლად ეკრანის ზედა ზოლზე Device სიიდან უნდა ავირჩიოთ მოწყობილობა, რომელთანაც ვამყარებთ კავშირს (ჩვენს შემთხვევაში - HC-05), შემდეგ, იმავე ზოლზე უნდა დავაჭიროთ კონტაქტის დამყარების ღილაკს [10].

მობილური ტელეფონის კავშირი მიკროკონტროლერის პროგრამასთან ხორციელდება შეტყობინების საფუძველზე ციფრული ან ტექსტის სახით, რომელიც იგზავნება ფანჯრის შეტყობინების ზოლიდან მიკროპროცესორში, სადაც სრულდება შესაბამისი მოქმედება.

ჩვენს მიერ შექმნილია პროგრამული ბლოკები (ფუნქციები), რომლებიც შედიან მიკროკონტროლერის პროგრამის შემადგენლობაში და ახდენენ პარამეტრების ამოკითხვას მიკროკონტროლერიდან მობილურ ტელეფონში ან პირიქით, კოეფიციენტების გადაცემას ტელეფონიდან მიკროკონტროლერში.

Automatic drip irrigation system with remote control

Nugzar Kavlashvili, Otar Kartvelishvili, Levan Gvaramadze, Veriko Bakhtadze

Summary

The existing systems of drip irrigation of plants are considered and their classification is carried out from the point of view of qualitative development.

The features of the system construction and the differences between them are highlighted.

A block diagram of a plant irrigation system based on microprocessors and its software implementation are recommended, when the control parameters of the system are formed from two

parts: the formation of one part is carried out as a result of measuring soil moisture, the second part is formed from the excitation effect affecting the system. During the process control parameters of the system are formed from two parts: the formation of one part is carried out as a result of measuring soil moisture, the second part is formed from the excitatory effect working on the system.

Participation of some of these parameters during formation of the irrigation regime is associated with certain difficulties, so they are involved in the management of the irrigation regime implicitly, in the form of corrective coefficients. According to the specific values of the parameters received from the irrigation system, the operator removes the normative document from the system, sends the selected coefficient to the control system and participates in the regulation of the duration of irrigation.

Data transmission between the operator and the irrigation system is carried out wirelessly.

The paper considers the organization of remote control in the system of automatic watering of plants, using one of the existing technologies. The main points of designing hardware and software components are presented and specific recommendations are offered.

Автоматическая система капельного орошения с дистанционным управлением

ნუნგარ კავლაშვილი, ოთარ ქართველიშვილი, ლევან გვარამაძე, ვერიკო ბახტაძე

Резюме

Рассмотрены существующие системы капельного орошения растений и проведена их классификация с точки зрения качественного развития.

Выделены особенности построения системы и различия между ними.

Рекомендована структурная схема системы орошения растений на базе микропроцессоров и ее программная реализация, когда управляющие параметры системы формируется из двух частей: формирование одной части осуществляется в результате измерения влажности почвы, вторая часть – из влияющего на систему возбуждающего воздействия.

Участие некоторых указанных параметров в формировании режима полива связано с определенными сложностями, поэтому они участвуют в управлении режимом полива не явно, а в виде корректирующих коэффициентов. По конкретным значениям параметров, полученным из системы полива, удаленный от системы оператор из нормативного документа пересылает выбранный коэффициент системе управления и участвует в регулировании длительности полива. Передача данных между оператором и системой полива осуществляется беспроводной связью.

В работе рассматривается организация дистанционного управления в системе автоматического полива растений, с помощью одной из существующих технологий. Представлены основные моменты проектирования аппаратных и программных компонентов и предлагается конкретные рекомендации.

ლიტერატურა- References – Литература

1. წვეთოვანი მორწყვა და მისი ძირითადი უპირატესობები. ფერმერთა სკოლა <https://agrokvkaz.ge/fermerta-skola/tsvethovani-mortsqhva-da-misi-dzirthadi-upiratesobebi.html>

2. K.Pratyusha, M.Chaitanya Shuman. Design embedded systems for the automation of drip irrigation. Department of ECM K,L. University Pradesh India.2012.
3. И.З. Аширов, В.А.Шахов, С.В.Горячев, А.П.Козловцев, А.А.Сорокин, А.М.Старожуков. Автоматизация управления капельным поливом тепличных культур. ФГБОУ ВО 2018 adADAD
4. С.А.Андреев. Энерго-ресурсосберегающий способ управления поливом. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А.Тимирязева, Москва, Российская федерация, 2017
5. ნ. ყავლაშვილი, ლ. გვარამაძე, პ. სტავრიანიძე, გ. კიკნაძე. წვეთოვანი ავტომატური მორწყვის სისტემის მოდელის პროგრამული სქემა სარწყავი წყლის შეზღუდული რესურსის პირობებში. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ა. ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული, შპს „საჩინო“, 2022/ № 26, გვ. 67-73. ISSN0135-0765
6. ო. ქართველიშვილი, ლ. გვარამაძე, ვ. ბახტაძე. IoT ტექნოლოგიის გამოყენებით მიკროპროცესორული სისტემების დისტანციური მართვის გამოკვლევა. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის არჩილ ელიაშვილის სახელობის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული, თბილისი, გამომცემლობა შპს „საჩინო“, №26, 2022, გვ. 74-79. ISSN 0135-0765
7. Bluetooth модуль HC05 https://arduino-kit.ru/blogs/blog/project_31
8. Управление освещением по Bluetooth (Arduino) и смартфон на Android <https://www.google.com/search?q=%D1>.
9. Беспроводная связь. Модуль Bluetooth HC05 https://Arduino-kit.ru/blogs/blog/project_31
10. Настройка сопряжения Serial Bluetooth Terminal с Bluetooth адаптером <https://www.google.com/search?q=4.+%D0>.

წვეთოვანი ავტომატური მორწყვის სისტემის არხების ტიპური სტრუქტურა

ნუგ ზარ ყავლაშვილი, ლევან გვარამაძე, პანაიოტ სტავრიანიდი, ვერიკო ბახტაძე

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

რეზიუმე

აღწერილია წვეთოვანი მორწყვის ავტომატური სისტემის შემადგენელი არხების ერთგვაროვანი სტრუქტურა. განხილულია მათი აპარატურული შემადგენლობის თავისებურებები, შეპირაპირების პრობლემები და ფუნქციონირების თავისებურებანი.

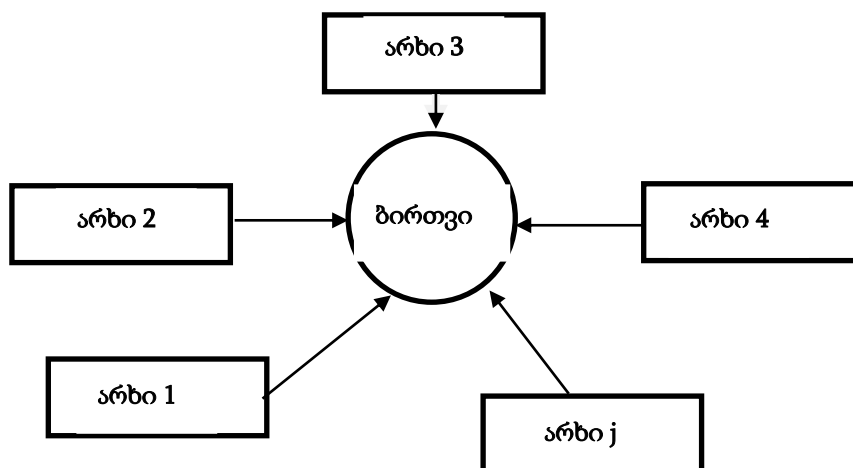
ნაჩვენებია, რომ ასეთი მიდგომის შემთხვევაში მარტივდება ცალკეული არხების ფუნქციის ადეკვატური პროგრამული უზრუნველყოფის შექმნაც. კერძოდ, ამ შემთხვევაშიც შესაძლებელი ხდება ერთგვაროვნების პრინციპის გამოყენება.

შემოთავაზებული სისტემის დიზაინის მეთოდოლოგიის გამოყენება ამარტივებს სისტემის შექმნის პროცესს. კერძოდ, სტანდარტული მზა ბლოკების გამოყენებისა და ტიპური პროგრამული მოდულების შექმნის შედეგად მარტივდება სისტემის აწყობისა და გამართვის პროცესი.

საკვანძო სიტყვები:

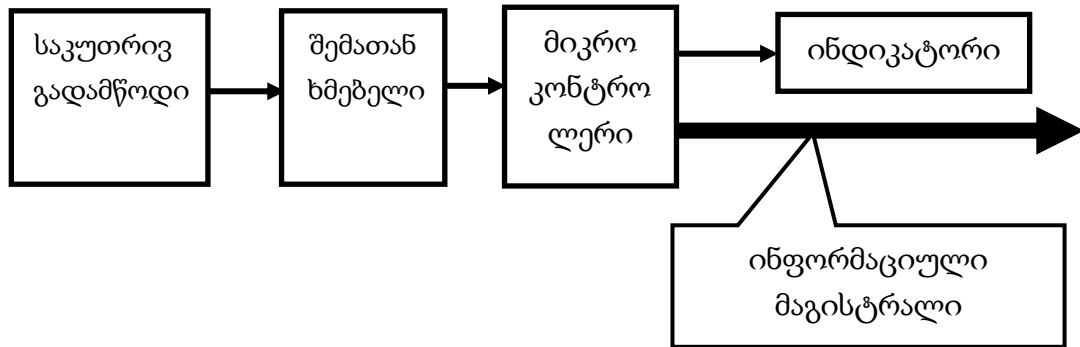
პირველადი გადამწოდი, შემათანხმებელი მოწყობილობა, მიკროკონტროლერი, ინდიკაცია.

ნაშრომ [1]-ში განხილულია ჩვენ მიერ დაპროექტებული წვეთოვანი ავტომატური მორწყვის სისტემა. მისი რეალიზაციის საფუძველად აღებულია ერთგვაროვანი სტრუქტურა ცენტრალური ბირთვით (მიკროპროცესორი ARDUINO UNO), რომელსაც გაჩნია გარკვეული გამოთვლითი რესურსი. ეს რესურსი გამოიყენება ცალკეული არხების ფუნქციონირების შედეგად მიღებული ინფორმაციის დამუშავების საფუძველზე სისტემის გამართული მუშაობისათვის აუცილებელი სამართი ზემოქმედების გენერირებისათვის.



ნახ. 1

ინფორმაციის შეგროვება და სისტემის ბირთვზე მიწოდება ხორციელდება j ინფორმაციული არხის საშუალებით (ნახ. 1). თითოეული არხი მოიცავს გარკვეულ პროგრამულ რესურსს, რომელიც გამოიყენება არხის მიერ მიღებული ინფორმაციის წინასწარი დამუშავებისა და მიღებული შედეგის გადაცემისათვის ბირთვზე. არხების ტიპური სტრუქტურა მოცემულია ნახ. 2-ზე.



ნახ. 2

ცალკეული ინფორმაციული არხი ითვალისწინებს გარკვეული ტიპის გადამწოდებიდან მიღებული ინფორმაციის პირველად დამუშავებას, მის ინდიკაციას და ძირითად გამოთვლით მოდულში გადაცემას. გამოთვლით რესურსად არხში გამოყენებულია ARDUINO-ს ფირმის მიკროკონტროლერი NANO, რომელიც პროგრამულად უზრუნველყოფს ზემოთ ხსენებულ ყველა ოპერაციას.

დაწვრილებით განვიხილოთ არხის თითოეული კვანძი.

საკუთრივ გადამწოდი წარმოადგენს მოწყობილობას, რომელიც გამოიყენება გარემოდან სისტემის ფუნქციონირებისათვის აუცილებელი ინფორმაციის აღსაქმელად. ეს ინფორმაციაა: ნიადაგის ტენიანობის მნიშვნელობა ნაკვეთის სახასიათო წერტილებში, სისტემაზე მოქმედი აღმშფოთი ზემოქმედებები (გარემოს ტემპერატურა და ტენიანობა, ინფორმაცია ქარის სიჩქარეზე, ნალექების არსებობა და რაოდენობა, ინფორმაცია მოსარწყავი წყლის მიმდინარე რესურსის შესახებ) და ა.შ.

შემათანხმებელი მოწყობილობა აუცილებელია გადამწოდიდან მიღებული ელექტრული სიგნალის შესათანხმებლად მიკროპროცესორის შესასვლელებთან. აქ შესაძლებელია სხვადასხვა ვარიანტები: ნორმალიზებული ანალოგური სიგნალი შესაბამისი დონეებით ან გარკვეული სიხშირის ციფრული სიგნალი. აღსანიშნავია, რომ აქ ჩვენ ვგულისხმობთ ქარხნული წესით, თანამედროვე ტექნოლოგიებით, დამზადებულ მოწყობილობას.

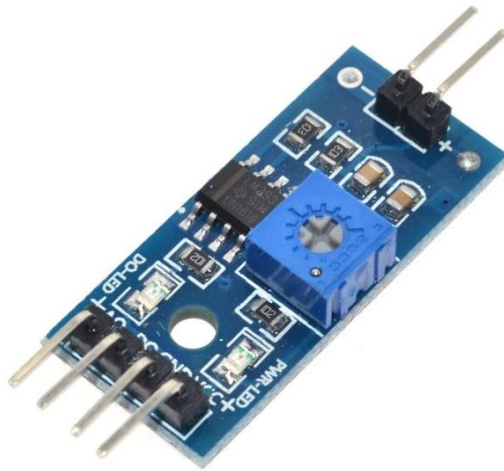
ინდიკატორი გამოიყენება გადამწოდიდან ინფორმაციის ვიზუალიზაციისათვის. მისი არსებობა მნიშვნელოვანია არხის და სისტემის მთლიანობაში გაწყობის პროცესის გამარტივებისათვის. შესაძლებელია გამოყენებულ იქნეს როგორც სემენტური ანალოგური და ციფრული ელემენტები, ასევე უფრო რთული, სწორხაზოვანი ინდიკატორი სახაზავები, მცირეგაბარიტიანი პანელები და სხვა. მიზანშეწონილია ისეთი ინდიკატორების გამოყენება, რომელთა შეუღლება მიკროპროცესორთან ადვილია და არსებობს შესაბამისი პროგრამული მოდულები.

ქვემოთ მოყვანილია სამი სხვადასხვა ტიპის არხის აგების მაგალითები, რომლებიც გამოყენებულ იქნა [1]-ში აღწერილი სისტემის პროექტირების დროს.

1. ნიადაგის ტენიანობის და ნალექების არსებობის და სიდიდის განსაზღვრა

საკუთრივ გადამწოდად ორივე შემთხვევაში გამოიყენება სპეციალური გადამწოდი. იგი წარმოადგენს თხელი ფირის ჰიგრომეტრს [2], რომელსაც საფუძვლად უდევს ერთი ფიზიკური პრინციპი. განსხვავება მდგომარეობს მხოლოდ რელიზაციის გეომეტრიულ კონფიგურაციაში. იგი მოიცავს სუბსტრატს, რომელზედაც დეპონირებულია ორი ელექტროდი. ეს ელექტროდები გამოირჩევა საკმაოდ დაბალი წინაღობით, რომელიც მნიშვნელოვნად დამოკიდებულია ტენიანობაზე. ამის მისაღწევად ელექტროდის დამზადებისათვის გამოიყენება სპეციალური მასალა - ალუმინის ოქსიდი. შედეგად, ასეთი სენსორის საზომი წრედის მთლიანი წინააღმდეგობა მნიშვნელოვნად იქნება დამოკიდებული ტენიანობაზე. მასში გამავალი დენის სიდიდე მიუთითებს ტენიანობის დონეზე.

ინფორმაციის შესატანად გადამწოდიდან მიკროკონტროლერზე გამოიყენება სპეციალური შემათანხმებელი მოწყობილობა (ნახ. 3).

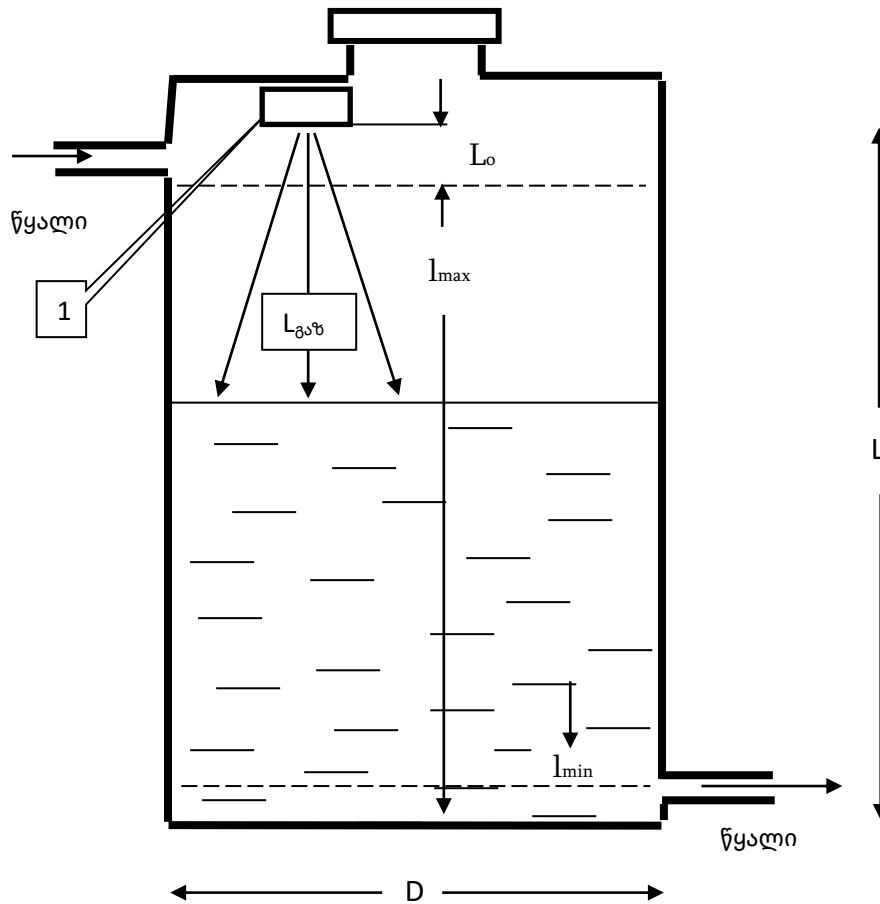


ნახ. 3

შემათანხმებელი მოწყობილობა შეიცავს ტენიანობის ზღურბლის რეგულირების პოტენციომეტრს, რომლის საშუალებითაც შესაძლებელია ტენიანობის მნიშვნელობის გარკვეული ზღურბლის დაფიქსირება. აღნიშნული შემათანხმებელი მოწყობილობა საშუალებას იძლევა მივიღოთ გამოსავალი სიდიდის ციფრული D0 და A0 ანალოგური გამოსავალი და შესაბამისად დავაფიქსიროთ ტენიანობის უწყვეტი მნიშვნელობების ნორმალიზებული მნიშვნელობები A0 გამოსავალზე ან ნალექების არსებობა/არარსებობის შესაბამისი დიგიტალური სიგნალი D0 გამოსავალზე.

2. წყლის რესურსის კონტროლი

სარწყავი წყლის რესურსის კონტროლის მექანიზმები აღწერილია ნაშრომ [3]-ში. მათგან ოპტიმალურის არჩევა ბევრადაა დამოკიდებული იმაზე, თუ რა ფორმის და კონსტრუქციისაა წყლის ბუფერული სათავსო. განვიხილოთ შემთხვევა, როცა ის წარმოადგენს ვერტიკალური ცილინდრის ფორმის ჭურჭელს და მისი გეომეტრიული ზომები აკმაყოფილებს პირობას $L > D$. სადაც, L არის ცილინდრის სიმაღლე, ხოლო D მისი ფუძის დიამეტრი (ნახ. 4). ამასთან ერთად, უპირატესობას მივანიჭებთ უკონტაქტო სისტემას. ნახ. 4-დან ჩანს, რომ ასეთი ფორმის რეზერვუარის შემთხვევაში მისი შემცველი წყლის რაოდენობის კონტროლი დაიყვანება წყლის დონის გაზომვაზე.



ნახ. 4.

გაზომვისთვის გამოიყენება მოწყობილობა ულტრაბგერითი მანძილის საზომი HC-SR04, დამაგრებული ცილინდრული ჭურჭლის ზედა ნაწილზე. მინიმალური მანძილი გამზომიდან წყლის ზედაპირამდე - I_0 მაქსიმალურად შევსებული რეზერვუარის შემთხვევაში განისაზღვრება ულტრაბგერითი მანძილის საზომის HC-SR04. კონსტრუქციული თავისებურებით წარმოადგენს მინიმალურ გაზომვის მანძილს

$$I_0 > 25 - 30 \text{ სმ}$$

თუ ჩავთვლით, რომ რეზერვუარის ფორმა იდეალურად ცილინდრულია, მაშინ წყლის მოცულობის შეფასებისათვის შეგვიძლია გამოვიყენოთ ფორმულა:

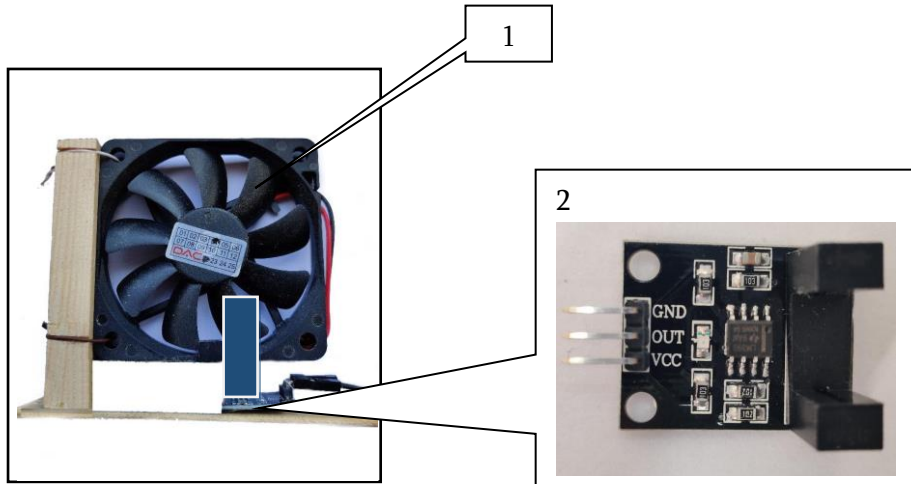
$$L/L_{max} = (1 + L_0/L_{max}) * (L_{გაზ}/L_{max})$$

სადაც, L არის რეზერვუარში არსებული წყლის მოცულობით დაკავებული სიმაღლე; L_{max} - მაქსიმალურად შევსებული ავზის მოცულობის სიმაღლე; L_{max} - წყლის მაქსიმალური სიმაღლე ჭურჭელში; $L_{გაზ}$ - ხელსაწყოთი აღრიცხული წყლის ზედაპირამდე.

უნდა აღინიშნოს, რომ გაზომვის შედეგების სიზუსტე დამოკიდებულია გარემოს პირობებზე, კერძოდ, გარე ტემპერატურაზე. იგი იცვლება 3,5-4 სმ დიაპაზონში და მაქსიმალურია სავსე რეზერვუარის შემთხვევაში. ამიტომ, ეს შეცდომა შეგვიძლია უგულებელვყოთ. შესაბამისი პროგრამის ლისტინგი მოყვანილია ნაშრომ [4]-ში.

3. ქარის სიჩქარის კონტროლი

ამ ინფორმაციის მისაღებად სისტემაში გამოიყენება მეტეოროლოგიაში ცნობილი სპეციალური ხელსაწყო - ანემომეტრის ანალოგი. ჰაერის ნაკადის მოძრაობის სიჩქარის განსაზღვრისათვის ვიყენებთ კომპიუტერულ მოწყობილობებში გამოყენებულ მცირე-გაბარიტულიან გამაგრებულ ვენტილატორს - 1 (ნახ. 5). ჩვენს შემთხვევაში ის ბრუნვაში მოდის ქარით გამოწვეული ჰაერის ნაკადების ზემოქმედების შედეგად. ჰაერის მოძრავი ნაკადით გამოწვეული ბრუნთა რიცხვის განსაზღვრისათვის იხ. ნახ. 5. შემათხმებელ ელემენტად გამოყენებულია ოპტოელექტრონული წყვილი - 2.



ნახ. 5

ვენტილატორის ფრთები ტრიალის განმავლობაში პერიოდულად ახორციელებს ოპტოელექტრულ წყვილში მიმდებ ელემენტზე - 2 დაცემული გამოსხივების ნაკადის გახსნა/შეწყვეტას და შესაბამისად, მის გახსნა/დახურვას. ვენტილატორის ბრუნთა რიცხვი იანგარიშება ფორმულით:

$$N = k/n \quad (2)$$

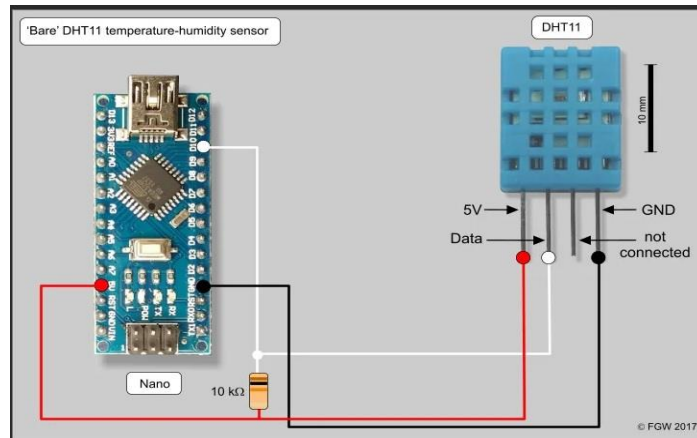
სადაც, k არის იმპულსების რაოდენობა ოპტოელექტრონული წყვილის გამოსასვლელზე; n - ფრთების რაოდენობა ვენტილატორში; N - ვენტილატორის ღერძის ბრუნთა რიცხვი.

ოპტოელექტრონული წყვილი გამოდის შემათხმებელი მოწყობილობის როლში. მისი გამოსავალი მიერთებულია მიკროკონტროლერის ციფრულ შესასვლელთან, რომელსაც გააჩნია წყვეტის აღქმის ფუნქცია. მიკროკონტროლერში პროგრამულად ხორციელდება წყვეტების რაოდენობის დათვლა დროის გარკვეულ სტანდარტულ პერიოდებში (2) ფორმულის შესაბამისად. მიღებული შედეგი პროპორციულია ქარის სიჩქარისა. ეს სიდიდე აისახება 7 სეგმენტური ელექტრონული ტაბლოს საშუალებით.

4. ტემპერატურისა და ტენიანობის განსაზღვრა

ჩვენს შემთხვევაში გადამწოდად გამოყენებულია DHT11 მიკროსქემა, რომელიც ითავსებს ტემპერატურის და ტენიანობის გაზომვის ფუნქციას. შემათხმებელი მოწყობილობის არსებობა არ არის აუცილებელი, რადგანაც გადამწოდის გამომყვანები მიერთებულია უშუალოდ მიკროპროცესორის შესასვლელებზე (ნახ. 6). გადამწოდის კვების (+5ვ) და მიწის გამომყვანები GND მიერთებულია კონტროლერის შესაბამის გამომყვანებთან, ხოლო ტემპერატურის და ტენიანობის გადამწოდის მონაცემების გამომყვანი DATA,

მიერთებულია კონტროლერის ერთ-ერთ ციფრულ შესასვლელზე. მონაცემების ინდიკაცია შესაძლებელია LCD ორსტრიქონიან ეკრანზე.



ნახ. 6

მონაცემების (ტემპერატურისა და ტენიანობის) ათვლის პროგრამის ლისტინგი ARDUINON ANO-ს ტიპის მიკროკონტროლერებისათვის სტანდარტულია [5], ის უზრუნველყოფს გარემოს ტემპერატურისა და ტენიანობის პერიოდულ ათვლას და მონაცემების LCD ეკრანზე გამოტანას.

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

A typical structure of the channels of an automatic drip irrigation system

Nugzar Kavlashvili, Levan Gvaramadze, Panaiot Stavrianidi, Veriko Bakhtadze

Summary

The homogeneous structure of the channels of the automatic drip irrigation system is described. The features of its hardware composition, the problems of docking and the specificity of functioning are discussed.

It is shown that this approach simplifies the creation of adequate software for the functioning of individual channels. In particular, in this case it becomes possible to use the principle of heterogeneity.

The use of the proposed design methodology simplifies the process of creating a system and, in particular, the process of assembling and debugging as a result of using standard ready-made blocks and creating typical software modules.

Типовая структура каналов автоматической системы капельного орошения

Нугзар Кавлашвили, Леван Гварамадзе, Панаиот Ставрианиди, Верико Бахтадзе

Резюме

Описана однородная структура каналов автоматической системы капельного орошения. Обсуждаются особенности ее аппаратного состава, проблемы стыковки и специфичность функционирования.

Показано, что при таком подходе упрощается создания адекватного программного обеспечения функционирования отдельных каналов. В частности, и в этом случае появляется возможность использовать принципа однородности.

Использование предложенной методики проектирования упрощает процесс создания системы и в особенности процесс сборки и отладки в результате использования стандартных готовых блоков и создания типовых программных модулей.

ლიტერატურა – References – Литература

1. ნ. ყავლაშვილი, ლ. გვარამაძე, პ. სტავრიანიდი, გ. კიკნაძე. წვეთოვანი ავტომატური მორწყვის სისტემის მოდელის პროგრამული სქემა სარწყავი წყლის შეზღუდული რესურსის პირობებში საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის არჩილ ელიაშვილის სახელობის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული, თბილისი, 2022, № 26, გვ. 56-62.
2. Ю.В. Егоров, А.В. Бобков, А.В. Кириченко, Е.Н. Есафова. Свойства и возможности атчиков влажности для управления поливом. Вестник Алтайского государственного аграрного университета № 1 (147), 2017.
3. ნ. ყავლაშვილი, ლ. გვარამაძე, ო. ლაბაძე, პ. სტავრიანიდი, თ. საანიშვილი, ვ. ბახტაძე, გ. კიკნაძე. წვეთოვანი მორწყვის სისტემების ბუფერულ რეზერვუარებში წყლის დინამიკური ცვლილებების კონტროლის საშუალებები. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის არჩილ ელიაშვილის სახელობის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული, თბილისი, 2021, № 25, გვ. 56-62.
4. <https://arduinomaster.ru/datchiki-arduino/ultrazvukovoj-dalnomer-hc-sr04/>
5. <https://dzen.ru/a/Y7wakTEzpFGvzfyy>

Analysis and forecasting of innovative opportunities and their main prospective

Archil Chirakadze, Zakaria Buachidze, Akaki Gigineishvili, Irakli Nadiradze

achikochirakadze@gmail.com

Abstract

It is known that the analysis and forecasting of the innovative potential is based on the existing regularities of the change of the relevant indicators and their combinations. Therefore, for reliable innovative forecasting, it is very important to develop relevant combined indices and evaluate their stability in a certain time interval. At the modern stage, it is no longer enough to use the Global Index of Innovation (GII) to evaluate and predict the innovative potential of a country or region, and it is necessary to find and develop new, more objective, sustainable and informative characteristics in order to correctly assess and predict innovative opportunities and their dynamics. In the presented work, new features necessary for the analysis and forecasting of innovative processes are proposed and the results of using them together with the global index of innovation are discussed. It is emphasized that in the future the main subject of research will be the assessment and forecast of innovative processes in Georgia using all the considered research methods.

Key words:

innovative, stability, instability, global Index, analysis, forecasting, numerical-quantitative.

Innovative capacity analysis and forecasting are based on existing regularities of changes in relevant indicators and their combinations. Therefore, a chaotic or large-amplitude fluctuating change of any index or sub-index complicates the accurate and reliable forecasting, and in most cases indicates an excessively high dependence of the country's economic and social status on unpredictable external and internal factors, which, in turn, indicates the instability of the innovative system. Therefore, for reliable innovative forecasting, it is very important to develop relevant combined indices and evaluate their stability in a certain time interval. At the initial stage, for the first approximate numerical-quantitative assessment, we selected the period of 2014-2021 and the first thirty countries (Switzerland, Sweden, USA, United Kingdom, South Korea, Netherlands, Finland, Singapore, Denmark, Germany, France, China, Japan, Hong Kong, Israel, Canada, Iceland, Austria, Ireland, Norway, Estonia, Belgium, Czech Republic, Luxembourg, Australia, New Zealand, Malta, Cyprus (Greek), Italy, Spain) with the highest global index of innovative development [1, 2].

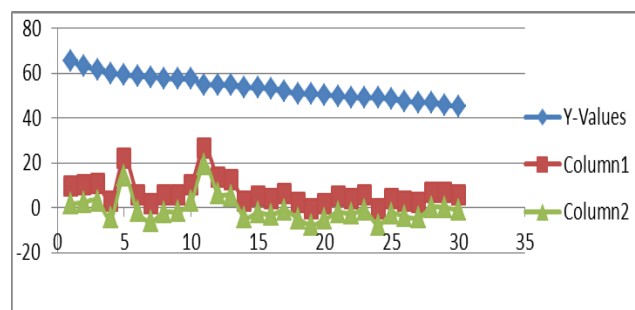


Figure 1. Graphic representation of innovation stability indicators of the 30 countries with the highest global index of innovation: GII - blue curve, K^S - red curve, $K^S \cdot GII^{1/2}$ - green curve.

Taking into account the existing experience, we developed and used the simplest formula of the so called "stability index":

$$K^S \approx I_{\max}^{1/2} + N (I_N - I_1) : \Delta^2(1)$$

where K^S is the so called "Stability index", N is the total number of years, I_N is the value of the considered index in the last year, I_1 is the value of the considered index in the first year of the considered period, Δ^2 is the mean square deviation of the value of the GII index in the case of linear interpolation. The values calculated by this formula of the index are given in figure 1, where the values of K^S , GII and K^S - $GI^{1/2}$ are shown. The difference in magnitudes is used to show the higher reliability of the innovative capacity of the "rapidly growing" countries in comparison to the "slowly growing" or "retarding" ones (the difference is positive, close to zero or negative). It is clear that if difference is close to 0, we are dealing with stagnation-like processes. We would like to emphasize that K^S is not a direct measure of innovative capabilities - it characterizes more the probability of maintaining or losing the rank determined by the GII index and the reliability of the obtained results, rather than the innovative potential itself.

The innovative potential of Georgia compared to the countries of the post-Soviet space.

Despite many optimistic assessments and forecasts made in recent decades, impartial research clearly shows that our real innovation potential is low, which is clearly established even when considering the problem in a post-Soviet perspective and according to the ranking determined by the global innovation index of our immediate neighbors in ranking (Mongolia, Bahrain, Indonesia, Tunisia and Jamaica). As a result of the analysis of innovative potential is especially thought-provoking the rapid monotonous decrease of innovation outcome (innovation outcome) against the background of significant growth of innovation input (innovation input) potential is especially thought-provoking, which indicates the inefficiency of innovation policy and innovation system in Georgia. Table 1 provides noteworthy data on changes in the global innovation index and innovation ranking of the countries of the former Soviet Union between 2011 and 2022.

Table 1. Changes in global innovation index GII and innovation rating R (Δ GII and Δ R) of the countries of the former Soviet Union and several leading Asian countries in 2011-2022

Country	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Δ GII	Δ R
Estonia	49.2	55.3	50.6	51.5	52.8	51.7	50.9	50.6	50	48.3	49.9	50.2	+1	19/17=+2
Lithuania	38.5	44.0	41.4	41.0	42.3	41.8	41.2	-	41.5	39.2	39.9	37.4	-1.1	38/39=-1
Latvia	36.5	47.0	45.2	44.8	45.5	44.3	44.6	43.2	43.2	41.1	40.0	36.5	0	30/41=-11
Russia	35.9	37.9	37.2	39.1	39.3	38.5	38.8	37.9	37.6	35.6	36.6	34.3	0	51/46=+5
Moldova	38.7	39.2	40.9	40.7	40.5	38.4	36.8	37.6	35.5	33.0	32.3	31.1	-7.6	51/56=-5
Ukraine	35.0	36.1	35.8	36.3	36.5	35.7	37.6	38.5	37.4	36.3	35.6	31.0	-4	60/58=+2
Georgia	31.9	34.3	35.6	34.5	33.8	33.9	33.4	35.0	37.0	31.8	32.4	27.9	-4	73/73=0
Belarus	-	32.9	34.6	37.1	38.2	30.4	30.0	29.4	32.1	31.3	32.6	27.5	-5.4	78/77=+1
Armenia	33.0	34.5	37.6	36.1	37.3	35.1	35.7	32.8	34.0	32.6	31.4	26.6	-6.4	69/80=-11
Uzbekistan	-	23.9	23.9	25.2	25.9	-	-	-	-	24.5	27.4	25.3	+1.2	128/82=+4
Kazakhstan	30.3	31.9	32.7	32.8	31.2	31.5	31.5	31.4	31.0	28.6	28.6	24.7	-5.6	83/83=0
Azerbaijan	29.2	30.4	29.0	29.6	30.1	29.6	30.6	30.2	30.2	27.2	28.4	21.4	-7.8	87/93=-6
Kyrgyzstan	29.8	26.4	27.0	27.8	28.0	26.6	28.0	27.6	28.4	24.5	24.5	21.1	-8.7	85/94=-9
Tajikistan	24.5	26.4	30.0	23.7	27.5	29.6	28.2	26.5	26.4	22.2	23.9	18.8	-5.7	116/104=+12
China	46.4	45.4	44.7	46.6	47.5	50.6	52.5	53.1	54.8	53.3	54.8	55.3	+8.9	29/11=+18
India	34.5	35.7	36.2	33.7	31.7	33.6	35.5	35.2	36.6	35.6	36.4	36.6	+2.1	62/40=+22
Switzerland	63.8	68.2	66.6	64.8	68.3	66.3	67.7	68.4	67.2	66.1	65.5	64.6	+0.8	1/1=0
USA	56.6	57.7	60.3	60.1	60.1	61.4	61.4	59.8	61.7	60.6	61.3	61.8	+15.2	7/2=+5
Sweden	62.1	64.8	61.4	62.3	62.4	63.6	63.8	63.1	63.7	62.5	63.1	61.6	-0.5	2/3=-1
UK	56.0	61.2	61.3	62.4	62.4	61.9	60.9	60.1	61.3	59.8	59.8	59.7	+3.7	10/4=+6
Netherlands	56.3	60.5	61.1	62.4	61.6	58.3	63.4	63.3	61.4	58.8	58.6	58.0	+1.7	9/5=+4
South Korea	53.7	53.9	53.3	55.3	56.3	57.1	57.7	56.6	56.6	56.1	59.3	57.8	+4.1	16/6=+10

Here, for comparison, the data of China, India, Switzerland, Sweden and South Korea (highly advanced countries in this respect) are also shown. Based on these data, it can be confirmed that

Estonia has achieved an unconditional success among the former Soviet republics, which has reliably established itself in the world's "innovative elite" in the 17th place overall (next to Austria), and according to the sustainable development index, it occupies a highly respectable 10th position. The first group of countries in the world (44 countries) also includes the other two Baltic countries, Lithuania and Latvia (respectively, 39th and 41st place), although Lithuania's position is much stronger, while Latvia is rapidly losing positions. The next three countries - Russia, Moldova and Ukraine - belong to the first half of the second third (another 44 countries) of the world's countries (46th, 56th and 58th respectively) and, despite the worst situation caused by Russia's aggressive policy, each of them selects the positions achieved by 2020. Two South Caucasian countries (Georgia and Armenia) and Belarus are currently in the second half of the second third of the world's countries (73rd, 80th, and 79th, respectively) and are trying to maintain their positions from 2011-2012. The last positions in this group of countries are occupied by two former Soviet Central Asian countries, Uzbekistan and Kazakhstan (respectively, 82nd, 83rd place), and the stability achieved by Uzbekistan is striking. Azerbaijan and two former Soviet Central Asian countries, Kyrgyzstan and Tajikistan, rank extremely low, although progress made by Tajikistan is notable. As for Turkmenistan, there are no relevant data available. The stability of the historical leaders of the innovative development process - Switzerland, the United States of America and Sweden - is remarkable, however, the advantage of Switzerland is gradually decreasing and, in our opinion, fierce competition from ten advanced European countries will not be unexpected. At the same time, the claims of China, India, Japan, South Korea and other Asian countries for leadership in the field of innovative development are becoming more and more evident.

Innovation capacity and new technologies. Our rather critical attitude to the Global Innovation Index echoes the results of a large-scale study conducted by the World Intellectual Property Organization (WIPO) and the Portland Institute [1]. According to the expert opinion of these two authoritative organizations, the list of the ten "most innovative" countries in the world looks like this: Switzerland, the USA, Sweden, the United Kingdom of Great Britain, the Kingdom of the Netherlands, South Korea, Singapore, Finland and Denmark, which is significantly different from the ranking results of the Global Innovation Index [2-3]. It is known that the development of countries and regions is usually determined by the development or full implementation of new technologies. According to the data presented at the United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD), the world market for the most advanced ("revolutionary") technologies currently amounts to \$350 billion and is expected to grow to \$3.2 trillion by 2025. In such a situation, technological and scientific progress and its orientation towards seraphic economic and intellectual development acquire a superior importance compared to the results of many traditional characteristics determining the ownership index of innovation. In this regard, it is also important to analyze the reasons that led to the high level of potential and/or rapid growth of advanced countries. Due to the lack of natural resources, Switzerland has long been focused on research and development, which is primarily manifested in the funding of hundreds of the world's leading universities in the most priority areas. Hundreds of universities, in turn, attract transnational companies that need highly qualified employees. Another example is patent applications. For example, with 966 patent applications filed per million inhabitants in 2020, Switzerland ranks third in the world and is well ahead of the EU average (146 applications per million inhabitants). The United States' "jump" from seventh to fifth place is due to its highly developed infrastructure, the world's best numerous universities and the world's most dynamic investment policy (which makes it easier for large, medium-sized enterprises, small businesses and startups to attract financing and investments). Sweden quickly went through a difficult path from a rather poor agricultural country to one of the world's economic leaders with the third most innovative potential. The main reasons for this rapid "rise" are considered to be innovative high-level secondary education, its innovative policy (more than 3% of the country's gross domestic product is spent on research and development), and infrastructural policy that offers the population free access to technology and information. on the bases. Great Britain is widely recognized as one of the world leaders in scientific research and higher

education [4]. Its spending on developing innovative technologies is somewhat lower than that of some other innovation leaders, including those in Europe and Asia (France, USA, Japan, etc.). And by 2027, 2.4% of the gross domestic product will be allocated for these needs. The Netherlands has historically been one of the world and European leaders in innovation. It was this country that gave humanity Wi-Fi, Bluetooth, and the stock market. The government of this country implements a far-sighted innovation policy, which primarily stimulates pioneering and multidisciplinary problem-solving, promotes innovation. The government also encourages collaboration between the private and research sectors in innovative projects. It is in this country that 13 unicorn consortia (so-called "Unicorn") have been established and are successfully operating. on the most difficult long-term perspective problems on a global scale. The Kingdom of the Netherlands ranks fourth among the investment countries in Europe that support innovative ideas and solutions. Researchers identify several main reasons for South Korea's high ranking. Several basic factors contributing to South Korea's high innovation rating can be identified. First of all, the index reflected Korea's consistently high forward-looking investment policy amid the extremely difficult situation caused by the pandemic both at home and abroad. During the same period, the Global Innovation Index also showed a significant increase in the share of intellectual property and other intangible assets. Special attention should also be paid to the example of China, India and Uzbekistan, which increased the innovation rating by 18, 22 and 48 points, respectively.

Conclusions and recommendations. In the newest future, the main subject of research will be the study of innovative processes in Georgia using all the above methods. For this, among the 132 countries with the GII index, five groups of countries will be allocated: South Caucasus countries and Turkey, countries of the former Soviet Union, countries of the former socialist camp, developing countries and highly developed countries. The main attention will be paid to Georgia's global innovation index, stability index and their dynamics within each of these groups. The main goal of future research will also be to develop and test new combined indices based on the obtained results.

ინოვაციური შესაძლებლობების ანალიზი, პროგნოზირება და მათი ძირითადი პერსპექტივები

არჩილ ჭირაკაძე, ზაქარია ბუაჩიძე, აკაკი გიგინეიშვილი, ირაკლი ნადირაძე რეზიუმე

ცნობილია, რომ ინოვაციური პოტენციალის ანალიზი და პროგნოზირება ემყარება შესაბამისი მაჩვენებლების და მათი კომბინაციების ცვლილების არსებულ კანონზომიერებებს. შესაბამისად, სარწმუნო ინოვაციური პროგნოზირებისთვის ფრიად მნიშვნელოვანია რელევანტური კომბინირებული ინდექსების შემუშავება და დროის გარკვეულ ინტერვალში მათი სტაბილურობის შეფასება. თანამედროვე ეტაპზე ქვეყნის თუ რეგიონის ინოვაციური პოტენციალის შეფასებისა და პროგნოზირებისთვის აღარ არის საკმარისი მხოლოდ ინოვაციის გლობალური ინდექსის (GII) გამოყენება და საჭიროა ახალი, უფრო ობიექტური, მდგრადი და ინფორმატიულად ტევადი მახასიათებლების მოძიება და შემუშავება, რათა სწორად შევაფასოთ და ვიწინასწამეტყველოთ ინოვაციური შესაძლებლობების და მათი დინამიკა. წარმოდგენილ ნაშრომში შემოთავაზებულია ინოვაციური პროცესების ანალიზის და პროგნოზირებისთვის საჭირო ახალი მახასიათებლები და განხილულია ინოვაციის გლობალურ ინდექსთან ერთად მათი გამოყენებით მიღებული შედეგები. ხაზგასმულია, რომ სამომავლოდ კვლევის მთავარი საგანი იქნება საქართველოში მიმდინარე ინოვაციური პროცესების შეფასება და პროგნოზი კვლევის ყველა განხილული მეთოდით.

Анализ и прогнозирование инновационных возможностей и их основных перспектив

Арчил Чиракадзе, Захарий Буачидзе, Акакий Гигинеишвили, Ираклий Надирадзе

Резюме

Известно, что анализ и прогнозирование инновационного потенциала основывается на существующих закономерностях изменения соответствующих показателей и их сочетаний. Поэтому для надежного инновационного прогнозирования очень важно разработать соответствующие комбинированные показатели и оценить их устойчивость в определенном временном интервале. На современном этапе уже недостаточно использовать только Глобальный индекс инноваций (ГИИ) для оценки и прогнозирования инновационного потенциала страны или региона. Необходимо находить и разрабатывать новые, более объективные, устойчивые и информативные характеристики для правильной оценки и прогнозирования инновационных возможностей и их динамики. В представленной работе предложены новые характеристики, необходимые для более полного анализа и прогнозирования инновационных процессов, и обсуждаются результаты их использования совместно с глобальным индексом инновационности. Подчеркивается, что в будущем основным предметом исследования станет оценка и прогнозирование инновационных процессов в Грузии с использованием всех рассмотренных современных методов оценки.

ლიტერატურა -References -Литература

1. TOP 10 MOST INNOVATIVE COUNTRIES IN THE WORLD (2023 UPDATE). <https://www.countrynavigator.com/blog/top-10-innovative-countries-in-the-world/>, accessed at 27.05, 2023.
2. Global Innovation Index 2021. Tracking Innovation through the COVID-19 Crisis. INTELLECTUAL PROPERTY ORGANIZATION. 226 p.p. <https://file:///C:/Users/593%2022-11-01/Downloads/gii-full-report-2021.pdf/>, accessed at 29.12.2022.
3. Global Innovation Index 2022: Switzerland, the U.S., and Sweden lead the Global Innovation Ranking; China Approaches Top 10; India and Türkiye Ramping Up Fast; Impact-Driven Innovation Needed in Turbulent Times https://www.wipo.int/pressroom/en/articles/2022/article_0011.html, accessed at 21.05.2023).
4. UK INNOVATION REPORT. Benchmarking the UK's industrial and innovation performance in a global context. Benchmarking the UK's industrial and innovation performance in a global context. <https://www.ciip-group.org/uk-innovation-report-2023/>, accessed at 27.05, 2023.

**ორგანზომილებიანი ხორკლიანობის ფორმის გავლენა თბოგაცემაზე
ვერტიკალური მილის გარე ზედაპირზე წყლის აფსკის ჩამოდინების დროს**

გიორგი გიგინეიშვილი, თენგიზ მაგრაქველიძე, ავესენტი მიქაშავიძე,

ტარიელ კობერიძე, ხათუნა ლომიძე, ლევან მაკრახიძე

g.gigineishvili@gtu.ge

რეზიუმე

ნაშრომში წარმოდგენილია ექსპერიმენტული გამოკვლევის შედეგები, რომლებიც აღწერენ სპირალური ღარის ფორმის და სპირალურ ღარში მავთულის ჩახვევით შექმნილი ხორკლიანობის ტიპების გავლენას თბოგაცემის პროცესის ინტენსიურობაზე ვერტიკალური მილის გარე ზედაპირზე წყლის აფსკის ჩამოდინების პირობებში. ექსპერიმენტებში რეინოლდსის რიცხვი იცვლებოდა: $Re=2000 \div 10000$ დიაპაზონში, ხოლო პრანდტლის რიცხვის მნიშვნელობა შეადგენდა - $Pr = 7$.

კვლევის შედეგებმა აჩვენა, რომ სპირალური ღარის ფორმის ხორკლიანობის შემთხვევაში ($s/h=10$) თბოგაცემის ინტენსიურობა, შედარებით დიდი რეინოლდსის რიცხვის პირობებში, დაახლოებით 2-ჯერ იზრდება გლუვი ზედაპირის თბოგაცემის ინტენსიურობასთან შედარებით, ხოლო სპირალურ ღარში მავთულის ჩახვევით შექმნილი ხორკლიანობის შემთხვევაში ($s/h=17$), თბოგაცემის ინტენსიურობა იზრდება თითქმის 3-ჯერ. თბოგაცემის ინტენსიფიკაციის თვალსაზრისით, აღნიშნული გარემოება მიუთითებს ამოზურცული ფორმის ხორკლიანობის ელემენტების გაცილებით მაღალ ეფექტურობაზე ჩაღრმავებული ფორმის ხორკლიანობის ელემენტებთან შედარებით.

საკვანძო სიტყვები:

თბოგაცემა, ხორკლიანობა, აფსკი, სპირალური ღარი

თბოგაცემის პროცესის ინტენსიფიკაციის მიზნით თბოგამცემ ზედაპირებზე ხორკლიანობის ელემენტების შექმნა წარმოადგენს თბოგაცემის ინტენსიფიკაციის მეთოდებიდან ერთ-ერთ ყველაზე უფრო გავრცელებულ და ეფექტიან საშუალებას. ეს პრაქტიკაში დაკავშირებულია სხვადასხვა დანიშნულების თბოგადამცემი დანადგარებისა და აპარატების ენერგოეფექტურობის ამაღლებასთან, რაც ნიშნავს ერთეული ფართის ზედაპირიდან გაცემული სითბური ენერჯის მნიშვნელოვან ნაზრდს. ხსენებული ნაზრდი, ერთი და იგივე სიმძლავრის დროს, განაპირობებს თბოგადამცემი დანადგარების კომპაქტურობას და, ამის შედეგად, მათი ლითონტევადობის შემცირებას. ეს უკანასკნელი განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ისეთი თბოგადამცემი დანადგარების გამოყენების შემთხვევებში, როდესაც ამ დანადგარებში თბოგამცემი ზედაპირების დასამზადებლად გამოყენებულია უჟანგავი ფოლადი ან ძვირადღირებული ფერადი ლითონები. ასევე განსაკუთრებულ აღნიშვნას იმსახურებს თბოგადამცემი აპარატების მასაგაბარიტული ზომების სიმცირის მნიშვნელოვნება სატრანსპორტო, კოსმოსურ და სარაკეტო ტექნიკაში. აქედან გამომდინარე, თბოგაცემის პროცესის ინტენსიფიკაციის პრობლემების კვლევა მეტად აქტუალურ საკითხს წარმოადგენს.

ხელოვნური ხორკლიანობის მეთოდის გამოყენების ეფექტიანობა დადასტურებულია და, ასევე, მასთან დაკავშირებული თბოგაცემისა და ჰიდროდინამიკური პროცესების საკითხები თეორიულად და ექსპერიმენტულად პრაქტიკულად ამომწურავად შესწავლილია სხვადასხვა ავტორის გამოკვლევებით [1 - 4]. მრავალრიცხოვანი ექსპერიმენტების შედეგების განზოგადების საფუძველზე მიღებულია თბოგაცემის ინტენსიურობის საანგარიშო

კრიტიკული განტოლებები. თუმცა, აღნიშნული კვლევების უმრავლესობა ეძღვნება თბოგაცემის ინტენსიფიკაციის პრობლემატიკის შესწავლას ხორკლიანი ზედაპირების მქონე დაწნევიან არხებში თბოგადამტანის დინების შემთხვევაში. რაც შეეხება ხორკლიან ზედაპირებზე სითხის აფსკის ჩამოდინების შემთხვევაში თბოგაცემისა და ჰიდროდინამიკის პროცესთა კანონზომიერებებს, მიუხედავად ამ თემაზე არსებული გამოკვლევებისა, რომელთა შორისაა წინამდებარე სტატიის ავტორთა გამოკვლევებიც, ბევრი საკითხი ჯერ კიდევ მოითხოვს შესწავლას [5, 6]. ეს უკანასკნელი გარემოება, ზემოთქმულთან ერთად, შეგვიძლია მივიჩნიოთ ჩვენი ექსპერიმენტული კვლევის საგნის აქტუალობის დამადასტურებელ დამატებით არგუმენტად.

ავტორთა მიერ ჩატარებული ზემოხსენებული გამოკვლევებით [5, 6], მრავალრიცხოვანი ექსპერიმენტების საფუძველზე, შესწავლილ იქნა ხელოვნური ხორკლიანობის მეთოდის გამოყენებით თბოგაცემის ინტენსიფიკაციის მნიშვნელოვანი საკითხები. ამ გამოკვლევებში დადგინდა იქნა ხორკლიანობის ტიპის (პირამიდული, ორგანზომილებიანი, ღრმულებიანი, კომბინირებული), გეომეტრიული პარამეტრების (ელემენტების სიმაღლის h -ის და მათ შორის ფარდობითი ბიჯის s/h -ის), რეინოლდსისა და პრანდტლის რიცხვების გავლენა თბოგაცემის ინტენსიურობაზე ვერტიკალურ ზედაპირებზე სითხის აფსკის ჩამოდინების პირობებში. კვლევის შედეგები საყურადღებოა როგორც პრაქტიკული, ისე თეორიული თვალსაზრისით. განსაკუთრებით აღსანიშნავია ის ფაქტი, რომ აღნიშნული კვლევების საფუძველზე დადგინდა ხელოვნური ხორკლიანობის გამოყენების მაღალი ეფექტიანობა სითხის აფსკის ჩამოდინების პირობებში ლამინარულიდან ტურბულენტურში გარდამავალ რეჟიმში. კერძოდ, ამ შემთხვევაში თბოგაცემის ინტენსიურობა იზრდება 3-ჯერ და მეტად.

წინამდებარე ნაშრომში ეძღვნება ვერტიკალური მილის გარე ზედაპირზე სპირალურად გაკეთებული ღარის ფორმის ხორკლიანობის და ამ ღარში ჩახვეული განსაზღვრული დიამეტრის სპილენძის მავთულით შექმნილი ხორკლიანობის გამოყენების ეფექტიანობის ექსპერიმენტულ გამოკვლევას. კვლევის პროცესში გამოყენებული იყო ღია კონტურის ტიპის ექსპერიმენტული დანადგარი. ექსპერიმენტების ჩატარების თანმიმდევრობა, გაზომვებისა და მიღებული მონაცემების დამუშავების მეთოდიკა ისეთივე იყო, როგორც ავტორთა მიერ ადრე გამოქვეყნებულ სამუშაოებში [5, 6]. წინამდებარე გამოკვლევაში ექსპერიმენტულ უზნებად გამოყენებული იყო უჟანგავი ფოლადისაგან დამზადებული საცდელი მილები, რომელთა სურათები წარმოდგენილია 1-ლ ფოტოზე.

თავდაპირველად, ექსპერიმენტული უბანი წარმოადგენდა $d=10,2$ მმ გარე დიამეტრის მქონე უჟანგავი ფოლადის მილს სიგრძით $l=200$ მმ და კედლის სისქით $\delta=1$ მმ. მილის გარე თბოგამცემ მუშა ზედაპირის მთელ სიგრძეზე სპირალურად გაკეთებული იყო $0,5$ მმ სიღრმის და იგივე $0,5$ მმ სიგანის ღარი, რომელიც ქმნიდა ხელოვნურ ხორკლიანობას. სპირალის ფარდობითი ბიჯი შეადგენდა $s/h=10$ -ს (ფოტო.1.ა). ასეთი ბიჯის შერჩევა განპირობებული იყო ჩვენ მიერ ადრე ჩატარებული ექსპერიმენტების შედეგებიდან გამომდინარე, რომელთა თანახმადაც თბოგაცემის ინტენსიფიკაციის მაქსიმალური ეფექტი მიიღწეოდა ხელოვნური ხორკლიანობის ელემენტებს შორის ფარდობითი ბიჯის $s/h=10$ -ის პირობებში.

ექსპერიმენტების შემდეგი სერია, იმავე პირობებში, ჩატარდა იგივე ექსპერიმენტული უზნისათვის, ოღონდ, ამჯერად სპირალურ ღარში ჩახვეული იყო $0,7$ მმ დიამეტრის მქონე სპილენძის მავთული, რითაც თბოგამცემ ზედაპირზე ჩაღრმავებული ფორმის ხორკლიანობისაგან განსხვავებით, შეიქმნა ამობურცული ფორმის ხორკლიანობა (ფოტო.1.ბ). მავთულის გარკვეული ნაწილი, რა თქმა უნდა, ჩაჯდა ჩაღრმავებაში და მხოლოდ მისმა დარჩენილმა ნაწილმა შექმნა ამობურცულობა. ფაქტობრივად შეიქმნა ზედაპირი ორგანზომილებიანი ხორკლიანობით, რომლის გეომეტრიული პარამეტრები იყო $h=0,3$ მმ და $s/h=17$.

ექსპერიმენტებში თბოგადამტანად გამოყენებული იყო ქსელის წყალი. რეინოლდსის რიცხვი იცვლებოდა $Re=2000 \div 10000$ დიაპაზონში, ხოლო პრანდტლის რიცხვის მნიშვნელობა შეადგენდა - $Pr=7$. ასე რომ, აღნიშნული ექსპერიმენტები ჩატარდა წყლის აფსკის ჩამოდინების ლამინარული-ტალღურიდან ტურბულენტურში გარდამავალი რეჟიმის პირობებში.

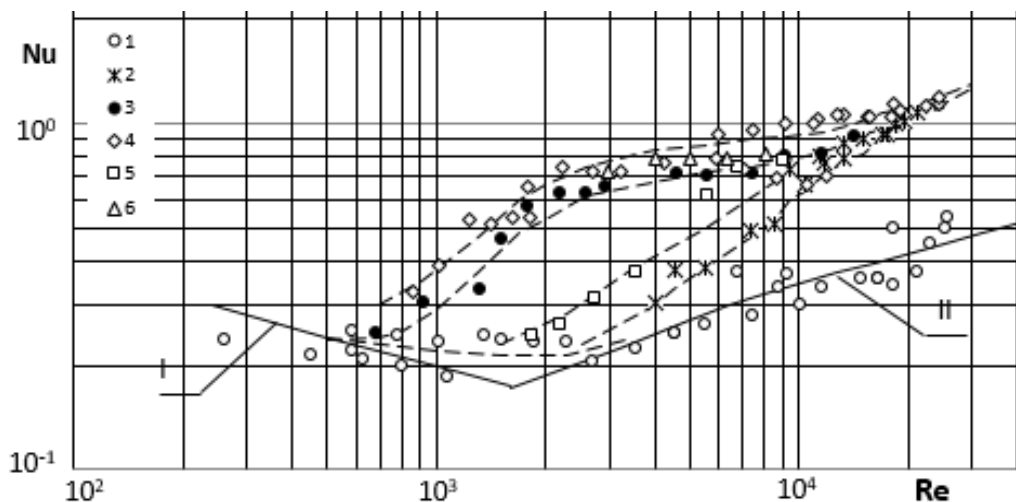


ფოტო.1. ექსპერიმენტული უბნის ფოტოები:
 ა) ექსპერიმენტული უბანი სპირალური ღარით; ბ) ექსპერიმენტული უბანი სპირალურ ღარში ჩახვეული სპილენძის მავთულით.

1-ლ ნახაზზე წარმოდგენილია ჩატარებული ექსპერიმენტების შედეგები (Nu , Re) კოორდინატებში. როგორც გრაფიკიდან ჩანს, სპირალური ღარის ფორმის ხორკლიანობა რეინოლდსის რიცხვის დაბალი მნიშვნელობების დროს ($Re \approx 2000$) პრაქტიკულად არ ახდენს გავლენას თბოგაცემის ინტენსიურობაზე. რეინოლდსის რიცხვის ზრდით თავს იჩენს ხორკლიანობის გავლენა და, როდესაც $Re \approx 9000$ ხორკლიანი ზედაპირის თბოგაცემის ინტენსიურობა დაახლოებით 2-ჯერ და მეტად აღემატება გლუვი ზედაპირის ანალოგიურ მაჩვენებელს. უნდა აღინიშნოს, რომ წარმოდგენილი შედეგების მიხედვით, სპირალური ღარის ფორმის ხორკლიანობა ეფექტურობის თვალსაზრისით ოდნავ უკეთესია პირამიდულ ხორკლიანობაზე. ეს უკანასკნელი საყურადღებოა პრაქტიკული განხორციელების თვალსაზრისითაც. პირამიდული ხორკლიანობის შექმნა მილის ზედაპირზე ტექნოლოგიურად უფრო რთული და შრომატევადი საქმეა, ვიდრე სპირალური ღარის გაკეთება. გარდა ამისა, გასათვალისწინებელია ის ფაქტიც, რომ ხშირად თბოგადამცემ აპარატებში გამოყენებულია რამდენიმე მეტრის სიგრძის მილები, რომელთა რაოდენობა რამდენიმე ათეულს, ან ასეულსაც კი აღწევს.

1-ლი ნახაზიდან ასევე ჩანს, რომ სპირალურ ღარში მავთულის ჩახვევით შექმნილი ხორკლიანობის შემთხვევაში თბოგაცემის ინტენსიფიკაციის ხარისხი თითქმის ისეთივეა, როგორც ეს ორგანზომილებიანი ხორკლიანობის შემთხვევაში გვექონდა (თბოგაცემის ინტენსიურობა დაახლოებით 3-ჯერ გაიზარდა). აღნიშნული გარემოება საფუძველს გვაძლევს დავასკვნათ, რომ თბოგაცემის ინტენსიფიკაციის თვალსაზრისით თბოგამცემ ზედაპირზე ამობურცული ფორმის ხორკლიანობის ელემენტები გაცილებით მაღალი ეფექტურობით ხასიათდებიან, ვიდრე ჩაღრმავებული ფორმის ხორკლიანობის ელემენტები. ვფიქრობთ, ეს გამოწვეული უნდა იყოს ამობურცული ტიპის ხორკლიანობის ელემენტებიდან მოწყვეტილი გრიგალების უფრო ეფექტიანი ზემოქმედებით კედლისპირა

ლამინარულ ქვეშრეზე. ამ უკანასკნელის ტურბულიზაცია კი, როგორც ცნობილია, გადამწყვეტ როლს თამაშობს თბოგაცემის პროცესის ინტენსიფიკაციის საქმეში.



ნახ.1. ხორკლიანობის ტიპის გავლენა თბოგაცემაზე, $Pr=7$:

- 1 - გლუვი მილი; 2 - პირამიდული ხორკლიანობა, $h=0.25$ მმ; 3 - ორგანზომილებიანი ხორკლიანობა (ზედაპირზე სპირალურად დახვეული მავთული), $h=0.5$ მმ; $s/h=10$; 4 - კომბინირებული ხორკლიანობა (პირამიდული+მავთული), $h=0.5$ მმ; $s/h=10$; 5 - სპირალური დარის ფორმის (ჩაღრმავებული) ხორკლიანობა, სიღრმე 0.5მმ, $s/h=10$; 6 - სპირალურ დარში მავთულის ჩახვევით შექმნილი ხორკლიანობა (ამობურცული), $h=0.3$ მმ, $s/h=17$;
I - ვ. ჩჟუნის და რ. სებანის ფორმულის მიხედვით [8]; II - დ. ლაბუნცოვის ფორმულის მიხედვით [9].

დასასრულ უნდა აღვნიშნოთ, რომ მოცემულ ექსპერიმენტულ სტენდზე ტექნიკურად შეუძლებელი იყო ცდების ჩატარება რეინოლდსის რიცხვის ცვლილების უფრო ფართო დიაპაზონში. ეს საშუალებას მოგვცემდა აღწერილი ტიპების ხორკლიანობის შემთხვევებისათვის შეგვესწავლა თბოგაცემისა და ჰიდროდინამიკის ზოგიერთი მნიშვნელოვანი საკითხი. მაგალითად, დაგვედგინა რეინოლდსის რიცხვის კრიტიკული მნიშვნელობა. მომავალში, ექსპერიმენტული სტენდის შემდგომი მოდერნიზებითა და სრულყოფით, შესაძლებელი გახდება ამ მიმართულებით კვლევების გაგრძელება.

Influence of the shape of two-dimensional roughness on heat transfer when a water film flows along the outer surface of a vertical pipe

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

Summary

The paper presents the results of an experimental study to determine the influence of a spiral groove and the roughness created by winding wire in a spiral groove on the intensity of the heat transfer process under conditions of a water film flowing down the outer surface of a vertical pipe. In

the experiments, the Reynolds number varied within the range of $Re=2000\div 10000$, and the Prandtl number was $Pr=7$.

The results of the study showed that in the case of roughness in the form of a spiral groove ($s/h=10$), the intensity of heat transfer at relatively high Reynolds numbers increases by approximately 2 times compared to a smooth surface. And in the case of roughness created by winding the wire in a spiral groove ($s/h=17$), the heat transfer intensity increases almost 3 times. This circumstance indicates a significantly higher efficiency of convex roughness elements on the heat-transfer surface compared to concave elements.

Влияние формы двумерной шероховатости на теплоотдачу при стекании водяной пленки по внешней поверхности вертикальной трубы

გიორგი გიგინეიშვილი, ტენგიზ მაგრაკველიძე, ავქსენტი მუკაშავიძე,

ტარიელ კობერიძე, ხატუნა ლომიძე, ლევან მაკრაიძე

Резюме

В работе представлены результаты экспериментального исследования по определению влияния спиральной канавки и шероховатости, созданной намоткой проволоки в спиральной канавке, на интенсивность процесса теплоотдачи в условиях стекания пленки воды по наружной поверхности вертикальной трубы. В экспериментах число Рейнольдса варьировалось в пределах $Re=2000\div 10000$, а значение числа Прандтля составляло - $Pr=7$.

Результаты исследования показали, что в случае шероховатости в виде спиральной канавки ($s/h=10$) интенсивность теплоотдачи при относительно больших числах Рейнольдса увеличивается примерно в 2 раза по сравнению с гладкой поверхностью. А в случае шероховатости, созданной наматыванием проволоки в спиральной канавке ($s/h=17$), интенсивность теплоотдачи увеличивается почти в 3 раза. Указанное обстоятельство свидетельствует о значительно более высокой эффективности выпуклых элементов шероховатости на теплоотдающей поверхности по сравнению с вогнутыми элементами.

ლიტერატურა – References – Литература

1. Nunner W. Wärmeübergang und druckabfall in röhren.VDI Forschungsheft, 1956, 455s.
2. Gomelauri V. Influence of two – dimensional artificial roughness on convective heat transfer. Int. J. of Heat and Mass Transfer, 1964, v.7, №6, pp. 653-663.
3. Гомелаური В.И., Магრაკველიძე Т.Ш., Мუკაშავიძე А.Н., Джамарджашვილი В.А., Чучულაშვილი Т.А. Экспериментальное исследование интенсификации теплоотдачи гелия методом двухразмерной шероховатости. Сообщения АН ГССР, 1974, том 79, №1, с.137-140.
4. Гомелаური В.И., Кандаლაки Р.Д., Кипшидзе М.Е. Интенсификация конвективного теплообмена под воздействием искусственной шероховатости. В кн. Вопросы конвективного теплообмена и чистоты водяного пара. Изд-во АН ГССР, 1970, с. 98-131.

5. მაგრაქველიძე თ., გიგინეიშვილი გ., მიქაშავიძე ა., კობერიძე ტ., ლომიძე ხ. ზედაპირის ხორკლიანობის ტიპის გავლენა თბოგაცემის ინტენსიფიკაციაზე წყლის აფსკის ჩამოდინების დროს. ა. ელიაშვილის სახელობის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული. 2021, N25, გვ.67-73.
6. Magrakvelidze T., Gigineishvili G., Mikashavidze A., Koberidze T., Lomidze Kh. Intensification of Heat Transfer by the Method of Artificial Roughness at a Water Film Flows down on Vertical Pipe. Proceedings of the 9th International Conference on Fluid Flow, Heat and Mass Transfer (FFHMT'22), Niagara Falls, 2022, paper №160.
7. Magrakvelidze T., Gigineishvili G., Mikashavidze A., Koberidze T., Lomidze Kh. Influence of the Prandtl number on heat transfer at liquid film flows down smooth and rough surfaces. Proceedings of the 8th Thermal and Fluids Engineering Conference (TFEC), 2023, College Park, MD, USA. paper №TFEC-2023-45749.
8. K.Chun, R.Seban. Heat transfer to evaporating liquid films. Heat Transfer Ser. S. - 1971. - T. 93, N4, pp.71-77.
9. Лабунцов Д. А. Теплоотдача при пленочной конденсации чистых паров по вертикальных поверхностях и горизонтальных трубах, Теплоэнергетика. 1957, №2, с.49-51.

უახლოეს ათწლეულებში საქართველოს ელექტროენერჯით უზრუნველყოფის ზოგიერთი საკითხის შესახებ

თენგიზ მაგრაქველიძე, ხათუნა ლომიძე, მანანა ჯანიკაშვილი, ირმა არჩვაძე

qveli17@yahoo.com

რეზიუმე

სტატიაში გაანალიზებულია საქართველოში გამომუშავებული და მოხმარებული ელექტროენერჯის არსებული მდგომარეობა. ნაჩვენებია, რომ ბოლო წლებში მკვეთრად იზრდება ელექტროენერჯის იმპორტი, რაც გაუმართლებელია ქვეყნის ენერგეტიკული უსაფრთხოებიდან გამომდინარე. დასაბუთებულია, რომ უახლოეს ათწლეულებში, ელექტროენერჯიაზე სავარაუდო მოთხოვნილების მკვეთრი ზრდის პირობებში, საჭირო იქნება ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში ახალი სიმძლავრეების შეყვანის ინტენსიურობის გაზრდა.

ავტორთა მიერ ადრე შემოთავაზებული ფორმულით ჩატარებული გათვლების საფუძველზე ნაჩვენებია, რომ მომავალში ქვეყნის ელექტროენერჯით უზრუნველსაყოფად აუცილებელია ელექტროენერჯის გამომუშავების ყოველწლიური ზრდა, არანაკლებ 7%-ისა.

ჩატარებულია საქართველოს სახელმწიფო ენერგოსისტემის (სსე) პროგნოზის კრიტიკული ანალიზი. დასაბუთებულია, რომ პროგნოზში გადაჭარბებულადაა შეფასებული ელექტროენერჯის ექსპორტის დონე.

ჩატარებული ანალიზის საფუძველზე გამოტანილია დასკვნა იმის შესახებ, რომ უახლოეს ათწლეულებში საქართველოს არ იქნება საექსპორტო ელექტროენერჯია. გამოანაკლისს შეიძლება წარმოადგენდეს წყალუხვობის პერიოდში ჰიდროელექტრო-სადგურებში გამომუშავებული ჭარბი ელექტროენერჯია.

საკვანძო სიტყვები:

ელექტროენერჯია, გენერაცია, მოხმარება, ექსპორტი, იმპორტი

საქართველოს სახელმწიფო ენერგოსისტემის (სსე) მონაცემების მიხედვით 2021 წელს ქვეყანამ მოიხმარა 14.26 მლრდ.კვტსთ ელექტროენერჯია. აქედან გამომუშავებამ შეადგინა 12.645 მლრდ.კვტსთ, ხოლო იმპორტმა – 2 მლრდ. კვტსთ, რაც მთლიანი მოხმარების დაახლოებით 16%-ს შეადგენს [1]. უნდა აღინიშნოს, რომ იმპორტის ასეთი მაღალი პროცენტული მაჩვენებელი ყოველად გაუმართლებელია ქვეყნის ენერგეტიკული უსაფრთხოების საკითხებიდან გამომდინარე. გარდა ამისა, 2021 წლის მონაცემებით ელექტროენერჯის მოხმარებამ ერთ სულ მოსახლეზე გადაანგარიშებით შეადგინა 4126 კვტ სთ წელიწადში, რაც მნიშვნელოვნად დაბალია არა მარტო საშუალო ევროპულ მაჩვენებელზე (8-10 ათასი კვტ სთ/წ), არამედ ბევრი პოსტსაბჭოთა ქვეყნის მაჩვენებელზეც. აშკარაა, რომ ქვეყნის ნორმალური განვითარებისათვის აუცილებელია ელექტროენერგეტიკულ სისტემაში გენერაციის ახალი, მძლავრი ელექტროსადგურების შეყვანა და, ამასთან, ელექტროენერჯის იმპორტის მკვეთრი შემცირება.

ავტორთა მიერ ადრე გამოქვეყნებულ გამოკვლევებში [2,3] საქართველოს ელექტროსადგურების სტრუქტურის მათემატიკურ მოდელზე დაყრდნობით, სათანადო ოპტიმიზაციის ამოცანის ამოხსნის საფუძველზე, დადგენილი იყო, რომ საქართველოს შეუძლია ადგილობრივი რესურსების გამოყენებით უზრუნველყოს ქვეყნის ელექტრო-ენერჯით მომარაგება 40-45 მლრდ. კვტსთ წლიური გამომუშავების დონეზე.

[4] გამოკვლევაში შემოთავაზებული იყო ფორმულა, რომლითაც მარტივად შეიძლება გავიანგარიშოთ ნებისმიერი დარგის განვითარების ტემპები წლების მიხედვით. კერძოდ,

ელექტროენერჯის გამომუშავებისა და მოხმარების წლების მიხედვით ზრდის ტემპის საანგარიშოდ ფორმულას აქვს ასეთი სახე [4]:

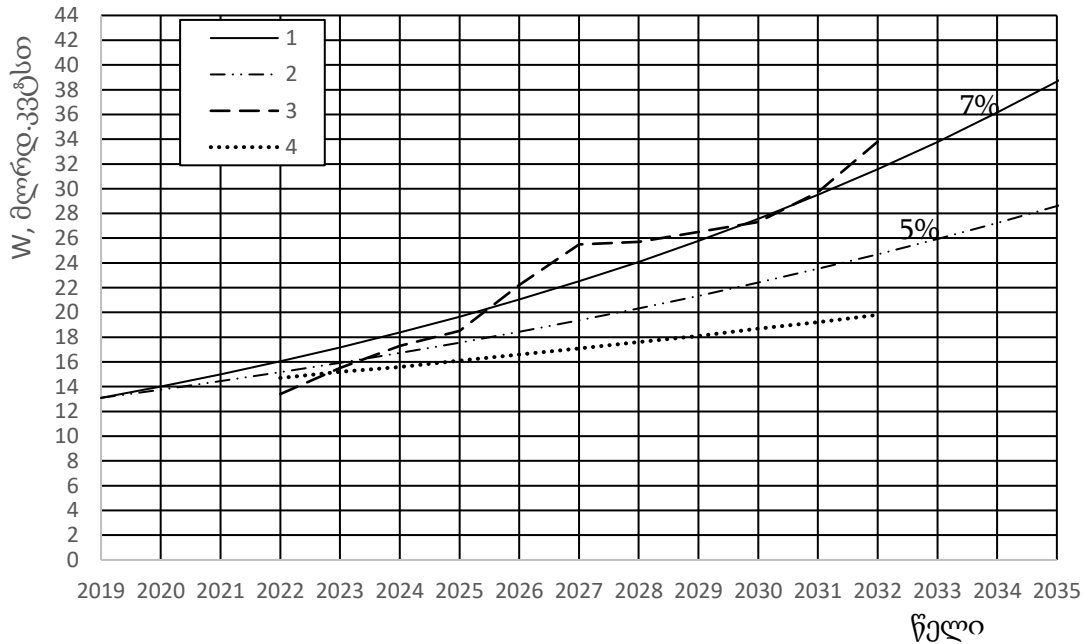
$$a_k = \frac{A_k}{N_k} = \frac{A_{k_0}}{N_{k_0}} \frac{(1+0.01 C)^{k-k_0}}{(1+0.01 B)^{k-k_0}}, \quad (1)$$

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

მოხმარებული ელექტროენერჯის აბსოლუტური მნიშვნელობისათვის (1) ფორმულას ასეთი სახე ექნება:

$$A_k = A_{k_0} (1 + 0.01 C)^{k-k_0} \quad (2)$$

გაანგარიშების შედეგები მოხმარებული ელექტროენერჯის 5%, 7%-იანი მატების პირობებში წარმოდგენილია 1-ლ ნახაზზე. აღებულია შემდეგი საწყისი მონაცემები: წელი – 2019, მოხმარებული ელექტროენერჯია - 13.1 მლრდ. კვტ სთ;



ნახ.1. წლიურად მოხმარებული (გამომუშავებული) ელექტროენერჯის ზრდის სავარაუდო დინამიკა

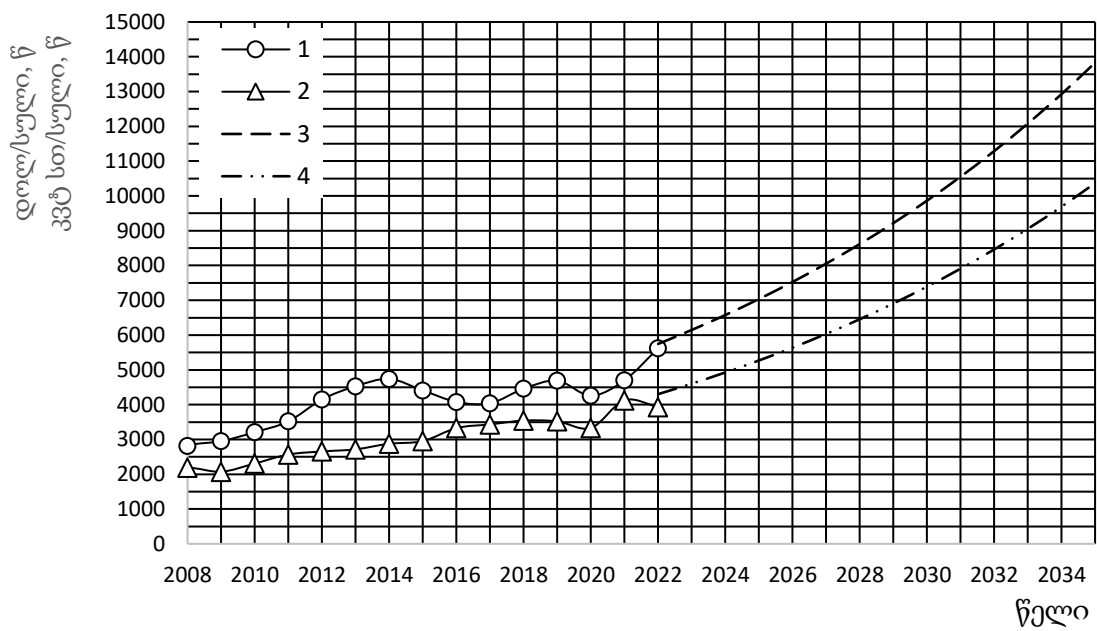
1. (2) ფორმულის მიხედვით 7%-იანი ზრდის პირობებში;
2. (2) ფორმულის მიხედვით 5%-იანი ზრდის პირობებში;
3. ელექტროენერჯის გამომუშავება სსე-ის პროგნოზის მიხედვით [5];
4. ელექტროენერჯის მოხმარება სსე-ის პროგნოზის მიხედვით [5].

1-ლი გრაფიკიდან ჩანს, რომ (2) ფორმულის მიხედვით ელექტროენერჯის გამომუშავების ყოველწლიური 7%-იანი ზრდის პირობებში 2035 წლისთვის საქართველოში ელექტროენერჯის წლიური გამომუშავება და მოხმარება (თუ გამოვრიცხავთ ექსპორტს და იმპორტს) მიაღწევს დაახლოებით 39 მლრდ კვტსთ.

ამავე გრაფიკზე დატანილია საქართველოს სახელმწიფო ენერჯისტიკის 2021-2022 წლის ანგარიშში წარმოდგენილი ელექტროენერჯის გამომუშავებისა და მოხმარების ზრდის პროგნოზი 2032 წლამდე [5]. როგორც აღნიშნული გრაფიკიდან ჩანს, სსე-ს პროგნოზი

პრაქტიკულად ემთხვევა (2) ფორმულით გაანგარიშებულ შედეგებს (7%-იანი ზრდის პირობებში). ამასთან ერთად, სსე-ს პროგნოზის მიხედვით ამ წლებში მკვეთრად იზრდება ელექტროენერჯის ექსპორტი. კერძოდ, 2027 წელს ექსპორტირებული იქნება 8.4 მლრდ. კვტსთ ელექტროენერჯია, ხოლო 2032 წელს კი – 14 მლრდ. კვტსთ და, შესაბამისად, საქართველო გამოიმუშავებული 33,8 მლრდ. კვტსთ-დან მოიხმარს მხოლოდ 19.8 მლრდ. კვტსთ. ეს გარემოება აუხსნელია და რბილად რომ ვთქვათ, გაუგებარიც. სსე-ს ანგარიშში არ არის დასაბუთებული თუ რითია გამოწვეული ელექტროენერჯის მოსალოდნელი ექსპორტის ასეთი სიდიდე. ისღა დაგვრჩენია ვივარაუდოთ, რომ ეს შეიძლება განპირობებული იყოს ინვესტორის მოთხოვნებით. ასეთ შემთხვევაში, მოთხოვნები მეტისმეტად კაბალურია და სრულიად მიუღებელი, და თუ ეს ასე არ არის, უნდა ჩავთვალოთ, რომ პროგნოზი არაკომპეტენტურად არის გაკეთებული.

ამასთან დაკავშირებით, უნდა აღინიშნოს, რომ როგორც მსოფლიოს, ისე საქართველოს პრაქტიკიდან გამომდინარე, ქვეყნის მთლიანი შიდა პროდუქტის წარმოება გარკვეულ თანაფარდობაშია გამოიმუშავებულ ელექტროენერჯისთან. ანუ სხვაგვარად რომ ვთქვათ, ელექტროენერჯის მოხმარების დონე ერთ-ერთი ძირითადი განმსაზღვრელია მთლიანი შიდა პროდუქტის წარმოების დონისა. ამის საიულისტრაციოდ მე-2 ნახაზზე წარმოდგენილია ერთ სულ მოსახლეზე მთლიანი შიდა პროდუქტისა (დოლ/სული,წ) და მოხმარებული ელექტროენერჯის (კვტსთ/სული,წ) ზრდის ტემპები წლების მიხედვით 2008 წლიდან 2035 წლამდე. ამასთან 2022 წლამდე წარმოდგენილია რეალური შედეგები [6], ხოლო 2022 წლიდან 2035 წლამდე – (1) ფორმულით ნაანგარიშევი შედეგები 7%-იანი ზრდით. მთლიანი შიდა პროდუქტის გაანგარიშებისას, ცხადია, (1) ფორმულაში შეტანილია სათანადო სიდიდეები.



ნახ.2. ერთ სულ მოსახლეზე მოსული მთლიანი შიდა პროდუქტისა და მოხმარებული ელექტროენერჯის დინამიკა წლების მიხედვით

1. მთლიანი შიდა პროდუქტი ერთ სულზე წელიწადში (რეალური);
2. მოხმარებული ელექტროენერჯია ერთ სულზე წელიწადში (რეალური);
3. მთლიანი შიდა პროდუქტი ერთ სულზე წელიწადში (1) ფორმულის მიხედვით (მოსალოდნელი 7%-იანი ზრდა);
4. მოხმარებული ელექტროენერჯია ერთ სულზე წელიწადში (1) ფორმულის მიხედვით (მოსალოდნელი 7%-იანი ზრდა).

აღნიშნულ გრაფიკზე წარმოდგენილი შედეგებიდან ჩანს, რომ ერთი დოლარის ღირებულების მთლიანი შიდა პროდუქტის შესაქმნელად საჭიროა საშუალოდ 0.77 კვტსთ ელექტროენერგია. უნდა აღინიშნოს, რომ ეს უკანასკნელი ციფრი საკმაოდ დიდია. ევროპის შედარებით ნაკლებად განვითარებული ქვეყნებისთვის იგი არ აჭარბებს 0,4–0,5-ს. ეს გარემოება მრავალ ფაქტორზეა დამოკიდებული, მათ შორის, სხვადასხვა დარგის ტექნოლოგიურ დონეზე. უნდა ვივარაუდოთ, რომ ჩვენი ქვეყნის განვითარების თანამედროვე დონეზე, ზემოთ მოყვანილი მაჩვენებლის (0,77) შემცირების ტემპი ვერ იქნება მკვეთრი.

როგორც ჩვენი გაანგარიშებები ცხადყოფენ, ერთ სულ მოსახლეზე წლიური მოხმარებული ელექტროენერგიისა და მთლიანი შიდა პროდუქტის 7%-იანი ზრდის ტემპის შემთხვევაში 2035 წელს ერთ სულ მოსახლეზე მთლიანი შიდა პროდუქტის ღირებულება მიაღწევს თითქმის 14 000 დოლარს წელიწადში. განვითარების ასეთი ტემპით საქართველო 2035 წლისათვის მიუახლოვდება ევროპის ზოგიერთი ქვეყნის (რუმინეთი, ხორვატია, ბულგარეთი, ლიეტუვა) დღევანდელ დონეს.

ცხადია, რომ სსე-ს პროგნოზის მიხედვით, ერთ სულ მოსახლეზე მოსული წლიური მთლიანი შიდა პროდუქტის ღირებულება ვერ გადააჭარბებს 10 000 დოლარს.

მეორე მხრივ, ყურადსაღებია ის ფაქტიც, რომ ევროკავშირის ქვეყნებმა და ევროპარლამენტმა მხარი დაუჭირეს გადაწყვეტილებას 2035 წლიდან შიდა წვის ძრავების გაყიდვის აკრძალვის თაობაზე [7]. როგორც ჩანს, ეს გადაწყვეტილება საბოლოოდ ძალაში შევა და პრაქტიკულად 2035 წლამდე უკვე დაიწყება შიდა წვის ძრავიანი ავტომობილების ჩანაცვლება ელექტრომობილებით, რაც უდაოდ გამოიწვევს ელექტროენერგიის მოხმარების მკვეთრ ზრდას.

ამასთან დაკავშირებით, თვალსაჩინოა დანიის ტექნიკური უნივერსიტეტის ტრანსპორტის ინსტიტუტის მიერ ჩატარებული გამოკვლევები [8], რომელთა შედეგადაც აღმოჩნდა, რომ ავტომობილები Citroen C-Zero, Mitsubishi i-MiEV და Peugeot iOn რეალურ პირობებში, დღე-ღამეში 50 კმ მანძილის გარბენის შემთხვევაში, საშუალოდ მოიხმარენ დაახლოებით 10 კვტსთ ელექტროენერგიას. ეს ერთი ავტომობილისათვის წელიწადში შეადგენს 3 650 კვტსთ. თუ მხედველობაში მივიღებთ საქართველოში მსუბუქი ავტომობილების შემოყვანის დღეისათვის არსებულ ტემპს, უნდა ვივარაუდოთ, რომ 2 ათეული წლის შემდეგ საქართველოში ელექტრომობილების რაოდენობამ შეიძლება შეადგინოს 2 მილიონი. ცხადი ხდება, რომ მართო საავტომობილო ტრანსპორტზე ელექტროენერგიის წლიური მოხმარება გადააჭარბებს 7 მლრდ. კვტსთ წელიწადში. ეს გაცილებით მეტია ენგურჰესის წლიურ გამომუშავებაზე.

გარდა ამისა, მსოფლიოში განვითარებული მოვლენების შედეგად სავარაუდოა საქართველოზე გამავალი აღმოსავლეთ-დასავლეთის დამაკავშირებელი მაგისტრალის¹ დატვირთვის მკვეთრი ზრდა. რაც ასევე გამოიწვევს ელექტროენერგიის მოხმარების, დღევანდელ დონესთან შედარებით, სულ ცოტა 10-ჯერ (შეიძლება 20-ჯერ) ზრდას.

მხედველობაშია მისაღები, აგრეთვე, საქართველოს ტერიტორიაზე გამავალი ნავთობსადენებზე და გაზსადენებზე მოხმარებული ელექტროენერგია.

ყოველივე ზემოთქმულის გათვალისწინებით, შეიძლება დავასკვნათ, რომ მართო ტრანსპორტზე (საავტომობილო და სარკინიგზო) და მილსადენებზე საჭირო წლიური ელექტროენერგია გადააჭარბებს 10 მლრდ. კვტსთ-ს წელიწადში, რაც სსე-ს მიერ პროგნოზირებული მოხმარების (19,8 მლრდ. კვტსთ/წ) ნახევარზე მეტს შეადგენს.

¹ კატეგორიულად მიუღებელია გამოთქმა „საქართველო არის აღმოსავლეთ-დასავლეთის დამაკავშირებელი დერეფანი“. საქართველო არ არის დერეფანი – საქართველო არის ქვეყანა, რომელის ტერიტორიაზეც გადის აღმოსავლეთისა და დასავლეთის დამაკავშირებელი მაგისტრალები.

ცხადია, რომ ასეთ შემთხვევაში, მეურნეობის სხვა დარგების (მძიმე და მსუბუქი მრეწველობა, კვებისა და გადამამუშავებელი მრეწველობა, სოფლის მეურნეობა, კომუნალური მეურნეობა და სხვა) განვითარება სერიოზული ენერგეტიკული პრობლემების წინაშე აღმოჩნდება.

ყოველივე ზემოთქმულიდან გამომდინარე, შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ უახლოეს ათწლეულებში საქართველოს ელექტროენერჯის გამომუშავებისა და მოხმარების წლიური ზრდის ტემპი არ შეიძლება იყოს 7%-ზე ნაკლები.

ამასთან, საქართველოს პრაქტიკულად არ ექნება საექსპორტო ელექტროენერჯია. გამონაკლისს შეიძლება წარმოადგენდეს წყალუხვობის პერიოდში ჰიდროელექტრო-სადგურებში გამომუშავებული ჭარბი ელექტროენერჯია.

About some issues of providing Georgia with electric power in the coming decades

Tengiz Magrakvelidze, Khatuna Lomidze, Manana Janikashvili, Irma Archvadze

Summary

The current state of electricity generated and consumed in Georgia is analyzed in the article. It has been shown that in recent years the import of electric power has been increasing sharply, which is unjustified due to the country's energy security. It is justified that in the conditions of the expected increase in the demand for electric power in the coming decades, it will be necessary to increase the intensity of input of new capacities in the electric power system.

Based on the calculations made by the formula previously proposed by the authors, it is shown that in order to provide the country with electric power in the future, an annual increase in electric power production of at least 7% is necessary.

A critical analysis of the forecast of the State Energy System of Georgia (SSE) has been carried out. It is justified that the level of electric power export is overestimated in the forecast.

Based on the analysis, a conclusion was drawn that Georgia will not have exportable electric power in the coming decades. An exception may be excess electric power generated in hydroelectric plants during periods of water abundance.

О некоторых вопросах обеспечения Грузии электроэнергией в ближайшие десятилетия

Тенгиз Маграквелидзе, Хатуна Ломидзе, Манана Джаникашвили, Ирма Арчвадзе

Резюме

В статье анализируется текущее состояние производства и потребления электроэнергии в Грузии. Показано, что в последние годы резко увеличивается импорт электроэнергии, что неоправданно с точки зрения энергетической безопасности страны. Обосновано, что в условиях ожидаемого роста спроса на электроэнергию в ближайшие десятилетия потребуется увеличить интенсивность ввода новых мощностей в электроэнергетическую систему.

На основе расчетов, произведенных по ранее предложенной авторами формуле, показано, что для обеспечения страны электроэнергией в будущем необходим ежегодный прирост производства электроэнергии не менее чем на 7%.

Проведен критический анализ прогноза Государственной энергетической системы Грузии (ГЭС). Обосновано, что в прогнозе завышен уровень экспорта электроэнергии.

На основе анализа сделан вывод о том, что в ближайшие десятилетия у Грузии не будет экспортной электроэнергии. Исключением может быть избыточная электроэнергия, вырабатываемая на гидроэлектростанциях в периоды полноводья.

ლიტერატურა – References – Литература

1. https://www.gse.com.ge/home_ge
2. მაგრაქველიძე თ.შ., ლომიძე ხ.ნ., ჯანიკაშვილი მ., საქართველოში ბაზისური ელექტროენერჯის წარმოების ოპტიმალური ვარიანტი. ა.ელაშვილის სახ. მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული. თბილისი, 1999, გვ.86-90.
3. მაგრაქველიძე თ.შ., ლომიძე ხ.ნ. საქართველოს ელექტროენერგეტიკული სისტემის ოპტიმალური სტრუქტურის შესახებ ორგანულ სათბობებზე ფასების ზრდის ტენდენციის გათვალისწინებით. ა.ელაშვილის სახ. მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული. თბილისი, 2005, გვ.106-110.
4. თ.მაგრაქველიძე, ხ. ლომიძე, ა. მიქაშვიძე, მ. ჯანიკაშვილი, ი. არჩვაძე. საქართველოს ენერგეტიკული უსაფრთხოების ზოგიერთი საკითხის შესახებ. ა. ელაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტი. შრომათა კრებული. თბილისი, 2017, გვ. 53-61.
5. https://www.gse.com.ge/sw/static/file/ANNUAL_REPORT_2021-22_GEO_1.pdf
6. <https://www.geostat.ge/ka>
7. <https://newshub.ge/news/msofluo/evroparlamentma-2035-tslidan-shida-tsviz-dzravebis-mkone-msubuki-avtomobilebis-gakidvis-akrdzalvas-mkhari-dauchira>
8. <https://habr.com/ru/post/390361/>

ლაბორატორიული დანიშნულების თბური ტუმბოს ექსპერიმენტული დანადგარი

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

nmirianash@gmail.com

რეზიუმე

სტატიაში წარმოდგენილია ლაბორატორიული დანიშნულების თბური ტუმბოს ექსპერიმენტული დანადგარის აღწერა და ორთქლკომპრესორული თბური ტუმბოს დანადგარის თბური გაანგარიშების მეთოდიკა. კერძოდ, ორთქლკომპრესორული თბური ტუმბოს დანადგარის პრინციპული სქემა და ტემპერატურული ცვლილებების გრაფიკი.

თბური გაანგარიშებისათვის აუცილებელი მონაცემებია: მოთხოვნილი თბური სიმძლავრე, დაბალტემპერატურული სითბოს წყაროს ტემპერატურა და მომხმარებელზე მიწოდებული თბური ენერჯის ტემპერატურა.

სტატიაში მოყვანილია თბური ტუმბოს დანადგარის ექსპერიმენტული კვლევის შედეგები. კერძოდ, თბური ტუმბოს თბომწარმოებლურობის დამოკიდებულება ფრეონის კონდენსაციის ტემპერატურაზე და თბური ტუმბოს თერმოდინამიკური ეფექტურობის მაჩვენებელი კოეფიციენტის - თბური ენერჯის გარდაქმნის კოეფიციენტის დამოკიდებულება ფრეონის კონდენსაციის ტემპერატურაზე.

საკვანძო სიტყვები:

თბომწარმოებლურობა, საორთქლებელი, კომპრესორი, კონდენსატორი, გარდაქმნის კოეფიციენტი.

შესავალი

ცნობილია, რომ სამრეწველო და საყოფაცხოვრებო თბომომარაგებაზე (გათბობა და ცხელწყალმომარაგება) იხარჯება ქვეყანაში მოხმარებული ორგანული სათბობის 50%-ზე მეტი, მაშინ, როდესაც ბუნებაში მოგვეპოვება პრაქტიკულად ულვეი დაბალი ტემპერატურის მქონე სითბოს წყაროები (გარემო ჰაერი, სხვადასხვა ტიპის წყალსაცავები, ზღვისა და მდინარის წყალი, სამრეწველო მეორეული ენერგორესურსები და სხვ.) [1, 2, 3].

დაბალტემპერატურული სითბოს წყაროების თბური ენერჯის გამოყენება, რომელსაც დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს სათბობ - ენერგეტიკული რესურსების ეკონომიის თვალსაზრისით, შესაძლებელია სითბოს სატრანსფორმაციო დანადგარების (მაგ.: თბური ტუმბოს) მეშვეობით.

როგორც ცნობილია, თბური ტუმბო ართმევს თბურ ენერჯიას დაბალი ტემპერატურის მქონე სითბოს წყაროს (აღნიშნული დაბალტემპერატურული თბური ენერჯის მუშაობის შესრულების უნარი უდრის ნულს). ამის შემდეგ, თბური ტუმბო გარედან მიწოდებული ენერჯის ხარჯზე (ელექტროენერჯია, მაღალტემპერატურული თერმული წყალი) ამაღლებს მის ტემპერატურულ პოტენციალს და გადასცემს მას მომხმარებელს (თბომომარაგების სისტემა) [4, 5].

ძირითადი ნაწილი

სურათზე 1 წარმოდგენილია ჩვენს მიერ შექმნილი ლაბორატორიული დანიშნულების თბური ტუმბოს ექსპერიმენტული დანადგარის მთლიანი ხედი.

სურათზე მარჯვნივ მდებარეობს თბური ტუმბოს საორთქლებელი, ხოლო მარცხნივ - თბური ტუმბოს კონდენსატორი. შუაში განთავსებულია თბური ტუმბოს კომპრესორი ზეთის ფილტრთან ერთად (კომპრესორში ფრეონის შემწვავ მხარეს) და მანომეტრები, რომელთაგან

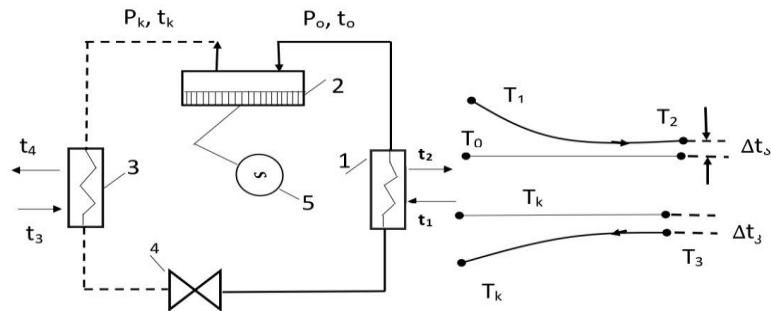
ერთი, მარჯვენა აჩვენებს ფრეონის წნევას კომპრესორში შესვლის წინ (ფრეონის დუღილის წნევა), ხოლო მეორე - მარცხნა, ფრეონის წნევას კომპრესორის მიერ მისი დაჭირხვნის შემდეგ (ფრეონის კონდესაციის წნევა). ამავე სურათზე ჩანს ელ. მრიცხველი, რომელიც აღრიცხავს თბური ტუმბოს კომპრესორის მიერ მოხმარებულ ელექტროენერგიას. დანადგარი აღჭურვილია თერმოსარედუქციო ვენტილით (დროსელი) და თერმომეტრებით, რომელთაგან ერთი აჩვენებს ფრეონის დუღილის ტემპერატურას, მეორე - დაბალპოტენციური სითბოს წყაროს ტემპერატურას, მესამე - ფრეონის კონდესაციის ტემპერატურას, ხოლო მეოთხე - მოხმარებელზე მიწოდებული მაღალპოტენციური თბური ენერგიის ტემპერატურას.



სურათი 1. ლაბორატორიული დანიშნულების თბური ტუმბოს ექსპერიმენტული დანადგარის მთლიანი ხედი.

ორთქლკომპრესორული თბური ტუმბოს დანადგარის თბური გაანგარიშების მეთოდის

ორთქლკომპრესორული თბური ტუმბოს დანადგარის პრინციპული სქემა და ტემპერატურული ცვლილებების გრაფიკი მოცემულია ნახაზზე 1.



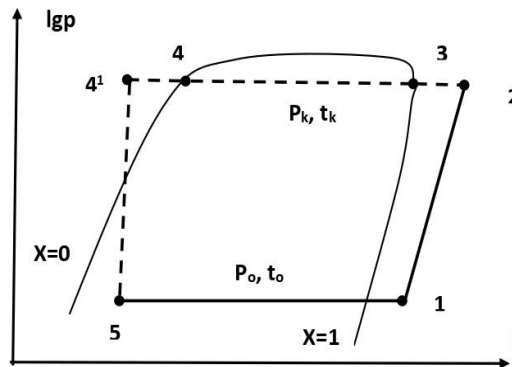
ნახ. 1

$$T=t+273^{\circ}\text{C}$$

1. თბური ტუმბოს საორთქლებელი;
2. თბური ტუმბოს კომპრესორი;
3. თბური ტუმბოს კონდესატორი;
4. თბური ტუმბოს სარედუქციო ვენტილი (დროსელი);
5. თბური ტუმბოს ელექტრო ძრავი.

თბური გაანგარიშებისათვის აუცილებელია შემდეგი მონაცემების ცოდნა: მოთხოვნილი თბური სიმძლავრე Q_k (კვტ), დაბალტემპერატურული სითბოს წყაროს ტემპერატურა - $t_{წყ}^{\circ}\text{C}$ და მომხმარებელზე მიწოდებული თბური ენერჯის ტემპერატურა $t_{თბ}^{\circ}\text{C}$.

დუდილისა $-T_0$ და კონდენსაციის - T_k ტემპერატურების მიხედვით LgP-I დიაგრამაზე, ფრეონის მარკის შერჩევის შემდეგ, რომელიც წარმოადგენს თბური ტუმბოს მუშა სხეულს (მაცივებელი აგენტი), აიგება თბური ტუმბოს მუშაობის თერმოდინამიკური ციკლი, რის შედეგადაც განისაზღვრება თბური ტუმბოს მუშაობის საკვანძო წერტილების ყველა პარამეტრი (ნახაზი 2). შემდეგ კი გაანგარიშდება თბური ტუმბოს თერმოდინამიკური ციკლის ყველა ძირითადი მახასიათებელი:



ნახ. 2

1. ხვედრითი თბომწარმოებლობა, კვ/კვ:

$$q_{\sigma} = i_2 - i_{4'}$$

2. ხვედრითი სიცივის მწარმოებლობა კვ/კვ:

$$q_0 = i_1 - i_5$$

3. დანადგარში ცირკულირებული მაცივებელი აგენტის - ფრეონის რაოდენობა, კგ/სთ:

$$G = Q_k / q_{\sigma}$$

4. რეალური მოცულობის ხარჯი, მ³/სთ:

$$v_{\sigma} = G \cdot v_1$$

5. ხვედრითი ადიაბატური მუშაობა, კვ/კვ:

$$l_{ად} = i_2 - i_1$$

6. თბური ტუმბოს კომპრესორის ადიაბატური სიმძლავრე, კვტ:

$$N_{ად} = G \cdot l_{ად}$$

7. თბური ტუმბოს კომპრესორის მოცულობითი კოეფიციენტი:

$$\lambda = 0,75 \div 0,85$$

8. თბური ტუმბოს კომპრესორის ინდიკატორული სიმძლავრე, კვტ:

$$N_i = N_{ად} / \eta_i$$

სადაც η_i - თბური ტუმბოს კომპრესორის ინდიკატორული მქტ ტოლია - $\eta_i = 0,80 \div 0,90$;

9. თბური ტუმბოს კომპრესორის დეჟუმის მიერ აღწერილი მოცულობა, მ³/სთ:

$$v_{თტ} = v_{\sigma} / \lambda$$

10. თბური ტუმბოს კომპრესორის დეჟუმის ხახუნზე დახარჯული სიმძლავრე, კვტ:

$$N_b = P_i \cdot v_{თტ}$$

სადაც P_i ხახუნის ინდიკატორული წნევაა და თანამედროვე კომპრესორებში აიღება

$$P_i = 0,4 \div 0,6 - \text{ს ტოლი.}$$

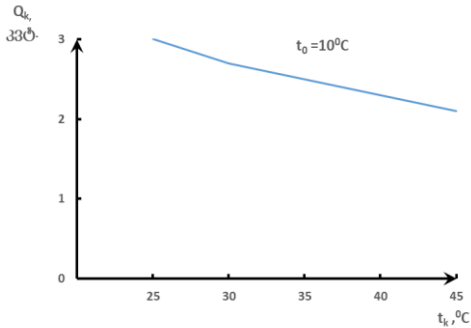
11. თბური ტუმბოს ეფექტური სიმძლავრე, კვტ

$$N_{\text{ეფ}} = N_i + N_b ;$$

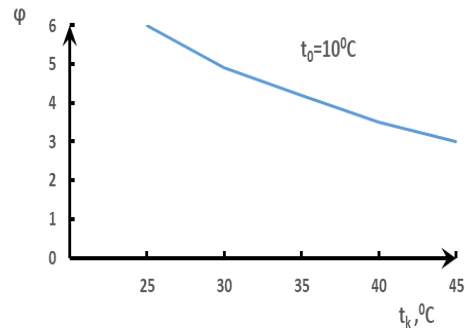
12. თბური ტუმბოს თბური ენერჯის ტრანსფორმაციის კოეფიციენტი (გარდაქმნის კოეფიციენტი):

$$\varphi = Q_k / N_{\text{ეფ}}$$

ქვემოთ, ნახაზებზე 3 და 4 წარმოდგენილია თბური ტუმბოს დანადგარის ექსპერიმენტული კვლევის შედეგები. ნახაზზე 3 ნაჩვენებია თბური ტუმბოს თბომწარმოებლურობის დამოკიდებულება ფრეონის კონდენსაციის ტემპერატურაზე. ნახაზზე 4 კი ნაჩვენებია თბური ტუმბოს თერმოდინამიკური ეფექტურობის მაჩვენებელი კოეფიციენტის - თბური ენერჯის გარდაქმნის კოეფიციენტის დამოკიდებულება ფრეონის კონდენსაციის ტემპერატურაზე.



ნახ. 3. თბური ტუმბოს თბომწარმოებლურობის Q_k დამოკიდებულება ფრეონის კონდენსაციის ტემპერატურაზე t_k .



ნახ. 4. თბური ტუმბოს გარდაქმნის კოეფიციენტის φ დამოკიდებულება ფრეონის კონდენსაციის ტემპერატურაზე t_k .

Laboratory Heat Pump Experimental Unit

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

Summary

The article presents the description of the laboratory heat pump experimental unit and the method of thermal calculation of the steam compressor heat pump unit. In particular - the principle scheme of the steam-compressor heat pump unit and the schedule of temperature changes.

Necessary data for thermal calculation are: required thermal power, temperature of low-temperature heat source and temperature of thermal energy delivered to the consumer.

The article presents the results of the experimental study of the heat pump unit. In particular, the dependence of the thermal productivity of the heat pump on the temperature of condensation of freon and the coefficient of thermodynamic efficiency of the heat pump - the coefficient of conversion of thermal energy on the temperature of condensation of freon.

Экспериментальная установка лабораторного теплового насоса

Нодар Мирианашвили, Натиа Арабидзе, Теимураз Булиа, Кетеван Квирикашвили,
Придон Мшвиლდაძე

Резюме

В статье представлено описание экспериментальной лабораторной теплонасосной установки и методика теплового расчета парокомпрессорной теплонасосной установки. В частности - принципиальная схема парокомпрессорной теплонасосной установки и график изменения температуры.

Необходимые данные для теплового расчета: требуемая тепловая мощность, температура низкотемпературного источника тепла и температура тепловой энергии, отдаваемой потребителю.

В статье представлены результаты экспериментального исследования теплонасосной установки. В частности, зависимость тепловой производительности теплового насоса от температуры конденсации фреона и коэффициента термодинамического КПД теплового насоса - коэффициента преобразования тепловой энергии от температуры конденсации фреона.

ლიტერატურა – References – Литература

1. მირიანაშვილი ნ., გმელიშვილი ნ. თბოსიცივით მომარაგების პრინციპული სქემები თბური ტუმბოს დანადგარების გამოყენებით ლუდის წარმოებაში. „ბიზნეს-ინჟინერინგი“. ყოველკვარტალური რეფერირებადი და რეცენზირებადი საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალი. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი. საქართველოს საინჟინრო აკადემია. 2018, #3-4. აკად. ლ. ჩიქავას 90-ე წლისთავისადმი მიძღვნილი მეექვსე საერთაშორისო ეკონომიკური კონფერენცია. „ეროვნული ეკონომიკის განვითარების მოდელები: გუშინ, დღეს, ხვალ“. გვ. 283-286.
2. მირიანაშვილი ნ., გმელიშვილი ნ., კვირიკაშვილი ქ., ხათაშვილი ვ. აგროსამრეწველო კომპლექსის საწარმოებში არსებული მეორეული ენერგორესურსების მოხმარება თბური ტუმბოს დანადგარების გამოყენებით. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის არჩილ ელიაშვილის სახელობის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული #23. ქ. თბილისი 2019 წ. გვ.85-90.
3. Мирианашвили Н., Везиришвили-Нозадзе К, Везиришвили О., Бахтадзе В. Применение Теплонасосных усмановок для завяливания и хранения чая. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია – „კვების მრეწველობის ტექნოლოგიური პროცესების და მოწყობილობის პრობლემები“. თბილისი, 2015 წ 18-19 აპრილი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი. გვ.261-263.
4. Mirianashvili N., Vezirishvili – Nozadze K., Megrelidze T., Gedevanishvili T., Gdzlishvili N., Bakhtadze V., Khatashvili V. Energy Conservation with heat pump technology in milk industry. აკად. ი.ფრანგიშვილის დაბადების 85 წლისთავისადმი მიძღვნილი საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია - “საინფორმაციო და კომპიუტერული ტექნოლოგიები, მოდელირება, მართვა“. თბილისი, 2015 წ. 3-5 ნოემბერი. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი. გვ.98-101.
5. ყავლაშვილი ნ., მირიანაშვილი ნ., ხათაშვილი ვ. მეორეული ენერგორესურსების გამოყენების პერსპექტივები ლუდის წარმოებაში. „ენერგეტიკა: რეგიონული პრობლემები და განვითარების პერსპექტივები“. V საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია. 25-26 ოქტომბერი 2018 წ. ა. წერეთლის სახ. უნივერსიტეტი. საქართველო, ქუთაისი. გვ. 106-110.

მობილური რობოტის დისტანციური მართვის სისტემები

დავით ფურცხვანიძე, ნოდარ გძელიშვილი, ვერიკო ბახტაძე, ქეთევან კვირიკაშვილი
dpurtskhvani@gmail.com

რეზიუმე

წინამდებარე ნაშრომი ეძღვნება მობილური რობოტების დისტანციური მართვის სისტემებს და, კერძოდ, ჩვენ მიერ დამუშავებული მობილური რობოტის დისტანციური მართვის სისტემას. განიხილება ყველაზე ტიპური სამი ტიპის მართვის ალგორითმი: სიჩქარული, ძალური და პოზიციური. აღწერილია ამ ალგორითმებით განხორციელებული მართვის შედეგები. აღწერილია ორი ტიპის დისტანციური მართვის სისტემა: სუპერვიზორული და ინტერაქტიური. რობოტის დისტანციური მართვის ინტერაქტიურ სისტემაში იზრდება საინფორმაციო და გამოთვლითი ტექნოლოგიების როლი, ასევე მოქნილი სისტემის პროგრამული უზრუნველყოფა. ასეთ სისტემაში ადამიანი-ოპერატორისგან რობოტის დავალებები სრულდება უფრო ზოგადი ფორმით, ვიდრე სუპერვიზორული მართვისას, სადაც რობოტს არ აქვს „აზროვნების“ ფუნქციები. განიხილება რობოტების დისტანციური სუპერვიზორული მართვის თავისებურებები ექსტრემალურ პირობებში.

საკვანძო სიტყვები:

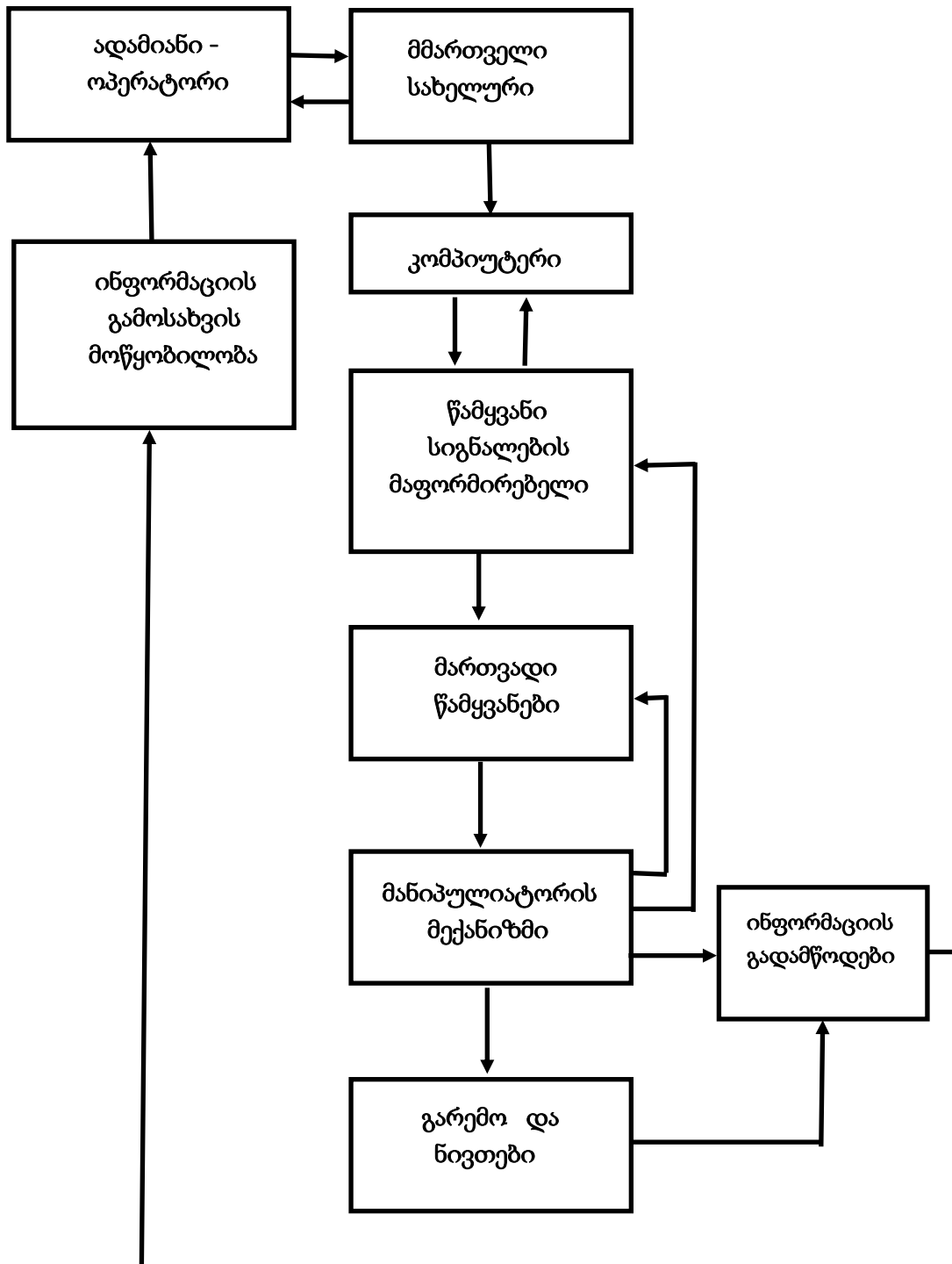
მობილური რობოტი, მანიპულატორი, დისტანციური მართვა, ინტერაქტიური მართვა.

ბოლო ათწლეულის განმავლობაში რობოტ-ტექნიკის ტრანსფორმაცია კოლოსალურია. მანამდე საწარმოო რობოტების მართვა მოუხერხებელი, უხერხული და ხშირად საშიში იყო. მარტივი მექანიზმებიდან რობოტები თითქმის ნებისმიერი პროცესის სრულფასოვანი მონაწილეები გახდნენ. ამჟამად ძირითადი პრობლემები რობოტო-ტექნიკაში მიმართულია მობილური რობოტების დისტანციური მართვისა და მათგან აგებული სისტემების სრულყოფისკენ.

ჩვენ დავამუშავეთ მობილური რობოტის ორიგინალური გადამტანი მოწყობილობა [1], მაგრამ ინსტიტუტში მექანიკური სახელოსნოს არ არსებობის პირობებში, გადამტანი მოწყობილობის დამზადება პრაქტიკულად შეუძლებელი შეიქმნა. ამიტომ, გადავწყვიტეთ შეგვეძინა პულტით სამართავი გადამტანი მოწყობილობა mBot, რომლის მოდერნიზაციის შემდეგ მასზე შესაძლებელი გახდა დაგვემონტაჟებინა ჩვენს მიერ დაგეგმარებული და დამზადებული რობოტი „ხელი“ [1].

მანიპულატორების დისტანციური მართვის ნახევრად ავტომატური სისტემები განსხვავდება კოპირების სისტემებისგან ძირითადი მოწყობილობის განსხვავებული დანიშნულებით და კომპიუტერის არსებობით. მრავალრგოლური მექანიზმის ნაცვლად, რომელიც იმეორებს მუშა მანიპულატორის ჩამჭერის კინემატიკას, ისინი იყენებენ სამართავ სახელურს თავისუფლების რამდენიმე ხარისხით. კოპირების მეთოდით რთული მოძრაობების ნაცვლად, აქ ადამიანი-ოპერატორი მხოლოდ მსუბუქად აჭერს სახელურს საჭირო მიმართულებით. სულაც არაა აუცილებელი, რომ საკონტროლო სახელურის კონფიგურაცია შეესაბამებოდეს სამუშაო მანიპულატორის კინემატიკას. ეს შეიძლება იყოს ნებისმიერი, მასზე ზემოქმედი ადამიანის ხელის მოძრაობის მოხერხებულობიდან გამომდინარე. უფრო მეტიც, სახელურს შეიძლება საერთოდ არ ჰქონდეს მექანიკური გადაადგილებები, ანუ შეიძლება გააჩნდეს მხოლოდ აღქმა ძალებისა, რომელიც ადამიანის ხელის მოქმედებითაა გამოწვეული [2, 3].

სამართავი სახელურიდან სიგნალები შედის მიკროპროცესორულ გამოთვლით მოწყობილობაში, სადაც ისინი გარდაიქმნება გარკვეული ალგორითმების მიხედვით, რის შედეგადაც წარმოიქმნება მმართველი სიგნალები, რომლებიც მიეწოდება მომუშავე მანიპულატორის ყველა წამყვან კვანძს (ნახ. 1).



ნახ. 1. მანიპულატორის დისტანციური მართვის სისტემა

ასეთ ნახევრად ავტომატურ სისტემაში, მიკროპროცესორული გამოთვლითი მოწყობილობის არსებობის წყალობით (ნახ. 1), შეიძლება შესრულდეს სხვადასხვა მართვის ალგორითმები. მოძრაობები განხორციელდეს მანიპულატორის კინემატიკისა და სამართი სახელურის კონფიგურაციის მიუხედავად ნებისმიერ კოორდინატულ სისტემაში. ყველაზე ტიპურია სამი ტიპის მართვის ალგორითმი: სიჩქარული, ძალური და პოზიციური. ისინი გულისხმობენ, შესაბამისად, სიჩქარის, ძალისა და მოძრაობის რეგულირებას მანიპულატორის მუშა დაბოლოებაში, საკონტროლო სახელურზე ადამიანის ხელის დაჭერის ძალის ოდენობის პროპორციულად.

სიჩქარული მართვის ალგორითმით მართვისას, სახელურის გადაადგილების სიდიდე თავისუფლების თითოეული ხარისხისთვის გარდაიქმნება მის პროპორციულ ელექტრულ სიგნალად. ეს სიგნალები იგზავნება მიკროპროცესორულ კომპიუტერში. აქ, პირველ რიგში, ხდება მმართველი სახელურის კოორდინატების ტრანსფორმაცია მუშა მანიპულატორის კოორდინატებად და, მეორეც, ამძრავების მართვის სიგნალების წარმოქმნა მანიპულატორის თავისუფლების თითოეული ხარისხისთვის ისე, რომ მანიპულატორის ბოლო (ჩამჭერი ან ხელსაწყო) იღებს მოძრაობის სიჩქარეს იმავე მიმართულებით, რა მიმართულებითაც ოპერატორმა დააჭირა ხელი საკონტროლო სახელურს. ამავე დროს, ცხადია, სახელურის გადაადგილების მთლიანი სიდიდე და მიმართულება წარმოიქმნება მასთან დაკავშირებული კოორდინატთა სისტემის კომპონენტებიდან, ხოლო დაჭერის სიჩქარის მთლიანი სიდიდე და მიმართულება წარმოიქმნება მომუშავე მანიპულატორის კოორდინატთა სისტემის კომპონენტებიდან [4].

მიკროპროცესორულ კომპიუტერში მმართველი სიგნალების ფორმირებისას, მართვის პროცესის ხარისხის გასაუმჯობესებლად, ავტომატური რეგულირების თეორიის წესების მიხედვით, მართვის კანონში შეიძლება დაემატოს ძირითადი სიგნალის წარმოებულები და ინტეგრალები, პროპორციული მმართველი სახელურის გადაადგილების მნიშვნელობისა. ამის ნაცვლად, თუ მანიპულატორში ჩამონტაჟებულია მიმყოლი ამძრავები, მართვის პროცესის საჭირო ხარისხი ასევე შეიძლება მიღწეული იყოს შიდა უკუკავშირითა და დიფერენცირებით თვითონ მიმყოლ სისტემაში თითოეული ამძრავი მექანიზმისა.

ძალური მართვის ალგორითმის შემთხვევაში, სამართავი სახელურიდან სიგნალების მოხსნისა და მიკროპროცესორულ კომპიუტერში მათი გარდაქმნის მთელი პროცესი მუშა მანიპულატორის ამძრავებზე სამართავი სიგნალების შემდგომი მიწოდებით, ხორციელდება ანალოგიურად. მაგრამ მნიშვნელოვანი განსხვავება ისაა, რომ სამართი სახელურის ზოგადი გადაადგილების პროპორციულად იქმნება ძალა, რომელიც თითქოს აჭიმავს მანიპულატორის ჩამჭერს, რითაც განისაზღვრება მისი მოძრაობა. ეს ძალა უშუალოდ რეალიზდება, როდესაც ჩამჭერი ან ხელსაწყო შედის კონტაქტში რომელიმე გარე ობიექტთან. ეს ძალა სიდიდითა და მიმართულებით შეესაბამება სახელურის მთლიან გადაადგილებას.

პოზიციური მართვის ალგორითმით ასევე სრულდება გარდაქმნებისა და ფორმირების ანალოგიური პროცედურები. მაგრამ განსხვავება ისაა, რომ შედეგი არის სამუშაო მანიპულატორის ბოლოს გადაადგილება, რომელიც პროპორციულია ადამიან-ოპერატორის ხელიდან სამართი სახელურის გადაადგილებისა [5].

ჩვენ დავახასიათეთ მანიპულატორების დისტანციური ნახევრად ავტომატური მართვისთვის სამი ძირითადი ალგორითმი. არსებობს ნახევრად ავტომატური სისტემები, რომლებიც შეიცავენ სამივე ძირითადი ტიპის ალგორითმს. ამ შემთხვევაში, ადამიან-ოპერატორს შეუძლია მონაცვლეობით ჩართოს რომელიმე მათგანი. მაგალითად, სამუშაო სივრცეში მანიპულატორის სატრანსპორტო გადაადგილებისთვის მიზანშეწონილია სიჩქარითი მართვა. მოქმედების ობიექტებთან ახლოს, სადაც მნიშვნელოვანია

გადაადგილების სიდიდის ზუსტად შენარჩუნება მცირე არეში, აუცილებელია პოზიციური მართვა. ობიექტთან სამუშაო კონტაქტის დროს - ძალითი მართვა, რომელიც საშუალებას აძლევს ადამიან-ოპერატორს განახორციელოს გარკვეული ძალის ზემოქმედება ობიექტზე მუშაობის დროს. რა თქმა უნდა, შესაძლებელია სხვა ვარიანტებიც.

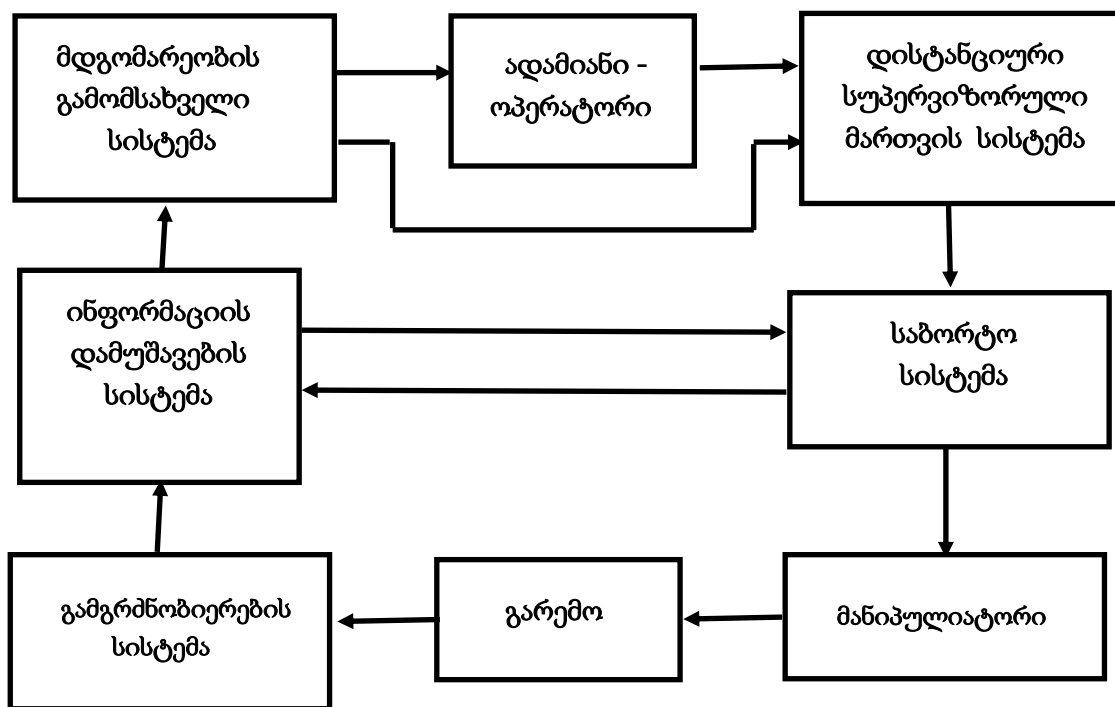
გარკვეული მანიპულირების სამუშაოების განხორციელების ზოგიერთ შემთხვევაში, შესაძლებელია სისტემაში ორგანიზება გაეწიოს მართვის ალგორითმების ავტომატურ გადართვას შესაბამისი გადამწოდებიდან მოსული სიგნალების საფუძველზე (ობიექტთან მიახლოება და მასთან კონტაქტი).

ადამიან-ოპერატორი ვიზუალურად აკონტროლებს მისი ქმედებების ეფექტს მომუშავე მანიპულატორის რეალურად მიღებულ მოძრაობაზე დაყრდნობით (ტელევიზიის ეკრანზე ან პირდაპირ მინის მეშვეობით) და ასწორებს ამ მოძრაობას დისტანციურად იმავე სამართავი სახელურის გამოყენებით.

შევნიშნოთ, რომ ძალური მართვის ალგორითმით, ადამიან-ოპერატორი სახელურზე გრძნობს სამუშაო მანიპულატორსა და მისი მუშაობის ობიექტს შორის ურთიერთქმედების რეალურ ძალებს (გარკვეული მასშტაბით). ეს დამატებითი ინფორმაცია ვიზუალურ ინფორმაციასთან ერთად მნიშვნელოვნად ზრდის მუშაობის ეფექტურობას, როგორც ორმაგი მოქმედების კოპირების სისტემებს.

არსებობს დისტანციური მართვის ორი ტიპის სისტემა: სუპერვიზორული და დიალოგური (ინტერაქტიური) [6].

სუპერვიზორული მართვა ასეთია. ადამიან-ოპერატორის მართვის პანელს აქვს დისპლეი (ტელევიზია), სხვა მოწყობილობები და ინსტრუმენტები რობოტის სამუშაო სივრცეში სიტუაციის ჩვენებისთვის (ნახ. 2). არსებობს არხი საინფორმაციო დისტანციური კომუნიკაციისთვის რობოტსა და ადამიანს შორის. ოპერატორი, როდესაც აკვირდება სიტუაციას და რობოტის მოქმედებებს, იღებს გადაწყვეტილებებს გარკვეული მმართველი ბრძანებების გაცემის თაობაზე არსებული სიტუაციიდან გამომდინარე. რობოტის კომპიუტერი, ბრძანების მიღების შემდეგ, ასრულებს მას გარკვეული პროგრამის შესაბამისად.



ნახ. 2. რობოტის დისტანციური სუპერვიზორული მართვის სქემა

რობოტში წინასწარ არის ჩატვირთული სხვადასხვა პროგრამების ნაკრები. თითოეული პროგრამა შეესაბამება რობოტის მიერ გარკვეულ ოპერაციის ავტომატურად შესრულებას ამიტომ, რობოტის დისტანციური მართვის დიალოგურ სისტემაში იზრდება საინფორმაციო და გამოთვლითი ტექნოლოგიების როლი, ასევე მოქნილი სისტემის პროგრამული უზრუნველყოფა. ასეთ სისტემაში, ადამიან-ოპერატორისგან რობოტის დავალებები სრულდება უფრო ზოგადი ფორმით, ვიდრე სუპერვიზორული მართვისას, სადაც რობოტს არ აქვს „აზროვნების“ ფუნქციები. აქ რობოტსა და ადამიანს შორის კომუნიკაცია შეიძლება მოხდეს ბუნებრივთან მიახლოებულ ენაზე.

შესაძლებელია დისტანციური მართვის დიალოგური სისტემების აგების სხვადასხვა პრინციპი და მათი პრაქტიკული განხორციელება. რობოტს შეიძლება ჰქონდეს მის ირგვლივ არსებული გარემოს აღქმის სხვადასხვა დონის მგრძობელობის საშუალებების კომპლექსები (სენსორული სისტემები). რობოტის კომპიუტერში ინფორმაციის დამუშავების დონეც შეიძლება იყოს სხვადასხვაგვარი, რაც განისაზღვრება შესრულებული დავალების მიხედვით. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, რობოტის ინტელექტის სხვადასხვა დონის მიღწევა შესაძლებელია ადამიან-ოპერატორის ზემოთ აღწერილი ინტერაქტიური მუშაობის მოთხოვნების შესაბამისად რობოტის კომპიუტერთან დისტანციური არხებით.

ასე რომ, ექსტრემალურ პირობებში, რობოტებს აქვთ დისტანციური კომუნიკაცია ადამიან-ოპერატორთან, პირველ რიგში, აჩვენონ მის დისტანციურ მართვაზე რობოტის მდგომარეობა და მოქმედებები სამუშაო სივრცეში და, მეორეც, ავტომატურად შეასრულონ რობოტის ყველა ოპერაცია ოპერატორის მითითებების შესაბამისად, რომელიც მოცემულია საზედამხედველო ან დიალოგური მართვით [7].

თუმცა, ყოველთვის არ არის შესაძლებელი ყველა ოპერაციის ავტომატიზაცია. იმ შემთხვევებში, როდესაც შეუძლებელია ან არაპრაქტიკულია ოპერაციების ყველა ელემენტის დაპროგრამება და ავტომატურად შესრულება, ექსტრემალურ პირობებში, გამოიყენება კომბინირებული სისტემები ავტომატური და ხელით დისტანციური მართვის საშუალებით (კოპირება ან ნახევრად ავტომატური). ამ შემთხვევაში, ყველაფერი, რაც შეიძლება განხორციელდეს პროგრამულ უზრუნველყოფაში ავტომატური მოქმედებებისთვის, დაპროგრამებულია. ოპერაციების დარჩენილი ელემენტების შესასრულებლად, განსაკუთრებით ცვალებად ან მოულოდნელ (კერძოდ, საგანგებო) სიტუაციებში, დამატებით არის დაკავშირებული კოპირების, ან ნახევრად ავტომატური დისტანციური მართვის სისტემა.

ამ დამატებითი დისტანციური მართვის დაკავშირება ხორციელდება ადამიან-ოპერატორის მიერ საჭირო დროს, რომელიც შეირჩევა მის მიერ სამუშაო სივრცეში სიტუაციის დისტანციური მონიტორინგის და მასში რობოტის მოქმედებების საფუძველზე. ამ შემთხვევაში, ოპერატორი თიშავს ავტომატურ სისტემას და ხელში იღებს მართვას (კოპირების ან ნახევრად ავტომატურ ვარიანტს) მხოლოდ გარკვეული ხნით, რის შემდეგაც ის კვლავ ჩართავს რობოტის მოქმედების ავტომატურ რეჟიმებს.

ასეთი კომბინირებული სისტემის გამოყენება, წმინდა ავტომატურთან შედარებით (ზედამხედველობითი ან ინტერაქტიური), ზრდის მუშაობის საიმედოობას ექსტრემალურ პირობებში. მეორეს მხრივ, ავტომატური რეჟიმების დანერგვა აადვილებს ადამიან-ოპერატორის მუშაობას და მნიშვნელოვნად ზრდის მთელი რიგი ოპერაციების შესრულების ეფექტურობას მხოლოდ ნახევრად ავტომატური სისტემების გამოყენებასთან შედარებით, და მით უმეტეს, მხოლოდ კოპირების სისტემების გამოყენებასთან შედარებით.

შესაბამისად, რობოტ-ტექნიკის ერთ-ერთი მთავარი სოციალური პრობლემა მოგვარებულია ზუსტად დისტანციურად მართვადი რობოტების გამოყენებით, რაც

ათავისუფლებს ადამიან-ოპერატორს ინტენსიური მექანიკური საავტომობილო ფუნქციების შესრულებისა და ექსტრემალურ პირობებში მუშაობისგან.

დისტანციურად მართვადი რობოტები სუპერვიზებულ მართვის სისტემით გამოიყენება წყალქვეშა ტექნიკური სამუშაოებისთვის, როდესაც შესაძლებელია რობოტის მუშაობის ძირითადი ელემენტების დაპროგრამება. ინდივიდუალური ოპერაციების პროგრამების ნაკრებიდან, ადამიან-ოპერატორს, მათი გადართვის საშუალებით, შეუძლია შექმნას სხვადასხვა კომბინაციები, რომლებიც შეესაბამება დავალებას, რაც დამოკიდებულია მის მიერ დისტანციურად დაკვირვებულ წყალქვეშა სიტუაციაზე.

Remote control systems for mobile robots

David Purtsvanidze, Nodar Gdzelishvili, Veriko Bakhtadze, Ketevan Kvirikashvili

Summary

Two types of remote control systems are described: control rooms and interactive ones. In an interactive robot remote control system, the role of information and computing technologies, as well as flexible system software, is increasing. In such a system, tasks from a human operator to a robot are performed in a more general form than in supervisory control, where the robot does not have “mental” functions. The features of remote dispatch control of robots in extreme conditions are considered. Two types of remote control systems are described: control rooms and interactive ones. In an interactive robot remote control system, the role of information and computing technologies, as well as flexible system software, is increasing. In such a system, tasks from a human operator to a robot are performed in a more general form than in supervisory control, where the robot does not have “mental” functions. The features of remote dispatch control of robots in extreme conditions are considered.

Системы дистанционного управления мобильными роботами

Давид Пурцхванидзе, Нодар Гдзелишвили, Вериго Бахтадзе, Кетеван Квирикашвили

Резюме

Данная статья посвящена системам дистанционного управления мобильными роботами, и в частности разработанной нами системе дистанционного управления мобильными роботами. Рассмотрены наиболее типичные три типа алгоритмов управления: скоростной, силовой и позиционный. Описаны результаты управления, реализуемого этими алгоритмами. Описаны два типа систем дистанционного управления: диспетчерские и интерактивные. В интерактивной системе дистанционного управления роботом возрастает роль информационных и вычислительных технологий, а также гибкого системного программного обеспечения. В такой системе задачи от человека-оператора к роботу выполняются в более общем виде, чем при диспетчерском управлении, где у робота нет «мыслительных» функций. Рассмотрены особенности дистанционного диспетчерского управления роботами в экстремальных условиях.

ლიტერატურა – References – Литература

1. დ. ფურცხვანიძე, ე. კვიციანიძე, პ. სტავროსიანი, ვ. ბახტაძე, გ. კვიციანიძე, მ. ცერცვაძე, თ. ხუციანიძე. მობილური რობოტი. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის არჩილ ელიაშვილის სახელობის მართვის სისტემების ინსტიტუტი. შრომათა კრებული, N 25, თბილისი 2021 წ. გვ. 88-92.
2. Предко М. Устройства управления роботами. – М. ДМК Пресс, 2010. – 404 с.
3. В. П. Ившин, М. Ю. Перухин. Современная автоматика в системах управления технологическими процессами: Учебное пособие. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 400 с.
4. Л.А. Рыбак, В. В. Ержуков, А.В. Чичварин. Эффективные методы решения задач кинематики и динамики робота-станка параллельной структуры – М.: Физматлит, 2011. – 146 с.
5. А. М. Борисов. Основы построения промышленных сетей автоматизации - Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2012. - 108 с.
6. 7. В. Ю. Тertyчный-Даури. Динамика робототехнических систем: Учебное пособие. - СПб.: НИУ ИТМО, 2012. - 128 с.
7. Ю. Г. Козырев. Применение промышленных роботов: учеб. пособие для вузов – М.: КноРус, 2011.

ვერტიკალურდერძიანი ქარის ტურბინის გამოყენების პერსპექტივები

გურამ ურუშაძე, ნოდარ შენგელია, ნინო დოღონაძე

dogonadzen@gmail.com

რეზიუმე

სტატიაში გაანალიზებულია ვერტიკალურ და ჰორიზონტალურდერძიანი ტურბინების დადებითი და უარყოფითი მხარეები. განხილულია ვერტიკალურდერძიანი დარიეს როტორის მქონე მცირე სიმძლავრის (10-100 კვტ.) ქესების გაშვების საკითხი სპეციალური საქმენიდან გამოტყორცნილი ჰაერის ნაკადის რეაქტიული ძალის გამოყენებით.

საკვანძო სიტყვები:

ქარის ტურბინა; ვერტიკალურდერძიანი და ჰორიზონტალურდერძიანი ტურბინები.

ცნობილია, რომ ელექტროენერჯის მოხმარების მხრივ საქართველო ძალიან ჩამორჩება განვითარებულ ქვეყნებს. არადა ეკონომიკური განვითარების დონის ერთ-ერთი ძირითადი მაჩვენებელი სწორედ ერთი სულ მოსახლის მიერ მოხმარებული ელექტროენერჯის რაოდენობაა, მიუხედავად იმისა, რომ მეზობელი ქვეყნებიდან ელექტროენერჯის და ორგანული სათბობის იმპორტირება ხდება. ამასთან ეს ტენდენცია გრძელდება. ამის გამომწვევი მიზეზი არის, უპირველეს ყოვლისა, არასწორი ეკონომიკური პოლიტიკა. ის დაფუძნებული იყო იმპორტირებულ ორგანულ ენერგომატარებლებზე და საქართველოს ჰიდრორესურსების არასაკმარისი დონით გამოყენებაზე.

თუ გავითვალისწინებთ იმას, რომ ორგანულ ელექტრომატარებლებზე ფასები მუდმივად იზრდება და ამასთან ერთად, მათი გამოყენების შედეგად, უარესდება ეკოლოგიური მდგომარეობა, აშკარაა, რომ საჭიროა ენერჯიული დონისძიებების გატარება ეკონომიკური პოლიტიკის საკითხში. ერთ-ერთ მიმართულებად შეიძლება ჩაითვალოს განახლებადი ენერჯის წყაროების მზარდი გამოყენება ელექტროენერჯის წარმოებაში.

მოწინავე განვითარებული ქვეყნები განსაკუთრებით დიდ მნიშვნელობას ანიჭებენ მზის და ქარის ენერჯეტიკას. ასე მაგალითად, თუ 2011 წლისთვის განახლებადი ენერჯის წყაროების წილი ელექტროენერჯის წარმოებაში იყო 18%, ხოლო წიაღისეული – 49%, 2021 წლისთვის ეს თანაფარდობა მკვეთრად შეიცვალა და 32% ალტერნატიულ წყაროებზე მოდის, ხოლო 36% – წიაღისეულზე. ეს ცვლილება ძირითადად განაპირობა სწორედ ქარისა და მზის ენერჯის მზარდმა ათვისებამ.

თეორიულად დადგენილია, რომ საქართველოს ტერიტორიაზე ქარის ენერჯის მარაგი წლიურად შეადგენს 1,3*10¹²კვტ.სთ, ხოლო 4მ/წმ. და მეტი სიჩქარის ქარის ენერჯის მარაგი წლიურად 4,5 მილიარდ კვტ/სთ-ს აჭარბებს, რაც პრაქტიკულად გამოუყენებელია [1]. ამიტომ ჰიდროენერჯეტიკის გარდა, ძალზე მნიშვნელოვანია ქარის ენერჯის გამოყენების გაზრდა. ეს საშუალებას მოგვცემს შევამციროთ დამოკიდებულება იმპორტირებულ ენერგომატარებლებზე. გასათვალისწინებელია ისიც, რომ ქარიანი დღეები ძირითადად მოდის შემოდგომა-ზამთრის პერიოდზე, როდესაც ჰიდროელექტროსადგურების მიერ გამომუშავებული სიმძლავრე შედარებით დაბალია.

არსებობს ქარის ელექტროგენერატორების ორი ძირითადი ტიპი: ჰორიზონტალურდერძიანი და ვერტიკალურდერძიანი.

ჰორიზონტალურდერძიან გენერატორებში ქარის საანგარიშო სიმძლავრედ მიღებულია 7-8 მ/წმ. ამ სიჩქარეზე ისინი მუშაობენ დროის 40%-ის განმავლობაში. დანარჩენ დროს ან გაჩერებულია დაბალი ქარის სიჩქარის გამო, ან მუშაობენ არარეგულარულად [2]. ასეთი ქარის გენერატორების გამოყენება ძირითადად მიზანშეწონილია დიდი სიმძლავრეების მისაღებად და დასახლებული პუნქტებიდან მოშორებით.

ქარის დაბალი სიჩქარის და ცვალებადი მიმართულების რაიონებში, ასევე ისეთ ადგილებში, სადაც დაბალი მოთხოვნილების გამო ელექტროგადამცემი ხაზების მოწყობა არარენტაბელურია, თანდათან პოპულარობას იძენს ვერტიკალურდერძიანი ქარის გენერატორები. აღნიშნულ ადგილებში მათ განთავსებას აქვს რამდენიმე მნიშვნელოვანი უპირატესობა ჰორიზონტალურდერძიანთან შედარებით:

1. პრაქტიკულად უხმაუროა;
2. აქვთ მუშაობის დიდი ხანგრძლივობა (20 წელზე მეტი);
3. ადვილია მონტაჟი და მომსახურება;
4. არ საჭიროებს ორიენტაციის მოწყობილობას;
5. მუშაობენ შედარებით ქარის დაბალი სიჩქარის პირობებში.

ჩვენი ინტერესის საგანს წარმოადგენს დარიეს როტორით აღჭურვილი ქარის ელექტროსადგურები. ექსპერიმენტულმა კვლევამ აჩვენა, რომ სწორფრთებიანი დარიეს როტორის ენერგეტიკული მახასიათებლები შეიძლება იყოს თითქმის ისეთი, როგორც აქვს პროპელერული ტიპის როტორებს [3].

დარიეს როტორის ძირითადი ნაკლია დამკრის დაბალი მომენტი. ამიტომ მუშაობის დასაწყებად საჭიროებს სპეციალურ ამძრავს ან მას აწყვილებენ სავონიუსის როტორთან, რომელიც რთული დასამზადებელია და, შესაბამისად, დაკავშირებულია დამატებით ხარჯებთან.

ჩვენი აზრით, დარიეს როტორით აღჭურვილი ქარის ელექტროგენერატორის მუშაობის პროცესი შეიძლება გაუმჯობესდეს, თუ მისი დამკრისთვის გამოვიყენებთ სპეციალური საქშენიდან გამოტყორცნილი ჰაერის რეაქტიულ ძალას. აღნიშნული ამძრავი შეიძლება მივიღოთ აგრეგატზე მარტივი კონსტრუქციის ორი ფრთის დამატებით მათ ბოლოებზე მიმაგრებული ვენტილატორებით. მათი კვებისთვის შეიძლება გამოვიყენოთ აგრეგატის კომპლექტში შემავალი აკუმულატორები, რომლებიც წარმოადგენენ ბუფერულ წყაროს.

გარდა ამისა, აღნიშნული დამატებითი ამძრავი შეიძლება ჩართული დარჩეს მართვის პროცესში, სანამ ქარის სიჩქარე არის დაბალი და ცვალებადი, თუ აგრეგატის მუშაობა მოცემულ მომენტში რენტაბელურია.

Prospects for the use of vertical-axis wind turbines

Guram Urushadze, Nodar Shengelia, Nino Dogonadze

Summary

The article analyzes the positive and negative aspects of vertical and horizontal axis turbines. The issue of launching small-power (10-100 kw) wind turbines WPPs with a vertical-axis Darier rotor using the reactive force of the air stream coming out of a special nozzle is discussed.

Перспективы использования вертикально-осевых ветряных турбин

Гурам Урушадзе, Нодар Шенгелия, Нино Догонадзе

Резюме

В статье анализируются положительные и отрицательные стороны вертикально и горизонтально-осевых турбин. Рассматривается вопрос запуска ветроустановок малой мощности (10-100 кВт) ВЭС с вертикально-осевым ротором Дарье с использованием реактивной силы воздушного потока, выбрасываемого из специального сопла.

ლიტერატურა – References – Литература

1. ქებურია მ. „განახლებადი, არატრადიციული ენერგორესურსები და მათი ენერგეტიკა“.
2. Де Рензо „Ветроэнергетика,“ перевод с английского, Масква, „Энергоатомиздат“ 1982г.
3. Д.Н. Горелов. Энергетические характеристики ротора дарье (обзор). Тепло физика и аэромеханика. 2010. том 17, №3.

ჰიდროაგრეგატის ბრუნთა რიცხვის რეგულირების ოპტიმალური კანონი

პაატა ჯობაძე

paata_j@yahoo.com

რეზიუმე

სტატიაში განხილულია პიდ რეგულატორის გამოყენებით ჰესების ჰიდროაგრეგატის ბრუნთა რიცხვის, იგივე გამომავალი ძაბვის სიხშირის, რეგულირების ოპტიმალური კანონის დადგენის, რეგულატორის თვითგაწყობის და, საჭიროების შემთხვევაში, ავტომატურად გადაწყობის პრინციპები. ჰესების ჰიდროაგრეგატების ბრუნთა რიცხვის რეგულირების პრობლემებმა თავი იჩინეს 2014 წლის 27 – 28 ივლისს საქართველოს ენერჯისტიკაში განვითარებული სასისტემო ავარიისას, რა დროსაც საქართველოს ელექტროენერგეტიკული სისტემის აღმოსავლეთი ნაწილი სრულად გაითიშა. აღმოჩნდა, რომ სისტემის გათიშული ნაწილის ნულოვანი მდგომარეობიდან აღსადგენად საქართველოში არ მოიძებნა ისეთი ელექტროსადგური, მათ შორის ჰესი, რომლის ერთ აგრეგატს მაინც შესწევს გაჩერებული ელექტროსადგურების აგრეგატების სინქრონიზებისთვის საყრდენი სიხშირისა და ძაბვის მიწოდების უნარი. შემუშავებული რეგულატორი დანერგილი და პრაქტიკულად იქნა გამოცდილი ავტონომიურ რეჟიმში მომუშავე რამდენიმე ჰესზე. გამოცდების შედეგებმა აჩვენა, რომ ამ რეგულატორის გამოყენების შემთხვევაში ჰესის ჰიდროაგრეგატი იძენს ყველა იმ უნარს, რომლებიც საჭიროა სისტემის ნულოვანი მდგომარეობიდან აღსადგენად.

საკვანძო სიტყვები:

ელექტროსადგური; ჰიდროაგრეგატი; სიხშირის რეგულატორი; რეგულირების ოპტიმალური კანონი; პიდ რეგულატორი; მოდიფიცირებული პიდ რეგულატორი.

1. შესავალი

წიაღისეული ენერგომატარებლების საკმარისი მარაგების არმქონე საქართველოსთვის ერთ-ერთ ძირითად ენერგორესურსს წარმოადგენს ჰიდროენერგორესურსები. საქართველოს სახელმწიფო ელექტროსისტემის მონაცემების მიხედვით¹, დღეის მდგომარეობით საქართველოს ელექტროსადგურების ჯამური დადგმული სიმძლავრე შეადგენს 4596.3 მგვტ-ს, მათგან ჰესების ჯამური დადგმული სიმძლავრე ტოლია 3394,2 მგვტ-ის, ანუ ელექტროსადგურების ჯამური დადგმული სიმძლავრის 73.85%-ს. ელექტროენერგეტიკული ბაზრის ოპერატორის მონაცემებით, საქართველოს 2022 წლის ელექტროენერჯის ბალანსის მიხედვით: 109 ჰესის ჯამურმა გამომუშავებამ შეადგინა 10771.4 მილიონი კვტ-სთ, რაც სრული გამომუშავების 75,61%-ს შეადგენს², ეს კი ნიშნავს, რომ საქართველოს ელექტროენერჯით უზრუნველყოფაში ჰესები მნიშვნელოვან როლს თამაშობენ და, შესაბამისად, მნიშვნელოვანია, რომ მათი აგრეგატების მართვის სისტემები გამართულად მუშაობდნენ და აკმაყოფილებდნენ მოქმედი ნორმატიული დოკუმენტებით წაყენებულ მოთხოვნებს.

მოქმედი ნორმატიული დოკუმენტის „ქსელის წესები“ თანახმად, სიმძლავრის მიხედვით, განარჩევენ A, B, C და D ტიპის ელექტროსადგურებს, რომელთა სიმძლავრის ქვედა ზღვრები მოცემულია ცხრილში 1 [1].

¹ <https://www.gse.com.ge/momkhmareblebistvis/monatsemebi-elektroenergetikuli-sistemidan>

² https://esco.ge/files/data/Balance/energobalans_2022_geo.pdf

A ტიპის	B ტიპის	C ტიპის	D ტიპის
0.8 კვტ	1.5 მგვტ	10 მგვტ	30 მგვტ

ნორმატიულ დოკუმენტში „ქსელის წესები“ გაწერილია ზოგადი მოთხოვნები, რომლებიც წაყენება ყოველი ტიპის ელექტროსადგურს, კერძოდ, C და D ტიპის ელექტროსადგურებს მოეთხოვებათ: სისტემის ე.წ. „ნულიდან გაშვება“ და სისტემის იზოლირებულ რეჟიმში მუშაობის შესაძლებლობა.

ელექტროსადგურების, მათ შორის ჰესების, აგრეგატების მართვის სისტემების პრობლემებმა განსაკუთრებით თავი იჩინა 2014 წლის 27–28 ივლისს საქართველოს ენერჯისისტემაში განვითარებული სასისტემო ავარიისას, რა დროსაც საქართველოს ელექტროენერგეტიკული სისტემის აღმოსავლეთი ნაწილი სრულად გაითიშა. აღმოჩნდა, რომ სისტემის გათიშული ნაწილის ნულოვანი მდგომარეობიდან აღსადგენად საქართველოში არ მოიძებნა ისეთი ელექტროსადგური, რომლის თუნდაც ერთ აგრეგატს მაინც შესწევს დისპეტჩერიზაციის ლიცენზიანტის მიერ შესაბამისი მითითების მიღებიდან უმოკლეს ვადაში, ძაბვის არარსებობის პირობებში, გაშვების, ავტონომიურად მომხმარებლის დატვირთვის, ქსელთან მიერთებისა და გაჩერებული ელექტროსადგურების, აგრეგატების სინქრონიზებისთვის საყრდენი სიხშირისა და ძაბვის მიწოდების უნარი, სისტემის იზოლირებულ რეჟიმში მუშაობის შესაძლებლობა. უდავოა, რომ ყოველივე ამ მოთხოვნების დაკმაყოფილება დამოკიდებულია აგრეგატების მართვის სისტემებთან, კერძოდ, აგრეგატების ბრუნთა რიცხვის რეგულირების ხარისხზე.

2. ჰიდროაგრეგატის ბრუნთა რიცხვის რეგულირების კანონი

ჰესის ჰიდროაგრეგატის მართვის სისტემამ უნდა უზრუნველყოს: **ქსელთან პარალელურ რეჟიმში მუშაობისას:** A და B ტიპის ჰესების აგრეგატების გაყვანა ქვესინქრონულ სიხშირეზე ძრავის რეჟიმში (აგზნების დაშუნტული გრაგნილით) და ქსელთან მიერთება. ვინაიდან თეორიულად ჰესის მიღმა არსებული ქსელის სიმძლავრე უსასრულოდ დიდია ამ ტიპის აგრეგატების სიმძლავრეებთან შედარებით, იგი აიყოლიებს აგრეგატს, რის შემდეგაც, უკვე სინქრონიზებული აგრეგატი მართვის სისტემას გადაჰყავს გენერაციის რეჟიმში. ქსელთან მიერთების შემდეგ ამ ტიპის ჰესების აგრეგატების ბრუნთა რიცხვის რეგულატორი ფაქტობრივად აღარ მუშაობს, ის ვერ შეძლებს ქმედითი ზემოქმედებების განხორციელებას ქსელის მიმდინარე პარამეტრებზე. განსხვავებულია C და D ტიპის ჰესების აგრეგატების მართვის პრინციპი. მართვის სისტემამ უნდა უზრუნველყოს მათი მიერთება ე.წ. სინქრონიზების ზუსტი მეთოდით, რაც ნიშნავს სინქრონიზებას როგორც ძაბვის სიხშირის, ასევე ფაზათა ძვრის მიხედვით. ქსელთან მიერთებული ამ ტიპის ჰესების აგრეგატების სიხშირის რეგულატორი აგრძელებს მუშაობას, ვინაიდან მათ მოეთხოვებათ ქსელში სრული აქტიური სიმძლავრის სიხშირული მახასიათებლების უზრუნველყოფა გადამცემი სისტემის ოპერატორების მიერ განსაზღვრულ ვადებში. ყველა სიხშირის ავტომატური რეგულირების სისტემა უნდა რეაგირებდეს სიხშირის ± 0.015 ჰც გადახრაზე, სიხშირე შენარჩუნებული უნდა იქნეს 50 ± 0.5 ჰც ფარგლებში წლის არანაკლებ 97%-ის განმავლობაში [1].

იზოლირებულ რეჟიმში მუშაობა გულისხმობს ქსელის ნაწილის ან მთლიანად ქსელის დამოუკიდებლად მუშაობას, რომელიც იზოლირებულია ურთიერთდაკავშირებული სისტემიდან მისი გამოყოფის შემდეგ და აქვს მინიმუმ ერთი ელექტროსადგური, რომელიც აწვდის სიმძლავრეს ამ ქსელს და აკონტროლებს სიხშირესა და ძაბვას. ამ რეჟიმში ელექტროსადგურმა უნდა შეძლოს მუშაობა: სიხშირის 47.0–47.5 ჰც დიაპაზონში არაუმეტეს 20 წმ; სიხშირის 47.5–48.5 ჰც დიაპაზონში არაუმეტეს 30 წთ; სიხშირის 48.5–49.0 ჰც დიაპაზონში არაუმეტეს 60 წთ; სიხშირის 49.0–51.0 ჰც დიაპაზონში შეუზღუდავი დროით;

სიხშირის 51.0–51.5 ჰც დიაპაზონში არაუმეტეს 30 წთ; სიხშირის 51.5–52.5 ჰც დიაპაზონში არაუმეტეს 30 წმ; სიხშირის 52.5–53.0 ჰც დიაპაზონში არაუმეტეს 10 წმ; აქედან გამომდინარე, რეგულირების სისტემას მოეთხოვება მდგრადობა, სწრაფქმედება და რეგულირების მაღალი ხარისხი, ე.ი, გარდამავალი პროცესები გადარეგულირების, რხევების გარეშე და ნულოვანი განთანხმების მიღწევით. ეს შესაძლებელია, თუ რეგულირების სისტემის მახასიათებელ განტოლებას ექნება ერთი ნულოვანი ფესვი, ანუ რეგულირების გახსნილი სისტემის გადაცემის ფუნქცია უნდა იყოს შემდეგი სახის:

$$W(s) = \frac{k}{T \cdot s}$$

ანუ თუ რეგულირების სისტემა იქნება მაინტეგრებელი რგოლის ექვივალენტური, მაშინ სისტემა იქნება უპირობოდ მდგრადი, რხევების გარეშე და შეიძენს ასტატიკურობას.

ჰიდროაგრეგატის ღერძზე, როგორც წესი, წამოცმულია მქნევარა, რომლის მასა დამოკიდებულია აგრეგატის სიმძლავრეზე და ნომინალურ ბრუნთა რიცხვზე. მისი მასა მწარმოებლების მიერ შეირჩევა ისე, რომ უზრუნველყოფილი იქნეს აგრეგატის ინერციულობა, რათა გაიფილტროს ხანმოკლე შემფოთებები და შენარჩუნებული იქნეს მისი ბრუნთა რიცხვის მიმდინარე მნიშვნელობა. მქნევარას მქონე ჰიდროაგრეგატი ფაქტობრივად წარმოადგენს პირველი რიგის აპერიოდულ რგოლს, რომლის გადაცემის ფუნქციას გააჩნია შემდეგი სახე:

$$W_{AGR}(s) = \frac{1}{T \cdot s + 1}$$

ამ უკანასკნელში გაძლიერების კოეფიციენტი მიჩნეულია 1-ის ტოლად, ვინაიდან უმეტეს შემთხვევებში აგრეგატებში ტურბინასა და გენერატორს შორის არ გამოიყენება რედუქტორები და მულტიპლიკატორები, რომლებიც ამცირებენ აგრეგატის მარგი ქმედების კოეფიციენტს.

ჩაეწეროთ პიდ რეგულატორის გადაცემის ფუნქცია შემდეგ სახეში:

$$W_R(s) = k_p + k_I \frac{1}{s} + k_D s = \frac{k_D s^2 + k_p s + k_I}{s}$$

მაშინ რეგულირების გახსნილი სისტემის გადაცემის ფუნქცია იქნება:

$$W_O(s) = W_R(s) \cdot W_{AGR}(s) = \frac{k_D s^2 + k_p s + k_I}{s} \cdot \frac{1}{T \cdot s + 1}$$

ამკარაა, რომ გადაცემის ფუნქციამ სასურველი სახე რომ მიიღოს, საჭიროა, რომ $k_D = 0$, ანუ რეგულირების კანონი უნდა იყოს პროპორციულ-ინტეგრალური (PI). ამის გარდა, შემოვიღოთ პირობა, დავუშვათ, რომ

$$k_p = T k_I \Rightarrow k_I = \frac{1}{T} k_p$$

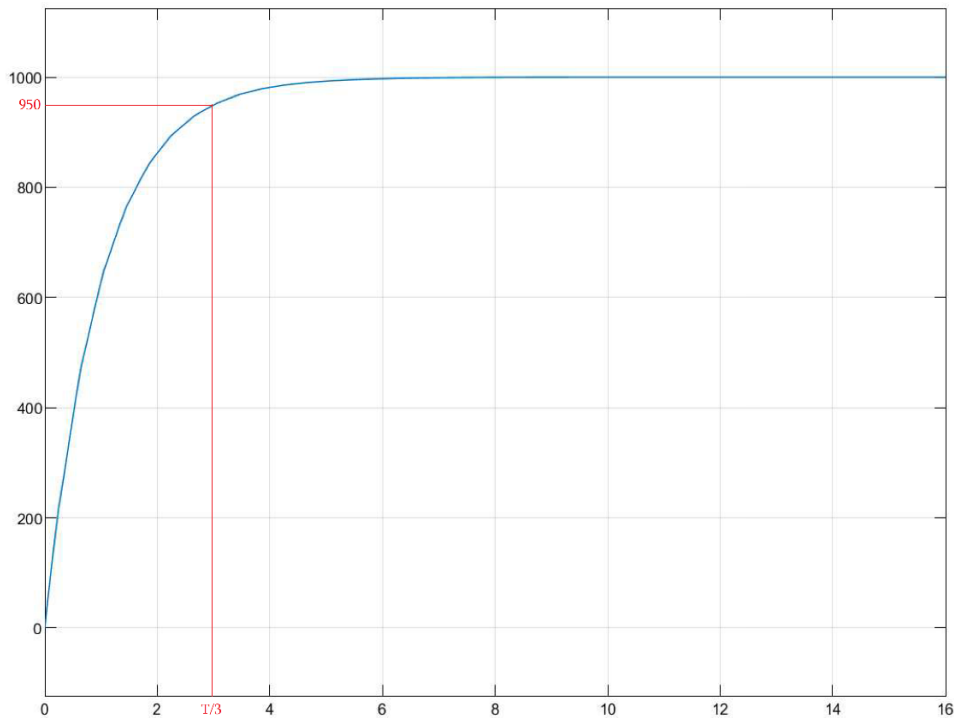
ამ უკანასკნელის გათვალისწინებით რეგულირების გახსნილი სისტემის გადაცემის ფუნქცია მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$W_o(s) = W_R(s) \cdot W_{AGR}(s) = \frac{(Ts + 1)k_p}{Ts} \cdot \frac{1}{T \cdot s + 1} = \frac{k_p}{Ts}$$

ამრიგად, ჰიდროაგრეგატის ბრუნთა რიცხვის (გამომავალი ძაბვის სიხშირის) რეგულირების ოპტიმალურ კანონს წარმოადგენს პი (PI). რეგულატორის თვითგაწყობის პროცედურის გამარტივების მიზნით განხორციელდა პი რეგულატორის მოდიფიცირება, კერძოდ, შემოღებული იქნა საერთო გამლიერების კოეფიციენტი k და ჩათვლილია, რომ $k_i = 1$, შესაბამისად $k_p = T$, რეგულატორის გადაცემის ფუნქციამ მიიღო შემდეგი სახე:

$$W_R(s) = k \cdot \left(k_p + \frac{1}{s} \right)$$

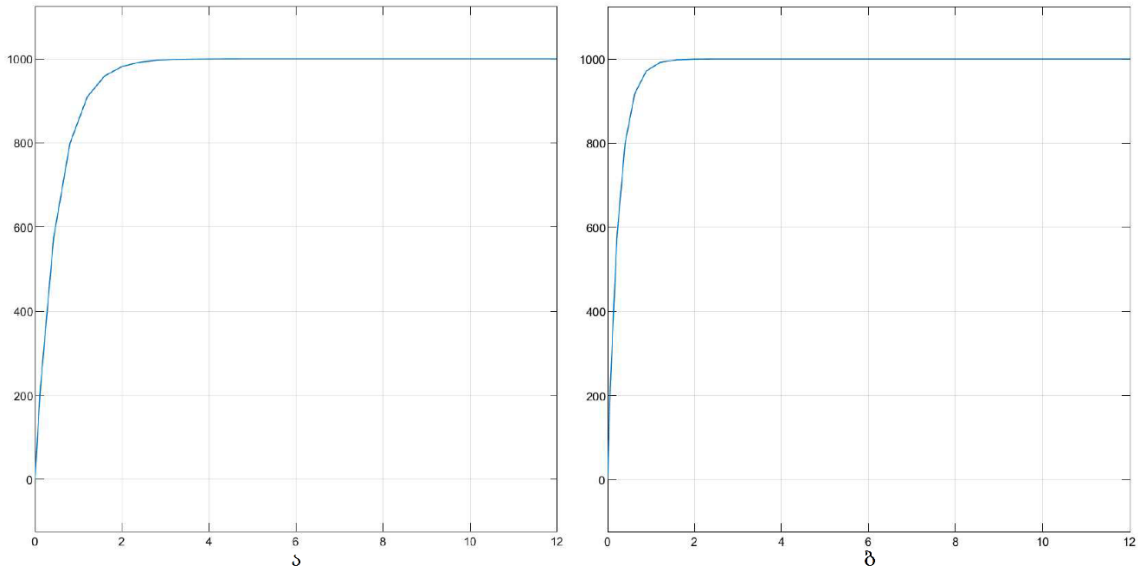
რეგულატორის გაწყობისთვის საჭიროა მხოლოდ აგრეგატის დროის T მუდმივას განსაზღვრა, რისთვისაც კონტროლერი გამოიმუშავებს პირობითად ერთეულოვან საფეხუროვან ზემოქმედებას და აწარმოებს გარდამავალი მახასიათებლების გადაღებას და ირჩევს k_p კოეფიციენტის მნიშვნელობას, ეს პროცედურა აგრეგატისთვის ხორციელდება ერთჯერადად (ნახაზი 1).



ნახ. 1. ჰიდროაგრეგატის გარდამავალი მახასიათებლების გადაღება.

k კოეფიციენტი განსაზღვრავს რეგულატორის სწრაფქმედებას და მისი საწყისი მნიშვნელობა 1-ის ტოლია და, საჭიროების შემთხვევაში, ავტომატურად იზრდება ან მცირდება. ზრდის წესი განისაზღვრება დანაყენებით და შეიძლება იყოს ან დანაყენებით განსაზღვრული ბიჯებით ზრდა ან დანაყენებით განსაზღვრულ მამრავლზე გამრავლება,

საჭიროების შემთხვევაში იგივე წესით ხორციელდება k კოეფიციენტის შემცირება (ნახაზი 2). დანაყენებით განისაზღვრება აგრეთვე აგრეგატის ნომინალური ბრუნთა რიცხვი.



ნახ. 2. ჰიდროაგრეგატში მიმდინარე გარდამავალი პროცესები

ნახაზზე 2 განხილულია საქართველოში გავრცელებული 1000 ბრ/წთ ბრუნთა რიცხვის მქონე ჰიდროაგრეგატის გარდამავალი პროცესები აგრეგატის ნულიდან გაშვების ორი შემთხვევისთვის, ა ვარიანტი შეესაბამება $k = 2$ კოეფიციენტის დაბალ მნიშვნელობას, ხოლო ბ ვარიანტი შეესაბამება $k = 4$ კოეფიციენტის გაორმაგებულ მნიშვნელობას.

შემუშავებული მოდიფიცირებული პი (PI) რეგულატორი დანერგილი და პრაქტიკულად იქნა გამოცდილი ავტონომიურ რეჟიმში მომუშავე რამდენიმე მცირე (B და C ტიპის) ჰესზე, გამოცდების შედეგებმა აჩვენეს, რომ ამ რეგულატორის გამოყენების შემთხვევაში ჰესის ჰიდროაგრეგატი იძენს ყველა იმ უნარებს, რომლებიც საჭიროა სისტემის ნულოვანი მდგომარეობიდან აღსადგენად.

The optimal law for regulating the speed of a hydraulic unit

Paata Jokhadze

Summary

The article discusses the principles for determining the optimal law for regulating the speed (output voltage frequency) of a hydropower unit using a PID controller, the principles of self-tuning and, if necessary, automatic reconfiguration of the controller. The problems of regulating the speed of HPP hydroelectric units arose during a systemic accident that occurred in the Georgian power system on July 27-28, 2014, during which the eastern part of the Georgian power system was completely disconnected. It turned out that in Georgia there was no such power plant, including a hydroelectric power plant, at least one unit of which could supply the reference frequency and voltage for the units of the stopped power plants to restore the disconnected part of the system from the zero state. The developed regulator was implemented and practically tested at several hydroelectric power plants operating in an autonomous mode, the test results showed that when using this regulator, the

hydroelectric power plant acquires all the capabilities necessary to restore the system from the zero state.

Оптимальный закон регулирования числа оборотов гидроагрегата

Паата Джохадзе

Резюме

В статье рассматриваются принципы определения оптимального закона регулирования числа оборотов (частоты выходного напряжения) гидроагрегата ГЭС с помощью ПИД-регулятора, принципы самонастройки и, при необходимости, автоматической перенастройки регулятора. Проблемы регулирования числа оборотов гидроагрегатов ГЭС возникли во время системной аварии, произошедшей в энергосистеме Грузии 27-28 июля 2014 г., в ходе которой восточная часть электроэнергетической системы Грузии была полностью отключена. Оказалось, что в Грузии не нашлось такой электростанции, в том числе и ГЭС, хотя бы один агрегат которой смогла бы для восстановления отключенной части системы из нулевого состояния подать для агрегатов остановленных электростанций опорной частоты и напряжения. Разработанный регулятор был реализован и практически опробован на нескольких ГЭС, работающих в автономном режиме, результаты испытаний показали, что при использовании данного регулятора гидроагрегат ГЭС приобретает все возможности, необходимые для восстановления системы из нулевого состояния.

ლიტერატურა - References - Литература

1. ქსელის წესები. საქართველოს ენერჯეტიკისა და წყალმომარაგების მარეგულირებელი ეროვნული კომისია. თბილისი, დამტკიცებულია 2014 წლის 17 აპრილის დადგენილებით №10, ბოლო განახლება 2023 წლის 7 თებერვალი. -301 გვ.
2. ნ. ჯიბლაძე, პ. ჯოხაძე. თვითგაწყობადი და დინამიკურად ცვლად პარამეტრებიანი ციფრული პროპორციულ-ინტეგრალურ-დიფერენციალური რეგულატორი. საქართველოს მეცნიერებათა აკადემია. ა. ელიაშვილის სახელობის მართვის სისტემების ინსტიტუტი. შრომათა კრებული, № 9, 2005. გვ. 40-44.
3. Джохадзе П.Д. Анализ двух методов цифровых алгоритмов для реализации ПИД-регуляторов. GEORGIAN ENGINEERING NEWS. № 1, 2006. стр.124-127.
4. Куцава В.А., Диаконидзе К.Д., Бочикашвили П.Н., Джохадзе П.Д. Криптографический алгоритм для шифрования передаваемых данных. GEORGIAN ENGINEERING NEWS. № 1, 2006. стр.128-131.
5. Джохадзе П.Д., Бочикашвили П.Н., Кобахидзе Ф.Д. Применение нечеткой логики в регуляторах. GEORGIAN ENGINEERING NEWS. № 1, 2006. стр.132-134.

ინფორმატიკა

INFORMATICS

ИНФОРМАТИКА

სტატიკური ზმნების მორფოლოგიური ტეგები ქართულ-ინგლისური გრამატიკული ლექსიკონისათვის

გიორგი ჩიკოიძე, ანა ჩუტკერაშვილი, ნინო ჯავაშვილი

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

რეზიუმე

ელექტრონული გრამატიკული ლექსიკონები მრავალმხრივი ლექსიკონებია, რომლებიც შეიცავს ინფორმაციას სიტყვის მორფოლოგიური და სინტაქსური თვისებების შესახებ. ისინი გამოიყენება თარგმნის, ენის სწავლებისა და დიალოგური სისტემების მართვის პროცესში. ამჟამად დროს, მათი საშუალებით უფრო მარტივია დიდი მოცულობის ტექსტური კორპუსების ანოტირება. ასეთი ლექსიკონები აღჭურვილია სათანადო გრამატიკული მახასიათებლებით, რომლებიც უზრუნველყოფენ სიტყვის სწორ ფორმებს.

სტატიაში განხილულია ქართული სტატიკური ზმნები ქართულ-ინგლისური გრამატიკული ლექსიკონისათვის. მოყვანილია ასეთი ზმნების შემცველი ქართული და ინგლისური წინადადებები. ორივე ენის სტატიკურ ზმნებს მიწერილი აქვთ სათანადო მარკერი, რომელიც მორფოლოგიური ტეგებისგან შედგება. თითოეული სტატიკური ზმნისთვის გაანალიზებულია თარგმანთან შესაბამისობა და დადგენილია გარკვეული კანონზომიერებები.

საკვანძო სიტყვები:

ტეგები, მარკერები, სტატიკური ზმნები, გრამატიკული ლექსიკონი

მოკლე მიმოხილვა

სიტყვის სრული აღწერისთვის ორენოვან (ქართულ-ინგლისურ) გრამატიკულ ლექსიკონში აუცილებელია სალექსიკონო ერთეულთან მითითებული იყოს მორფოლოგიური და სინტაქსური ტეგები და მარკერები, რაც უზრუნველყოფს გრამატიკულად სწორი სიტყვებისა და ფრაზების მიღებას. ამისთვის საჭიროა მახასიათებლების სწორად შერჩევა როგორც სათარგმნი ენისთვის, ასევე იმ ენისთვისაც, რომელზეც ხორციელდება თარგმანი. ქართული და ინგლისური ზმნური ტეგების შესახებ ვრცელი ინფორმაცია მოცემულია სტატიაში [1]. აქ კი მოკლედ აღვნიშნავთ, რომ, ზოგადად, გრამატიკული ტეგები ტექსტის იდენტიფიცირება-კატეგორიზაციისთვის საჭირო სხვადასხვა ინფორმაციის მატარებელია. ტეგი დაკავშირებულია თითოეული სიტყვის ტოკენტან მისი გრამატიკული კლასიფიკაციის აღსანიშნად. მაგალითად, მეტყველების ნაწილის (სახელი, ზმნა, ზედსართავი სახელი და ა.შ.) ან გრამატიკული კატეგორიის (ბრუნვა, პირი, რიცხვი, გვარი და ა.შ.). ტეგირების შედეგად შესაძლებელია ტექსტზე ნებისმიერი ტიპის ანალიტიკური ინფორმაციის მიღება.

წინამდებარე სტატიაში მოცემულია ქართული და ინგლისური სტატიკური ზმნების მოკლე მიმოხილვა და მათი მარკერების შესატყვისები. თითოეულ ზმნასთან მითითებულია ტეგები და მარკერები. მასალად გამოყენებულია ორენოვანი ინგლისურ-ქართული პარალელური კორპუსიდან [2] ამოღებული სტატიკური ზმნის შემცველი (როგორც ქართულიდან ინგლისურად, ასევე ინგლისურიდან ქართულად ნათარგმნი) ისეთი წინადადებები, რომელიც ერთი და იმავე სტატიკური ზმნის ერთ კონკრეტულ ფორმას შეიცავს. თითოეული ასეთი ზმნისთვის გაანალიზებულია თარგმანთან შესაბამისობა და ორივე ენაში მიწერილი აქვს სათანადო მარკერი, რომელიც მორფოლოგიური ტეგებისგან შედგება.

ქართული მორფოლოგიური ტეგებისთვის სტატიაში გამოყენებულია კოდირების საერთაშორისო სტანდარტი – EAGLES (Expert Advisory Group on Language Engineering

Standards) [3] და მასზე დაფუძნებული ქართულისთვის მორგებული დამატებითი სპეციფიკური მახასიათებლები/ტეგები [4].

ინგლისური ზმნების მარკირებისთვის ვისარგებლეთ Oxford English part-of-speech Tagset-ით [5] და ინგლისური ტეგსეტებით [6].

ქართული ზმნის ფორმების მრავალფეროვნების გამო, ინგლისურ მარკერებში საჭირო გახდა არსებული ტეგების დამატება/გაფართოება, განსაკუთრებით მწკრივის კატეგორიის გამო. გავეცანით ირინა ლოპუნიძის მორფოსინტაქსურ ტეგებს [7], სადაც ქართული ზმნის თავისებურებებიც არის გათვალისწინებული. იმის გამო, რომ გრამატიკულ ტეგებს მრავალი წელია ვიყენებთ სხვადასხვა პროექტების განხორციელებისას (ამჟამად ქართულ-ინგლისური გრამატიკული ლექსიკონის კომპილირების სისტემის შესამუშავებლად), დავტოვეთ ჩვენ მიერ შემუშავებული ტეგები (იხ. დანართი სტატიის ბოლოს).

თარგმანში სწორად შერჩეული ტეგები განსაზღვრავს მეორე ენაში სიტყვის სწორი ფორმის შერჩევას. სალექსიკონო ერთეულს ხშირად რამდენიმე მარკერი ახლავს, რომლებიც ძალიან მნიშვნელოვანია სიტყვებს შორის შესაბამისობის დასადგენად.

ინგლისური სტატიკური ზმნების შესახებ

ინგლისურში სტატიკური ზმნა არის ძირითადი ზმნის ტიპი, რომელიც აღნიშნავს საგნის მდგომარეობას და არა რაიმე ფიზიკურ, დინამიკურ მოქმედებას. მაგალითად, ემოციის გამომხატველი ზმნები მხოლოდ სუბიექტის ფსიქიკურ, ემოციურ, მენტალურ მდგომარეობაზე მიუთითებს [8]:

I love my students – მე მიყვარს ჩემი სტუდენტები

to love (სიყვარული) აქ სტატიკური ზმნაა, რომელიც გვიჩვენებს სუბიექტის ემოციურ მდგომარეობას. ის არ ახორციელებს ფიზიკურ მოქმედებას. ასეთი ტიპის ზმნებია გრძნობების გამომხატველი ზმნები – to like (მოწონება), to worship (თაყვანისცემა), to hate (ზიზღი), to envy (შური), to doubt (ეჭვი), to like (სიხარული) და ა.შ.

ზოგი ზმნა, მისი სემანტიკური მნიშვნელობის გათვალისწინებით, შეიძლება იყოს როგორც სტატიკური, ასევე დინამიკური. ასეთებია: to smell (ყნოსვა), to taste (დაგემოვნება), to think (ფიქრი), to be (ყოფნა), to have (ქონა/ყოლა), to see (დანახვა) და ა.შ.:

The food *tastes* delicious – საჭმელი გემრიელია,

The chef is *tasting* the food – შეფ-მზარეული საჭმელს აგემოვნებს.

I think I made a mistake there – ვფიქრობ შეცდომა დავუშვი,

I am thinking about the solution right now – მე ახლა ვფიქრობ გამოსავალზე.

ქართული სტატიკური ზმნების შესახებ

სტატიკური ზმნა ქართულში გამოხატავს საგნის მდგომარეობას ან მოქმედების მდგომარეობას. აგრეთვე პროცესის, მოქმედების შედეგს ერთ სტატიკურ ვითარებაში. ქართული ზმნის ფორმებს შეუძლიათ გამოხატონ სტატიკის სამგვარი შინაარსი: 1) სუბიექტის ფიზიკური მდგომარეობა: *ხატია, გდია, აფენია*; 2) სუბიექტის სულიერი მდგომარეობა (ისევე როგორც ინგლისურ ენაში) გრძნობა-აღქმასთან, მენტალობა-აზროვნებასთან დაკავშირებული სემანტიკის ზმნები. 3) სუბიექტის უკუქცევითი მოქმედების მდგომარეობა (ნაწილობრივი სტატიკა): *ტირის, გოდებს*. [9]

სტატიკური ზმნები ძირითადი ლექსიკური ფონდის უძველეს ნაწილს წარმოადგენენ და, როგორც უძველესი ფორმაციის ზმნები, ღარიბია მორფოლოგიური კატეგორიებით [9]. ისინი მწკრივნიკალი ზმნებია და მცირე ჯგუფს წარმოადგენენ. I სერიის მწკრივებიდან აქვთ მხოლოდ აწმყოს ფორმები, დანარჩენს ნასესხები ფორმებით აწარმოებენ, უმეტესად, დინამიკური ზმნებისგან. ასევე II სერიის მწკრივებიც დინამიკური ვნებითისგან აქვთ ნასესხები. რაც შეეხება III სერიას, ბევრ ზმნას აკლია ეს ფორმები. სტატიკური ზმნები ქართულში საკმაოდ მცირერიცხოვანია. ისინი არ

დაირთავენ ზმნისწინებს, I და II პირის ზმნის ფორმებს ვარ, ხარ მეშველი ზმნის საშუალებით აწარმოებენ [10].

გრამატიკულ ლექსიკონში სტატიკურ ზმნებსაც ასევე უნდა ჰქონდეთ მათთვის დამახასიათებელი მორფოლოგიური ტეგები და მარკერები, რომლებიც საჭიროა სიტყვის სწორი ფორმის ასაგებად.

განვიხილოთ კონკრეტული მაგალითები პარალელური კორპუსიდან:

უკეთია, ეკეთა, ეკეთოს

როდესაც ადამიანი ხმარობს სათვალეს, საათს, საყურეს, სამაჯურს, ბეჭედს და მსგავს ნივთებს, ქართულში უფრო ბუნებრივად ჟღერს, თუ ვამბობთ: *მას უკეთია სათვალე / საათი / საყურე / სამაჯური / ბეჭედი* და ა.შ. იშვიათად იხმარება ზმნა *ატარებს*, ან თუ იხმარება, უფრო ზოგადი მნიშვნელობით, ისიც, ალბათ, სხვა ენების გავლენით. ინგლისურში ამ მნიშვნელობით იხმარება ზმნა *to wear*.

ინგლისურიდან ქართულად თარგმნისას, მთარგმნელიც უპირატესობას ანიჭებს სტატიკურ ფორმებს – *მიკეთია / უკეთია*. *To wear*-ის გარდა, ასეთ კონტექსტებში თარგმანში ხშირად გვხვდება ზმნები: *to have got / to have / to be*.

ინგლისურ ენაში ამ მნიშვნელობით ზმნა „კეთება“ საერთოდ არ იხმარება. ზოგადად, ქართულში ამ ზმნის სტატიკური ფორმის (უკეთია) განმარტებაც – (*უკეთია-ა 1. გაკეთებული, დამაგრებული აქვს. 2. შეკეთებული აქვს, უნთია (ცეცხლი)*). – არ გულისხმობს „კეთება“ ზმნის ძირითად მნიშვნელობას – (*კეთება (კეთებისა) სახელი აკეთებს ზმნის მოქმედებისა, – შრომით რისამე [შე]ქმნა, რაიმე საქმის შესრულება, – [და]შზადება, წარმოება, საქმიანობა. საჭირო საქმის კეთება.* – [11].

საპირფარეშოს მეთვალყურე დედაბერს რეზინის ჩექმები ეცვა [V Aor Sg 3], რეზინისავე წინსაფარი ეკეთა [V Aor Sg 3] ბამბაზის ხალათზე და მოწყენილი იჯდა პატარა მაგიდასთან – *The old lavatory attendant was wearing [VPG Sg 3] Wellington boots; she wore [VVD S3] a rubber apron over a white cotton coat was wearing and sat, bored, at a small table.*

მელანიას, რატომღაც შეფშხარეულის ჩაჩი ეხურა თავზე და თეთრი წინსაფარი ეკეთა [V Aor Sg 3] – *For some reason Melania was wearing [VPG Sg 3] a chef's hat and a white apron.*

ორივე წინადადებაში (ქართულიდან ინგლისურ თარგმანში) ეკეთა-ს გარდა, ორი სხვა სტატიკური ზმნაც არის – *ეცვა* და *ეხურა*, ორივე მათგანი, ისევე როგორც ეკეთა, ერთი და იმავე ზმნით (*to wear*) არის გადათარგმნილი. სემანტიკურად ყველა ეს ზმნა ადამიანის სხეულს უკავშირდება, სხეულით არის „სატარებელი“. სავარაუდოდ, ამიტომაც ითარგმნება *to wear* ზმნით. ამასთან, აღსანიშნავია, რომ პირველ წინადადებაში ეს ზმნა დროის ორი ფორმით არის გადმოცემული – ნამყო განგრძობითით (*was wearing*) და მარტივი ნამყო დროით (*wore*). შესაბამისად, მარკერებიც განსხვავებული აქვთ. თუმცა, უნდა აღვნიშნოთ, რომ მარტივი ნამყო დროის გამოყენება ამ მაგალითში, სავარაუდოდ, მთარგმნელის შეცდომაა, რადგან მარტივი ნამყო დროით გადმოცემული ზმნა ზუსტი ანალოგია ნამყო განგრძობითით გადმოცემულისა, შესაბამისად *wore* ფორმის ნაცვლად უნდა გვქონდეს *was wearing*. ჩვენთვის საინტერესო იქნებოდა ორი განსხვავებული ზმნური ფორმის გამოყენება ერთ წინადადებაში, მაგრამ, სამწუხაროდ, ეს მხოლოდ უზუსტობის ბრალია და მარკერების ანალიზისთვის არ გამოგვადგება.

ინგლისურიდან ქართულ თარგმანში *to wear* ან მსგავსი შინაარსის ზმნა გადმოცემულია „კეთება“ ზმნის სტატიკური ფორმით.

- No more than in any other city, - replied Oz, - but when you wear [VVD S3] green spectacles, why of course everything you see looks green to you. – იმაზე მეტად არა, ვიდრე სხვა ქალაქებში, – მიუგო ოზმა, – მაგრამ თუ მწვანე სათვალე გიკეთია [V Prs Sg 2], მაშინ – კი, ბატონო, რასაც შეხედავ, ყველაფერი მწვანე გეგონება.

There was [VPDZ S3] the wedding ring on her finger to prove it. – ამის დასტურად თითზე საქორწინო ბეჭედი ეკეთა [V Aor Sg 3].

მოცემულ ინგლისურ მაგალითში არ დასტურდება to wear ფორმა, თუმცა აზრობრივად იგულისხმება. ინგლისური ენა ხშირად მიმართავს there is /there are კონსტრუქციას ადგილის გარემოების ხაზგასასმელად. ამ შემთხვევაში თითო, რომელზეც არის ბეჭედი, ადგილის გარემოებაა, ამიტომ ინგლისურისთვის უფრო ბუნებრივია there is /there are კონსტრუქციის გამოყენება, ნაცვლად to wear ზმნისა. რაც შეეხება ქართულ თარგმანს, ეკეთა ზმნით ზუსტად არის გადმოცემული ინგლისური წინადადების შინაარსი.

წერია, ეწერა

ქართული სტატიკური ზმნა *წერია* ინგლისურად რამდენიმენაირად ითარგმნება: ა) პირდაპირი მნიშვნელობით, როცა ქართული სტატიკური ვნებითი თარგმანში ვნებითი გვარის ფორმით გადადის (*წერია* – it is written); ბ) to read ზმნით აწყო დროში. სტატიკური *წერია/ ეწერა* ინგლისურად ნათარგმნია მოქმედებითი გვარის read ფორმით, თითქოს იგულისხმება, რომ ნაწერი იკითხება; ნათარგმნ ტექსტში გამოყენებულია მინიშნებითი სიტყვები, რომ *გაზეთი იუწყება, დეპუტა ამბობს, სიტყვები იყო* და ა.შ.; გ) ქართულ თარგმანში *წერია/ ეწერა*-ს შესატყვისი ორიგინალში უმეტესად არის ზმნა to say. მაგალითად,

"What does it say? [VPZ S3]" asked Charlotte. "You'll have to read it for me." – რა *წერია?* [V Prs Sg 3] – ჰკითხა შარლოტმა, – შენ უნდა წამიკითხო.

It says [VVB S3] so, right there in the middle of the web. – პირდაპირ ქსელის შუაგულში *წერია* [V Prs Sg 3].

ორივე ენაში ზოგჯერ ურთიერთშესაბამისობაშია *წერა* და to write, იხმარება to be ზმნაც *წარწერა არის/იყო-ს* მნიშვნელობით. ქართულიდან ინგლისურ თარგმანში ზმნის სტატიკურობა არ ჩანს.

ქართული *ეწერა* ზმნის ინგლისურად ხმარების რამდენიმე სახესხვაობა შეინიშნება. შესაბამისად, ერთ ქართულ მარკერს – V Aor Sg 3, რომელიც მიუთითებს, რომ ზმნა არის წყვეტილის მწკრივის მხოლოდითი რიცხვის მესამე პირის ფორმა, ინგლისურში სამი მარკერი შეესაბამება: VVN S3 (ძირითადი ზმნის მხ. რიცხვის მე-3 პირის ნამყო მიმღეობა), VPDR P13 (ძირითადი ზმნის მრ. რიცხვის მე-3 პირის ნამყო დრო, -re ფორმა (იგულისხმება were)), VVG S3 (ძირითადი ზმნის მესამე პირის ing-იანი ფორმა).

რომელზედაც გარკვევით *ეწერა* [V Aor Sg 3] რომ ის, ვანელი ხელოსანი, ფარნაოზი, უხეიროს ძე, თავისუფალი იყო და შეეძლო დაბრუნებულიყო თავის სამშობლოში. – On which *it was* clearly *written* [VVN S3] that he, a craftsman of Vani, Parnaoz, son of Ukheiro, was a free man and could return to his homeland.

ზუსტად ასე *ეწერა* [V Aor Sg 3] კრამიტზე. – *Those were* [VVDR P13] the exact words on the tile.

მერმე ქუთაისიდან დეპუტაც მიიღო. *ეწერა* [V Aor Sg 3]: „პოლისი მივიღე. სილიბისტრო“. – And then he received a telegram from Kutaisi, *saying* [VVG S3]: "Received policy. Silibistro."

„არგონავტიკაში“ *წერია* [V Prs Sg 3]: საქართველოს (კოლხეთის) ღვინოები ოლიმპოს ღმერთების სასმელიაო. We *read* [VV P11] in the Argonautica that Georgian (Colchian) wines are the drink of the gods of Olympus.

გაზეთში *წერია* [V Prs Sg 3] – „დაზარალებულთაო“ – დაზარალდე, შეიძლება, ვაჭრობაში, ადებ-მიცემობაში, სამეურნეო საქმიანობაში... ცხრა აპრილს კი მხოლოდ და მხოლოდ დაშვადები, დასახიჩრდები, დაიღუპები. – The paper *calls* [VV S3] them "people who have suffered losses" – you can suffer losses, say, in trade, in buying and selling, in farming... But on 9 April you can only be injured, crippled or killed.

ინგლისურიდან ქართულად თარგმანში მთარგმნელს სტატიკური ზმნა *წერია/ეწერა* სხვადასხვა ინგლისური სიტყვისა და გამონათქვამისთვის აქვს შეთანადებული:

'Let me help you,' she said. 'I shall explain the card [0] to you and show you what you may eat.' – „ნება მომეცით, დაგეხმაროთ, მე აგიხსნით, რა *წერია* [V Prs Sg 3] და გიჩვენებთ, რისი ჭამა შეგიძლიათ“, – მითხრა მან.

People believe almost anything *they see* [VV Pl3] *in print*. – ადამიანებს ყველაფრის სჯერათ, რაც კი ბეჭდური ასოებით *წერია* [V Prs Sg 3].

Well, *look out* [VV S3] then, said Alicia, shaking out a letter from her brother. – ჯერ ვნახოთ, აქ რა *წერია* [V Prs Sg 3], – თქვა ალისიამ და ძმის წერილი გაშალა.

– *It is written* [VVN S3] inside the Golden Cap, – replied the Queen of the Mice. – ოქროს ქუდს შიგნიდან *აწერია* [V Prs Sg 3], – უპასუხა თაგვების დედოფალმა.

Just you turn it over, as in duty bound, and see *what's wrote* [VVD S3] there. – შენც გადმოაბრუნე, როგორც წესია, და ნახე, რა *აწერია* [V Prs Sg 3] ზედ.

Never told him what *was* in the letter Dumbledore left for him? – არ გითქვამს, რა *ეწერა* [V Aor Sg 3] იმ წერილში, დამბლდორმა რომ დაუტოვა?

The woman's name was Bethany, and her Internet profile *did not mention* [VVD S3] vegetarianism. – ქალს ბეთანი ერქვა და საკუთარ ინტერნეტპროფაილში ვეგეტარიანელობის შესახებ *არაფერი ეწერა* [V Aor Sg 3].

Everything in your closet *should have* an expiration date [VPB S3] on it the way milk and bread and magazines and newspapers do, and once something passes its expiration date, you should throw it out. – შენს საკუჭნაოში ყველაფერს ვარგისიანობის ვადა *უნდა ეწეროს* [V Conj_II Sg 3] ისევე როგორც რძესა და პურს, ჟურნალებსა და გაზეთებს, და როცა ვადა გაუვა, უნდა ვყრიდეთ მათ.

როგორც ზემოთ მოყვანილი მაგალითებიდან ჩანს, *ეწერა* ზმნას ინგლისურში ბევრი სხვადასხვა ვარიანტი შეესაბამება. თარგმნისას ეს სახესხვაობები ბუნებრივია, განსაკუთრებით თუ საქმე მხატვრულ თარგმანს ეხება. იმის გამო, რომ ბევრ, ერთმანეთისგან განსხვავებულ ზმნას შეესაბამება ქართული *ეწერა* ფორმა, მარკერებიც მრავალფეროვანია. განსხვავებები გვაქვს არა მხოლოდ ზმნის ფორმებში, არამედ ლექსიკაშიც, ანუ სხვადასხვა ინგლისურ ზმნას შეესაბამება ქართული *ეწერა* ფორმა (მაგ., to say, to read, to have, to call, და ა.შ.). რაც ყველაზე მნიშვნელოვანია, თითქმის არც ერთი ინგლისური ზმნა არ არის სტატიკური. ხშირ შემთხვევაში, ქართული სტატიკური ზმნები ინგლისური ენის პასიურ კონსტრუქციას შეესაბამება.

ხატია, ახატია, ეხატა

პარალელური კორპუსის ორიგინალურ ქართულ ტექსტებში ეს სიტყვები თითქმის არ გვხვდება, რამდენიმეს თუ არ ჩავთვლით, და ისინიც პირდაპირი მნიშვნელობით არ არის ნათარგმნი. ინგლისურიდან ქართულ ენაზე თარგმანში კი ხშირად არის გამოყენებული *ხატვა* ზმნის სტატიკური ვარიანტები, თუმცა ინგლისურ ტექსტში ეს ზმნა არ დასტურდება, რამდენიმე შემთხვევის გარდა.

But these people you've got these days, the ones with these star things *painted* [VVN] on their faces... – მაგრამ დღევანდელი ხალხი... აი ისინი, სახეზე ვარსკვლავები რომ *ახატიათ*... [V Prs Pl 3].

უმეტესად ამ სტატიკურ ვნებითებს მთარგმნელი იყენებს. მაგალითად,

A big sticker [0] with a scary wolf face that says BEWARE OF THE DOG. – კიდეც დიდი სტიკერია, რომელსაც საშიში მგლის სახე *ახატია* [V Prs Sg 3] და აწერია “ფრთხილად, ძაღლია!

Each of these airlines literally *carried* [VVD S3] the flag of its nation on the tails of its aircraft. – თითოეული ამ ავიაკომპანიის თვითმფრინავებს კუდებზე მართლაც *ეხატათ* [V Aor Pl 3] თავიანთი ქვეყნების დროშები.

It was a two-wagon train *bearing* [VVG S3] the royal insignia, I explained. – მხოლოდ ორი ვაგონი მახსოვს, სამეფო გერბი *ებატა* მეთქი [V Aor Sg 3], ავუხსენი.

Money *has* [VPZ S3] *the picture* of a dead American on it because money comes from America. – კუპიურებზე გარდაცვლილი ამერიკელიც უნდა *ებატოს* [V Conj_II Sg 3], ვინაიდან ფული ამერიკულია.

კიდა / ჰკიდა

ზემოთ განხილული ზმნებისგან განსხვავებით, *ჰკიდა* / *ეკიდა* საკმაოდ ბევრია ქართულ ტექსტებში შესაბამისი თარგმანით. უმეტესად ნათარგმნია ზმნით *to hang*, იშვიათი გამონაკლისის სახით გვხვდება ზმნა *to swing* ან შეიძლება სულაც გამოტოვებული იყოს ეს ზმნა და მხოლოდ მინიშნება იყოს ტექსტში. თარგმანში გამოყენებულია სხვადასხვა გრამატიკული დრო. იგივე შეიძლება ითქვას ინგლისურიდან ქართულად ნათარგმნ ტექსტებზეც.

ხმამალა კი თქვა: შენი ქმარი ხეზე *ჰკიდა* [V Prs Sg 3], შვილებიც მოსავლელი გვეყავს, ნუ გავაცინებთ ქვეყანასო. – He said aloud, "Your husband's *hanging* [VPG S3] from a tree, you've got sons to care for, don't let's make ourselves the country's laughing stock".

ვარსკვლავი, წელან თვალებს შორის რომ დაეტაკა, ისევ ცაზე *ეკიდა* [V Aor Sg 3] და ისე ციმციმებდა, თითქოს ისიც სულს იბრუნებდა. – The star that had just struck him between the eyes *was* [VVDZ S3] back in the sky, twinkling as if it, too, was getting its breath back.

გდია / ყრია

ინგლისურ თარგმანში მრავლადაა ქართული *გდია* ზმნა სხვადასხვანაირად გადმოცემული. ინგლისურად ნათარგმნია *to lay*, *to drop*, *to fall* ზმნების ვნებით, მაგრამ სტატიკური მნიშვნელობით – ნაკლებად. ბევრია *გდია*-ს რიცხვში მონაცვლე ზმნაც *ყრია*. ძირითადად, ნათარგმნია *to strew*, *to pile*, *to lay* ზმნებით. ხშირად ორივე ფორმა *to be* ზმნით გადმოიცემა როგორც ინგლისურ ორიგინალში, ისე ქართულიდან ნათარგმნ ტექსტშიც.

წინ რაღაც *გდია* [V Prs Sg 3], წილკნის ასახვევთან. – Ahead, something is lying [VPG S3] there at the bend in Tsilkani.

ტყეში პატარა საყდრის ხელა ლოდი *ეგდო* [V Aor Sg 3]. – In the forest *there was* a rock the size of a small church.

His book *had fallen* [VVN S3] on to the grass. – წიგნი კი ჩამოცურებულიყო და იქვე, ბალახზე *ეგდო* [V Aor Sg 3].

One boot was discarded and the other *was* [VVDZ S3] still on his left foot. – ფეხსაცმელი მხოლოდ მარცხენა ფეხზე ეცვა. მეორე ფეხსაცმელი იქვე *ეგდო* [V Aor Sg 3].

Smashed glass *was* [VVDZ S3] all around him. – ირგვლივ დაფშვნილი შუშა *ეყარა* [V Aor Pl 3].

როგორც აღინიშნა *ეგდო/ეყარა* ფორმები, ძირითადად, ინგლისურ *to be* ზმნას შეესაბამება. ამ შემთხვევაში ორივე ენა სტატიკურ ზმნას იყენებს. თარგმანი, ცხადია, ძალიან რთული პროცესია და ხშირად მთარგმნელი სხვადასხვა ხრიკს მიმართავს ემოციის სწორად გადმოსაცემად. ამ შემთხვევაში *ეგდო/ეყარა* ფორმების გამოყენება ტექსტს უფრო ემოციურს და მეტად ემფატიკურს ხდის.

აკერია / ეკერა

ქართულ ტექსტებში (ორიგინალშიც და თარგმანებშიც) ეს ზმნები, ძირითადად, ფრაზეოლოგიზმებით არის წარმოდგენილი: მაგ. პირზე *აკერია/ეკერა* მისი სახელი, რაც ნიშნავს, რომ ხშირად ახსენებენ, სულ ლაპარაკობენ. ინგლისურ ტექსტებში სწორედ *to talk*, *to say* ზმნები არის ამ სტატიკური ფორმით გადმოთარგმნილი.

ყველას ერთნაირად „ადამიანური სიტბო“ აკერია [V Prs Sg 3] პირზე. – They all *have* the same slogan "human warmth" *written* [VFN Pl3] all over their faces.

მთელ ქვეყანას პირზე შენი სახელი აკერია [V Prs Sg 3], ყველანი შენს დახვრეტას მოითხოვენ. – Your name *is* [VZ S3] on everyone's lips now, everyone wants to see you shot.

She'll see those handsome eyes that she *talks about* [VVB S3], and then it will be all up with her. – დაინახავს იმ ლამაზ თვალებს, რომლებიც პირზე აკერია [[V Prs Sg 3]] და მისი ამბავიც გათავდება.

He *talks* [VVB S3] of her constantly. – პირზე სულ მისი სახელი აკერია [V Prs Sg 3].

აკლია

ეს ზმნა პირდაპირი მნიშვნელობით ორიგინალშიც და თარგმანშიც შესაბამისი მნიშვნელობებით არის ნათარგმნი: ქართული ზმნა აკლია ინგლისურად To lack, to miss ზმნებით გადმოიცემა და პირიქით:

კომპარები არ მაკლია [V Prs Sg 1], მაგრამ კომპარებისთვისაც მადლობელი ვარ. – I *don't lack* [VVB S1] nightmares, but I'm grateful even for this nightmares.

“Why, what 's *missing* [VVG S3] in your life?” – რატომ? ცხოვრებაში რამე გაკლია [V Prs Sg 2]?

დროის აღნიშვნისას, საათებთან ქართულში ასევე იხმარება აკლია, თუმცა, რასაკვირველია, ეს ინგლისურში სხვანაირად გადმოიცემა.

Do you know it's a quarter to six? – იცით, ახლა ექვსს თხუთმეტი წუთი აკლია!

დევს, აწყვია

უნდა აღინიშნოს, რომ ეს ფორმები პარალელური კორპუსის ქართულ მხატვრულ ტექსტებში თითქმის არ იძებნება. მხოლოდ დევს არის მცირე რაოდენობით სამეცნიერო ტექსტებში, და ისიც გამონათქვამებში – საფუძვლად დევს/უდევს, სასწორზე დევს, აზრი/ინტერესი დევს.

ღრმა აზრი დევს [V Prs Sg 3], გამოთქმაში – „სიცოცხლე სიცოცხლეს ასაზრდოებს“. – The saying that life lives on life *has* [VPZ S3] a deep meaning in it.

აწყვია კი მხოლოდ ინგლისურიდან ნათარგმნ ტექსტებშია გამოყენებული და, როგორც ეგდო/ეყარა ფორმებთან დაკავშირებით ზემოთ აღინიშნა, ძირითადად, ინგლისურ კონსტრუქციებს There is, There are შეესაბამება.

Cecilia said, “There are torches behind the cellar door.” – სარდაფის კარს უკან ფარნები აწყვია, – გაახსენდა სესილიას.

ძალიან მცირე რაოდენობითაა ქართული სტატიკური ფორმები მარხია, აფარია/ეფარა, ასხია/ესხა. ეს უკანასკნელი უფრო მეტია, რადგან სხვადასხვა მნიშვნელობები აქვს: სითხე ესხა, კალთაში ეჯდა/ესხა, ხილი ესხა.

დაბოლოს, დასკვნის სახით შეიძლება ითქვას, რომ, როგორც განხილული მაგალითებიდან ჩანს, ქართულ სტატიკურ ფორმებს ინგლისურში სათანადო სტატიკური ფორმები თითქმის არ ეთანადება. ხშირ შემთხვევაში ქართული სტატიკური ზმნები ინგლისური ენის პასიურ კონსტრუქციას ემთხვევა, გარდა ეგდო/ეყარა ზმნებისა, რომლებიც ინგლისურ to be ზმნას შეესაბამება და ამ დროს ორივე ენა სტატიკურ ფორმას იყენებს.

ასევე ჩანს, რომ თარგმანი დიდწილად დამოკიდებულია უშუალოდ მთარგმნელზე. მას სჭირდება თითოეული სიტყვის ყველა მნიშვნელობის განხილვა და შინაარსის მიხედვით მათი სხვა სიტყვებთან დაკავშირება, ასევე, ორივე ენის თავისებურებების გათვალისწინება. ამის გამო, კონკრეტულ სიტყვას თარგმანში ზევრი სხვადასხვა ვარიანტი შეესაბამება. აქედან გამომდინარე, ერთ ენაში სიტყვის მარკერს მეორე ენაში, შესაძლოა, რამდენიმე მარკერი

ჰქონდეს. მარკერების სიმრავლე კი თარგმნისას ხელს უწყობს სათარგმნ ენაში სათანადო ფორმების სწორად შერჩევას.

დანართი

ზმნური ტეგების სია:

ქართული ტეგები		ინგლისური ტეგები	
V	ზმნა	V	ძირითადი ზმნა
Prs	აწმყო მწკრივი	P	დამხმარე ზმნა
Imf	უწყვეტელი	B	სრული ფორმა
ConjPres	აწმყოს კავშირებითი	G	-ing ფორმა
Fut	მყოფადი	D	წარსული დრო
Cond	ხოლმეობითი	N	მიმღეობა
ConjFut	მყოფადის კავშირებითი	I	ინფინიტივი
Aor	წყვეტილი	S	მხ. რიცხვი
Conj_II	II კავშირებითი	P	მრ. რიცხვი
Imp	ბრძანებითი		
Rezult_I	I თურმეობითი		
Rezult_II	II თურმეობითი		
Conj_III	III კავშირებითი		
Sg	მხ. რიცხვი		
Pl	მრ. რიცხვი		
Subj	სუბიექტი		
Obj	ობიექტი		

Morphological Tags of Static Verbs for the Georgian-English Grammar Dictionary

George Chikoidze, Anna Chutkerashvili, Nino Javashvili,

Summary

Electronic grammar dictionaries are many-sided dictionaries. They contain information about the morphological and syntactic properties.

lots of useful functions. They are used in the process of translation, language teaching as well as in dialogue system management. They make it easier to annotate large text corpora. Such dictionaries are equipped with proper grammatical features that provide correct word forms.

The paper gives description of some Georgian stative verbs for the Georgian-English grammar dictionary. Some Georgian and English sentences containing such verbs are also analyzed. Stative verbs of both languages have proper markers assigned, which consist of morphological tags. The paper gives analysis and corresponding translation for each static verb as well as establishes certain regularities between them.

Морфологические теги статических глаголов для грузино-английского грамматического словаря

Нино Джавашвили

Резюме

Электронные грамматические словари – это словари, которые содержат сведения о морфологических и синтаксических свойствах слова. Они используются в процессе

перевода, преподавания языка и управления диалоговыми системами. В то же время они облегчают аннотирование больших текстовых корпусов. Такие словари снабжены надлежащими грамматическими элементами, обеспечивающими правильность словоформ.

В статье рассматриваются грузинские статические глаголы для грузино-английского грамматического словаря. Приведены грузинские и английские предложения, содержащие такие глаголы. Статические глаголы обоих языков имеют собственный маркер, который состоит из морфологических тегов. Для каждого статического глагола анализируется соответствие переводу и устанавливаются определенные закономерности..

ლიტერატურა – References – Литература

1. ჩიკოიძე გ., ჩუტკერაშვილი ა., ჯავაშვილი ნ. ზმნური მარკერები ქართულ-ინგლისური გრამატიკული ლექსიკონისათვის. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის არჩილ ელიაშვილის სახელობის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული N26, თბილისი, 2022, გვ. 93-98.
https://gtu.ge/msi/Files/Pdf/Publications/jurnali_2022-1.pdf
2. ინგლისურ-ქართული პარალელური კორპუსი <https://corp.dict.ge>
3. Expert Advisory Group on Language Engineering Standards (EAGLES)
<http://www.ilc.cnr.it/EAGLES/home.html>
4. ჯავაშვილი ნ., ლორთქიფანიძე ლ. საერთაშორისო სტანდარტი EAGLES ქართული ტექსტური კორპუსის ანოტირებისთვის. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის არჩილ ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული N17, თბილისი, 2013, გვ. 118-130.
https://gtu.ge/msi/Files/Pdf/Publications/jurnali_2013.pdf
5. Oxford English corpus tagset: <https://www.sketchengine.eu/oxford-english-corpus-tagset/>
6. English Tagset: <https://docs.sslmit.unibo.it/doku.php?id=corpora:tagsets:english>
7. Lobzhanidze I. Finite-State Computational Morphology. An Analyzer and Generator for Georgian. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-90248-3>
8. STATIVE VERBS, PERFECT ENGLISH GRAMMAR <https://www.perfect-english-grammar.com/stative-verbs.html>
9. მელიქიშვილი დ., ქართული ზმნის სისტემური მორფო-სინტაქსური ანალიზი. https://old.tsu.ge/data/image_db_innova/Saleqcio-kursi-magistratua_2015_01_29_10_50_47_087.pdf
10. შანიძე ა., ქართული ენის გრამატიკის საფუძვლები, თბილისი 1973.
<https://archive.org/details/shanidze/page/141/mode/2up>.
11. ქართული ენის განმარტებითი ელექტრონული ლექსიკონი
<http://ena.ge/explanatory-online>

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

სახელთა გრამატიკული ფორმების გენერირება ქართულ- ინგლისურ ლექსიკონში

ლიანა ლორთქიფანიძე, ლევან მაკრახიძე

l_lordkipanidze@yahoo.com

რეზიუმე

ქართულ-ინგლისური გრამატიკული ლექსიკონის პროგრამულ აპლიკაციაში წარმოგიდგენთ მანქანური სწავლების ზედამხედველობით მიდგომას არსებითი და ზედსართავი სახელების შესატყვისების გენერირებისთვის. ჩვენ ვიყენებთ GeoTrans სისტემაში დანერგილ ლოგიკურ პროგრამირებას. GeoTrans-ი სწავლობს წესებს, როგორც პირველი რიგის პრედიკატების გადაწყვეტილებების სიას. ქართულ-ინგლისური გრამატიკული ლექსიკონის შექმნის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი საკითხია ქართულ და ინგლისურ გრამატიკულ მახასიათებლებს შორის შესაბამისობის დადგენა. განვიხილავთ ქართული სახელებისთვის დამახასიათებელი გრამატიკული კატეგორიების და მახასიათებლების შესაბამისობაში მყოფი ინგლისური ფორმების და პირიქით - ინგლისურიდან ქართულის, გენერირების ალგორითმს. ვაჩვენებთ იმ გრამატიკულ კატეგორიებს, რომლებიც აქვთ ქართულ სახელებს და, თუ ინგლისურში ასეთი კატეგორია არ არის, როგორ ანაზღაურდება ასეთი ფორმები ადეკვატური სიტყვების გენერირებისას და პირიქით (ინგლისურიდან ქართულში).

საკვანძო სიტყვები:

გრამატიკული ლექსიკონი, მანქანური სწავლება, სახელების ფორმირება, ლოგიკური პროგრამირება.

ქართული და ინგლისური სახელების ფორმირება და მათი ურთიერთმიმართება მეტ-ნაკლებად საფუძვლიანადაა შესწავლილი ენათმეცნიერების მიერ [2, 3, 4, 5]. ლექსიკური ინფორმაციის გარდა, ქართული სახელის მორფემები გადმოსცემს რიცხვს; ბრუნვას; სხვათა სიტყვას; თანდებულიან, ნაწილაკიან, სავრცობიან და კუთვნილებით ფორმებს. გარდა პირველადი ფორმებისა, ზედსართავებს აქვთ უფროობითი და ოდნაობითი ხარისხი, რომლებსაც თავ-თავისი მაწარმოებლები აქვთ. ქართულ სახელებს, საზოგადოდ, შვიდი ბრუნვა აქვთ, რომლებიც ინგლისურში მხოლოდ წინდებულებით გადმოიცემა, კუთვნილებითი ფორმის გარდა, რომელსაც ქართულში ნათესაობითის ბრუნვა შეესაბამება.

მოვიყვანთ ცხრილს,

ქართული	ინგლისური მხოლობითი	ინგლისური მრავლობითი
სახელობითი	Basic form (Bf)	Bf-s/-es
მოთხრობითი	to Bf	to Bf-s/-es
მიცემითი	to Bf	to Bf-s/-es
ნათესაობითი/ კუთვნილებითი	The Bf, Bf's, of Bf	The Bf-s/-es, Bf's, of Bf-s/-es
მოქმედებითი	by Bf, with Bf	by Bf-s/-es, with Bf-s/-es
ვითარებითი	By Bf, with Bf, became Bf	By Bf-s/-es, with Bf-s/-es, became Bf-s/-es
წოდებითი	Bf	Bf-s/-es

ასევე წინდებულებით გადმოიცემა ქართულის თანდებულიანი და ნაწილაკიანი ფორმები. რაც შეეხება სახელის ფორმას, რომლითაც ქართულში გამოვხატავთ შედგენილ შემასმენელს (მაგ.: 'სახლია', 'წითელია', 'კარია', 'დიდია',...), ინგლისურში მისი შესატყვისია to be ზმნის აწმყო დროის მესამე პირის ფორმა (მაგ.: სწორედ ისეთი სახლია როგორც ყოველთვის ვოცნებობდი -> This is just the kind of home we've always wanted; დიდი კაცია კვაჭანტირაძე... -> Kvachantiradze's a big man; დმერთის სახელი სულ წითელია და ბუხარზეა გაჭედილი -> God's face is all red and stuck on a chimney; დიდია მ. უორდროპის გავლენა ვ. ურუშაძეზე -> Wardrop's influence on Urushadze is considerable...)

ქართული მიმართებითი ზედსართავი სახელები ინგლისურში გადმოიცემა, რა თქმა უნდა, იმისდა მიხედვით, თუ რომელი მორფემებითაა ნაწარმოები. მაგალითად უქონლობისა: უფანჯრო ბუდრუგანა ლურჯი კედლებით. -> Windowless cubicle with blue walls. სტრაბონს არც „უკაცო“ საზოგადოებისა და არც ქალთა მეომრობისა არ სჯერა! -> Strabo does not believe either in "manless" society, or the women- warriors! უკარო და უფანჯრო ოთხ კედელშიც რომ ჩავარდნილიყო... -> If he found himself stuck in a room with no doors or windows...

ქართულის შედარებითი ხარისხები იწარმოება აფიქსებით: უფროობითის უ--ეს და ოდნაობითის მო--ო. სხვადასხვა ფორმებით გადმოიცემა ინგლისურში: უდიდესი და უძლიერესი ბრენდი the largest and strongest brands. საქართველო ერთ-ერთ უძლიერეს სახელმწიფოდ იქცა -> Georgia became one of the most powerful states in the East; აშშ რჩებოდა უძლიერეს აქტორად, -> United States was still the most powerful actor; ქვევრის კედელი მოწითალო-მოყავისფროა -> The wall of the wine jar is reddish brownish; წყალიც მეტად მუქი და მომწვანო იყო -> The water was a very dark greenish color.

განსხვავებული სურათი გვაქვს ინგლისურში. აქაც გვაქვს ზედსართავისათვის სამი ფორმა, მხოლოდ განსხვავებული ხასიათის: დადებითი (the positive Degree – long), მეტი თვისების აღსანიშნავად აქ გვაქვს ორი ფორმა შედარებითი (the Comparative Degree - longer) და აღმატებითი (the Superlative Degree-longest).

ინგლისურშიც გვაქვს სუფიქსებით ნაწარმოები დერივატიული ზედსართავები [6,7]. აი, ზოგი მათგანი:

- სუფიქსი - y - leafy -> ფოთლოვანი, shady -> ჩრდილიანი
- სუფიქსი - al -logical -> ლოგიკური, critical -> კრიტიკული
- სუფიქსი - ful – hopeful -> დაიმედებული, stressful -> სტრესული
- სუფიქსი - less – hopeless -> უიმედო, useless -> უსარგებლო, careless -> უყურადღებო
- სუფიქსი - ish - childish -> ბავშვური
- სუფიქსი - -ed – tired -> დაღლილი
- სუფიქსი - ing – interesting -> საინტერესო
- სუფიქსი - ly – friendly -> მეგობრული ...

ინგლისური წარმოებული ზედსართავების უმეტესობა შესულია ლექსიკონებში და მათი ქართული შესატყვისის მოძიება რთული არაა. ჩვენ მხოლოდ არალექსიკალიზებული ზედსართავების დერივატიული ფორმების წარმოება გვჭირდება GeoTrans ანალიზატორის გამოყენებით და შემდგომ ქართულის შესაბამისი ინგლისური ამოსავალი ფორმიდან შესატყვისი მახასიათებლებით სწორი ფორმის აგება.

ინგლისურში რაოდენობის აღმნიშვნელ ზედსართავ სახელთან მდგარ არსებით სახელს მრავლობითის ფორმა აქვს, ქართულში კი მხოლოდითის: ბევრი ჩანაწერიც დატოვა -> he left many recordings; იცოდნენ მრავალი ენა -> knew many languages; უთვალავი მოტრფიალე ჰყავდა, მაგრამ ცხოვრება, გაურბოდა მას. ->Lovers she had in plenty, but life, escaped her. ამის გამო ყველა ინგლისური სახელის მრავლობითის ფორმას ქართულში სავარაუდო შესატყვისად მხოლოდითის ფორმებიც უნდა გავითვალისწინოთ.

როგორც ქართულში, ასევე ინგლისურში გვხვდება სახელები, რომლებიც მხოლოდ მხოლოდობით რიცხვში იხმარება მაშინ, როცა მისი შესატყვისი მრავლობითშია. ასეთებია ქართულში: ჩაი, ნაცარი, მტვერი და სხვ. ინგლისურში: gold, gate, sledge, watch, clock,...

კოსკენიემის [8] ინოვაციური სამუშაო ორი დონის მორფოლოგიაზე, დიდი პროგრესი იყო სასრული მდგომარეობის ტექნიკით მორფოლოგიური წესების კოდირების [9]. თუმცა წესების ხელით შექმნა შრომატევადი და დროტევადი ამოცანაა, განსაკუთრებით ისეთი რთული ენისთვის, როგორცაა ქართული. გარდა ამისა, ცოდნაზე დაფუძნებული სისტემით ძნელია სხვა მსგავსი ენების გამართვა, შეცვლა ან ადაპტირება. ამ მიზეზების გამო, დიდი ინტერესი მორფოლოგიის მძლავრი ავტომატური სისტემების მიმართ, რომლებიც ენობრივ ცოდნას ავტომატურად ამოიღებს ანოტირებული ტექსტიდან. ჩვენი ნამუშევარი მიეკუთვნება ამ კატეგორიას.

მორფოლოგიის სწავლის სისტემები შეიძლება იყოს ზედამხედველობითი [10, 11] ან ზედამხედველობის გარეშე [12, 13, 14]. ზედამხედველობის გარეშე სისტემები გავარჯიშდებიან დაუმუშავებელი სიტყვის ფორმებზე და აშკარა უპირატესობა აქვთ, რადგან არ საჭიროებენ სეგმენტურ მონაცემებს. მეორე მხრივ, ზედამხედველობით მიდგომებს აქვს მნიშვნელოვანი უპირატესობები – ისინი ნაკლებად არიან დამოკიდებულნი დიდ კორპუსებზე, საჭიროებენ ნაკლებ ადამიანურ ძალისხმევას, არ არის საჭირო ენის ყველა წესის ჩამოთვლა და ახალი ენის მორფოლოგიის დასწავლა შედარებით სწრაფად ხდება.

ზედამხედველობის ქვეშ მორფოლოგიის დასწავლის სისტემები, როგორც წესი, ეფუძნება ორი დონის მორფოლოგიას. ეს მიდგომები განსხვავდება ზედამხედველობის დონით, რომელსაც ისინი იყენებენ წესების გასაგებად. სუსტად ზედამხედველობითი მიდგომა იყენებს შეყვანილ სიტყვათა წყვილებს [15]. სხვა სისტემებმა შეიძლება მოითხოვონ შეყვანილი სიტყვების სეგმენტაცია ან ანალიზი ფუძის ან ძირის და გრამატიკული მორფემების ნაკრების სახით.

GeoTrans ავტომატურ გარდამქმნელს აქვს ზედამხედველობითი მანქანური სწავლების ჩარჩო, რომელიც დაფუძნებულია ლოგიკურ პროგრამირებაზე. GeoTrans-ში ჰიპოთეზა დგება ფონური ცოდნისა და მაგალითებიდან. მაგალითები, ფონური ცოდნა და ჰიპოთეზა - ყველა იღებს ლოგიკური პროგრამების ფორმას. საფუძვლიანი ცოდნა და მაგალითებიდან მიღებული საბოლოო ჰიპოთეზა გამოიყენება ახალი შემთხვევების შესაფასებლად.

ვინაიდან ლოგიკური პროგრამირება ობიექტებს შორის შემთხვევითი ურთიერთობების გამოხატვის საშუალებას იძლევა, GeoTrans-ში უფრო კარგადაა ასახული ატრიბუტ-მნიშვნელობის წარმოდგენები, რაც ფონური ცოდნის მოქნილი გამოყენების საშუალებას იძლევა [16]. მას ასევე აქვს უპირატესობები ისეთ მიდგომებთან შედარებით, როგორცაა n-გრამის მოდელები, დამალული მარკოვის მოდელები, ნეირონული ქსელები და SVM, რომლებიც წარმოადგენენ მაგალითებს ფიქსირებული სიგრძის მახასიათებლების ვექტორების გამოყენებით. ამ ტექნიკას უჭირს კავშირების, რეკურსიისა და შეუზღუდავი სტრუქტურების წარმოდგენა [17]. GeoTrans, მეორეს მხრივ, იყენებს ცოდნის წარმოდგენის ბუნებრივ ენას, რომელიც ჩვეულებრივ გამოიყენება ლინგვისტიკაში და GeoTrans [1, 18] სისტემას მიეწოდება ენის მორფოლოგიური პარადიგმების სახით.

ინდუქციური მეთოდი გულისხმობს, გარკვეული მონაცემებით ტრენინგის ფაზას და მონაცემებიდან ზოგადი დასკვნის გამოტანას. შემდგომ მორფოლოგიური ანალიზისთვის, დასწავლილი მონაცემები წარმართავს სიტყვის ფორმირების წესებსა და სიტყვის შემადგენელ კომპონენტებს შორის ურთიერთქმედებას.

GeoTrans-ის გამოყენების რამდენიმე მცდელობა იყო და მათი უმეტესობა ეხებოდა შედარებით რთული მორფოლოგიის მქონე ენებს, რომლებიც ამუშავებდნენ რამდენიმე აფიქსაციას [18]. შედეგები დამაიმედებელია. ჩვენი მიზანია ზოგადი დანიშნულების GeoTrans მორფოლოგიის შემსწავლელის გამოყენება ქართულ-ინგლისურ გრამატიკულ

ლექსიკონში. ამრიგად, ჩვენ ვეძებთ ფონურ ცოდნას, რომელიც დამაჯერებელია თითოეული ენისთვის და ურთიერთშესატყვისებისათვის. ის შეიძლება გაერთიანდეს ენის სპეციფიკურ შემთხვევებთან, რათა გამოვიტანოთ წესების ჰიპოთეზები, რომლებიც განზოგადდებიან ენის ახალ მაგალითებზე.

მორფოლოგიური წესების სწავლა GeoTrans-ით მოითხოვს მონაცემების მომზადებას პარადიგმების სახით. საიდანაც ცოდნის ამოღება მოხდება ისეთი პრედიკატების გზით, რომლებსაც შეუძლიათ ამოსავალი ფორმის ამოღება აფიქსების, ძირისა და გრამატიკული მახასიათებლის იდენტიფიკაციის გზით.

სისტემისთვის სიტყვაფორმის მიწოდების შემდეგ ხდება ანალიზატორის გამოძახება და სათაო ფორმისა და სიტყვის მახასიათებლების მარკერების ამოღება ენის შესაბამისად: GeLM/EnLM. შემდეგ პრედიკატი MatchGE უზრუნველყოფს ქართულ -> ინგლისური სათაო ფორმების და მორფოლოგიური მარკერების შესაბამისობას, ხოლო MatchEG ინგლისურ -> ქართულის.

იმისათვის, რომ GeoTrans-მა ისწავლოს წესების ნაკრები, გათვალისწინებული უნდა იყოს წესების პრედიკატი. ვინაიდან ჩვენ ვსწავლობთ სიტყვებს მათ ფუძესთან და გრამატიკულ მახასიათებლებთან ასოცირებით, ვიყენებთ პრედიკატის სქემას rule(L, M) სადაც L- lemma ლემის ამოსაღებად საჭიროა ფუძისა და სიტყვაფორმის მაწარმოებელი აფიქსების დადგენის პრედიკატი - lemma(prefix,infix,stem,suffix). ტრენინგის მაგალითები სტრუქტურირებულია ამ პრედიკატების სქემების მიხედვით.

მაგალითად, ქართულში არსებითი სახელებისთვის მხოლოდითი რიცხვის ნათესაობითი ფორმის ინგლისური შესატყვისის შაბლონის დადგენა და დამახსოვრება მოხდება შემდეგი პრედიკატების გამოძახებით:

MatchGE (GeLM(მეგობრის), EnLM(friend's)) -> MatchGE (rule(lemma,marker), rule(lemma, marker))

MatchGE (rule(lemma,marker), rule(lemma,marker)) -> MatchGE(Ge(L, NSgGen), En(L,NSg(Bf/Bf's/of Bf)))

ხოლო შემდგომ ქართულის შესატყვისი ინგლისური ფორმის მოძებნა:

TrGeEn(მეგობრის)->MatchGeEn(Ge(მეგობარი, NSgGen)) -> En(friend,NSg(Bf/Bf's/of Bf))

სასწავლო ნაკრები შევადგინეთ ქართულ-ინგლისური / ინგლისურ-ქართული 13 ზედსართავისა და 94 არსებითი სახელის სტერეოტიპული პარადიგმის მიხედვით.

არსებითი სახელებისთვის სამაგალითო ნაკრების პროგრამის სწავლების შემდეგ ქართულ-ინგლისური შესატყვისებისთვის ლექსიკონში დამახსოვრებულ იქნა 277 წესი, ინგლისურ-ქართულისთვის – 2. რაც შეეხება ზედსართავ სახელებს, ქართული მაწარმოებელი აფიქსების გათვალისწინებით, ლექსიკონში ჩაიწერა ქართულ-ინგლისურისთვის 218 წესი და ინგლისურ-ქართულისთვის – 8.

სისტემას შეუძლია 50000 ლემიდან ნაწარმოები ქართული სიტყვაფორმის სწორად გაანალიზება 100% სიზუსტით და შესაბამისი ინგლისური შესატყვისების მოწოდება. არასწორი ანალიზი მიეკუთვნება მხოლოდ ტრენინგის კომპლექტში შესაბამისი მაგალითების არარსებობას.

Generating appropriate forms between Georgian-English names in the grammatical dictionary

Liana Lortkipanidze, Levan Makrakhidze

Summary

We present a supervised machine learning approach for generating matches between nouns and adjectives in a Georgian-English grammar dictionary software application. We use the logic

programming implemented in the GeoTrans system. GeoTrans learns rules as a list of first-order predicate solutions. One of the important issues of creating a Georgian-English grammar dictionary is to determine the correspondence between Georgian and English features. We will consider the algorithm for generating English forms corresponding to the grammatical categories and characteristics characteristic of Georgian names, and vice versa - from English to Georgian. We show the categories carried by Georgian adjectives or nouns and, if they are absent in English, how such forms are compensated in generating adequate words.

Генерация соответствующих форм между грузино-английскими именами в грамматическом словаре

ლიანა ლორტიფანიძე, ლევან მაკრახიძე

Резюме

Мы представляем контролируемый подход машинного обучения для создания совпадений между существительными и прилагательными в программном приложении грузинско-английского грамматического словаря. Мы используем логическое программирование, реализованное в системе GeoTrans. GeoTrans изучает правила как список решений предикатов первого порядка. Одним из важных вопросов создания грузинско-английского грамматического словаря является определение соответствия грузинских и английских особенностей. Мы рассмотрим алгоритм формирования английских форм, соответствующих грамматическим категориям и характеристикам, характерным для грузинских имен, и наоборот – из английского в грузинский. Мы показываем категории, которые несут грузинские прилагательные или существительные, и, если они отсутствуют в английском языке, как такие формы компенсируются при образовании адекватных слов.

ლიტერატურა – References – Литература

1. Lortkipanidze L., Beridze M., Nadaraia D.: Dialect Dictionaries in the Georgian Dialect Corpus. Theoretical Computer Science and General Issues. 10th International Tbilisi Symposium on Logic, Language, and Computation, TbiLLC 2013, Gudauri, Georgia, September 23-27, 2013, Revised Selected Papers. Publisher: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2015.
2. შანიძე ა., ქართული ენის გრამატიკის საფუძვლები, თბილისი 1973.
3. გაბუნია კ. ბრუნვათა სისტემები ქართველურ ენებში, თბ., 2007.
4. Fortuna, M., (2022) “A phonological solution to allomorphy in Georgian nominal inflection”, Glossa: a journal of general linguistics 7(1). doi: <https://doi.org/10.16995/glossa.5820>.
5. შარაშენიძე ნ., ქართული ენის გრამატიკა, მორფოლოგია. 2011, თბილისი.
6. Collins English Dictionary.
7. Lees R.B. The Grammar of English Nominalizations. Fourth printing. – Bloomington, the Hague: Mouton, 1966.
8. Koskenniemi, K. (1983). Two-level Morphology: a General Computational Model for Word-Form Recognition and Production. Department of General Linguistics, University of Helsinki, Technical Report No. 11.
9. Beesley, K. R. and L. Karttunen. (2003). Finite State Morphology. Stanford, CA, USA: CSLI Publications.
10. Oflazer, K., M. McShane, and S. Nirenburg. (2001). Bootstrapping morphological analysers by combining human elicitation and machine learning. Computational Linguistics, 27(1):59–85.
11. Kazakov, D. and S. Manandhar. (2001). Unsupervised learning of word segmentation rules with genetic algorithms and inductive logic programming. Machine Learning, 43:121–162.

12. Goldsmith, J. (2001). The unsupervised learning of natural language morphology. *Computational Linguistics*, 27: 153-198.
13. Hammarström, H. and L. Borin. (2011). Unsupervised learning of morphology. *Computational Linguistics*, 37(2): 309-350.
14. De Pauw, G. and P.W. Wagacha. (2007). Bootstrapping Morphological Analysis of Gĩkũyũ Using Unsupervised Maximum Entropy Learning. *Proceedings of the Eighth INTERSPEECH Conference*, Antwerp, Belgium.
15. Manandhar, S. , Džeroski, S. and Erjavec, T. (1998). Learning multilingual morphology with CLOG. *Proceedings of Inductive Logic Programming. 8th International Workshop in Lecture Notes in Artificial Intelligence*. Page, David (Eds) pp.135–44. Berlin: Springer-Verlag.
16. Bratko, I. and King, R. (1994). Applications of Inductive Logic Programming. *SIGART Bull.* 5, 1, 43-49.
17. Mooney, R. J. and Califf, M.E. (1995). Induction of firstorder decision lists: results on learning the past tense of English verbs, *Journal of Artificial Intelligence Research*, v.3 n.1, p.1-24.
18. ლორთქიფანიძე ლ.: ქართველური ენების მორფოლოგიური ანალიზატორი. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის არჩილ ელიაშვილის სახელობის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული 21, 2017.

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

დიალოგური სისტემის ანალიზატორის პროგრამული იმპლემენტაცია

მანველ კლოიანი, ლიანა ლორთქიფანიძე

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

რეზიუმე

სტატიაში განხილულია დიალოგური სისტემის პროგრამული რეალიზაციისთვის გამოყენებული მეთოდები, მოდელები და ალგორითმები. ნეირონული ქსელის მოდელის მაგალითზე შედარებულია ორი ალგორითმის: „რეკურენტული ნეირონული ქსელი“ - RNN (Recurrent Neural Networks) და ე.წ. Seq2Seq (წყვილების თანმიმდევრობის) მუშაობის შედეგები. ქართულენოვანი ტექსტური მასალის სიმწირის გამო ბაზის გასამდიდრებლად გამოვიყენეთ GeWordNet – ქართულ სიტყვათა ქსელიდან დაგენერირებული ტექსტები და სპორტული თემატიკის ტექსტების კორპუსი. ექსპერიმენტებმა აჩვენა, რომ GeWordNet ბაზის სრული ქართული თარგმნით და ამ ორი ალგორითმის გამოყენებით შეგვიძლია ისე დავხვეწოთ ჩვენი დიალოგური სისტემა, რომ მან შეძლოს კონკურენცია გაუწიოს მის ინგლისურენოვან ანალოგებს.

საკვანძო სიტყვები:

დიალოგური სისტემა, რეკურენტული ნეირონული ქსელი, Seq2Seq ალგორითმი, GeWordNet – ქართულ სიტყვათა ქსელი.

დიალოგური სისტემის ლინგვისტური ანალიზატორის პროგრამული იმპლემენტაცია ეყრდნობა კონტექსტის ფრაგმენტაციის მეთოდს, რომელიც დაფუძნებულია სამი დონის სისტემაზე: ლინგვისტური მოდელი, წინადადებების დამუშავების ძირითადი მექანიზმები და მასთან დაკავშირებული პროცედურები. ცოდნის ბაზასთან კომუნიკაციის სისტემა შეიძლება წარმოდგენილი იყოს შემდეგნაირად:

$CS = \langle LM, BM, Pr \rangle, (1)$

სადაც LM არის ლინგვისტური მოდელი;

BM - წინადადებების დამუშავების ძირითადი მექანიზმები;

Pr - პროცედურები.

ლინგვისტური მოდელი LM შეიცავს ინფორმაციას ბუნებრივი ენის მორფოლოგიის, სინტაქსისა და სემანტიკის შესახებ.

BM-ში ძირითადი მექანიზმები ახორციელებს ოთხ მთავარ ფუნქციას: $\phi_1: T \rightarrow L$ (მორფოლოგიური ანალიზი); $\phi_2: L \rightarrow G$ (სინტაქსური ანალიზი); $\phi_3: G \rightarrow SG$ (სემანტიკური ანალიზი); $\phi_4: SG \rightarrow Q$ (ტრანსლაცია), სადაც T არის ბუნებრივი ენის ტექსტი ლექსემების სიმრავლის სახით, L არის ლექსემების სიმრავლე მორფოლოგიური ინფორმაციით; G არის დამოკიდებულების ხე ლექსემებით მის წვეროებზე და მათი კავშირების ამსახველი რკალებით; S არის სემანტიკური გრაფი და Q - SQL მოთხოვნა საკვანძო სიტყვების ჯაჭვის სახით.

Pr პროცედურებში იგულისხმება როგორც, წინადადების დაყოფა ლექსემებად, ისევე ყველა პროცედურა, რომელიც ახორციელებს მონაცემების გარდაქმნას.

დიალოგური სისტემაში ინფორმაციის მიწოდება ხდება არასტრუქტურირებულად. ამიტომ შეკითხვა/მოთხოვნების დამუშავების მხრივ შესაძლებელია განსხვავებული მიდგომა. თუ მონაცემთა სტრუქტურირებული ფორმით მიწოდებისას, მათი დამუშავებისთვის SQL საკმარისი იყო, დღეს უკვე არასტრუქტურირებული მონაცემების დასამუშავებლად უფრო ხშირად გამოიყენება NoSQL.

ძალიან მოკლედ SQL არის სტრუქტურირებული შეკითხვის ენა; მასში მონაცემები და მათი ურთიერთობები ინახება ცალკე ცხრილებში; ასევე აუცილებელია მონაცემთა მანიპულირების და განმარტების ენის ცოდნა; მკაცრადაა დაცული ყველა მონაცემის თანამიმდევრულობა.

NoSQL არ არის დეკლარაციული შეკითხვის ენა; მისი ჩანაწერისთვის არაა აუცილებელი წინასწარ განსაზღვრული სქემა: შესაძლებელია გასაღები-მნიშვნელობა (Key-Value) წყვილების, ცხრილების, დოკუმენტების, გრაფიკების მონაცემთა ბაზების შენახვა; შესაძლებელია არასტრუქტურირებული და არაპროგნოზირებადი მონაცემების გამოყენება; ასევე მაღალია მონაცემთა ხელმისაწვდომობა.

მნიშვნელოვანია კიდევ ერთი ფაქტორი: ძირითადად ინფორმაცია სისტემას მიეწოდება ბუნებრივ სალაპარაკო ენაზე წარმოდგენილი ტექსტების სახით და, რა თქმა უნდა, არასტრუქტურირებულად. რაც, პასუხის ძიებისას სისტემის მუშაობაში უნდა იყოს გათვალისწინებული, ბუნებრივი ენის თავისებურებებთან ერთად.

არასტრუქტურირებულ მონაცემებს არ გაჩნიათ მკვეთრად გამოხატული, კომპიუტერზე ადვილად რეალიზებადი სტრუქტურა, არ არსებობს კომპიუტერულად რეალიზებული წესები არც მორფოლოგიური, არც სინტაქსური და არც სემანტიკური დონის. თუმცა შემდგომში შესაძლებელია მოხდეს დოკუმენტებიდან სტრუქტურისა და სემანტიკის გამოყოფა. ამ გზით ხდება დოკუმენტების ბაზის ნახევრად-სტრუქტურირება. მართალია, ამ შემთხვევაში არ არსებობს რელაციური ცხრილები კონკრეტული ველებით, მაგრამ შესაძლებელია ე.წ. გასაღები სიტყვების საშუალებით მოხდეს მათი წარმოდგენა სტრუქტურირებულ ცხრილებში. არასტრუქტურირებული დოკუმენტები ამავე დროს შეიცავს სტრუქტურირებულ ნაწილებსაც, მაგ. მეტამონაცემებს (ავტორის გვარსა და სახელს, დიალოგის თემას, თარიღს და ა.შ.). პროგრამული უზრუნველყოფის ინსტრუმენტებით შესაძლებელია მოხდეს ამ სტრუქტურის ცალკეული ნაწილების ძებნა გასაღები სიტყვებით.

ზემოთ ჩამოთვლილი უპირატესობების და მარტივი ხელმისაწვდომობის გამო, გადაწყდა გამოგვეყენებინა ნეირონული ქსელის მოდელი და შეგვედარებინა უკანასკნელ წლებში პოპულარული ორი ალგორითმის: Recurrent Neural Networks და Seq2Seq, მუშაობის შედეგები.

Recurrent Neural Networks (RNN) წარმოადგენს ხელოვნური ნეირონული ქსელების კლასს, სადაც კავშირი კვანძებს შორის აფორმირებს მიმართულ (directed) და არამიმართულ (undirected) გრაფს დროებითი მიმდევრობის გასწვრივ. ეს საშუალებას აძლევს მას გამოავლინოს დროებითი დინამიკური ქცევა. შექმნილი ნეირონული ქსელის საფუძველზე პირდაპირი კავშირით RNN-ს შეუძლია გამოიყენოს თავიანთი შიდა მდგომარეობა (მეხსიერება) ცვლადი სიგრძის შემავალი მონაცემების დამუშავებისათვის. ეს ხდის გამოყენებადს ისეთი ამოცანების გადასაჭრელად, როგორცაა არასემანტიკური, დაკავშირებული ხელნაწერის ამოცნობა ან ხმის ამოცნობა. თეორიულად რეკურენტული ნეირონული ქსელები სრულია ტიურინგის მიხედვით და შეუძლიათ გაუშვან შემთხვევითი პროგრამები შემთხვევითი თანმიმდევრობის შემავალი მონაცემების დასამუშავებლად.

ტერმინი „რეკურენტული ნეირონული ქსელი“ გამოიყენება უსასრულო იმპულსური პასუხის მქონე ქსელების კლასთან მიმართებაში, RNN ალგორითმის შესახებ 2022 წლის მეორე ნახევრის ანგარიშშია მოთხრობილი. ახლა შევეხებით Seq2Seq ალგორითმს.

sequence-to-sequence, არის ნეირონული ქსელის არქიტექტურის ტიპი, რომელიც შექმნილია ცვლადი სიგრძის თანმიმდევრული მონაცემების დასამუშავებლად. იგი ჩვეულებრივ გამოიყენება ბუნებრივი ენის დამუშავების (NLP) ამოცანებში, როგორცაა მანქანური თარგმანი, მეტყველების ამოცნობა და ტექსტის რეზიუმირება.

seq2seq მოდელი შედგება ორი ნაწილისგან: ენკოდერი (შიფრატორი) და დეკოდერი. ენკოდერი იღებს შეყვანის თანმიმდევრობას და წარმოქმნის ფიქსირებული სიგრძის ვექტორს, რომელიც შემდეგ იკვებება დეკოდერში. დეკოდერი აწარმოებს გამომავალ თანმიმდევრობას, რომელიც დაფუძნებულია კოდირების გამოსახულებაზე.

შეყვანის და გამომავალი თანმიმდევრობები შეიძლება იყოს სხვადასხვა სიგრძის, რაც seq2seq-ს სასარგებლოს ხდის ისეთი ამოცანებისთვის, როგორცაა თარგმანი, სადაც შეყვანის

და გამომავალი ენების წინადადების შეიძლება ჰქონდეთ სხვადასხვა სიგრძე. Seq2seq ასევე შეუძლია გაუმკლავდეს ამოცანებს, სადაც შეყვანის თანმიმდევრობა უნდა გარდაიქმნას განსხვავებულ ფორმაში ან წარმოდგენაში, როგორცაა ტექსტის შეჯამება.

Seq2seq იყო პოპულარული არქიტექტურა NLP ამოცანებისთვის და გამოიყენებოდა ბევრ რეალურ აპლიკაციებში. მისი წარმატება შეიძლება მივაწეროთ მის უნარს, ეფექტურად აღიქვას შეყვანის თანმიმდევრობის კონტექსტური ინფორმაცია და გამოიმუშაოს მნიშვნელოვანი გამომავალი თანმიმდევრობები.

Seq2Seq ალგორითმი (sequence-to-sequence სიტყვის შემოკლება) წარმოადგენს ნეირონული ქსელის მოდელს, რომელიც გამოიყენება თანმიმდევრობის თანმიმდევრობასთან ასახვის პრობლემისათვის, სადაც შემავალი და გამომავალი თანამიმდევრობების სიგრძეები შეიძლება განსხვავდებოდეს ერთმანეთისაგან. იგი ასევე ცნობილია, როგორც encoder-decoder მოდელი.

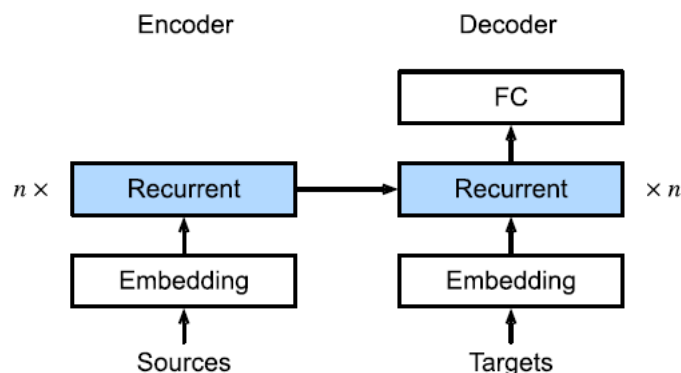
ალგორითმი შედგება ორი ძირითადი კომპონენტისაგან: ენკოდერისა და დეკოდერისაგან. ენკოდერი იღებს შემავალ თანმიმდევრობას და გარდაქმნის მას ფიქსირებული სიგრძის ვექტორში, რომელსაც ეწოდება “კონტექსტის ვექტორი”. ეს ვექტორი აკოდირებს შემომავალი თანმიმდევრობის მთლიან ინფორმაციას. შემდეგ კონტექსტური ვექტორი გადაეცემა დეკოდერს, რომელიც აგენერირებს გამომავალ თანმიმდევრობას კონტექსტური ვექტორისა და მანამდე დაგენერირებული გამომავალი სიგნალის საფუძველზე.



სურათი 1. Encoder-decoder

როგორც წესი, ენკოდერი არის რეკურენტული ნეირონული ქსელი, როგორცაა LSTM ან GRU, რომელიც ამუშავებს შემომავალ თანმიმდევრობას ერთ ტოკენად თითო ჯერზე მისი ფარული მდგომარეობის განახლებით ყოველ ბიჯზე. ენკოდერის საბოლოო ფარული მდგომარეობა გამოიყენება როგორც კონტექსტური ვექტორი.

დეკოდერი, ისევე როგორც ენკოდერი, როგორც წესი, წარმოადგენს რეკურენტულ ნეირონულ ქსელს, რომელიც იღებს კონტექსტურ ვექტორს და აგენერირებს გამომავალ თანმიმდევრობას ერთ ტოკენად თითო ჯერზე. დეკოდერი ინიციალიზდება სპეციალური ტოკენით, რომელიც მიუთითებს გამომავალი თანმიმდევრობის დასაწყისზე და აგენერირებს შემდგომ ტოკენების კონტექსტური ვექტორისა და წინად დაგენერირებული ტოკენების საფუძველზე, ეს სრულდება მანამ, სანამ არ დაგენერირდება სპეციალური ტოკენი, რომელიც მიუთითებს გამომავალი თანმიმდევრობის დასასრულზე.



სურათი 2. შრეები RNN encoder-decoder მოდელში.

სწავლებისას მოდელი ოპტიმიზირდება რათა შემცირდეს სხვაობა პროგნოზირებულ გამოძვალ და რეალურად მიღებულ გამოძვალ თანამიმდევრობებს შორის. ამისათვის გამოიყენება ისეთი ტექნიკები, როგორცაა ძალდამტანებელი მასწავლებელი ან სხვის მოძებნა. ძალდამტანებელი მასწავლებელი გულისხმობს რეალურად მიღებული გამოძვალი თანამიმდევრობის გამოყენებას როგორც დეკოდერის შემომავალი მონაცემებს ყოველ ბიჯზე, მაშინ როცა სხვის მოძებნა გულისხმობს რამდენიმე გზის შესწავლას გამოძვალი მიმდევრობის სივრცეში ყველაზე სავარაუდო თანამიმდევრობის მოსაძებნად.

Seq2seq არქიტექტურა იყო პოპულარული NLP ამოცანებისთვის და გამოიყენებოდა ბევრ რეალურ აპლიკაციებში. მისი წარმატება შეიძლება მივაწეროთ მის უნარს, ეფექტურად აღიქვას შემომავალი თანამიმდევრობის კონტექსტური ინფორმაცია და გამოიმუშაოს მნიშვნელოვანი გამოძვალი თანამიმდევრობები.

არსებობს seq2seq არქიტექტურის რამდენიმე ანალოგი, რომლებიც იზიარებენ გარკვეულ მსგავსებებს, მაგრამ ასევე აქვთ უნიკალური მახასიათებლები, რომლებიც განასხვავებენ მათ. აი ზოგიერთი მაგალითი:

ტრანსფორმერი (transformer): Transformer არის მანქანური სწავლების მოდელი, რომელმაც მოახდინა რევოლუცია ბუნებრივი ენის დამუშავების ამოცანებში. ის 2017 წლის ნაშრომში იქნა შემოღებული ვასვანის და სხვების მიერ. და მას შემდეგ გახდა ერთ-ერთი ყველაზე პოპულარული მოდელი ამოცანებისთვის, როგორცაა მანქანური თარგმანი, კითხვა-პასუხი და ტექსტის გენერაცია.

ტრანსფორმერის მოდელი დაფუძნებულია თვითყურადღების იდეაზე, რაც საშუალებას აძლევს მოდელს პროგნოზის გაკეთებისას აწონ-დაწონოს წინადადებაში სხვადასხვა სიტყვების მნიშვნელობა. ადრინდელი მოდელებისგან განსხვავებით, როგორცაა რეკურენტული ნეირონული ქსელები (RNN) და კონვოლუციური ნეირონული ქსელები (CNN), რომლებიც ამუშავებენ შემომავალს თანამიმდევრულად ან ფიქსირებული ზომის ფანჯრებში, ტრანსფორმატორის მოდელს შეუძლია შეყვანილი სიტყვების მთელი თანამიმდევრობის პარალელურად დამუშავება.

ტრანსფორმერის მოდელი შედგება ენკოდერისა და დეკოდერისგან. ენკოდერი იღებს შემომავალი თანამიმდევრობის ტოკენებს და აგენერირებს გამოძვალი ვექტორების ერთობლიობას, თითო შეყვანის ტოკენისთვის. თითოეული გამოძვალი ვექტორი არის შეყვანის ვექტორების შეწონილი ჯამი, წონებით განსაზღვრული თვითყურადღების მექანიზმით, რომელიც საშუალებას აძლევს მოდელს ფოკუსირება მოახდინოს შეყვანის მიმდევრობის ყველაზე შესაბამის ნაწილებზე.

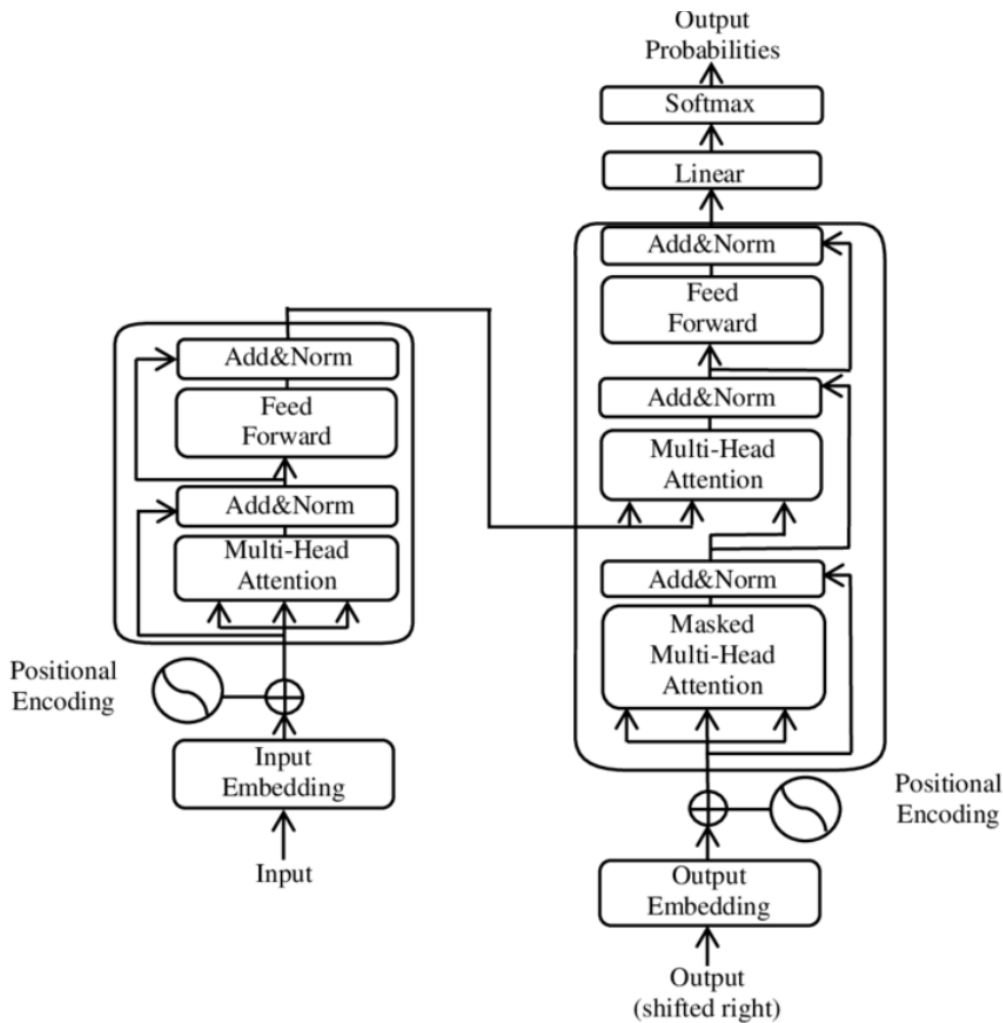
დეკოდერი იღებს გამოძვალ ვექტორებს ენკოდერიდან და წარმოქმნის გამოძვალი ტოკენების თანამიმდევრობას. ის ასევე იყენებს თავის ყურადღების მექანიზმს, რათა დადგინდეს შეყვანის თანამიმდევრობის რომელი ნაწილებია ყველაზე შესაძლო მიმდინარე გამოძვალი ტოკენისათვის.

ტრანსფორმერის მოდელის ერთ-ერთი მთავარი ინოვაციაა მრავალთავიანი ყურადღების გამოყენება (multi-head attention). ეს საშუალებას აძლევს მოდელს განიხილოს სხვადასხვა ურთიერთობები შემომავალი და გამოძვალი თანამიმდევრობებს შორის ერთდროულად. მაგალითად, მოდელს შეუძლია ყურადღება მიაქციოს როგორც სიტყვებს მოცემული სიტყვის წინ და მის შემდეგ, ასევე მთლიანობაში შეყვანის და გამოძვალი თანამიმდევრობების ურთიერთობას.

ტრანსფორმერის მოდელი ასევე მოიცავს ნარჩენ კავშირებს და ფენის ნორმალიზებას, რაც ხელს უწყობს სასწავლო პროცესის სტაბილიზაციას და მოდელის მუშაობის გაუმჯობესებას.

ტრანსფორმერის მოდელის ერთ-ერთი უპირატესობაა მისი ცვლადი სიგრძის შემომავალი და გამოძვალი თანამიმდევრობების დამუშავების უნარი. ეს განსაკუთრებით კარგად ერგება ამოცანებს, როგორცაა მანქანური თარგმანი, სადაც შემომავალი და გამოძვალი თანამიმდევრობების სიგრძე შეიძლება განსხვავდებოდეს თარგმნილი ენების მიხედვით.

ტრანსფორმერის მოდელმა მიაღწია თანამედროვე შედეგებს ბუნებრივი ენის დამუშავების ამოცანების ფართო სპექტრში და გახდა არჩევანის მოდელი ამ სფეროში მრავალი მკვლევარისთვის და პრაქტიკოსისთვის. მისმა წარმატებამ შთააგონა შემდგომი მოდელების სპექტრი, მათ შორის BERT მოდელი ენების წინასწარი სწავლების წარმოდგენისთვის და GPT მოდელების სერია ტექსტის გენერირებისთვის. ტრანსფორმერის მოდელმა გარდაქმნა ბუნებრივი ენების დამუშავების სფერო ცვლადი სიგრძის შემომავალი და გამომავალი თანმიმდევრობების უფრო ზუსტი და ეფექტური დამუშავებით. მისი ინოვაციური გამოყენება საკუთარ თავზე ყურადღების მიქცევისა და მრავალმხრივი ყურადღების ცენტრში გახდა მანქანური სწავლების თანამედროვე მოდელების ქვაკუთხედი და ის, სავარაუდოდ, შემდგომ წლებში იქნება კვლევისა და განვითარების ძირითადი სფერო.



სურათი 3. Transformer-ის არქიტექტურა

ავტოენკოდერი (autoencoder): Autoencoder არის ნეირონული ქსელის ტიპი, რომელიც ფართოდ გამოიყენებოდა უკონტროლო სასწავლო ამოცანებში, როგორცაა განზომილების შემცირება, ანომალიების გამოვლენა და მონაცემთა შეკუმშვა. ეს არის მარტივი, მაგრამ მძლავრი არქიტექტურა, რომელსაც შეუძლია ისწავლოს შეყვანის მონაცემების ეფექტური წარმოდგენა, ეტიკეტირებული ტრენინგის მონაცემების საჭიროების გარეშე.

ავტონეკოდერის ალგორითმი შედგება ორი ძირითადი კომპონენტისგან: ენკოდერისა და დეკოდერისგან. ენკოდერი ასახავს შემომავალ მონაცემებს ქვედა განზომილებაში, ხოლო დეკოდერი ასახავს დაშიფრულ მონაცემებს თავდაპირველ შეყვანის სივრცეში. ალგორითმის მიზანია შემომავალი და გამომავალი მონაცემების სხვაობის მინიმუმამდე შემცირება, რომელიც ცნობილია როგორც რეკონსტრუქციის შეცდომა.

ენკოდერისა და დეკოდერის კომპონენტები, როგორც წესი, დანერგილია როგორც ნეირონული ქსელები. ენკოდერი იღებს შემომავალ მონაცემებს და აწარმოებს ქვედა განზომილების წარმოდგენას, რომელსაც ჩვეულებრივ უწოდებენ ლატენტურ კოდს ან ბოთლს. დეკოდერი იღებს ლატენტურ კოდს და აწარმოებს გამომავალს, რომელიც მაქსიმალურად უნდა ემთხვეოდეს შემომავალ მონაცემებს. შემდეგ დეკოდერის გამომავალი შედარებულია შემომავალთან და რეკონსტრუქციის შეცდომა გამოიყენება როგორც დაკარგვის ფუნქცია ქსელის ოპტიმიზაციისთვის.

ავტონეკოდერის ალგორითმი შეიძლება გამოყენებულ იქნას სხვადასხვა ამოცანებისთვის, როგორცაა გამოსახულების და ვიდეოს შეკუმშვა, მეტყველების ამოცნობა და ბუნებრივი ენის დამუშავება. მაგალითად, გამოსახულების შეკუმშვის შემთხვევაში, ენკოდერი ასახავს გამოსახულების მაღალი განზომილებიანი პიქსელების მნიშვნელობებს ქვედა განზომილებაში, ხოლო დეკოდერი ასახავს შეკუმშულ გამოსახულებას თავდაპირველ სურათზე. შეყვანის მონაცემების ეფექტური წარმოდგენის შესწავლით, ავტონეკოდერს შეუძლია შეამციროს შეკუმშული მონაცემების შენახვის მოთხოვნები.

ავტონეკოდერის ალგორითმის ერთ-ერთი მთავარი უპირატესობაა მისი უნარი ისწავლოს შეყვანილი მონაცემების წარმოდგენა ეტიკეტირებული სასწავლო მონაცემების საჭიროების გარეშე. ეს ხდის მას განსაკუთრებით სასარგებლოს უკონტროლო სასწავლო ამოცანებისთვის, სადაც მიზანია მონაცემთა შაბლონების ან სტრუქტურის აღმოჩენა ეტიკეტების აშკარა ცოდნის გარეშე. ავტონეკოდერი ასევე შეიძლება გამოყენებულ იქნას ნახევრად ზედამხედველობით სწავლაში, სადაც ეტიკეტირებული მონაცემების მცირე რაოდენობა გამოიყენება ავტონეკოდერის მიერ ნასწავლი წარმოდგენის დასაზუსტებლად.

ავტონეკოდერის ალგორითმის კიდევ ერთი უპირატესობა მისი მოქნილობაა. ენკოდერი და დეკოდერი შეიძლება დაპროექტდეს ნებისმიერი ტიპის ნეირონული ქსელის არქიტექტურის გამოყენებით, დაწყებული მარტივი მიწოდების ქსელებიდან უფრო რთულ კონვოლუციურ და რეკურენტულ ქსელებამდე. ეს საშუალებას აძლევს ავტონეკოდერს ადაპტირდეს შეყვანის მონაცემთა ტიპებისა და აპლიკაციების ფართო სპექტრისთვის. ავტონეკოდერის ალგორითმი არის ძლიერი ინსტრუმენტი უკონტროლო სასწავლო ამოცანებისთვის, როგორცაა მონაცემთა შეკუმშვა და ანომალიების გამოვლენა. მისი უნარი ისწავლოს შეყვანის მონაცემების ეფექტური წარმოდგენები ეტიკეტირებული სასწავლო მონაცემების საჭიროების გარეშე, ხდის მას პოპულარულ არჩევანს სხვადასხვა აპლიკაციისთვის. დიდი მონაცემთა ნაკრებისა და მძლავრი გამოთვლითი რესურსების ხელმისაწვდომობის მზარდი ხელმისაწვდომობით, ავტონეკოდერის ალგორითმი, სავარაუდოდ, უფრო მნიშვნელოვან როლს შეასრულებს მანქანურ სწავლასა და ხელოვნურ ინტელექტში.

Convolutional Seq2seq. Convolutional Seq2seq არის ნეირონული ქსელის არქიტექტურა, რომელიც გამოიყენება sequence-to-sequence (seq2seq) სწავლისთვის, სადაც შემავალი და გამომავალი მიმდევრობები შეიძლება იყოს სხვადასხვა სიგრძის. იგი აერთიანებს კონვოლუციური ნეირონული ქსელების (CNN) და RNN-ების გამოყენებას თანმიმდევრული მონაცემების დასამუშავებლად და მოდელირებისთვის.

CNN-ები კარგად შეეფერება გამოსახულების და ვიდეო მონაცემებიდან ფუნქციების დამუშავებასა და ამოღებას, მაგრამ ისინი ასევე შეიძლება გამოყენებულ იქნას თანმიმდევრული მონაცემების დასამუშავებლად. CNN-ში კონვოლუციური ფენა იყენებს ფილტრების ერთობლიობას შეყვანის თანმიმდევრობაზე, აწარმოებს მეფინგების ერთობლიობას, რომლებიც ასახავს ლოკალურ შაბლონებს და ურთიერთობებს მიმდებარე ელემენტებს შორის თანმიმდევრობით. შემდეგ შესაძლებელია ამ მეფინგების გაერთიანება ან შემცირება რათა შემცირდეს შემომავალი თანმიმდევრობის განზომილება.

მეორეს მხრივ, RNN-ები კარგად არის მორგებული თანმიმდევრული დამოკიდებულებების და გრძელვადიანი დამოკიდებულების მოდელირებისთვის ელემენტებს შორის თანმიმდევრობით. RNN-ში, ქსელის ფარული (hidden) მდგომარეობა განახლდება ყოველ ბიჯზე, მიმდინარე ბიჯზე შემომავალი პარამეტრებისა და წინა ფარული მდგომარეობების საფუძველზე.

Convolutional Seq2seq არქიტექტურა აერთიანებს როგორც CNN-ების, ასევე RNN-ების ძლიერ მხარეებს. ამას აღწევს CNN-ის, როგორც ენკოდერისა და RNN-ის, როგორც დეკოდერის გამოყენებით. შემომავალი თანმიმდევრობა ჯერ გადადის კონვოლუციურ ფენაში ლოკალური მახასიათებლების ამოსაღებად, რომლებიც შემდეგ გადაეცემა RNN-ში თანმიმდევრული დამოკიდებულებების მოდელირებისთვის და გამომავალი თანმიმდევრობის შესაქმნელად. დეკოდერის საბოლოო გამომავალი შემდეგ გადადის softmax ფენაში, რათა მოხდეს ალბათობის განაწილება გამომავალი ლექსიკაზე.

კონვოლუციური ენკოდერის გამოყენება მოდელს საშუალებას აძლევს აითვისოს ლოკალური დამოკიდებულებები და შაბლონები შემომავალ თანმიმდევრობაში, ხოლო RNN დეკოდერი საშუალებას აძლევს მოდელს დაიჭიროს გრძელვადიანი დამოკიდებულებები და შექმნას გამომავალი ტოკენების თანმიმდევრობა, რომელიც დამოკიდებულია შემომავალ მთელ თანმიმდევრობაზე. Convolutional Seq2seq არქიტექტურა ეფექტურია სხვადასხვა NLP ამოცანებისთვის, მათ შორის მანქანური თარგმანის, მეტყველების ამოცნობისა და ტექსტის შეჯამებისთვის.

Convolutional Seq2seq არქიტექტურის ერთ-ერთი უპირატესობა ის არის, რომ მისი მომზადება და გაშვება უფრო სწრაფია, ვიდრე სხვა seq2seq არქიტექტურები, რომლებიც იყენებენ მხოლოდ RNN-ებს. ეს იმიტომ ხდება, რომ კონვოლუციური ფენების პარალელიზება შესაძლებელია მრავალ GPU-ზე, რაც სწრაფი დატრენინგების დროის საშუალებას იძლევა. გარდა ამისა, კონვოლუციური ფენების გამოყენებამ შეიძლება ხელი შეუწყოს გაქრობის გრადიენტის პრობლემის შემცირებას, რომელიც შეიძლება წარმოიშვას RNN-ებში, ვინაიდან გრადიენტული განახლებები კონვოლუციურ ფენაში დამოკიდებულია მხოლოდ ადგილობრივ მახასიათებლებზე და არა მთელ შემომავალ თანმიმდევრობაზე.

Convolutional Seq2seq არის ძლიერი ნეირონული ქსელის არქიტექტურა, რომელიც აერთიანებს CNN-ების და RNN-ების ძლიერ მხარეებს თანმიმდევრული მონაცემების დამუშავებისა და მოდელირებისთვის.

ის ეფექტურია სხვადასხვა NLP ამოცანებისთვის და შეიძლება იყოს უფრო სწრაფი დატრენინგების და გაშვების კუთხით სხვა seq2seq არქიტექტურებთან შედარებით. ვინაიდან NLP ამოცანების კომპლექსურობა სულ უფრო და უფრო იზრდება, Convolutional Seq2seq არქიტექტურა, სავარაუდოდ, გახდება უფრო მნიშვნელოვანი ინსტრუმენტი თანმიმდევრული მონაცემების დამუშავებისა და მოდელირებისთვის.

ეს არის მხოლოდ რამდენიმე მაგალითი სხვადასხვა seq2seq ანალოგებისა, რომლებიც შემუშავებულია. თითოეულ ამ მოდელს აქვს თავისი ძლიერი და სუსტი მხარეები და შეეფერება სხვადასხვა ტიპის შეყვანის მონაცემებსა და აპლიკაციებს.

როგორც ადრე არაერთხელ იყო აღნიშნული, ქართულენოვანი დიალოგური სისტემის შემუშავების დროს ძირითადი პრობლემაა ტექსტური მასალის სიმწირე. ჩვენს მიერ შერჩეული ორივე ალგორითმი იყენებს ე. წ. ღრმა დასწავლის მეთოდს და მათი ეფექტურობის ხარისხი, რა თქმა უნდა, დამოკიდებულია ქართულენოვანი კორპუსის სიდიდეზე.

ორივე ალგორითმისთვის, ამ ეტაპზე, ჩვენ მოვიპოვეთ GeWordNet – ქართული ვორდნეტიდან დაგენერირებული ტექსტი, რომელიც ავტომატურად იქნა შედგენილი ლექსიკონის ბაზიდან ცნებების და მათ განმარტებების გამოყენებით. დღესდღეობით ინგლისური WordNet-ის 207237 ცნებიდან სულ ნათარგმნია 3600. ეს ბაზა გავამდიდრეთ ინტერნეტიდან მოპოვებული სპორტული თემატიკის ტექსტების კორპუსით.

მოგვყავს ჩატარებული ექსპერიმენტების შედეგები:

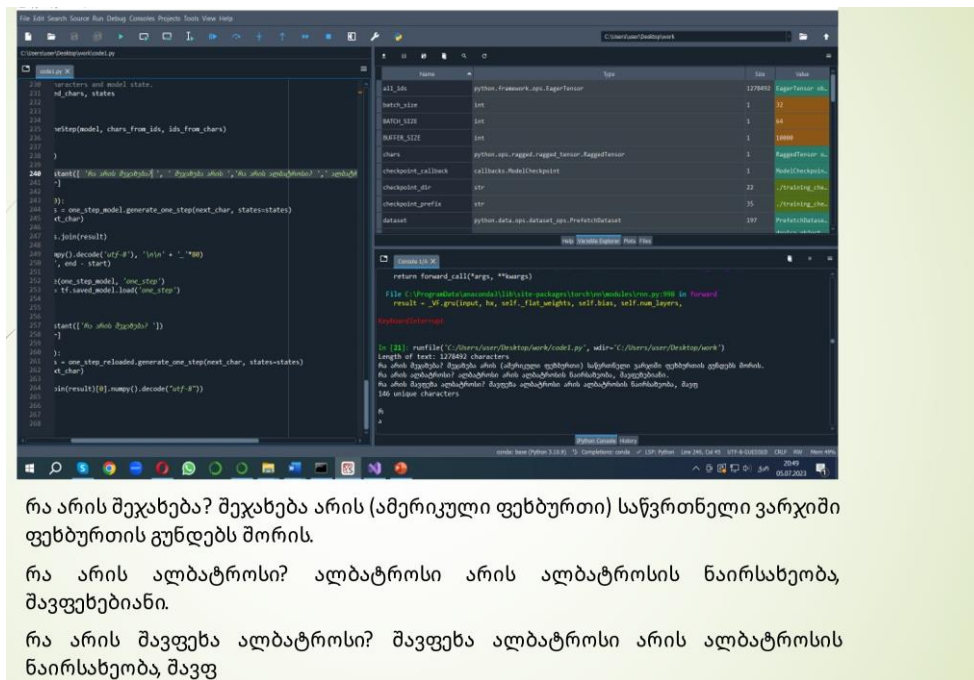
დალოგური სისტემის ანალიზატორის პროგრამული იმპლემენტაცია

RNN ალგორითმით დასწავლა გამოიყენეთ ტექსტების გენერირებისათვის. Intel(R) 2.20 GHz პროცესორიან კომპიუტერზე RNN ალგორითმმა დასწავლას 5 შრის შემთხვევაში მოახდინა 60წთ. როგორც სურ. 4-დან ჩანს, შედეგი არ იყო დამაკმაყოფილებელი.



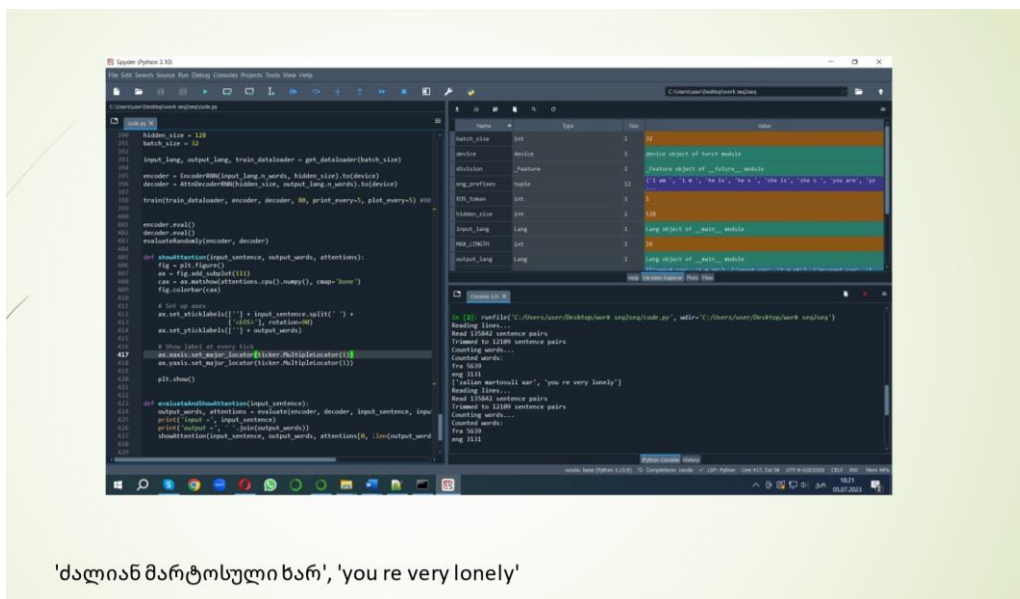
სურათი 4. 1 RNN ალგორითმით დასწავლის პირველი შედეგი (50 შრიანი დასწავლა)

შემდგომ გავზარდეთ შრეების რაოდენობა 50-მდე და შედეგიც საკმაოდ კარგი მივიღეთ. მაგრამ ალგორითმმა დასწავლას 10 საათი მოახდინა (იხ. სურ. 5)



სურათი 5. RNN ალგორითმით დასწავლის შედეგი 50 შრის შემთხვევაში.

პირველივე ცდებმა Seq2Seq ალგორითმით უკეთესი სურათი მოგვცა (იხ. სურ. 6), მაგრამ მისი გამოყენება შესაძლებელია მხოლოდ თარგმნისთვის და საწყისი ბაზის თემატიკასა და ზომიზება დამოკიდებული.



'ძალიან მარტოსული ხარ', 'you re very lonely'

სურათი 6. Seq2Seq ალგორითმით დასწავლის შედეგი.

საბოლოოდ შეიძლება დავასკვნათ, რომ გეგორდნეტის ბაზის სრული ქართული თარგმნით და ამ ორი ალგორითმის გამოყენებით შეგვიძლია ისე დავხვეწოთ ჩვენი დიალოგური სისტემა, რომ მან შეძლოს კონკურენცია გაუწიოს მის ინგლისურენოვან ანალოგებს.

Software implementation of dialog system analyzer

Manvel Kloyan, Liana Lortkipanidze

Summary

The article discusses the methods, models and algorithms used for the software implementation of the dialogue system. On the example of the neural network model, two algorithms are compared: "recurrent neural network" - RNN (Recurrent Neural Networks) and the so-called Seq2Seq (sequence of pairs) performance results. Due to the scarcity of Georgian-language textual material, we used GeWordNet - texts generated from the Georgian wordnet and corpus of sports-themed texts to enrich the database. Experiments have shown that by fully translating the GeWordNet database into Georgian and using these two algorithms, we can improve our dialogue system so that it can compete with its English counterparts.

Программная реализация анализатора диалоговых систем

Манвел Клоян, Лиана Лорткипанидзе

Резюме

В статье рассматриваются методы, модели и алгоритмы программной реализации диалоговой системы. На примере нейросетевой модели сравниваются два алгоритма: «рекуррентная нейронная сеть» — RNN (recurrent neuro networks) и т. н. Seq2Seq

(последовательность пар). В связи с отсутствием текстового материала на грузинском языке для пополнения базы данных мы использовали GeWordNet – тексты, сгенерированные из сети грузинских слов, и корпус текстов спортивной тематики. Эксперименты показали, что, полностью переведя базу данных GeWordNet на грузинский язык и используя эти два алгоритма, мы можем улучшить разговорную систему, чтобы конкурировать с ее английскими аналогами.

ლიტერატურა – References – Литература

1. Foundations of Statistical Natural Language Processing. Christopher D. Manning, Henrich Shutze. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, London, England, 1999, ISBN: 0-262-13360-1
2. Applied Text Analysis with Python. Enabling Language-Aware Data Products with Machine Learning. Benjamin Bengfort, Rebecca Bilbro, and Tony Ojeda, 2018, ISBN: 978-1-491-96304-3.
3. Natural Language Processing in Action. Hobson Lane, Cole Howard, Hannes Max Hapke, 2019. ISBN: 978-1-617-29463-1.
4. The Handbook of Computational Linguistics and Natural Language Processing. Alexander Clark, Chris Fox, and Shalom Lappin , 2010. ISBN: 978-1-4051-5581-6.
5. Algorithm Inspection for Chatbot Performance Evaluation. Vijayaraghavan V., Jack Brian Cooper, Rian Leevinson J.. Third international conference on Computing and Network Communications, 2020.
6. https://en.wikipedia.org/wiki/Autoregressive_model
7. <https://keras.io/>
8. <https://towardsdatascience.com/lstm-networks-a-detailed-explanation-8fae6aefc7f9>
9. <http://dprogrammer.org/rnn-lstm-gru>

Adjectives in English and Georgian languages

Nino Amirezashvili

ninomaskh@yahoo.com

Summary

In the article grammatical categories typical for Georgian and English adjectives and their characteristics have been discussed. We delve into the various derivation suffixes commonly used in English and Georgian adjectives, analyzing their meanings, examples, and usage patterns. By attaching specific suffixes to the end of a base word, we can create new adjectives that convey different meanings, nuances, and grammatical functions. By exploring this topic, readers will gain a deeper appreciation for the richness and versatility of these languages.

The classification characteristics used in the paper and their corresponding tags are based on the international coding standard EAGLES (Expert Advisory Group on Language Engineering Standards).

Key words

Adjectives, tags, grammatical categories

In the article grammatical categories typical for Georgian and English adjectives and their characteristics have been discussed. We delve into the various derivation suffixes commonly used in English and Georgian adjectives, analyzing their meanings, examples, and usage patterns. By exploring this topic, readers will gain a deeper appreciation for the richness and versatility of these languages.

One of the important issues is to determine the correspondence between Georgian and English characteristics. It is shown the categories which are carried by the Georgian adjectives and, if they are not present in English, how such forms are compensated during translation.

The classification characteristics used in the paper and their corresponding tags are based on the international coding standard EAGLES (Expert Advisory Group on Language Engineering Standards).

The discussed examples are taken from the Georgian-English corpus available to us (corp.dict.ge).

In English the adjective has no inflexions for case, number and gender:

a good student – ‘kargi studenti’

good students – ‘kargi studentebi’

a clever boy – ‘čkviani biči’

a clever girl – ‘čkviani gogo’.

In Georgian the adjective has a category of number and case:

‘mčvaneebi’ - green

‘šavma’ - black

‘šavs’ - black etc.

In English there are three types of adjectives according to the content:

1. Qualitative adjectives which denote different qualities of a thing: *big – ‘didi’, silly – ‘suleli’, deep – ‘yrma’, long – ‘grželi’;*
2. Quantitative adjectives which denote different indefinite of a thing: *much – ‘bevri’, little – ‘cota’, many – ‘bevri’;*

3. Relative adjectives denote different qualities of any thing through their relation to other things: *milky* - 'r3iani', *Indian* - 'indieli', *daily* - 'qoveldyiuri'

In English as well as in Georgian adjectives can be adverbial and relative.

The primary adjectives are adverbial: *big*, *white*, *bitter*, *long*, etc.

Comparisons

Adverbial adjectives have degrees of comparison. In English there are three degrees of comparison: the positive, the comparative and the superlative. The comparative and the superlative degrees are formed by adding -er (in the comparative) and -est (in the superlative) for adjectives of one syllable, and by adding more (in the comparative) and most (in the superlative) for two or more syllable.

Positive	Comparative	Superlative
<i>tall</i> - 'maYali'	<i>taller</i> - 'ufro maYali'	<i>the tallest</i> - 'umaylesi'
<i>dark</i> - 'bneli'	<i>darker</i> - 'ufro bneli'	<i>the darkest</i> - 'ubnelesi'
<i>difficult</i> - '3neli'	<i>more difficult</i> - 'ufro 3neli'	<i>the most difficult</i> - 'u3nelesi'

Adverbial adjectives in Georgian have comparative degrees as well, but they are a bit different from English ones. The primary form is positive: 'gr3eli' - *long*, the second form is less than it 'mogr3o' - *longish* and the third form is superlative: 'ugr3esi' - *the longest*.

The forms have their own producers: mo- -o and u - es.

To express comparative degree in Georgian, we have two ways:

1. The construction "more + adjective":

'ufro didi' - *bigger*, 'ufro saintereso' - *more interesting* and

2. The comparable word in Adverbial case with -ze preposition:

'am amocanaze 3neli' - *more difficult than this task*, 'xeze maYali' - *higher than the tree*.

In English before comparatives we can use much, a lot, far, a bit, a little, slightly.

Let's go by car. It's much cheaper - 'modi manqanit çavidet. Gacilebit iafia'.

Could you speak a bit more slowly? - 'şeg3lia cota nela isaubro?'

This bag is slightly heavier than the other one. - 'es çanta odnav ufro m3imea vidre meore'.

Don't go by train. It's a lot more expensive. - 'ar çaxvide matareblit. Es bevrad ufro 3viria'

Her illness was far more serious than we thought at first. - 'misi avadmçofoba bevrad ufro seriozuli iqo, vidre tavidan gvegona'.

In both languages we repeat comparatives like this to say that something is changing continuously:

Your English is improving. It's getting better and better. - 'tqveni inglisuri umjobesdeba. Is ufro da ufro uketesdeba'.

These days more and more people are learning English. - 'am dyeebşi sul meti da meti xalxi şçavlobs inglisurs'.

Constructions with Comparisons

Comparison of equal things is expressed by the construction "as" + adjective (in the positive degree) + "as":

This book is as interesting as that one. - 'es çigni isetive saintereso, rogorc is'.

Comparison of unequal degree of quality is expressed by the construction "so"/"as" + adjective (in the positive degree) + "as":

This rope is not so/as long as that one. - 'es toki iseti gr3eli ar aris, rogorc is'.

In English it is often used a construction like in these examples:

What time shall we leave? - The sooner the better. - 'ra dros gavidet? - rac male, mit ufro uketes'.

The younger you are, the easier it is to learn. - 'rac ufro axalgazrda xar, mit ufro advilia şçavla'.

The more expensive the hotel, the better the service. – ‘rac ufro 3viria sastumro, mit ufro kargia momsaxureba’.

Functions of adjectives

The adjective may be an attribute to the noun. In this case it is placed before the noun:

A little girl – ‘patara gogo’

The adjective may be a named part of a compiled predicative. In this case it is placed after the link-verb:

Today the sea is calm. – ‘dyes zy va çqnaria’.

Some adjectives are used as nouns. In this case the definite article is placed before them.

Adjective

rich – ‘mdidari’

poor – ‘yaribi’

Noun

the Rich – ‘mdidrebi’

the poor – ‘yaribebi’

Relative adjectives

The definition of the relative adjective in Georgian is the same as in English. An adjective is relative if the sign of the object it expresses is implicit in relation to other object: *solar- ‘mziani’, mossy - ‘xansiani’, beastly - ‘mxecuri’, etc.*

In English, adjectives can be derived through various processes. Here are some common types of adjective derivation:

1. Suffixation: Adding a suffix to a base word is a common way to derive adjectives in English. For example:

"-able" or "-ible": e.g., *comfortable-‘komfortuli’, visible-‘xilvadi’.*

"-al" or "-ial": e.g., *cultural-‘kulturuli’, celestial-‘zeciuri’.*

"-ous" or "-ious": e.g., *adventurous-‘gambedavi’, curious-‘cnobismoyvare’.*

"-y": e.g., *sunny- ‘mziani’, windy- ‘qariani’.*

2. Prefixation: Adding a prefix to a base word can also result in adjective derivation. Some examples include:

"un-": e.g., *unhappy-‘ubeduri’, unclear-‘gaugebari’.*

"non-": e.g., *nonstop-‘uçyveti’, nonviolent-‘ara3aladobrivi’.*

"in-": e.g., *incomplete-‘arasruli’, insecure-‘arasaimedo’.*

3. Conversion: This process involves converting a word from one part of speech to another without adding any affixes. Nouns and verbs can be converted into adjectives. For example:

Noun to adjective: e.g., *economic (from economy), cultural (from culture).*

Verb to adjective: e.g., *interesting (from interest), exciting (from excite).*

4. Compound adjectives: Adjectives can be formed by combining two or more words. Some examples include:

Noun + noun: e.g., *time-consuming- ‘šromatevadi’, ice-cold-‘yinulivit civi’.*

Adjective + noun: e.g., *long-lasting-‘xangr3livi’, high-pitched-‘maçalsixširiani’.*

Adverb + adjective: e.g., *well-known-‘cnobili’, highly-regarded-‘çrmadpativcemuli’.*

5. Back-formation: This process involves creating a new adjective by removing what appears to be a suffix from an existing word. For example:

Donation (noun) -> donate (verb) -> donative (adjective).

Editor (noun) -> edit (verb) -> editorial (adjective).

Suffixes play a crucial role in deriving adjectives from base words in English. By attaching specific suffixes to the end of a base word, we can create new adjectives that convey different meanings, nuances, and grammatical functions. The use of derivation suffixes allows for vocabulary expansion and adds versatility to the English language. Here are some key roles that suffixes play in deriving adjectives:

1. Expressing Characteristics and Qualities: Many suffixes help create adjectives that describe the characteristic or quality of a noun or a subject. For example, the suffixes "-ful" and "-less" can be

added to nouns to create adjectives expressing presence or absence of a particular quality. Consider the transformation of "care" to "careful" or "fear" to "fearless," where the suffixes modify the nouns into adjectives describing the level of care or presence of fear.

As for the outcome, Madison was more hopeful of the control thereof. (A Der)

‘Rac šeexeba šedegebis controls, aq medisoni ufro imediani gaxldat’. (A Der Pos Sg Nom)

Trabo does not believe either in “manless” society, or the women- warriors! (A Der)

‘Strabons arc “ukaco” sazogadoebisa da arc qalta meomrobisa ar sžera!’ (A Der Npos Sg Gen)

In Georgian possessive adjective production suffixes are:

-ian (‘*qvavili* -> *qvavil-iani*’ - *flower*->*flower-ed*);

-ier (‘*madli* -> *madl-ieri*’ - *grate* -> *grate-ful*);

-ovan (‘*fena* -> *fen-ovani*’ - *layer* -> *layer-ed*);

-osan (‘*fexi* -> *fex-osani*’ - *foot* -> *pedestrian*);

-ed (‘*užra* -> *užr-edi*’ - *box* -> *cell*);

-a (‘*orçveri* -> *orçver-a*’ - *two-pointed* -> *double-ender*).

The most active producer of possessive adjectives is the suffix -ian. It can be attached to a large number of nouns, so dictionaries often include only a part of such adjectives. If the meaning of this type of adjective is not included in the dictionary, often during machine translation, we get a wrong translation. English possessive forms corresponding to Georgian are produced by adding the following suffixes to the corresponding noun:

-ed (‘*çveri* -> *çveriani*’ - *beard* - *bearded*),

-y (‘*sisxli* -> *sisxliani*’ - *blood* - *bloody*),

-ful (‘*imedi* -> *imediani*’ - *hope* - *hopeful*)

and very often by construction “with + noun”.

(‘*çiteltmiani gogona*’ - *a girl with red hair*).

2. Indicating Possession or Abundance: Certain suffixes convey the idea of possession or abundance when attached to a noun. The suffix "-ous" can be used to indicate possession or fullness of a particular characteristic, such as transforming "danger" into "dangerous" or "glamor" into "glamorous." These suffixes help express the extent or abundance of a quality associated with the base word.

It was evidenced by a 5th cent. A.D. anonymous historical source Pontus Periplus. (A Der)

‘Amas moçmobs axali çeltayricxvis V saukuneši šedgenili anonimuri istoriuli çyaro “pontus periplusi”.’ (A Der Sg Nom)

3. Signifying Similarity or Resemblance: Suffixes like "-ish" and "-like" are commonly used to create adjectives that convey similarity or resemblance to a particular noun. For instance, "child" becomes "childish," indicating behavior or qualities resembling those of a child. Similarly, "cat" becomes "catlike," suggesting traits or behaviors reminiscent of a cat.

Parnaos got accustomed to thinking about the secret and outgrew his childish naivety. (A Der)

‘Farnaozi saidumloze fiqrs miečvia da bav švuri gulupryviloba dahkarga’ (A Der Sg Nom)

4. Denoting Capability or Potential: Some suffixes indicate the capability or potential of a noun or subject. For example, the suffixes "-able" and "-ible" are often added to base words to create adjectives indicating the ability or capacity to do something. Consider the transformation of "understand" to "understandable" or "perceive" to "perceptible," where the suffixes convey the capacity to be understood or perceived.

The hypothesis is advanced on the occurrence of considerable manganese accumulations in the area in question. (A Der)

‘Rionis deltis raionši marganecis mnišvnelovani dagrovebis arsebobaze’. (A Der Sg Nom)

5. Expressing Tendency or Inclination: Certain suffixes can convey a sense of tendency or inclination associated with a noun. The suffixes "-y" and "-ly" are often used to create adjectives expressing such tendencies. For instance, "rain" becomes "rainy," indicating a tendency for rain, while "quick" becomes "quickly," suggesting the manner or speed of an action.

The land was rugged and in the coastal zone shady valleys and open flood-plains existed. (A Der)

'Xmeleti danaçevrebuli iyo. Sanapiro zolši arsebobda çrdiliani xeobebi da gašlili çalebi'. (A Der Pos Sg Nom)

To produce nonpossessive relative adjectives in the Georgian language the following morphemes are used:

- u-o ('çveri -> u-çver-o' -beard - beardless),
- u-ur/-ul ('bedi -> u-bed-uri' -luck-luckless).

Currently in modern Georgian the only producer is u-o circumfix.

In English we have:-less, un-, im-, in-. Georgian prefix non- was rendered in English by un-, in-, il- prefixes.

(*'ara-bunebrivi' - unnatural, 'ara-adamianuri' - inhuman, 'ara-legaluri' - illegal*).

Assignment relative adjectives are produced with following affixes:

- sa-e ('kaba -> sa-kab-e' - dress - material for dress),
- sa-o ('eqimi -> sa-ekim-o' -doctor - medical),
- sa-ur ('maça -> sa-maç-uri' - wrist - wristband).

Only sa-o circumfix is productive as an adjective producer in modern Georgian. Its English equivalent can be expressed by adding suffixes to the corresponding noun:

- Ø ('sabavšvo anabari' - child deposit),
- 's possessive form ('sabavšvo literatura' - children's literature),
- al ('saeqimo person-ali' - medical personnel),
- able ('sa-sacil-o' - laugh-able),
- ing ('sa-cura-o' - swimm-ing).

Productive producing suffixes of property relative adjectives are -ur/-ul; In English we have:

- al ('komiçuri' - comic-al),
- ial ('finansuri' - financ-ial),
- ly ('kacuri' - man-ly),
- ish ('bavšv-uri' - child-ish),
- ic ('tragik-uli' - trag-ic),
- some ('problem-uri' - trouble-some),
- ous ('anonym-uri' - anonym-ous).

Negative relative adjectives in Georgian are expressed by the prefix - ara-. In English we have:

dis- (*dis-agreeable - 'ara-sasiamovno'*) and un- (*un-reliable - 'ara-saimedo'*).

By exploring this topic, readers will gain a deeper appreciation for the richness and versatility of English and Georgian languages.

ზედსართავი სახელები ინგლისურ და ქართულ ენებში

ნ. ამირეზაშვილი

რეზიუმე

სტატიაში განხილულია ქართული და ინგლისური ზედსართავებისთვის დამახასიათებელი გრამატიკული კატეგორიები და მათი მახასიათებლები. ვიკვლევთ სხვადასხვა წარმოშობის სუფიქსებს, რომლებიც ჩვეულებრივ გამოიყენება ინგლისურ და ქართულ ზედსართავებში, ვაანალიზებთ მათ მნიშვნელობას, მაგალითებს და გამოყენების ნიმუშებს. ძირითადი სიტყვის ბოლოს კონკრეტული სუფიქსების დართვით, შეგვიძლია ვაწარმოთ ახალი ზედსართავი სახელები, რომლებიც გადმოსცემენ საგნის სხვადასხვა მნიშვნელობას, ნიუანსს და გრამატიკულ ფუნქციებს. ამ თემის შესწავლით, მკითხველი

უფრო ღრმად შეაფასებს ინგლისური და ქართული ენების სიმდიდრესა და მრავალფეროვნებას.

ნაშრომში გამოყენებული კლასიფიკაციის მახასიათებლები და მათი შესაბამისი ტეგები ეფუძნება კოდირების საერთაშორისო სტანდარტს EAGLES (ენის საინჟინრო სტანდარტების საექსპერტო საკონსულტაციო ჯგუფი).

Прилагательные в английском и грузинском языках

Н. Амirezашვილი

Резюме

В статье рассматриваются грамматические категории и их характеристики типичные для грузинских и английских прилагательных. Мы исследуем суффиксы различного происхождения, обычно используемые в английских и грузинских прилагательных, анализируя их значение, примеры и модели употребления. Добавляя определенные суффиксы к концу основного слова, мы можем производить новые прилагательные, которые передают различные значения, нюансы и грамматические функции предмета. Изучая эту тему, читатель глубже оценит богатство и разнообразие английского и грузинского языков.

Классификационные признаки, использованные в статье, и соответствующие им теги основаны на международном стандарте кодирования EAGLES (Экспертная консультативная группа по стандартам языковой инженерии).

ლიტერატურა – References – Литература

1. <http://www.ilc.cnr.it/EAGLES/home.html>
2. შანიძე ა., ქართული ენის გრამატიკის საფუძვლები, თბილისი 1973,
3. Collins English Dictionary
4. პარალელური კორპუსი <https://corp.dict.ge/>

This work was supported by Shota Rustaveli National Science Foundation of Georgia (SRNSFG) under the grant FR-21-3509

ზოგიერთი არათვლადი არსებითი სახელის მრავლობითი რიცხვის წარმოების საკითხები და მათი შესაბამისობები ქართულსა და ინგლისურში

ლიანა სამსონაძე

liasams@yahoo.com

რეზიუმე

ნაშრომში განხილულია ზოგიერთი არათვლადი არსებითი სახელის მრავლობითი რიცხვის წარმოების საკითხები და მათი შესაბამისობები ქართულსა და ინგლისურში. ენობრივი მოვლენები გარკვეულ კანონზომიერებას ექვემდებარება, მაგრამ ზოგადი წესების გვერდით, არსებობს გამონაკლისებიც. ეს ეხება ისეთ არსებით სახელებს, რომლებიც არ დაითვლება, მაგრამ მათი მრავლობით რიცხვში ხმარება უკვე დამკვიდრებულია და არცთუ უმართებულოდ. მაგალითად, ნივთიერებათა სახელები, რომელთაც მრავლობითი რიცხვი არა აქვთ, მაგრამ იხმარება მინერალური წყლები, ქართული ღვინოები, ოქროების ზარდახშა, ხალხების ერთობა და ა.შ. განხილულია ანალოგიური საკითხი ინგლისურ შესატყვისობებთან დაკავშირებით.

საილუსტრაციოდ მოყვანილია რამდენიმე მაგალითი ორენოვანი (ინგლისურ-ქართული) კორპუსიდან.

საკვანძო სიტყვები:

არათვლადი არსებითი სახელები, მრავლობითის წარმოება, ტეგები

ქართული ენის გრამატიკა მსოფლიოში არსებული ენების უმრავლესობისგან არაერთი ფაქტორით განსხვავდება, მაგრამ უმთავრესი მაინც მორფოლოგიაა. მორფოლოგიური პარადიგმა წარმოადგენს სიტყვის ყველა სიტყვაფორმის ერთ სისტემაში გაერთიანებას. ქართულში მორფოლოგიური პარადიგმა სიტყვის მხოლობით და მრავლობით რიცხვში შვიდივე ბრუნვის ნიშნისა და ყველა თანდებულისა და ნაწილაკის დართვის შედეგად მიიღება. მორფოლოგიური ხასიათის პრობლემები უმეტესად მორფოლოგიის დონეზევე წყდება, მაგრამ ზოგჯერ ამ დონის მონაცემები არ კმარა ზოგიერთი სიტყვის სწორი ფორმების ჩამოსაყალიბებლად.

ენობრივი მოვლენები გარკვეულ კანონზომიერებას ექვემდებარება, მაგრამ ზოგადი წესების გვერდით, არსებობს გამონაკლისებიც. ამიტომ, სირთულის მოსახსნელად ლექსიკონის შემდგენელი-ექსპერტი ხშირად მიმართავს სხვა დონეებს – სინტაქსურს, სემანტიკურს, ხალხში ხშირად ხმარებულს, შეიძლება არასწორად წარმოებულს, მაგრამ უკვე დამკვიდრებულს. ლექსიკონის ბაზა, ამჯერად ქართულის, ისე უნდა იყოს სრულყოფილად აღწერილი, რომ მისი გამოყენება შეიძლებოდეს არა მხოლოდ ქართულ-ინგლისური ლექსიკონისთვის, არამედ ყველა ენისათვის.

ყურადღებას გავამახვილებთ ზოგიერთი არსებითი სახელის მრავლობითი რიცხვის წარმოების საკითხზე. გავიხსენოთ განმარტება: გრამატიკული რიცხვი სახელისა არის ფორმა, რომელიც გვაგებინებს საგანი ერთია (მხოლობითი) თუ ერთზე მეტია (მრავლობითი) .“ისეთ სახელს კი, რომელიც არ დაითვლება, გრამატიკული რიცხვის გაგება არ ახლავს; ასეთებია: ჰაერი, ნაცარი, ფიჩხი, რძე და მისთ... ეს სახელები მხოლოდ ფორმით არიან მხოლობითი, თორემ, საპირისპირო მრავლობითის უქონლობის გამო, ბევრიდან ერთგვალ საგნად არ გამოიყოფიან და ამიტომ მათს “მხოლობითის ფორმას” არ ახლავს ერთის გაგების შინაარსი და, მამასადაძე, არსებითად ისინი ურიცხვო სახელებია” [1].

მაგრამ, როგორ მოვიქცეთ იმ შემთხვევებში, როდესაც გვხვდება ბევრი ისეთი არსებითი სახელი, რომელიც არ დაითვლება, მაგრამ მათი მრავლობით რიცხვში ხმარება უკვე დამკვიდრებულია და არცთუ უმართებულოდ. აქ, როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, ხან სემანტიკა ჩაერთვება, ხან მხატვრული გამონათქვამი, ხან კი თანამედროვე ქართულში უკვე ფეხმოკიდებული “ახლებური მეტყველება” (ყარგონი), რომელსაც გვერდს ვერ ავუვლით.

ჩვენი მიზანია, განვიხილოთ როგორი შესაბამისობა აქვთ ასეთ, არათვლად სახელებს ინგლისურ ენაში; შეესაბამება თუ არა ინგლისური გრამატიკის ეს ნაწილი ქართული გრამატიკის წესებს, ან რა განსხვავებაა მათ შორის.

ვიცით, რომ ნივთიერებათა სახელებს მრავლობითი რიცხვი არ აქვთ, მაგრამ ვხმარობთ –*მინერალური წყლები, ქართული ღვინოები, ნახშირწყლები, სითხეები* და ა.შ. მართალია, აქ მხედველობაში აქვთ სხვადასხვა მინერალური წყალი, სხვადასხვა მარკის ღვინო და ა.შ., მაგრამ, როდესაც გვინდა ყველა არსებული ფორმის მორფოლოგიური პარადიგმის აგება, მაშინ წესი, რომ ნივთიერებათა სახელებს მრავლობითი რიცხვი არა აქვთ – არ გამოგვადგება. როგორც ვნახეთ, ეს საკითხი უმთავრესად, ზოგიერთი გამონაკლისის გარდა, იგივენაირად დგას ინგლისურ ენაშიც.

პარალელური კორპუსის მოთხოვნების მიხედვით, იგი უნდა შეიცავდეს ორიგინალური (ბუნებრივი) ენის მონაცემებს; უნდა იყოს წარმომადგენლობითი, ანუ შეიცავდეს განსხვავებული ტიპის დეტალებს; ამასთან, ეს ორი ტექსტი ისე უნდა იყოს ერთმანეთის მიმართ გათანაბრებული, რომ ორიგინალის თითოეული ფრაგმენტი ემთხვეოდეს თარგმანის შესაბამის ფრაგმენტს. სწორედ ეს გვამღევეს პარალელური კორპუსების კვლევის ინსტრუმენტად გამოყენების საშუალებას. ინგლისურ ლექსიკასთან შესაბამისობის მოსაძებნად დავიხმარეთ ინგლისურ-ქართული პარალელური კორპუსი [2]. ანალიზისთვის შევარჩიეთ რამდენიმე ფრაზა, რომელიც შეიცავს არათვლადი სიტყვების მრავლობითის წარმოების ქართულ-ინგლისური თარგმანის მაგალითებს და თვალსაჩინოებისთვის გამოვიყენეთ შესაბამისი მორფოლოგიური ტეგები [3].

– ტალახის ვულკანების წყლების [N, Mat, Pl, Gen] ზოგიერთი თავისებურების შესახებ.

On some peculiarities of the waters [N, Mat, Pl, Gen] of Georgian mud volcanoes.

– ზედაპირულ წყლებში [N, Mat, Pl, Dat, Shi] ზოგიერთი მიკროელემენტის ფორმების შესახებ.

Concerning the forms of some microelements in [Prep] the [Art] surface waters [N, Mat, Pl] of Georgia.

წინადადებაში, „გამოფენაზე წაიღეს ქართული ღვინოები“, ვგულისხმობთ სხვადასხვა მარკის ღვინოს, მაგრამ მორფოლოგიურად წესისგან გადახვევა გვჭირდება.

– „არგონავტიკაში“ წერია: საქართველოს (კოლხეთის) ღვინოები [N, Mat, Pl, Nom] ოლიმპოს ღმერთების სასმელიაო.

We read in the Argonautica that Georgian (Colchian) wines [N, Mat, Pl] are the drink of the gods of Olympus.

როდესაც დიეტოლოგი ნატურალური წვენების დალევას გვირჩევს – იგულისხმება სხვადასხვა სახეობის წვენი. იგივეა სითხეების შემთხვევაშიც:

– სითხეების [N, Mat, Pl, Gen] გაზავება ან კონცენტრირება.

Dilution or concentration of liquids [N, Mat, Pl, Gen]

– სითხეები [N, Mat, Pl, Nom] ელექტრონული სიგარეტით მოხმარებისთვის.

Liquids [N, Mat, Pl] used for electronic cigarettes.

– იდენტიფიცირებული სითხეები.

Identified Liquids [N, Mat, Pl].

სიტყვას „ჩაი“, როდესაც ჩაის სახეობები იგულისხმება (ისევე როგორც წყლები, ღვინოები) ინგლისურისგან განსხვავებით, ქართულში არა აქვს მრავლობითის ფორმა:

– ყველა ეს ჩაი [N, Mat, Sg, Nom] დამატებით კლასიფიცირდება დამზადების ტექნოლოგიის, ხარისხის, გამოყენებული ნედლეულისა და დამზადების ადგილმდებარეობის მიხედვით.

All these teas [N, Mat, Pl] undergo additional classification according to aspects of technology, quality, raw product used and place of production.

– კოლორიმეტრიული მიკრომეთოდის გამოყენებით გამოკვლეულია სხვადასხვა წარმოშობის შავი ჩაის [N, Mat, Sg, Gen] ტერპენული ნაერთები.

The terpene compounds of black teas [N, Mat, Pl, Gen] of different origin and quality have been studied by a colorimetric microtechnique.

– ტერმინების ასეთივე აღრევას ვხვდებით იუნან-ის სხვა თეთრი ჩაის [N, Mat, Sg, Gen] შემთხვევაშიც.

I have noticed the similar confusion a few times in the usage of terms for Unan white teas [N, Mat, Pl, Gen] characteristics.

ქართულ მეტყველებაში ხშირად ოქროთი დამზადებულ სამკაულებს ან სხვადასხვა ნივთებს – ოქროებს უწოდებენ. ამან განაპირობა მისი (არა როგორც ნივთიერების) მრავლობითში ხმარება. მაგალითად, „ოქროების შესანახად ლამაზი ზარდახმა იყიდება“ ალბათ, ლაპარაკია ოქროს სამკაულებზე. ქართულისგან განსხვავებით, „ოქრო“ – “gold“ ინგლისურში ყველგან მხოლობითში გვხვდება:

– დედა კი სახეში მიახლიდა ოქროებით [N, Mat, Pl, Ins] გაძიძგულ ქისას.

Mother would then fling the purse stuffed with [Prep] gold [N, Mat, Sg] in his face.

– ვნახე, რომ სულ ბაჯადლო ოქროები [N, Mat, Pl, Nom] იყო.

I saw that it was pieces of red gold [N, Mat, Sg, Gen]

არსებითი სახელი “მარილი” – ხომ არ ვიტყვით *საჭმელს მარილები აკლია* (მარილი თვითონ მოიცავს მრავლობითის ცნებას), მაგრამ ვამბობთ: *მარილები მაწუხებს, მარილებს დაგროვება*. ამის გამო, იძულებული ვართ მარილსაც გავუკეთოთ ებ-იანი მრავლობითი. ინგლისურში, ტექსტიდან გამომდინარე, ხან მრავლობითს მოითხოვს, ხან მხოლობითს:

– დაზიანებულ ადგილზე ხდება არაორგანული მარილების [N, Mat, Pl, Gen] დალექვა.

Inorganic salts [N, Mat, Pl] are deposited in the affected parts.

– შესწავლილია გამოყოფილი მარილების [N, Mat, Pl, Gen] ქიმიური შედგენილობა და თვისებები.

The chemical composition and properties of the isolated salts [N, Mat, Pl, Gen] have been studied.

– პაციენტებს აძლევენ ხსნარს, რომელიც დიდი რაოდენობით გლუკოზასა და მარილებს [N, Mat, Pl, Dat] შეიცავს.

Patients are given a solution to drink containing a high concentration of glucose and salt [N, Mat, Sg, Gen].

გადახრა გვხვდება კრებითი სახელების მრავლობითი რიცხვის წარმოების დროსაც: ხალხი, ერი, ... წესით, მათ მრავლობითი არ უნდა ჰქონდეთ, მაგრამ ვამბობთ – *მსოფლიოს ხალხები, სხვადასხვა ერები* და, კიდევ ბევრი ასეთი მაგალითის მოყვანა შეიძლება:

– ვარსკვლავთა წრე განასახიერებს ევროპელი ხალხების [N, Coll, Pl, Gen] ერთობას.

The circle of stars represents the union of the peoples [N, Coll, Pl, Gen] of Europe.

ინგლისურში რაოდენობით რიცხვით სახელთან არსებით სახელს მრავლობითის ფორმა აქვს, ქართულში კი მხოლობითის. ეს, რიცხვით სახელებთან ერთად, ეხება რაოდენობის აღმნიშვნელ ზედსართავ სახელებსაც – *ბევრი, მრავალი, უთვალავი, ...* :

– ორი [Num, Crd] ბიჭი [Anm, Sg, Nom] ჩამოშლილი თმიდან ერთმანეთს თვალს არ აცილებდა.

The two [Num, Crd] boys [Anm, Pl] glared at each other through screens of hair.

– ოთხი [Num, Crd] კაცი [Anm, Sg] შემოვიდა.

Four [Num Crd] men [Anm, Pl] entered.

– გაუმარჯოს განთქმულ ამერიკელ მწერალს, მის მარჩს! – იყვირა ლორიმ, შლაპა ჰაერში ააგდო და ისევ დაიჭირა, რითაც დიდად გაახარა ორი [Num, Crd] იხვი [Anm, Sg], ოთხი [Num, Crd] კატა [Anm, Sg], ხუთი [Num, Crd] ქათამი [Anm, Sg] და ექვსიოდე [Appr] – ირლანდიელი ბავშვი [Anm, Sg], რადგან ამასობაში ქალაქს გასცდნენ.

"Hurrah for Miss March, the celebrated American authoress!" cried Laurie, throwing up his hat and catching it again, to the great delight of two [Num Crd] ducks [Anm, Pl], four [Num, Crd] cats [Anm, Pl], five [Num Crd] hens [Anm, Pl], and half a dozen [Appr] Irish children [Anm, Pl], for they were out of the city now:

– რამდენი [Qst] ქვეყანა [Ianm, Sg] მოიარა!

How many [Qst] countries [Ianm, Pl] he traveled to!

– საქართველო აგრძელებს ინტენსიურ ურთიერთობას მსოფლიოს ბევრ ქვეყანასთან [Ianm, Sg, Dat, Tan], არის „გაეროს“ წევრი.

Georgia continues intensive relations with [Prep] many [A] countries [Ianm, Pl] of the world, is a member of the UN.

როგორც ვიცით, აბსტრაქტულია სახელი, რომელსაც ნივთიერი სახე არ გააჩნია. წესით, ისინი მრავლობით რიცხვში არ იხმარება, მაგრამ გამონაკლისები აქაც ბევრია და მათი მრავლობითის ფორმები ხშირად გვხვდება მხატვრულ ტექსტებსა თუ ჩვეულებრივი მეტყველების დროს. თუმცა, პოეზიაში და დარგობრივ მეცნიერებაში (მედიცინა, სოფლის მეურნეობა და ა.შ) მათ ამგვარ ხმარებას სხვა დატვირთვა აქვს. ესეც, რასაკვირველია, გასათვალისწინებელია პარადიგმების აგებისას და ამიტომ, ისინი ცალკე ჯგუფად გამოვყავით და „აბსტრაქტული თვლადი სახელების“ წესებში მოვათავსეთ. ჩამოვთვლით რამდენიმე მათგანს: ამინდი, დანაშაული, ეფექტი, ექსცესი, ეჭვი, იდეა, იდეალი, იერიში, იმედი, ინსტინქტი, კავშირი, კონკურსი, კონტრასტი, მაქსიმუმი, მინიმუმი, ჟანრი, ცდომილება, მომენტი, მოტივი, ფიქრი, ოცნება, რეიდი, რიტუალი, თამაში, ტყუილი, ვარაუდი, ვიზიტი, წესი, ვალდებულება, შევებულება, ჩვეულება, შეხედულება, წვეულება, ... ; დერივატებიდან – დღეობა, მკვლელობა, ნათლობა, ამხანაგობა, ნიშნობა,

ასეთი სახელების მრავლობითობის საკითხი ქართულსა და ინგლისურში ხან თანხვედრილია (ანუ ორივე ენაში გვხვდება მრავლობითის ფორმით), ხან კი სხვადასხვანაირად იწარმოება:

ამინდები:

– მიხარია, რომ კარგი ამინდები [N, Abs, PL] დაიჭირა.

Glad the fine weather [N, Abs, Sg] holds.

– მომდევნო ორი კვირის მანძილზე, საშინლად ცივი ამინდები [N, Abs, PL] დაიწყო.

During the next two weeks, the weather [N, Abs, Sg] turned very cold.

მაქსიმუმები:

– დაკვირების ქვეშა მაქსიმუმების [N, Abs, PL] ორი ჯგუფი.

Two groups of maxima [N, Abs, PL] are observed.

– მეორე შემთხვევაში იცვლებოდა დიფრაქციული მაქსიმუმების [Abs, PL] განლაგება.

In the latter case the disposition of diffractive maxima [N, Abs, PL] changed.

ეფექტები:

– ჰოლოგრაფიული ეფექტები [N, Abs, PL] კამერა-ობსკურაში.

Holographic effects [N, Abs, PL] in the camera obscura.

ქართულ ენაში განიხილავენ ორ მრავლობით რიცხვს, რომლებიც განსხვავებული ნიშნით იწარმოება. ებ-იან მრავლობითს უწოდებენ მისი მაწამოებელი „ებ“ სუფიქსის გამო, რომელიც ფუძის მხოლოდობით ფორმას დაერთვის. ებ-იანი მრავლობითი მხოლოდ ახალ, თანამედროვე ქართულში იხმარება და მას I მრავლობითს უწოდებენ, ხოლო II მრავლობითად კი მოიხსენებენ ნარ-თანთან მრავლობითს, რომელსაც არქაული ელფერი

ახლავს, თუმცა, ხშირად მისი გამოყენება მეტად მოსახერხებელია თანამედროვე ქართულ მეტყველებაშიც. ნარ-თანიანი მრავლობითის ნიშანია „ნ“, რომელიც მხოლოდითის ფორმას უცვლელად დაერთვის ორ ბრუნვაში: სახელობითსა და წოდებითში, ხოლო „თ“ – 3 ბრუნვაში: მოთხრობითში, მიცემითში და ნათესაობითში. დანარჩენ ორ ბრუნვაში, მოქმედებითსა და ვითარებითში, ნარ-თანიანი მრავლობითი არ იხმარება.

რაც შეეხება ინგლისურთან შესაბამისობას, ორივე მრავლობითი ერთნაირი პრინციპით ითარგმნება, ანუ თარგმნისას არ არის განსხვავება მათ შორის, რაც ჩანს რამდენიმე მაგალითზე:

– წყალნი [N, Mat, OldPl, Nom] გადმოვლენ ნაპირებზე.

The waters [N, Mat, Pl] will burst their banks.

– ცხადია, ქართულ ზღაპრებზეც იგულისხმება სხვა ხალხთა [N, Coll, OldPl, Gen] ზღაპრებისა და კულტურათა [N, Abs, OldPl, Gen] გავლენაც .

Moreover, Georgian folktales have come under some influence of folktales and cultures [N, Abs, Pl, Gen] of other peoples [N, Coll, Pl, Gen].

– ვაყენებდით ამ უზარმაზარი სივრცის ხალხთა [N, Coll, OldPl, Gen] საერთო სახლის იდეას.

The idea of a common home of the peoples [N, Coll, Pl, Gen] of this huge space was put forward.

ზემოთ მოყვანილ მაგალითებზე დაკვირვებით, ვცადეთ აგვეწერა შესაბამისობა ქართული და ინგლისური არათვლადი არსებითი სახელების მრავლობით რიცხვში ხმარების წესებზე, რაც მორფოლოგიისა და სინტაქსის გვერდის ავლით, ძირითადად, დამოკიდებულია სემანტიკაზე.

ვთვლით, რომ ენის ყოველი თავისებურების აღწერა დაგვეხმარება ქართულ-ინგლისური გრამატიკული ლექსიკონის კომპაილერის შემუშავებაში.

Issues of formation of plurals of some uncountable nouns and their correspondences in Georgian and English languages

L. Samsonadze

Summary

The paper discusses the issues of the plural production of some non-countable nouns and their correspondences in Georgian and English. Linguistic phenomena are subject to certain regularities, but next to the general rules, there are also exceptions. This applies to nouns that are not countable, but their use in the plural is already established, and not without reason. For example, names of substances that do not have a plural form, but are used: *mineraluri çylebi* - *mineral waters*, *qartuli yvinoebi* - *Georgian wines*, *oqroebis zardaxča* - *gold casket*, *xalxebis ertoba* - *peoples unity* etc. A similar issue is discussed with regard to English correspondences.

For illustration, some examples from the bilingual (English-Georgian) corpus are given.

Вопросы образования множественного числа некоторых неисчисляемых существительных и их соответствий в грузинском и английском языках

Л. Самсонадзе

Резюме

В статье рассматривается вопрос образования множественного числа некоторых неисчисляемых грузинских существительных и их соотношения в грузинском и в английском языках. Языковые события подчиняются определенным закономерностям, но наряду с общими правилами бывают и исключения. Это относится к неисчисляемым существительным, но употребление их во множественном числе уже установлено, и не без оснований. Например, названия веществ, не имеющих множественного числа, но употребляемых: *mineraluri çylebi* - минеральные воды, *qartuli çvinoebi* - грузинские вина, *oçroebis zardaxça* - золотой сундук, *xalxebis ertoba* - единство народов и т. д. Аналогичный вопрос обсуждается и в отношении английских соответствий.

Для иллюстрации приведены некоторые примеры из двуязычного (англо-грузинского) корпуса.

ლიტერატურა – References – Литература

1. შანიძე ა. ქართული ენის გრამატიკა I. 1955
2. ინგლისურ-ქართული პარალელური კორპუსი <https://corp.dict.ge/>
3. Lobzhanidze I. Finite-State Computational Morphology. An Analyzer and Generator for Georgian. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-90248-3>

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

1832 წლის შეთქმულთა კრიპტოგრაფიის მეთოდი

მაია ცერცვაძე

maiatserstsvadze@yahoo.com

რეზიუმე

სტატიაში განხილულია საქართველოს ისტორიის უმნიშვნელოვანესი მოვლენის - 1832 წლის შეთქმულების ერთი ასპექტი, კერძოდ, მისი კრიპტოგრაფიული მხარე. იგულისხმება შეთქმულთა მიერ თავიანთი საქმიანობის კონსპირაციისთვის შემოღებული მიმოწერის ის საშუალებები, რომლებიც კრიპტოგრაფიული ელემენტების (საიდუმლო ანბანი, კოდური სიტყვები...) შემცველია. კვლევის ფოკუსში მოქცეულია მეთოდი, რომელიც გამოყენებული იყო საიდუმლო მიმოწერისა და ინფორმაციის გაცვლისათვის შეთქმულთა პეტერბურგულ/მოსკოვურ და თბილისურ წრეებს შორის და რომელიც ხორციელდებოდა ერთგვარი „ჩარჩო“-ს დახმარებით.

ნაშრომში წარმოჩენილია აღნიშნული მეთოდის არსი, განხილულია ის, როგორც კრიპტოსისტემა და დახასიათებულია თანამედროვე კრიპტოგრაფიული ტერმინოლოგიისა და პარამეტრების საშუალებით.

საკითხი, რომლის კვლევას საგანგებო ყურადღება პირველად ეთმობა, მეტად მნიშვნელოვანია როგორც ზოგადად კრიპტოგრაფიისათვის, ასევე ქართული კრიპტოგრაფიისა და 1832 წლის შეთქმულების ისტორიისათვის.

საკვანძო სიტყვები:

კრიპტოგრაფია, ქართული კრიპტოგრაფიის ისტორია, 1832 წლის შეთქმულება, 1832 წლის შეთქმულების კრიპტოგრაფია, სიმეტრიული კრიპტოგრაფია

კრიპტოგრაფიას (ბრძ. κρυπτός „კრიპტოს“ - ფარული, და γράφω „გრაფო“ - წერა, ანუ ფარული წერა) ანუ მეცნიერებას მონაცემთა კონფიდენციალურობისა და მთლიანობის, ავთენტიფიკაციისა და შიფრირების მეთოდების შესახებ რამდენიმე ათასწლოვანი ისტორია აქვს. XX საუკუნის 70-იან წლებამდე იგი სიმბოლოებზე მანიპულირებდა და ლინგვისტიკის ელემენტებს იყენებდა, ამ პერიოდის შემდეგ კი განიხილება მათემატიკისა და კომპიუტერული მეცნიერებების განაყოფად და მჭიდროდ უკავშირდება მეცნიერების ისეთ დარგებს, როგორებიცაა ინფორმაციის თეორია, კომპიუტერული უსაფრთხოება და ინჟინერია [1, 2, 3].

ქართული კრიპტოგრაფიის შესწავლისათვის საყურადღებო მასალასა და ნიმუშებს ვხვდებით საქართველოს ისტორიის ისეთი მნიშვნელოვანი მოვლენის კვლევისას, როგორცაა 1832 წლის შეთქმულება. მათ ეძღვნება წარმოდგენილი სტატია.

საკვლევი საკითხის განხილვამდე ორიოდ სიტყვით გავიხსენოთ და წარმოვაჩინოთ ამ შეთქმულების რაობა, მისი არსი. საბჭოთა ისტორიოგრაფია მას დაკნინების მიზნით თავადაზნაურულს უწოდებდა და ცდილობდა ის მხოლოდ ტახტწართმეული ბატონიშვილებისა და ქართველი არისტოკრატის გაბრძოლებად წარმოეჩინა. თანამედროვე ისტორიკოსთა კვლევებმა გამოკვეთა და დაადასტურა მისი მასშტაბური ხასიათი და მას შეთქმულებრივი მოძრაობა უწოდა, რომელშიც საზოგადოების ფართო მასები და სხვადასხვა სოციალური თუ ეთნიკური წარმომავლობის პირნი მონაწილეობდნენ [4].

შეთქმულება, რომელიც მიზნად ისახავდა საქართველოდან რუსეთის იმპერიის განდევნას და საქართველოს დამოუკიდებლობის აღდგენას, 1826-1827 წლებში ჩაისახა პეტერბურგში რუსეთში გადასახლებულ ქართველ ბატონიშვილთა წრეში, რომელთა შორის

უპირველესად უნდა დავასახელოთ მეფე ერეკლე II-ის (1720-1798) შვილიშვილები დიმიტრი იულონის ძე (1803-1845) და ოქროპირ გიორგის ძე (1795-1857) ბაგრატიონები. სწორედ მათ შემოიკრიბეს რუსეთში სასწავლებლად ჩასული ქართველი ახალგაზრდები და გაანდეს აჯანყების განზრახვა. საქართველოში მოქმედ შეთქმულებს მუდმივი კავშირი ჰქონდათ პეტერბურგსა და მოსკოვში მყოფ ქართველ თანამზრახველებთან. შეთქმულება შეიარაღებულ აჯანყებაში არ გადაზრდილა - იგი გასცა მისმა ერთ-ერთმა მონაწილემ იასე ფალავანდიშვილმა (?-1857), რასაც შეთქმულთა დაპატიმრება და დასჯა მოჰყვა [5].

1832 წლის შეთქმულება, რომელსაც ქართველ მეცნიერთა (გ. გოზალიშვილი, მ. ბერძენიშვილი, ა. სურგულაძე, დ. შველიძე, თ. ჯოლოგუა, რ. ჩხეიძე...) მრავალი მონოგრაფია თუ ნაშრომი მიეძღვნა, ბევრი თვალსაზრისითაა შესწავლილი. როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, ჩვენი ამჟამინდელი კვლევის ობიექტია მისი კრიპტოგრაფიული მხარე ანუ შეთქმულთა საქმიანობის კონსპირაციისთვის ფართოდ გამოყენებული მიმოწერის ის ფორმები, რომლებსაც კრიპტოგრაფიული ხასიათი აქვთ.

1832 წლის შეთქმულების კრიპტოგრაფია შეიძლება სამ შემადგენლად „დავყოთ“: 1. საიდუმლო ანბანი; 2. კოდური ელემენტები; 3. მეთოდი, რომელიც გამოიყენებოდა საიდუმლო მიმოწერისა და ინფორმაციის გაცვლისათვის შეთქმულთა პეტერბურგულ/მოსკოვურ წრეებსა და თბილისურ წრეს შორის და რომელიც ხორციელდებოდა ერთგვარი „ჩარჩო“-ს («Рамка»), („ფორმის“, „ფორმატის“, „ამოჭრილი ქაღალდის“), როგორც მას თავად შეთქმულნი უწოდებდნენ, დახმარებით.

პირველ ორ შემადგენელს ჩვენ შევხებით გაკვრიტ, კვლევის ფოკუსში კი მოვაქცევთ მესამე მათგანს, როგორც კრიპტოგრაფიულ სისტემას და დავახასიათებთ თანამედროვე კრიპტოგრაფიული ტერმინოლოგიისა და პარამეტრების საშუალებით.

წარმოდგენილ კვლევაში საანალიზო მასალად გამოყენებული იქნება უმთავრესად შეთქმულთა ჩვენებები და შეთქმულების საგამომიებო კომისიის სხვა მასალები, რომელთა მეცნიერული შესწავლა და კვლევა დღესაც აქტიურად მიმდინარეობს.

საიდუმლო ანბანი მიმოწერისათვის შექმნა შეთქმულების ერთ-ერთმა აქტიურმა მონაწილემ, მისი წესდების, ე. წ. „აქტი გონიურის“ ავტორმა ბერმა ფილადელფოს კიკნაძემ (დაახლ. 1794 - 1833). ამისთვის მან გამოიყენა როგორც ძველი ქართული დამწერლობა, ასევე ლათინური ანბანი.

მიმოწერაში საიდუმლო აზრების გასაცვლელად შეთქმულთ შეთანხმებული ჰქონდათ აგრეთვე პირობითი გამოთქმები და ამა თუ იმ ერის ან პირის აღმნიშვნელი კოდური სიტყვები. ასე, მაგალითად, თავად შეთქმულებს „უროდები“ (რუს. «Уроды») და „მეგობრები“ ერქვათ, რუსებს – „მხეცნი“, ბარონ როზენს – „ვარდი“ და სხვ. [6].

იმისათვის, რომ გავერკვეთ, თუ რას წარმოადგენდა საიდუმლო მიმოწერის მესამე შემადგენელი, განვიხილოთ დაპატიმრებულ შეთქმულთა მიერ საგამომიებო კომისიისათვის მიცემული ის ჩვენებები, რომლებშიც ისინი მის შესახებ საუბრობენ.

როგორც ამ მასალებიდან ირკვევა, საიდუმლო მიმოწერის არსი და საშუალება რუსეთში გადასახლებულმა ბატონიშვილებმა გააცნეს სხვადასხვა დროს იქ მყოფ ელიზბარ ერისთავს (1810-1872), შემდგომში შეთქმულების ერთ-ერთ მეთაურს, და მის ძმას, დიმიტრის (1805-1854). შეთქმულების გაცემის შემდეგ, 1833 წლის იანვარ-თებერვალში ისინი ამ საკითხზე საგამომიებო კომისიას უყვებიან:

ელიზბარ ერისთავი:

1. „1830 წელს ს. პეტერბურგიდან წამოსვლის წინა დღეს ვიყავი ბატონიშვილ დიმიტრისთან, როგორც ნაცნობთან, მაშინ მან გადმომცა ალაგ-ალაგ ამოჭრილი ნახევარი ფურცელი ქაღალდი და მითხრა, ამ ქაღალდის საშუალებით შემეტყობინებინა მისთვის, რაც საქართველოში მოხდებოდა. ეს ქაღალდი მქონდა ნახევარი წუთის განმავლობაში და მერე დავხიე, ისე რომ მისთვის არა მიმიწერია რა და მისგანაც არა თუ ამ ქაღალდის საშუალებით, არამედ საერთოდ მოკითხვის ბარათიც კი არ მიმიღია და არც მე რამე მიმიწერია“ [7].

2. „1830 წ. თებერვლის პირველ რიცხვებში პეტერბურგიდან გამომგზავრების წინ დამიბარა დიმიტრი ბატონიშვილმა და მითხრა: „შენ მიდიხარ საქართველოში, გახსოვდეს

ჩემი სიტყვები, რასაც მე თქვენ ყველას შთაგაგონებდით, რომ საქართველოს განთავისუფლებას უნდა ეცადოთო“. ამასთანავე მომცა საფოსტო ქაღალდის ნახევარი ფურცელი, რომელიც ადგილ-ადგილ ამოჭრილი იყო, მეორე ამისთანა კი თვითონ დაიტოვა და მითხრა: „ამ ქაღალდის საშუალებით შემატყობინე ხოლმე შემდეგში, რასაც ამ საქმის გამო მოახერხებო“ (ხაზგასმა ყველგან ჩვენია - მ. ც.) [7].

დიმიტრი ერისთავი უფრო დეტალურად აღწერს საიდუმლო მიმოწერის ამ საშუალებას და მისი გამოყენების მეთოდს:

„ს. პეტერბურგიდან ჩემი გამოგზავრების წინ დიმიტრი ბატონიშვილმა გამიმჟღავნა საიდუმლო მიმოწერის საშუალება; იგი ისე ფრთხილად იქცეოდა, რომ არც ახლა გამოუცხადებია პირდაპირ, არამედ მითხრა, რომ, თუ რამე მნიშვნელოვანს გაიგონებ, ამის საშუალებით მომწერეო და ამასთანავე კი თვითონ კი არა, მე გამაკეთებინა იგი ფორმა, რომელიც შემდეგში მდგომარეობდა: ფოსტის ქაღალდის ნახევარზე იყო ამოჭრილი რამდენიმე გარდიგარდმო ხვრელი, რომელშიც იწერებოდა მთელი სიტყვა, ამ ფორმას დავადებდით მეორე სუფთა ქაღალდს და ამოჭრილ ადგილებში ვწერდით, რაც გვინდოდა. შემდეგ ამ ქაღალდს მოვაცლიდით და იწერებოდა უკვე სხვა სიტყვები, ისე, რომ ვინც არ იცოდა, მას, როგორც ჩვეულებრივ წერილს კითხულობდა, ხოლო ვისთანაც იგი იყო მიწერილი - დაადებდა ზემოხსენებულ ჩარჩოს და ამოიკითხავდა იმას, რაც საჭირო იყო“ [7].

პეტერბურგიდან 1832 წლის 7 თებერვალს წამოსული დიმიტრი ერისთავი გზად მოსკოვში შეჩერებულა, სადაც ის შეხვედრია შეთქმულების მეორე სულისჩამდგმელს ოქროპირ ბატონიშვილს. ამ შეხვედრის შესახებ მან კომისიას განუცხადა შემდეგი:

„თებერვლის 11-ს უკვე მოსკოვს ვიყავი... ვნახე... ოქროპირ ბატონიშვილი, რომელმაც თავისთან დამტოვა სადილად... რადგანაც უკვე თეატრში წასვლის დრო ახლოვდებოდა, მე გამოვეთხოვე ოქროპირ ბატონიშვილს და წავედი. მაგრამ მან მალე მომიგზავნა კაცი თეატრში, გამომიძახეს და თავის კაბინეტში მიმიხმო, სადაც შემდეგი საუბარი დამიწყო: გამიგონე, დიმიტრი, შენ საქართველოში მიდიხარ, მე უნდა გირჩიო ალექსანდრე ორბელიანოვი (იგულისხმება შეთქმულების კიდევ ერთი მეთაური ალექსანდრე ორბელიანი (1802-1869) - მ. ც.), შენი ძმა და სოლომონ დოდაევი (იგულისხმება სოლომონ დოდაშვილი (1805-1936), ასევე შეთქმულების თავკაცი - მ. ც.) რომელთაც უკვე ველაპარაკე, რათა შეადგინონ ახალგაზრდებისაგან საზოგადოება და შენც გთხოვ მონაწილეობა მიიღო, მოიწერეთ, რაც მნიშვნელოვანი მოხდესო, იგი ეძებდა მიმოწერის საშუალებას. რადგან მე მეჩქარებოდა ისევ თეატრში წასვლა, ამიტომ მაშინვე შევთავაზე იმისთანა ფორმატი, რომელიც მე მქონდა და აღვუთქვი უთუოდ ყველაფერს შევასრულებ მეთქი, მერე წავედი თეატრში, საიდანაც პირდაპირ აქეთ გამოვეგზავრე...“

ტულადან მინდოდა მომეხდინა პირველი ცდა და მივწერე ოქროპირ ბატონიშვილს, მაგრამ მისი ფორმატი ვერ ვიპოვე და დიმიტრი ბატონიშვილის ფორმატით მივწერე ტულის კეთილშობილთა კრების შესახებ, რომელსაც მე დავესწარი. მაგრამ არ ვიცი გაიგო თუ არა მხოლოდ სამი თვის შემდეგ მივიღე მისგან 200 მანეთი ასიგნაციებით, რაც სრულიად არ მითხოვნია, აქედან მე დავასკვენი, რომ მან ჩემი წერილის შინაარსი ვერ გაიგო და ამიტომ მასთან მიმოწერაზე ხელი ავიღე. თბილისიდან კი მხოლოდ ერთხელ მივწერე დიმიტრი ბატონიშვილს, რომლისგანაც პასუხი არ მიმიღია და რომელთან მიმოწერაზეც აგრეთვე ავიღე ხელი, ფორმატი ჩემს ქაღალდებში იყო და არ ვიცი, რა იქნა“ [7].

საკითხში გასარკვევად აღსანიშნავია ერთი გარემოება: შეთქმულების საგამომიებო კომისიისათვის მიცემული პატიმარ-შეთქმულთა ჩვენებები ხშირად ეწინააღმდეგება ერთმანეთს, ისინი ცრუობენ, იძლევიან ურთიერთგამომრიცხავ, არათანმიმდევრულ ცნობებს საკუთარი თავისა და სხვა შეთქმულთა დაფარვისა და მოსალოდნელი სასჯელის თავიდან აცილებისა ან შემსუბუქების მიზნით. ეს ეხება მიმოწერის ამ საიდუმლო საშუალებასაც - ზოგიერთ ჩვენებაში ისინი აცხადებენ, რომ ის არ გამოუყენებიათ ან დაუკარგავთ, თუმცა საგამომიებო მასალების შეჯერებისა და ჯეროვანი შესწავლის შედეგად დგინდება, რომ ამ „ამოჭრილი ქაღალდის“ საშუალებით მათ ნამდვილად ჰქონდათ მიმოწერა რუსეთში მყოფ ბატონიშვილებთან. ასე, მაგალითად, ელიზბარ ერისთავი ერთ ჩვენებაში აცხადებს:

„იმავე წელს (1832 - მ. ც.) ზაფხულში იმ საფოსტო ქალაქის საშუალებით დიმიტრი ბატონიშვილს მივწერე, ალექსანდრე ორბელიანოვი გავიცანი და შეთქმულების მოწყობას შევუდექით მეთქი. წერილის ბოლოში ალექსანდრე ორბელიანოვმა თავის მხრივ ბატონიშვილისადმი მოკითხვა მიაწერა. ამ წერილზე პასუხი არ მიმიღია და შემდეგ კიდევ მივწერე ერთხელ, შინაარსი იგივე იყო, არც იმაზე მიმიღია პასუხი, ამის შემდეგ ის ქალაქი დავეხიე და მის მერე ბატონიშვილისთვის აღარაფერი მიმიწერია“ [7].

ამავეს ადასტურებს თავის 1833 წლის 15 თებერვლის ჩვენებაში ალექსანდრე ორბელიანი და დასძენს;

„იმ წელსა, 1831-სა გაზაფხულზე, ელიზბარს და გიორგი დავითის ძეს ერისთოვთ (იგულისხმება შეთქმულების მონაწილე, დრამატურგი გიორგი ერისთავი (1813-1864) - მ. ც.) წიგნი დაეწერათ, ჯერ შავი იმ რამკით, რომელსაცა შინა ეწერა ესრეთ: **ღიას კარგი საზოგადოება გვყავსო, რომელიც იმ დიმიტრი ბატონიშვილს ელიანო, რომ მოვიდესო, და მაშინ იმას რომ ნახავენო, კარგათ მიიღებს ჩვენი საზოგადოებო, და კარგათ ისაქმებენო...** მე ის წიგნი ჩემ ბაღში წამიკითხეს, რომელიც მეც მოუწონე, და იმ ორი წიგნის პასუხი არც ერთი არ მოგვივიდა, და დიმიტრი ბატონიშვილს ვლანძლამდით ხოლმე“ [6].

რაც შეეხება ამ საიდუმლო მიმოწერის მეთოდის ავტორებსა თუ თაოსნებს დიმიტრი და ოქროპირ ბატონიშვილებს, საგამომიებო კომისიის წინაშე მათ კატეგორიულად უარყვეს მისი არსებობა. კომისიის კითხვებს - „რისთვის დაგჭირდათ გესწავლებინათ თავად დიმიტრი ერისთავისათვის საიდუმლო მიმოწერის ხერხი; სინამდვილეში რას წარმოადგენდა ასეთი ხერხი, თვით თქვენს მიერ იყო იგი გამოგონილი, თუ სხვა ვინმემ გაგაცნოთ იგი, სად, როდის და ვინ, სახელდობრ რა საქმესთან დაკავშირებით. ისარგებლა თუ არა დიმიტრი ერისთავმა ამ ხერხით; როდის, საიდან და სახელდობრ რა მოგწერათ მან ამ სახით; თქვენ ვისთანა გქონდათ ასეთივე მიმოწერა და რისთვის; ხომ არ გიცნობებიათ მიმოწერის ეს ხერხი აგრეთვე სხვა ვისმესათვის, - ვის, რა დროს და სახელდობრ რისთვის გააცანით იგი [8] - დიმიტრი ბატონიშვილმა შემდეგნაირად უპასუხა: „ბევრი ვეცადე, მაგრამ ვერ გავიხსენე, რა საიდუმლო მიმოწერის ხერხზე ლაპარაკობს დიმიტრი ერისთავი; მახსოვს მხოლოდ, რომ თავისი გამგზავრების უწინარეს მთხოვა მან მიმეწერნა მისთვის. რისთვის უნდა მქონოდა საიდუმლო მიმოწერის საშუალება, როდესაც სინამდვილეში არა ვფიქრობდი და არცა მსურდა მიმოწერა მქონოდა ვისმესთან: ვიწვევ ვველას, ვინც ჩემს წინააღმდეგ აჩვენებს, წარმოადგინონ თუნდაც სრულიად მცირე მეგობრული ან რაიმე მსგავსი ბარათი, რომელ ენაზეც უნდა იყოს, რომ არაფერი ვთქვა დანაშაულებრივი ზრახვებით დაწერილზე. მხოლოდ ერთი თუ ორი წერილი მივიღე ერისთავისაგან და თუმცა სრულიად უმნიშვნელო შინაარსისა იყო, მე მაინც არ მიპასუხნია, ჩემი ჩვეულების თანახმად, რომ არავისთან მქონოდა მიმოწერა და არც ნაცნობობა მქონოდა ვინმესთან საქართველოში. ჩემს მოვალეობად მიმაჩნია ამასთანავე დაეუმატო, რომ ქართულს ძლივს ვკითხულობდი. ამ ენაზე წერა თითქმის სრულებით არ ვიცი, არა ვწერ ცალკე, დასაც და მძასაც მხოლოდ მინაწერის სახით და ისიც რუსულ ენაზე!“ [8].

თავის მხრივ ოქროპირ ბატონიშვილმა განაცხადა: „იმის დასამტკიცებლად, რომ მე არ მითხოვნია თავად ერისთავისთვის მოეწერნა ჩემთვის, საკმარისია ვთქვა, რომ მას საქართველოდან ჩემთვის არაფერი მოუწერნია; ეს გარემოება ნათლად ამტკიცებს, რომ მე არ გადამიცია მისთვის საიდუმლო მიმოწერის არავითარი საშუალება - ხერხი, დაუჯერებელია, რომ თუ კი ასეთი საშუალება გვქონდა, რატომ არ გამოვიყენეთ იგი ან მე და ან იმან. ამის გამო, ღმერთს ვფიცავ, რომ არც არასოდეს გამომიგონია ასეთი რამ საშუალება, რაც არავისთვის მიცნობებია და არც გამომიყენებია იგი“ [8].

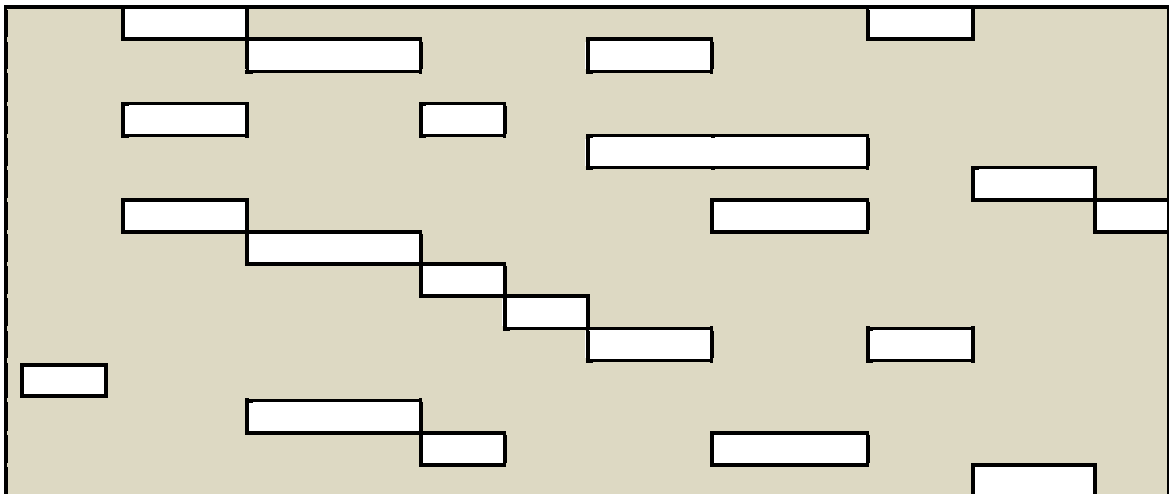
საგამომიებო კომისიის მასალები მოიცავს კიდევ სხვა ჩვენებებს, რომლებიც ადასტურებს შეთქმულთა შორის საიდუმლო მიმოწერის ამ ხერხის არსებობას და მის გამოყენებას, თუმცა ჩვენი ამჟამინდელი კვლევის მიზნებისათვის ყველა მათგანის დამოწმება აუცილებლად არ მიგვაჩნია.

შევვცადოთ ამ საიდუმლო მიმოწერის საშუალების - ერთგვარი „ჩარჩო“-ს პირობით რეკონსტრუქციას და ვნახოთ, როგორ ხდებოდა მისი დახმარებით გაგზავნა, მაგალითად, იმ

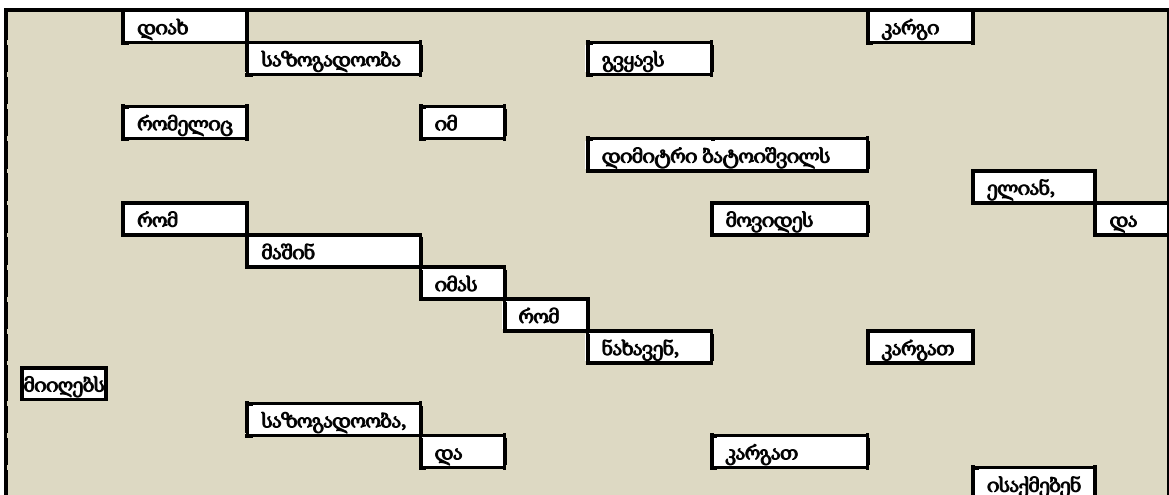
საიდუმლო ტექსტისა, რომელზეც უთითებს ალექსანდრე ორბელიანი თავის ჩვენებაში (იხ. ზემოთ ხაზგასმული ტექსტი).

მანამდე ორიოდ სიტყვით შევეხოთ შეთქმულთა მიერ ნახსენებ იმ „საფოსტო ქაღალდს“, რომლის ნახევრითაც მზადდებოდა ეს „ჩარჩო“. აქ იგულისხმება საფოსტო ფურცელი ანუ ფოსტის მიერ გამოშვებული ქაღალდის ფურცელი, რომლითაც წერილი მე-19 საუკუნის შუა ხანამდე იგზავნებოდა და რომელზეც დაბეჭდილი იყო საფოსტო მარკები ან გზავნილის საფასურის წინასწარი გადახდის სხვა რაიმე ნიშანი. ერთ ან მეტ ასეთ ფურცელზე დაწერილი წერილი შემდეგ იკეცებოდა, ჩვეულებრივ ილუქებოდა, რათა მისამართი დაწერათ ფურცელის გარეთ და იგზავნებოდა კონვერტის გარეშე. საფოსტო უწყებებმა ასეთი ქაღალდის წარმოება შეწყვიტეს საფოსტო კონვერტების გამოშვების შემდეგ.

ადრესანტი საქართველოში იყენებს „ჩარჩოს“ - ალაგ-ალაგ ამოჭრილ ფოსტის ქაღალდის ნახევარს (ნახ. 1), რომლის ზუსტი ანალოგი აქვს ასევე ადრესატს, ამ შემთხვევაში დიმიტრი ბატონიშვილს პეტერბურგში, დაადებს მას მეორე ცარიელ ფოსტის ქაღალდს და მასზე ამოჭრილ ადგილებში ჩაწერს გადასაცემი (საიდუმლო) ტექსტის სიტყვებს (ნახ. 2), შემდეგ „ჩარჩოს“ მოაშორებს ქვედა ფურცელს (ნახ. 3) და იწყებს მასზე წერას იმგვარად, რომ „ჩარჩოს“ ჭრილებში უკვე ჩასმული სიტყვები ორგანულად მიეზას მთლიანი წერილის სხვა (არასაიდუმლო) ტექსტს (ნახ. 4). წერილის მიღებისას ადრესატი დაადებს მას იმავე „ჩარჩოს“ ზუსტ ასლს და მისი საშუალებით ამოიკითხავს საიდუმლო ინფორმაციას.



ნახ. 1



ნახ. 2

ადრესანტის მიერ ამ ღია ტექსტის შესადგენად განხორციელებულ მოქმედებათა ერთობლიობა „ჩარჩოს“ გამოყენებით, რომელიც ზემოთ აღწერეთ, არის **შიფრაცია**.

ადრესატის მიერ გზავნილის მიღების შემდეგ განხორციელებული მოქმედებები ანალოგიური „ჩარჩოს“ გამოყენებით არის შიფრაციის უკუ პროცესი ანუ **დეშიფრაცია**.

დეშიფრაციის შედეგად ამოკითხული საიდუმლო ინფორმაცია, კერძოდ, ტექსტი: **„ღიახ კარგი საზოგადოება გვყავს, რომელიც იმ დიმიტრი ბატონიშვილს ელიან, რომ მოვიდეს, და მაშინ იმას რომ ნახავენ, კარგათ მიიღებს ჩვენი საზოგადოება, და კარგათ ისაქმებენ“**, არის **შიფროტექსტი ანუ კრიპტოგრამა**.

შიფრაცია/დეშიფრაციის აღწერილი ალგორითმის ერთობლიობა შეადგენს **შიფრს**.

რაც შეეხება გამოყენებულ ქაღალდის „ჩარჩო“-ს, იგი არის ე. წ. **გასაღები** ანუ ის საიდუმლო პარამეტრი, რომელიც ცნობილია და შეთანხმებულია მხოლოდ ურთიერთმოკავშირე მხარეებისათვის და რომელიც ცალსახად განსაზღვრავს კრიპტოგრაფიული ალგორითმისა და შიფრის გამომავალ შედეგს. შიფრაციისა და დეშიფრაციის დროს დროს მთლიანად ამ „ჩარჩოზე“ ანუ გასაღებზე დამოკიდებული ინფორმაციის ღია ტექსტიდან შიფროტექსტში და პირიქით, შიფროტექსტიდან ღია ტექსტად გარდაქმნის პროცესი.

ვინაიდან ადრესანტი და ადრესატი იყენებენ ერთსა და იმავე გასაღებს, შეთქმულთა საიდუმლო მიმოწერის აღწერილი პროცესისა და მაგალითის საფუძველზე შეიძლება ითქვას, რომ მისი სახით საქმე გვაქვს ე. წ. **სიმეტრიული კრიპტოგრაფიის** შემთხვევასთან, რომელიც ხორციელდება **საიდუმლო (სიმეტრიული) გასაღების** ანუ ისეთი გასაღების საშუალებით, რომელიც ერთია შიფრაცია/დეშიფრაციის პროცედურებისათვის და რომელიც 1976 წლამდე ერთადერთი გავრცელებული მეთოდი იყო [9].

ყოველივე ზემოთქმულის საფუძველზე დგინდება, რომ 1832 წლის შეთქმულებაში გამოყენებული საიდუმლო მიმოწერის მეთოდი შეიძლება დახასიათდეს თანამედროვე კრიპტოგრაფიული ტერმინოლოგიისა და პარამეტრების საშუალებით და რომ მისი სახით ჩვენ საქმე გვაქვს **სიმეტრიულ კრიპტოსისტემასთან**, რომელსაც გააჩნია თავისი შიფრი, ღია ტექსტი, შიფროტექსტი და გასაღები, ხოლო მისი მონაწილენი თანამიმდევრობით და უპირობოდ ასრულებენ წესების ერთობლიობას, ე. წ. **კრიპტოგრაფიულ პროტოკოლებს**.

საკითხი, რომლის კვლევას საგანგებო ყურადღება პირველად ეთმობა, მეტად მნიშვნელოვანად გვესახება როგორც კრიპტოგრაფიისათვის, ასევე ისტორიული მეცნიერებისათვის - საიდუმლო მიმოწერის განხილული მეთოდის არსებობა და გამოყენება ქართველ შეთქმულთა მიერ ქართული კრიპტოგრაფიისა და 1832 წლის შეთქმულების ისტორიის ერთი თვალსაჩინო და საგულისხმო ფურცელია.

The cryptographic method of the 1832 conspirators

Maia Tsertsvadze

Summary

The article discusses one aspect of the most important event in the history of Georgia – the conspiracy of 1832, namely its cryptographic side. We mean the method of correspondence introduced by the conspirators themselves, which contain cryptographic elements (secret alphabet, code words...) for the conspiracies of their activities. The research focuses on the method used for secret correspondence and information exchange between the St. Petersburg/Moscow and Tbilisi circles of the conspirators and which was carried out using a kind of "frame".

The study presents the essence of the mentioned method, considers it as a cryptosystem and characterizes it by means of modern cryptographic terminology and parameters.

The issue, the research of which is given special attention for the first time, is very important both for cryptography in general as well as for the history of Georgian cryptography and the conspiracy of 1832.

Метод криптографии заговорщиков 1832 года

Maia Tseretadze

Резюме

В статье рассматривается один из аспектов важнейшего события в истории Грузии - заговора 1832 года, а именно его криптографическая сторона. Имеются в виду введенные самими заговорщиками средства переписки, которые содержат криптографические элементы (тайный алфавит, кодовые слова...) для конспирации их деятельности. В центре внимания исследования находится метод тайной переписки и обмена информацией между петербургскими/московскими и тбилискими кругами заговорщиков, который осуществлялся с использованием своеобразной «рамки».

В работе изложена сущность указанного метода, рассмотрен он как криптосистема и охарактеризован с помощью современной криптографической терминологии и параметров.

Вопрос, исследованию которого впервые уделяется особое внимание, имеет большое значение для криптографии в целом, а также для истории грузинской криптографии и заговора 1832 года.

ლიტერატურა – References – Литература

1. Fred Piper and Sean Murphy Cryptography: A Very Short Introduction. Oxford University Press Inc.. New York. 2002.
2. Молдовян А. А., Молдовян Н. А., Советов Б. Я. Криптография. «Лань». СПб. 2000.
3. ასათიანი თ. ლომინაძე თ. ლომინაძე ნ. პაპიაშვილი რ. კრიპტოგრაფიის საფუძვლები. „ტექნიკური უნივერსიტეტი“. თბილისი. 2021.
4. შველიძე დ. 1832 წლის შეთქმულებრივი მოძრაობის ისტორიიდან. ტ. 3. „უნივერსალი“. თბილისი. 2014.
5. ჯოლოგუა თ. 1832 წლის შეთქმულების რაობისათვის. ჟურნალი „ლიტერატურული ძიებანი“. 2017 # 38, თბილისი. 2017. გვ. 55-72.
6. გოზალიშვილი გ. 1832 წლის შეთქმულება. ტ. 1. სახელმწიფო უნივერსიტეტის გამომცემლობა. ტფილისი. 1935. გვ. 34, 363.
7. გოზალიშვილი გ. 1832 წლის შეთქმულება. ტ. 2. „მერანი“. თბილისი. 1970. გვ. 122, 264, 294-295.
8. გოზალიშვილი გ. 1832 წლის შეთქმულება. ტ. 3. „საბჭოთა საქართველო“. თბილისი. 1976. გვ. 229, 231, 215
9. კეკელია ვ. კოტიკაძე გ. კრიპტოგრაფიის სიმეტრიული სისტემის მეთოდები და მოდელები. „ტექნიკური უნივერსიტეტი“. თბილისი. 2016.

ცოდნის წარმოდგენა იშვიათი დაავადებების მკურნალობის ინტელექტუალურ სისტემაში

მაია მიქელაძე, ვადიმ რადიევსკი, ნორა ჯალიაბოვა, ყარამან ფაღავა

Email: mikeladzemaia@yahoo.com, v_radzievski@yahoo.com, noraj@mail.ru, kpagava@yahoo.com

რეზიუმე

ნაშრომში განიხილება მკურნალობის შერჩევის ამოცანა. შემოთავაზებულია ინტელექტუალურ სისტემაში ცოდნის წარმოდგენის მოდელი, რომელიც დაკავშირებულია დაავადებების მკურნალობასთან და ითვალისწინებს მკურნალობის ზოგად პრინციპებს, აქცენტით იშვიათ დაავადებებზე. მკურნალობასთან დაკავშირებული ცოდნის წარმოსადგენად გამოყენებულია სემანტიკური ქსელი, რომლის წვეროები წარმოადგენენ მკურნალობის „სამიზნეებს“ - დაავადების მიზეზებს, პათოლოგიურ მექანიზმებს და გამოვლინებებს სინდრომებისა თუ ცალკეული სიმპტომის სახით, და შესაბამისი სამკურნალო ჩარევების/წამლების კომპლექსებს. სამკურნალო კომპლექსში ჩარევები წარმოდგენილია ჯგუფების სახით. შემოთავაზებულია ჯგუფის შიგნით მრავალი კრიტერიუმის მიხედვით საუკეთესო ჩარევის შერჩევის მეთოდი, რომელიც დაფუძნებულია არამკაფიო სიმრავლეთა თეორიაზე.

საკვანძო სიტყვები

ცოდნის წარმოდგენის მოდელი, სამკურნალო ინტელექტუალური სისტემა, იშვიათი დაავადებები

სხვადასხვა დაავადების დროს მკურნალობის მიზნები განსხვავებულია. ეს დამოკიდებულია დაავადების ტიპზე, სიმძიმეზე, რა სტადიაზეა იგი და ა.შ. შესაბამისად მკურნალობისას ექიმმა შეიძლება მიზნად დაისახოს ერთ-ერთი შემდეგი მდგომარეობებიდან:

- სრული განკურნება;
- დაავადების კონტროლი - დაავადების მიმდინარეობის შენელება, გამოვლინებების მინიმინიზაცია, ცხოვრების ხარისხის მაქსიმალურად ოპტიმიზაცია, გართულებებისა და სიკვდილის გადავადება;
- მდგომარეობის შემსუბუქება, ახლოსაა პალიატიურ მკურნალობასთან - განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია აგონალურ პერიოდში და უაღრესად მძიმე ქრონიკულად მიმდინარე შემთხვევებში.

მკურნალობის ძირითადი სახეობებია:

- ეტიოტროპული - უშუალოდ დაავადების მიზეზზე მომქმედი;
- პათოგენეზური - დაავადების მექანიზმზე მომქმედი;
- სიმპტომური - სიმპტომებზე მოქმედი.

იშვიათი დაავადებები, როგორც წესი, გენეტიკური დარღვევებით არის გამოწვეული, მათი სრული განკურნება შეუძლებელია (თუ არ ჩავთვლით გენურ ინჟინერიას). იშვიათი დაავადებების მკურნალობისას ექიმის მიზანია დაავადების კონტროლი და მდგომარეობის შემსუბუქება. იშვიათი დაავადებების დროს ძირითადად სიმპტომური მკურნალობა გამოიყენება და, ზოგჯერ, პათოგენეზურიც.

მკურნალობა ემყარება ძირითადად არსებულ გამოცდილებას (რომელიც ასახულია სახელმძღვანელოებში და გაიდლაინებში), პირად გამოცდილებას და საღ აზრს.

სასურველია, მკურნალობა ემყარებოდეს სპეციალურ კლინიკურ კვლევებს - რანდომიზირებულს, ორმაგი ბრმა მეთოდით შესრულებულს. იშვიათი დაავადებების შემთხვევაში ინფორმაცია (გაიდლაინები, კვლევები, გამოცდილება) შეზღუდულია.

მკურნალობა უნდა იყოს კომპლექსური და ინდივიდუალიზირებული, ე.ი. არა დაავადების, ცალკე აღებული, არამედ ცალკეულ ინდივიდუუმში მიმდინარესი. სასურველია ითვალისწინებდეს გენეტიკურ თავისებურებებს, მათ შორის მეტაბოლურ თავისებურებებს, ფსიქოლოგიურ თავისებურებებს, თანარსებულ დაავადებებსა და გართულებებს.

მოცემულ ნაშრომში შემოთავაზებულია ინტელექტუალურ სისტემაში ცოდნის წარმოდგენის მოდელი, რომელიც დაკავშირებულია დაავადებების მკურნალობასთან და ითვალისწინებს ზემოთმოყვალს ნიუანსებს. ამ მოდელის საფუძველზე შემუშავებულია მკურნალობის შერჩევის პროცედურა.

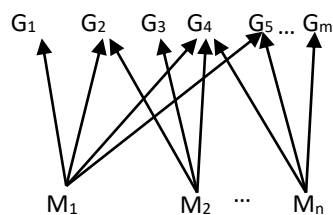
მკურნალობის ზოგადი პრინციპებისა და გაიდლაინებში მოცემული რეკომენდაციების საფუძველზე მკურნალობის შერჩევის შედეგი შეგვიძლია წარმოვიდგინოთ როგორც სამკურნალო ჩარევების/წამლების კომპლექსი, რომელშიც შეიძლება გამოვყოთ სამი კომპონენტი.

პირველი 2 კომპონენტი - ეს არის სამკურნალო ჩარევების/წამლების კომპლექსი, რომელიც ემსახურება ეტიოტროპულ და პათოგენეზურ მკურნალობას. ეს მკურნალობა განპირობებულია თვით დაავადებით და მისი განვითარების მექანიზმებით, შესაბამისი ცოდნა ასახულია სახელმძღვანელოებში და გაიდლაინებში. იგი შეიცავს ექიმების განზოგადებულ გამოცდილებას და წარმოადგენს მკურნალობის სტანდარტს. მესამე კომპონენტი არის მკურნალობა, მიმართული დაავადების გამოვლინებებზე. როგორც წესი, დაავადების გამოვლინებები წარმოდგებილია ცალკეული სიმპტომებისა და სინდრომების სახით. სინდრომის ქვეშ იგულისხმება სიმპტომთა მდგრადი ერთობლიობა, რომლებიც გამოწვეულია ერთი პათოლოგიური მექანიზმის განვითარებით. მკურნალობის მესამე კომპონენტი სწორედაც სინდრომების/სიმპტომების ალაგებაზეა მიმართული. ცხადია, მკურნალობის პირველი 2 კომპონენტი დაავადების გამოვლინებებზეც მოქმედებს, თუმცა, საჭიროების შემთხვევაში, ექიმს შეუძლია მიმართოს სიმპტომატურ მკურნალობას.

იშვიათი დაავადებების შემთხვევაში მთავარი სირთულე მდგომარეობს იმაში, რომ ინფორმაცია ამ დაავადებებზე მწირია - როგორც ეტიოპათოგენეზზე და გამოვლინებებზე, ასევე სამკურნალო საშუალებებზე და მათ ეფექტურობაზე. არ არის დაგროვებული საკმარისი გამოცდილება ამ დაავადებების მკურნალობის სფეროშიც. შესაბამისად, იშვიათი დაავადებების მართვის გაიდლაინები არ არის დახვეწილი.

ყოველივე ზემოთქმულიდან გამომდინარე კონკრეტული დაავადების მკურნალობასთან დაკავშირებული ცოდნის წარმოსადგენათ ჩვენ ავირჩიეთ სემანტიკური ქსელი (იხ. ნახ.1).

G წვეროები წარმოადგენენ მკურნალობის „სამიზნეებს“, ანუ დაავადების მიზეზებს, პათოლოგიურ მექანიზმებს და გამოვლინებებს სინდრომების ანდა ცალკეული სიმპტომების სახით. M წვეროები წარმოადგენენ სამკურნალო ჩარევების/წამლების კომპლექსებს, ხოლო რკალები მიუთითებს, თუ რომელი სამკურნალო კომპლექსი გამოიყენება ამა თუ იმ „სამიზნის“ შემთხვევაში.



ნახ. 1

რაც შეეხება ინდივიდუალიზირებულ მკურნალობას, ცოდნა იმის შესახებ, თუ რა კორექტივებია შესატანი სამკურნალო კომპლექსში პაციენტის ამა თუ იმ თავისებურების (მაგალითად, რაიმე თანმხლები დაავადების) შემთხვევაში, შეგვიძლია წარმოვადგინოთ პროდუქციული წესების სახით:

თუ თავისებურება, მაშინ კორექტივი.

საბოლოოდ, მკურნალობის შერჩევის პროცესი შედგება 2 ეტაპისგან:

- პირველ ეტაპზე სემანტიკური ქსელის საფუძველზე შეირჩევა სამკურნალო კომპლექსი;
- მეორე ეტაპზე, საჭიროების შემთხვევაში, პროდუქციული წესების საფუძველზე მოხდება სამკურნალო კომპლექსის კორექტირება.

აღსანიშნავია, რომ M_i სამკურნალო კომპლექსში სამკურნალო ჩარევები, წამლები ჩათვლით, შეიძლება წარმოდგენილი იყოს ჯგუფების სახით. მაგალითად, ანტიბიოტიკები, ხველების საწინააღმდეგო საშუალებები, სიცხის დამწვევები და ა.შ. თუმცა ექიმს პირად გამოცდილებაზე დაყრდნობით უშუალოდ კონკრეტული წამლის შერჩევა. ამ შერჩევის დროს გაიდლაინის და პირადი გამოცდილების გარდა, ექიმი ითვალისწინებს დაავადების სიმძიმეს, სხვადასხვა წამლის გვერდით მოვლენებს, პაციენტის ორგანიზმის თავისებურებებს, საკუთარ გამოცდილებაზე. ნაკლებად მნიშვნელოვანია დაავადების თვალსაზრისით, მაგრამ მაინც ყურადსაღებია ისეთი კრიტერიუმები, როგორც კონკრეტული წამლის ხელმისაწვდომობა და ფასი.

ცხადია, ექიმს პრაქტიკული საქმიანობის და პირადი გამოცდილების შედეგად შექმნილი აქვს გარკვეული წარმოდგენა, თუ რომელი წამალია საუკეთესო ან ნაკლებად მისაღები მოცემული კრიტერიუმის მიხედვით. თუ ცნობილია ცალკეული წამლის შეფასებები ზემოთ ჩამოთვლილი კრიტერიუმების მიხედვით, ამ ინფორმაციის საფუძველზე შესაძლებელია სამკურნალო საშუალებების კომპლექსური, ანუ ყველა კრიტერიუმის მიხედვით შეფასების განსაზღვრა. ამ ამოცანის გადასაწყვეტად მიზანშეწონილად მიგვაჩნია ლიტერატურაში [1] შემოთავაზებული მეთოდის გამოყენება, რომელიც დაფუძნებულია არამკაფიო სიმრავლეთა თეორიაზე [2, 3].

ვთქვათ, გვაქვს r სამკურნალო ჩარევების ერთობლიობა, რომელთაგან თითოეული ფასდება ექსპერტის მიერ სხვადასხვა Q_1, Q_2, \dots, Q_m კრიტერიუმების მიხედვით. შეფასება μ_{ij} , $i=1, \dots, m$, $j=1, \dots, r$ დებულობს მნიშვნელობას $[0,1]$ შუალედიდან და წარმოადგენს L_j ჩარევის Q_i არამკაფიო სიმრავლისადმი მიკუთვნების ხარისხს, სადაც Q_i არამკაფიო სიმრავლე ასახავს სამკურნალო ჩარევების შეფასებას i -ური კრიტერიუმის მიხედვით [1]:

$$Q_i = \left\{ \frac{\mu_{i1}}{L_1} \dots \frac{\mu_{ir}}{L_r} \right\}, i=1, \dots, m, j=1, \dots, r.$$

Q არამკაფიო სიმრავლე, რომელიც ასახავს ჩარევების კომპლექსურ შეფასებას ყველა კრიტერიუმის მიხედვით, მიიღება როგორც Q_i არამკაფიო სიმრავლეების გადაკვეთა:

$$Q = \{\mu_1 \dots \mu_r\} = Q_1 \cap Q_2 \cap \dots \cap Q_m = \left\{ \frac{\min \mu_{i1}}{L_1} \dots \frac{\min \mu_{ir}}{L_r} \right\}$$

სამკურნალო ჩარევა, რომლის Q არამკაფიო სიმრავლისადმი მიკუთვნების ხარისხი მაქსიმალურია, უნდა უზრუნველყოფდეს მკურნალობის მაქსიმალურ ეფექტიანობას ყველა კრიტერიუმის მიხედვით.

მკურნალობა - დინამიური პროცესია, იგი მოითხოვს პაციენტის მდგომარეობის მონიტორინგს, რათა დროულად შეფასდეს მკურნალობის ეფექტურობა და განხორციელდეს საჭირო კორექტივები. მკურნალობის ეფექტურობა ფასდება ორი ძირითადი კრიტერიუმით: 1) პაციენტის მდგომარეობა დაავადების გამოვლინებების თვალსაზრისით - გაუმჯობესდა, უცვლელი დარჩა თუ გაუარესდა და 2) პაციენტის მდგომარეობა გვერდითი მოვლენების თვალსაზრისით - გვერდითი მოვლენები არ ვლინდება, ვლინდება და აუარესებს პაციენტის მდგომარეობას, ვლინდება და ხელს უწყობს გამოჯანმრთელებას. მონიტორინგის პროცესში,

საჭიროების შემთხვევაში, ისევ მივმართავთ სამკურნალო ჩარევის შერჩევის პროცედურას ზემოთმოყვანილი კრიტერიუმების მიხედვით.

შემოთავაზებული ცოდნის წარმოდგენის მოდელი ითვალისწინებს მკურნალობის ზოგად პრინციპებს, რაც მკურნალობის შერჩევის პროცესის კომპიუტერული რეალიზების შესაძლებლობას იძლევა, მათ შორის იშვიათი დაავადებების შემთხვევაში, როდესაც დაავადებისა და მის მკურნალობის შესახებ ინფორმაცია მცირეა და არასრული.

Knowledge representation in an intelligent system for the treatment of rare diseases

Maia Mikeladze, Vadim Radziewski, Nora Jaliabova, Karaman Pagava

Summary

The problem of treatment selection is considered. A model of knowledge representation in an intelligent system is proposed, which relates to the treatment of diseases and takes into account the general principles of treatment. The specifics of rare diseases are emphasized. To represent treatment-related knowledge, a semantic network is used, the vertices of which represent the "targets" of treatment - the causes of the disease, pathological mechanisms and manifestations in the form of syndromes and individual symptoms, as well as the complexes of therapeutic interventions corresponding to them. Medical interventions in the treatment complex are presented in the form of groups. A multi-criteria best intervention selection method based on the theory of fuzzy sets is proposed.

Представление знаний в интеллектуальной системе по лечению редких болезней

Майя Микеладзе, Вадим Радзиевский, Нора Джалиябова, Караман Пагава

Резюме

В статье рассматривается задача выбора лечения. Предложена модель представления знаний в интеллектуальной системе, связанных с лечением заболеваний, которая учитывает общие принципы лечения. Подчеркивается специфика редких болезней. Для представления знаний, касающихся лечения, используется семантическая сеть, вершины которой представляют «мишени» лечения — причины заболевания, патологические механизмы и проявления в виде синдромов и отдельных симптомов, а также соответствующие им комплексы лечебных вмешательств. Лечебные вмешательства в лечебном комплексе представлены в виде групп. Предложен метод выбора наилучшего по множеству критериев вмешательства в группе, основанный на теории нечетких множеств.

ლიტერატურა – References – Литература

1. ვ. რაძიევსკი, მ. მიქელაძე, ნ. ჯალიაბოვა, გ. ბესიაშვილი, პ. ქარჩავა, დ. რაძიევსკი. კონკრეტული ავადმყოფისთვის სამკურნალო პრეპარატების არჩევის ინტელექტუალური სისტემა. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ა. ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის 60 წლისთავისადმი მიძღვნილი საიუბილეო კონფერენცია, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ა. ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული №20, თბ., 2016 წ., გვ. 169 – 174.
2. R.Jager. Multiple objective decision – making using fussy sets – “Int – jMen. Mashine studies 1977, v 9.
3. Л. Заде. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. «Мир», М., 1976.

იშვიათი დაავადებების დიაგნოსტიკისათვის საჭირო ინსტრუმენტალურ- ლაბორატორიული კვლევების ეფექტური დაგეგმვა

ნათელა ანანიაშვილი, მია მიქელაძე

ia.ananiashvili@gmail.com, mikeladzemaia@yahoo.com

რეზიუმე

ნაშრომში განხილულია იშვიათი დაავადებების დიფერენციალური დიაგნოსტიკისათვის საჭირო ინსტრუმენტალურ-ლაბორატორიული კვლევების ეფექტური დაგეგმვის ამოცანა. თითოეული კვლევა ფასდება რომელიმე ერთი კრიტერიუმის მიხედვით როგორცაა: ინფორმატიულობა, ღირებულება, ხელმისაწვდომობა, ვადა, უსაფრთხოება. ჩვენი მიზანია შევარჩიოთ ამ კრიტერიუმის მიხედვით საუკეთესო კვლევების ნაკრები, რომელიც მოიცავს ყველა სასურველ დიაგნოზს. ეს ამოცანა წარმოადგენს მინიმალური დაფარვის ამოცანას, რომლის გადასაწყვეტად შემოთავაზებულია ევრისტიული ალგორითმი. იმისდა მიხედვით თუ რა დიაგნოზებს განიხილავს ექიმი და რა კრიტერიუმით აფასებს კვლევებს, ჩვენს მიერ შემუშავებული ალგორითმი ამოარჩევს ყველაზე მიზანშეწონილი კვლევების ნაკრებს. ალგორითმი რეალიზებულია როგორც იშვიათი დაავადებების სამკურნალო დიაგნოსტიკური ინტელექტუალური სისტემის შესაბამისი კომპონენტი.

საკვანძო სიტყვები:

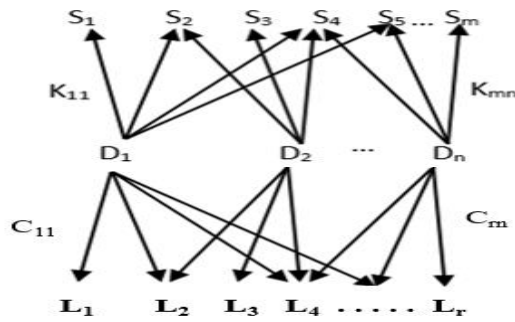
უმცირესი დაფარვის ამოცანა, ინტელექტუალური სისტემა, იშვიათი დაავადება.

I. შესავალი

სამედიცინო დიაგნოსტიკა რთული პროცესია, ამასთან ის არ არის მკაფიო პროცესი. ამიტომ მისი მოდელირებაც არის რთული, ის დაკავშირებულია მონაცემების არასრულბასთან და მათ ცვალებადობასთან. სამედიცინო დიაგნოსტიკის ამოცანა შეიძლება დაიყოს რამდენიმე ეტაპად: პირველ ეტაპზე ხდება პირველადი დიაგნოსტიკა, რომლითაც გაირკვევა, თუ რომელი დიაგნოზები შეესაბამება პაციენტის მდგომარეობას, რომელია უფრო სარწმუნო, მეორე ეტაპზე წინასწარი დიაგნოზების საფუძველზე იგეგმება ინსტრუმენტალურ-ლაბორატორიული კვლევები, შემდეგ ეტაპზე კი მოხდება დიფერენციალური დიაგნოსტიკა, ანუ ამ ეტაპზე ჩატარებული კვლევების შედეგების მიხედვით დაისმება საბოლოო დიაგნოზი.

II. ამოცანის დასმა

ინსტრუმენტალურ-ლაბორატორიული კვლევების დაგეგმვისთვის გამოვიყენოთ მიზეზ-შედეგობრივი სემანტიკური ქსელი [1], რომელსაც აქვს შემდეგი სახე (ნახ.1.).



ნახ.1. ინსტრუმენტალურ-ლაბორატორიული კვლევების დაგეგმვის სემანტიკური ქსელი

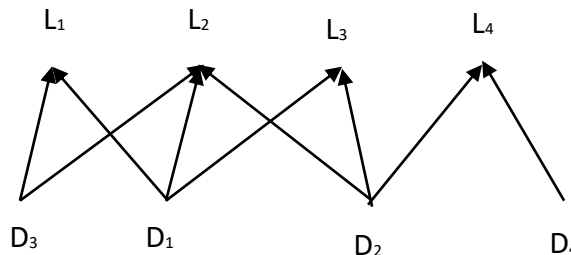
აქ S წვეროები წარმოადგენენ სიმპტომებს/ნიშნებს, D წვეროები - დაავადებებს, თითოეული L_i წვერო, რომელიც დაკავშირებულია D_j დაავადებასთან, წარმოადგენს ამ დაავადების დასადასტურებლად ჩასატარებელ რაიმე გამოკვლევას.

უნდა აღინიშნოს, რომ კონკრეტულ D_j წვეროსთან დაკავშირებული გამოკვლევების ჩატარების რიგითობა დამოკიდებულია შემდეგ ძირითად ფაქტორებზე, რომელთა წონას იძლევა ექსპერტი:

1. ინფორმატიულობა - რამდენად სრულ ინფორმაციას გვაწვდის გამოსაკვლევ ობიექტზე;
2. ღირებულება;
3. ხელმისაწვდომობა - რამდენად შესაძლებელია მოცემულ სიტუაციაში გამოკვლევის ჩატარება;
4. ვადა - რამდენად სწრაფად შეიძლება გამოკვლევის შედეგის მიღება;
5. უსაფრთხოება - რამდენად უსაფრთხოა პაციენტისთვის.

თუ ჩვენ განვიხილავთ რომელიმე ერთი კრიტერიუმის მიხედვით კვლევების ამორჩევას, მაგალითად ღირებულების მიხედვით და ავირჩევთ ისეთი კვლევების ნაკრებს, რომელიც უზრუნველყოფს თითოეულ დიაგნოზს ერთი კვლევით მაინც, ამასთან ამორჩეული კვლევების ჯამური ღირებულება იქნება მინიმალური, მაშინ ჩვენ მივიღებთ ოპტიმიზაციის კარგად ცნობილ მინიმალური დაფარვის ამოცანას [2].

სალუსტრაციოდ განვიხილოთ წინასწარი დიაგნოზების საფუძველზე კვლევების დაგეგმვისთვის საჭირო სემანტიკური ქსელის მაგალითი (ნახ.2):



ნახ. 2. კვლევების დაგეგმვისთვის საჭირო სემანტიკური ქსელის მაგალითი

ნახ.2.-ის მიხედვით შევადგინოთ ცხრილი, პირობითად ჩავთვალოთ რომ თუ D_1 დიაგნოზისათვის საჭიროა L_1 კვლევა, მაშინ შესაბამის უჯრაში ვწერთ 1-ს, წინააღმდეგ შემთხვევაში 0-ს.

		კვლევები			
		L ₁	L ₂	L ₃	L ₄
დიაგნოზები	D ₁	1	1	1	0
	D ₂	0	1	1	1
	D ₃	1	1	0	0
	D ₄	0	0	0	1

ცხრილი 1. წინასწარი დიაგნოზების დასაზუსტებლად საჭირო კვლევების ცხრილი

ამ ცხრილის ელემენტები აღვნიშნოთ a_{ij} -ებით, c_j -ით აღვნიშნოთ j -ური კვლევის წონა რაიმე კრიტერიუმის, მაგალითად ღირებულების მიხედვით.

საზოგადოდ, თუ სულ გვაქვს N წინასწარი დიაგნოზი: D_1, D_2, \dots, D_N და ამ დიაგნოზებისათვის საჭირო M კვლევა: L_1, L_2, \dots, L_M , მაშინ, მინიმალური ჯამური ღირებულების ამოსარჩევი ამოცანა ფორმალური სახით შეგვიძლია ჩავწეროთ შემდეგნაირად:

უნდა მოვახდინოთ მიზნის ფუნქციის მინიმიზაცია:

$$f(x) = \sum_{j=1}^M c_j \cdot x_j, \tag{1}$$

შემდეგი შეზღუდვების გათვალისწინებით:

$$\sum_{j=1}^M a_{ij} \cdot x_j \geq 1, \quad i = 1, \dots, N, \quad x_j \in \{0, 1\}, \quad j = 1, \dots, M, \tag{2}$$

აქ x_j ცვლადი უდრის 1-ს, თუ L_j სვეტი შედის დაფარვაში და უდრის 0-ს წინააღმდეგ შემთხვევაში.

როგორც უკვე აღვნიშნეთ, მივიღეთ დისკრეტული ოპტიმიზაციის ამოცანა, რომელიც მიეკუთვნება NP-რთული ამოცანების კლასს [3]. ამ ამოცანების ზუსტი ამოხსნისათვის გარდა მისი კერძო შემთხვევებისა, არ არსებობს ეფექტური ალგორითმი. ამ ამოცანის ზუსტი ამოხსნა გულისხმობს სრულ გადარჩევას [2, 4, 5], ამოხსნის დრო დამოკიდებულია ამოცანის ზომებზე და ის შესაძლოა ძლიერ გაიზარდოს ამოცანის ზომის ზრდასთან ერთად. ანუ როდესაც M და N დიდი რიცხვებია, სრული გადარჩევა რეალურ დროში შეუძლებელია.

ამ ამოცანების ზუსტი ამოხსნისას ამოცანის ზომებიდან გამომდინარე იყენებენ აგრეთვე შტოების და საზღვრების მეთოდს. დიდი ზომის ამოცანების ამოხსნის შემთხვევაში მიახლოებითი ამოხსნებისათვის ამ ბოლო დროს ხშირად იყენებენ გენეტიკურ ალგორითმებს [6], ნეირონული ქსელებს და სხვა ევრისტიულ ალგორითმებს [5].

III. ამოცანის ამოხსნის ალგორითმი

როდესაც M და N პატარა რიცხვებია, მაშინ შეგვიძლია მოვახდინოთ გადარჩევა შემდეგი ალგორითმით [6]:

ამ ალგორითმის რეალიზაცია განვიხილოთ ზემოთ მოყვანილ მაგალითზე. ვთქვათ, კვლევების ღირებულებებია: $C_1=0.5, C_2=0.72, C_3=0.54, C_4=0.65$. ჯერ შევამოწმოთ ამოხსნის არსებობა კვლევების ყველა შესაძლო წყვილზე: $(L_1, L_2), (L_1, L_3), (L_1, L_4), (L_2, L_3), (L_2, L_4), (L_3, L_4)$. ყოველი წყვილისთვის შევამოწმოთ არის ის დამფარავი თუ არა. ადვილად დავრწმუნდებით, რომ ამ წყვილებში გვაქვს ორი დამფარავი სიმრავლე, ესენია $(L_1, L_4), (L_2, L_4)$, პირველი წყვილის ღირებულებაა: $0.5+0.65=1.15$, მეორე წყვილის ღირებულებაა: $0.72+0.65=1.37$, მაშასადამე ოპტიმალურია (L_1, L_4) წყვილი.

თუ ამოცანას ორეულებში არ აქვს ამოხსნა, ანუ არცერთი ორეული არ აღმოჩნდება დამფარავი, მაშინ გადავდივართ სამეულების შემოწმებაზე. თუ არცერთი სამეული არ აღმოჩნდება დამფარავი, მაშინ გადავდივართ ოთხეულების შემოწმებაზე, და ა.შ. შესაძლოა ამოცანას არ ჰქონდეს ამოხსნა, მაშინ განხილვა დასრულდება მთლიანი ნაკრებით (მაგ.: ამ ამოცანისთვის ექვსეულით).

ცხადია, თუ გვანტიერებს ზუსტი ამოხსნის პოვნა, ჩვენ უნდა გავაგრძელოთ დამფარავი საუკეთესო სამეულის, ოთხეულის და ა.შ. მოძებნა. თუ $N < M$, მაშინ დავასრულებთ N -ეულების გადასინჯვით, წინააღმდეგ შემთხვევაში გავაგრძელებთ პროცესს კვლევების მთლიანი ნაკრების გადასინჯვამდე.

თუ ჩვენს (1)-(2) ამოცანას დავამატებთ შემდეგ შეზღუდვას:

$$\sum_{i=1}^M c_i x_i < limit \quad (3)$$

სადაც, c_i -ები კვლევების ღირებულებებია, ხოლო $limit$ -არის პაციენტის ფინანსური შესაძლებლობა, მაშინ ცხადია გადარჩევას დავასრულებთ მაშინვე, როგორც კი მე-(3) პირობა იქნება დარღვეული.

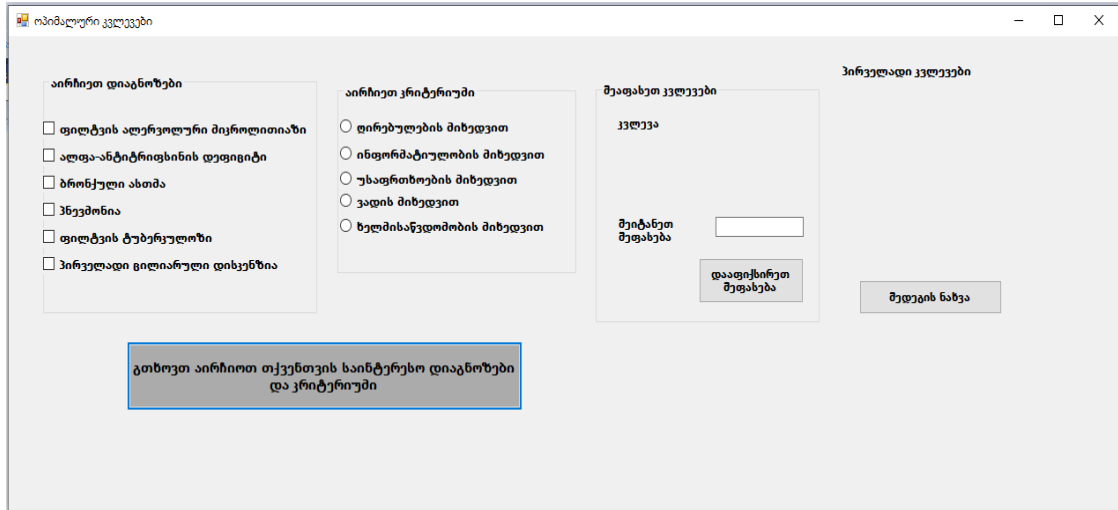
თუ ვიგულისხმებთ, რომ თითოეული დიაგნოზისთვის უნდა შევარჩიოთ მხოლოდ ერთი აუცილებელი კვლევა, მაშინ (1)-(2) ამოცანაში მე-(2) შეზღუდვებში უტოლობების ნაცვლად გვექნება მკაცრი ტოლობა:

$$\sum_{j=1}^M a_{ij} \cdot x_j = 1, \quad i = 1, \dots, N, \quad x_j \in \{0, 1\}, \quad j = 1, \dots, M, \quad (4)$$

(1), (4) ამოცანა კი წარმოადგენს უმცირესი დაყოფის პოვნის ამოცანას. ჩვენს ზემოთ განხილულ მაგალითში (ცხრილი 1), უნდა ამოვარჩიოთ ის სვეტები, რომელთა ჯამური წონა (ღირებულება) იქნება მინიმალური და ამორჩეული სვეტების შესაბამის თითოეულ სტრიქონში გვექნება მხოლოდ ერთი 1-იანი. იმავე ალგორითმის გამოყენებით ადვილად დავრწმუნდებით რომ ამ წყვილებიდან მხოლოდ ერთი წყვილი აკმაყოფილებს (4) ტოლობებს, ეს არის (L1, L4) წყვილი, რომლის წონა უდრის 1.15-ს. მაშასადამე ოპტიმალურია (L1, L4) წყვილი. ანუ ამ ეტაპზე პრიორიტეტულია L1 და L4 კვლევების ჩატარება.

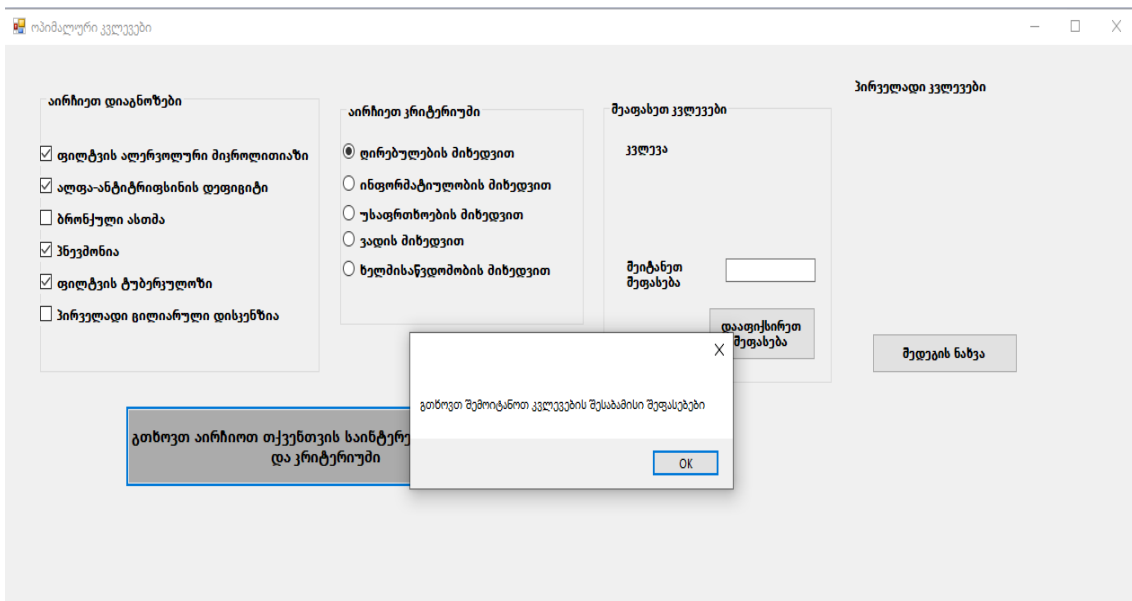
IV. ალგორითმის რეალიზებით მიღებული შედეგები

ამ ალგორითმის სარეალიზაციო პროგრამა დაიწერა ობიექტზე ორიენტირებულ დაპროგრამების C# ენაზე. პროგრამის მუშაობა შემოწმებულია მრავალ სატესტო მაგალითზე. აგრეთვე შევამოწმეთ სამედიცინო დაწესებულების რეალურ მონაცემებზე. აქ სავარაუდო დიაგნოზების რაოდენობა არის 6, ხოლო ჩასატარებელი მიზანშეწონილი კვლევების რაოდენობაა 21. პროგრამის გაშვების შემდეგ მიიღება ინტერფეისი, რომელშიც მომხმარებელს/ექიმს ეძლევა საშუალება აირჩიოს მისთვის მეტად საინტერესო დიაგნოზები და ერთ-ერთი კრიტერიუმში, რომლის მიხედვით ის მიიღებს იმ კვლევების ჩამონათვალს რომლის ჩატარებაც აუცილებელი იქნება პაციენტისათვის მიმდინარე ეტაპზე. აგრეთვე გვეცოდინება ამ კვლევების ჯამური შეფასება. ნახ.3-ზე მოცემულია ფორმა, რომელზეც მომხმარებელი თავდაპირველად ირჩევს სავარაუდო დიაგნოზებს, და კრიტერიუმს. ამის შემდეგ ფორმაზე გამოდის კვლევის დასახელება და აქ უკვე მომხმარებელმა არჩეული კრიტერიუმის შესაბამისად უნდა შეიტანოს კვლევის შეფასება ((0, 1] ინტერვალიდან). კოეფიციენტების დაფიქსირების შემდეგ ფორმაზე გამოვა პირველადი კვლევების ჩამონათვალი და მათი ჯამური შეფასება.



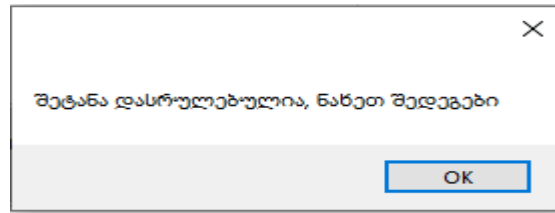
ნახ. 3. პროგრამის მუშაობის დაწყება

ნახ. 4.-ზე მოცემულია ის შემთხვევა, როდესაც მომხმარებელმა აირჩია მისთვის მეტად საინტერესო დიაგნოზები, კრიტერიუმად კი - ღირებულება:



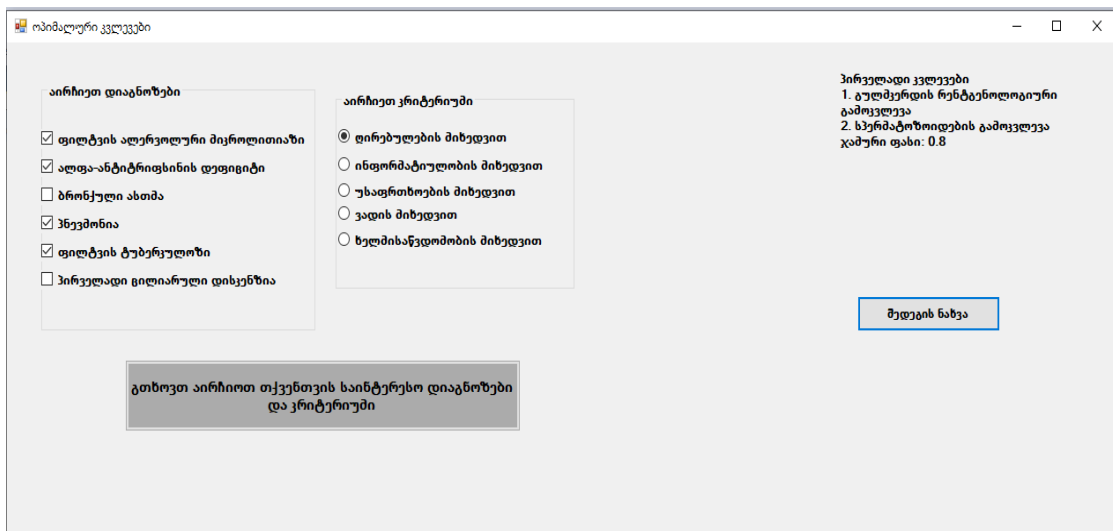
ნახ. 4. მომხმარებელმა აირჩია სავარაუდო დიაგნოზები და კრიტერიუმი

ამის შემდეგ, გამოდის შეტყობინება „გთხოვთ შემოიტანოთ კვლევების შესაბამისი შეფასებები“. ვინაიდან, არ არის ყველა დიაგნოზი არჩეული, მომხმარებელს მოუწევს მხოლოდ არჩეული დიაგნოზების შესაბამისი კვლევების შეფასების დაფიქსირება შერჩეული კრიტერიუმის გათვალისწინებით. შეფასებების დაფიქსირების შემდეგ გამოვა შეტყობინება (ნახ.5):



ნახ. 5. შედეგების ნახვაზე გადასვლის შეტყობინება

ბოლოს კი „შედეგების ნახვა“ ლილაკზე მოქმედების შემდეგ მიიღებს პაციენტისათვის შერჩეულ კვლევებს და მათ ჯამურ ფასს (ნახ.6).



ნახ. 6. პროგრამის მუშაობის ერთ-ერთი შედეგი

Effective planning of instrumental and laboratory examinations for the diagnosis of rare diseases

Natela Ananiashvili, Maia Mikeladze

Summary

The paper discusses the task of effective planning of instrumental-laboratory studies required for differential diagnosis of rare diseases. Each survey is evaluated according to one of the following criteria: informativeness, cost, accessibility, timeliness, harmlessness. The goal is to select the set of examinations that best meets this criterion and covers all desired diagnoses. This problem is a minimal coverage problem for which a heuristic algorithm is proposed. Depending on what diagnoses the doctor considers and on what criterion he evaluates the examinations, the proposed algorithm selects the most appropriate set of examinations. The algorithm is implemented as a corresponding component of an intelligent system designed for the diagnosis and treatment of rare diseases.

Эффективное планирование инструментально-лабораторных обследований для диагностики редких болезней

ნატელა ანანიაშვილი, მაია მიქელაძე

Резюме

Рассматривается задача эффективного планирования инструментально-лабораторных обследований, необходимых для дифференциальной диагностики редких болезней. Каждое обследование оценивается по какому-то одному из следующих критериев: информативность, стоимость, доступность, срочность, безвредность. Целью является подбор совокупности обследований, наилучшей с точки зрения этого критерия и охватывающей все желаемые диагнозы. Эта задача является задачей минимального покрытия, для решения которой предлагается эвристический алгоритм. В зависимости от того, какие диагнозы рассматривает врач и по какому критерию оценивает обследования, предложенный алгоритм подбирает наиболее целесообразную совокупность обследований. Алгоритм реализован как соответствующая компонента интеллектуальной системы, предназначенной для диагностики и лечения редких болезней.

ლიტერატურა – References – Литература

1. მიქელაძე მ., რაძიევსკი დ., ფაღვა ვ., იშვიათი დაავადებების დიაგნოსტიკის ინტელექტუალური სისტემის შემუშავება მიზეზ-შედეგობრივი სემანტიკური ქსელების საფუძველზე. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის 100 და ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის 65 წლისთავისადმი მიძღვნილი საერთაშორისო სამეცნიერო-პრაქტიკული კონფერენცია „ინოვაციები და თანამედროვე გამოწვევები - 2022“, თბ, 2022, გვ. 259-263.
2. Christofides Nicos Graph Theory. An Algorithmic Approach, Computer science and applied mathematics [Book]. - London : Academic Press, 1986.
3. Garey M. R. and Johnson D. S. Computers and intractability. A guide to the theory of NP-completeness [Book]. - [s.l.] : San Francisco: W. H. Freeman and Co., 1979.
4. Ananiashvili N., "Solution of problems of minimal set partition and set covering". (2015) Bull. Georg. Natl. Sci., 9, 1: 38-43
5. ანანიაშვილი ნ., "მცირე და საშუალო ზომის უმცირესი დაფარვის ამოცანების ამოხსნის ერთი მარტივი ალგორითმის შესახებ", საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ა. ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული №25, თბ, 2021, გვ.157-162.
6. Ananiashvili N., "Solution of problem of set covering by means of genetic algorithm", gesj: computer sciences and telecommunications, Reviewed Electronic Scientific Journal, 2015|No.2(46):16-23. (I.F.)

იშვიათი დაავადებების სიმპტომატური მკურნალობის შერჩევა

ნათელა ანანიაშვილი, მია მიქელაძე

ia.ananiashvili@gmail.com, mikeladzemaia@yahoo.com

რეზიუმე

იშვიათი დაავადებების დროს ძირითადად მიმართავენ სიმპტომატურ მკურნალობას, რადგან მიზეზზე ზემოქმედება ვერ ხერხდება. ნაშრომში წარმოდგენილია მეთოდი, რომელიც პაციენტის სიმპტომებისა და მედიკამენტების გარკვეული ჩამონათვლის საფუძველზე ამოარჩევს რომელიმე ერთი კრიტერიუმის მიხედვით წამლების საუკეთესო ნაკრებს, რომელიც იმოქმედებს პაციენტის ყველა სიმპტომზე. იშვიათი დაავადების შემთხვევაში შემოთავაზებული მეთოდი ექიმს დაეხმარება შეურჩიოს პაციენტს ოპტიმალური სიმპტომატური მკურნალობა.

საკვანძო სიტყვები:

უმცირესი დაფარვის ამოცანა, იშვიათი დაავადებები, სიმპტომატური მკურნალობა

I. შესავალი

დღეისათვის ფარმაცოთერაპიაში ერთ-ერთ მიმართულებას წარმოადგენს სიმპტომატური მკურნალობა, რაც თავის მხრივ გულისხმობს ავადმყოფობის ცალკეული სიმპტომების აღმოფხვრაზე მიმართულ მკურნალობას. ეს შესაძლოა იყოს ტემპერატურის დამწვევი, ხველების საწინააღმდეგო, ღებინების, ტკივილგამაუფრებელი პრეპარატები. ასეთი მიდგომა გამართლებულია, რადგან დაავადების დროს შესაძლებელია გარკვეული მედიკამენტის მიღებით პაციენტს შეუმსუბუქდეს მდგომარეობა, ვიდრე შედეგს არ გამოიღებს დაავადების მიზეზზე მოქმედი მკურნალობა.

რაც შეეხება იშვიათ დაავადებებს, ამ შემთხვევაში დაავადების საბოლოო განკურნება შეუძლებელია, რადგან მიზეზზე ზემოქმედება ვერ ხერხდება. ამიტომ იშვიათი დაავადებების დროს ძირითადად მიმართავენ სიმპტომატურ მკურნალობას, რითაც ცდილობენ პაციენტის ცხოვრების ხარისხის გაუმჯობესებას.

II. ამოცანის დასმა

მედიკამენტებით მკურნალობის დროს მნიშვნელოვანია მკურნალობის მიზნის განსაზღვრა, როგორცაა მაგალითად: არსებული სიმპტომების შესუსტება, მოსალოდნელი გართულებების თავიდან აცილება. გასათვალისწინებელია აგრეთვე ავადმყოფობა როგორ პროგრესირებს, ალერგიულობა წამლის გარკვეულ კომპონენტზე. ამასთან სხვადასხვა პაციენტს ერთი და იგივე დაავადების მიმართ ესაჭიროებათ ინდივიდუალური მიდგომა, მათი მდგომარეობის მიხედვით, მაგალითად ავადობის მიმდინარეობა, ასაკი, თანმხლები დაავადებები და სხვა. ზოგადად კი, ნებისმიერი პრეპარატი შედგება სხვადასხვა ქიმიური ელემენტების ნაერთებისაგან და ექიმმა უნდა გაითვალისწინოს პაციენტის მგრძობელობა ამ კომპონენტებზე.

სიმპტომატური მკურნალობის დროს წამოიჭრება შემდეგი ამოცანა. ყოველი წამალი შეიძლება მოქმედებდეს რამოდენიმე სიმპტომზე. საჭიროა შეირჩეს სამკურნალო საშუალებების „საუკეთესო“ ნაკრები, რომელიც იმოქმედებს ყველა სიმპტომზე. ამასთან შეძლებისდაგვარად უნდა გამოირიცხოს ერთდამავე სიმპტომზე ზემოქმედების დუბლირება სხვადასხვა წამლის მხრიდან. „საუკეთესო“ ნიშნავს, რომ სამკურნალო

საშუალებების შერჩევასაც ვცდილობთ რაიმე კრიტერიუმის ოპტიმიზირებას მაგ., მაქსიმალური ეფექტურობის ან მინიმალური მანერბლობის მიღწევას.

ნაშრომში წარმოდგენილია მეთოდი, რომელიც პაციენტის სიმპტომებისა და მედიკამენტების გარკვეული ჩამონათვლის საფუძველზე ამოარჩევს რომელიმე ერთი კრიტერიუმის მიხედვით წამლების ყველაზე საუკეთესო ნაკრებს.

III. მათემატიკური მოდელი და ამოხსნის ალგორითმი

შემოვიღოთ აღნიშვნები: ვთქვათ, გვაქვს m დასახელების წამალი, აღვნიშოთ ისინი: L_1, L_2, \dots, L_m -ით და n რაოდენობის სიმპტომების ნაკრები: S_1, S_2, \dots, S_n -ით. აღვნიშნოთ E_{ij} -ით $L_j, j = 1, 2, \dots, m$ წამლის უნარი იმოქმედოს $S_i, i = 1, 2, \dots, n$ სიმპტომზე:

$$E_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{თუ } L_j \text{ მოქმედებს } S_i \text{ სიმპტომზე} \\ 0, & \text{თუ } L_j \text{ არ მოქმედებს } S_i \text{ სიმპტომზე} \end{cases}$$

ეს დამოკიდებულება შეგვიძლია გამოვსახოთ შემდეგი ცხრილის სახით:

	L_1	L_2	...	L_m
S_1	1	0	...	1
S_2	0	1	...	1
...
S_n	1	1	...	0

ცხრილი 1. წამლების მოქმედება სიმპტომებზე

ჩვენი ამოცანაა პაციენტს შევურჩიოთ წამლების ის ქვენაკრები, რომელიც მოიცავს მის ყველა სიმპტომს და „საუკეთესოა“ რაიმე f კრიტერიუმის მიხედვით,

$$f = \sum_{j=1,2,\dots,m} x_j c_j \rightarrow \min \quad (1)$$

სადაც $c_j - j$ -ური წამლის წონაა არჩეული კრიტერიუმის მიხედვით, ხოლო $x_j, j = 1, 2, \dots, m$ კოეფიციენტები ან 0-ია ან 1, კერძოდ:

$$x_j = \begin{cases} 1, & \text{თუ არჩეულია } L_j \text{ მედიკამენტი} \\ 0, & \text{თუ არ არის არჩეული } L_j \text{ მედიკამენტი} \end{cases}$$

შემდეგი შეზღუდვების გათვალისწინებით:

$$\sum_{j=1}^m E_{ij} \cdot x_j \geq 1, \quad i = 1, \dots, n, \quad x_j \in \{0, 1\}, \quad j = 1, \dots, m, \quad (2)$$

ამ ფორმულირებით დასმული ჩვენი ამოცანა კი არის ოპტიმალური მართვის თეორიაში კარგად ცნობილი უმცირესი დაფარვის ამოცანა [1], რომელიც მიეკუთვნება NP რთული ამოცანების კლასს [2], რაც ნიშნავს რომ მისი ზუსტი ამოხსნისათვის არ არსებობს „სწრაფი“ ამოხსნის ალგორითმი, ძირითადად ამ ალგორითმებში ხდება შესაძლო ამოხსნების სრული გადარჩევა და თანამედროვე ყველაზე მძლავრ კომპიუტერზეც კი საჭიროა რამდენიმე საათი. ამოცანის განზომილების (შემაავალი ცვლადების რაოდენობის) ზრდასთან ერთად ეს დრო იზრდება ექსპონენციალური სიჩქარით, რის გამოც დიდი ზომის ამოცანის

შემთხვევაში შეუძლებელი ხდება ზუსტი ამოხსნის მიღება. დღეისათვის მიმართავენ მიახლოებით ალგორითმებს, რომლებიც ზუსტ ამოხსნასთან მიახლოებულ ამოხსნებს იძლევიან, მცირე დროში, ანუ ამ შემთხვევაში ამოხსნის დრო ამოცანის ზომების მიმართ ხდება პოლინომიალური [3],[4],[5]. ვინაიდან, ჩვენს კონკრეტულ შემთხვევაში არც სიმპტომების რაოდენობა იქნება დიდი და არც მედიკამენტების ჩამონათვალი, შეგვიძლია გამოვიყენოთ [4]-ში მოყვანილი ალგორითმი, რომელიც მცირე ზომის ამოცანებისათვის რამდენიმე წამში იძლევა ზუსტ ამოხსნას.

ალგორითმის იდეა კი შემდეგში მდგომარეობს: გვაქვს სიმპტომების ჩამონათვალი, რომელიც აწუხებს კონკრეტულ პაციენტს და გვაქვს იმ წამლების ჩამონათვალი, რომლებიც მორგებულია ამ პაციენტის სიმპტომებზე. ამასთან კონკრეტული წამალი შესაძლოა მოქმედებს რომელიმე სიმპტომზე/სიმპტომებზე, დანარჩენ სიმპტომებზე კი არა. ვიცით აგრეთვე მედიკამენტების შეფასება რაიმე კრიტერიუმის მიხედვით. იმისათვის რომ დაინიშნოს ამ კრიტერიუმის მიხედვით ოპტიმალური მკურნალობა, ვამჯობინებთ რომ შერჩეული მედიკამენტები მოქმედებდეს პაციენტის ყველა სიმპტომზე და ამავე დროს ვარჩევთ ჯამურად რაც შეიძლება მინიმალური შეფასების ნაკრებს. გადარჩევას კი ვახდენთ შემდეგნაირად: თავიდან ვიღებთ ჩამოთვლილიდან ნებისმიერ ორ მედიკამენტს და ვადარებთ რამდენად მორგებულია ეს ორი მედიკამენტი პაციენტის სიმპტომებზე. შესაძლოა ასე არჩეულ ორეულეებში გვქონდეს წამლების რამდენიმე ორეული, რომლებიც პაციენტის ყველა სიმპტომზე მოქმედებს. მაშინ ამ ორეულეებიდან ავირჩევთ იმ ნაკრებს, რომელსაც ჯამური შეფასება არჩეული კრიტერიუმის მიხედვით აქვს მიმინიმალური. მაგრამ შესაძლოა წამლებიდან არჩეული არცერთი ორეული არ „ფარავდეს“ ჩვენი პაციენტის სიმპტომებს, ასეთ შემთხვევაში ვიხილავთ მედიკამენტების ჩამონათვალიდან ყველა სამეულს. ანალოგიური წესით ვარჩევთ მედიკამენტების სამეულებს. თუ სამეულებშიც არ აღმოჩნდა ოპტიმალური ნაკრები, მაშინ გადავდივართ ოთხეულების განხილვაზე, და ა.შ. მანამ არ ვიპოვით ჩვენი პაციენტის მკურნალობისათვის ოპტიმალურ ნაკრებს.

ალგორითმში გათვალისწინებულია აგრეთვე ის სიტუაცია, როდესაც პროგრამამ აირჩია ოპტიმალური ორეული, მაგრამ კვლავ აგრძელებს სამეულების გადახედვას იმ „იმედით“, რომ შესაძლებელია ჩამონათვალი იყოს ისეთი სამი მედიკამენტი, რომელიც ერთობლივად აგრეთვე ფარავს პაციენტის ყველა სიმპტომს და ამასთანავე ჯამური შეფასება უფრო ნაკლებია, ვიდრე მანამდე არჩეული ორეულის. ანალოგიურად, თუ ვიპოვით ოპტიმალური სამეული, ვამოწმებთ ოთხეულებს და ა.შ.

შევნიშნოთ რომ, კონკრეტული პაციენტის მდგომარეობა აღიწერება სიმპტომების ვექტორით, მაგალითად ასეთით:

S'_1	S'_2	S'_3	S'_4	S'_5	S'_6	S'_7	S'_8	S'_9
1	0	1	1	1	0	0	0	1

აქ $S'_2 = 0$, რაც ნიშნავს რომ ამ პაციენტს არ აღენიშნება S_2 სიმპტომი, ამიტომ მისთვის შესაბამის ცხრილი 1.-ში, ჩვენ შეგვიძლია წავშალოთ მე-2 სტრიქონი და დაფარვისთვის განვიხილოთ უფრო მცირე ზომის მატრიცა. ცხადია ამ კონკრეტულ ცხრილში აგრეთვე წაიშლება მე-6, მე-7 და მე-8 სტრიქონებიც. ამის შემდეგ ხდება დარჩენილი მატრიცის „გადახედვა“: ხომ არ გვაქვს ისეთი სვეტი, რომელშიც სულ 0-ებია, რაც პრაქტიკულად ნიშნავს ისეთ პრეპარატს, რომელიც მოქმედებდა წაშლილ სიმპტომებზე, ამ კონკრეტულ შემთხვევაში ასეთია L_3 წამალი, ამიტომ მე-3 სვეტიც უნდა ამოვიღოთ განხილვიდან. რადგან L_3 მედიკამენტი არ მოქმედებს ამ პაციენტის არცერთ სიმპტომზე, ჩვენი პროგრამა მას არ განიხილავს. ეს მოქმედებები ამარტივებს ამორჩევის პროცესს.

ალგორითმის დემონსტრირებისათვის განვიხილოთ ცხრილი 1.-ის მაგალითი. ვთქვათ, გვაქვს სიმპტომების და წამლების შემდეგი ჩამონათვალი:

	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6
S_1	1	0	0	1	1	1
S_2	0	1	0	0	1	1
S_3	1	0	1	1	0	0
S_4	1	1	0	0	0	1
S_5	0	0	0	1	1	0
S_6	1	1	1	0	0	0
S_7	0	1	1	1	0	0
S_8	1	1	0	1	1	0
S_9	1	0	0	0	1	1

ცხრილი 2. წამლების ზემოქმედების ცხრილი კონკრეტული სიმპტომების მიმართ

ვთქვათ, ამ წამლების შეფასებები არჩეული კრიტერიუმის მიხედვით არის 0.355, 0.329, 0.247, 0.268, 0.275, 0.237 შესაბამისად. მაშინ ზემოთ მოყვანილი ალგორითმის გამოყენებით, თუ განვიხილავთ ჩამოთვლილი წამლებიდან ყველა შესაძლო ორეულს, მივიღებთ რომ L_5 და L_6 წამლის არჩევა იქნება ყველაზე ოპტიმალური: ისინი მოქმედებენ ჩვენი პაციენტის ყველა სიმპტომზე, აგრეთვე მათი ჯამური შეფასება არის მინიმალური და 0.512 შეადგენს. შევნიშნოთ რომ თუ განვიხილავთ ამ წამლების სამეულებს, მაშინ ყველაზე ოპტიმალური სამეული იქნება L_4 , L_5 და L_6 წამლები, მაგრამ მათი ჯამური შეფასება უკვე 0.78 -ის ტოლია.

იშვიათი დაავადების შემთხვევაში შემოთავაზებული მეთოდი ექიმს დაეხმარება შეურჩიოს პაციენტს ოპტიმალური სიმპტომატური მკურნალობა.

Selection of symptomatic treatment for rare diseases

Natela Ananiashvili, Maia Mikeladze

Summary

In the case of rare diseases, symptomatic treatment is mainly used, since it is impossible to influence the cause of the disease. The paper presents a method that, based on the patient's symptoms and a certain list of drugs, allows you to select a set of drugs that is best in terms of one criterion and covers all the patient's symptoms. In the case of rare diseases, the proposed method will help the doctor choose the optimal symptomatic treatment for the patient.

Подбор симптоматического лечения редких болезней

Натела Ананиашвили, Майя Микеладзе

Резюме

В случае редких болезней, в основном, применяется симптоматическое лечение, так как невозможно воздействовать на причину заболевания. В работе представлен метод, который на основе симптомов пациента и определенного списка лекарств позволяет подобрать набор

лекарств, наилучший с точки зрения какого-то одного критерия и охватывающий все симптомы пациента. В случае редких заболеваний предложенный метод поможет врачу подобрать оптимальное симптоматическое лечение для пациента.

ლიტერატურა – References – Литература

1. Christofides Nicos Graph Theory. An Algorithmic Approach, Computer science and applied mathematics [Book]. - London : Academic Press, 1986.
2. Garey M. R. and Johnson D. S. Computers and intractability. A guide to the theory of NP-completeness [Book]. - [s.l.] : San Francisco: W. H. Freeman and Co., 1979.
3. Ananiashvili N., "Solution of problems of minimal set partition and set covering". (2015) Bull. Georg. Natl. Sci., 9, 1: 38-43
4. ანანიაშვილი ნ., "მცირე და საშუალო ზომის უმცირესი დაფარვის ამოცანების ამოხსნის ერთი მარტივი ალგორითმის შესახებ", საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ა.ე.ლიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული №25, თბ, 2021, გვ.157-162.
5. Ananiashvili N., "Solution of problem of set covering by means of genetic algorithm", gesj: computer sciences and telecommunications, Reviewed Electronic Scientific Journal, 2015|No.2(46):16-23. (I.F.)

**სამედიცინო მხარდამჭერი ინტელექტუალური სისტემის შექმნა
მკურნალობის ამოცანათა გადასაწყვეტად**

ვადიმ რადიევსკი, მაია მიქელაძე, დიმიტრი რადიევსკი, ილია ოკონიანი
v_radzievski@yahoo.com, mikeladzemaia@yahoo.com, dradzievski@gmail.com,
i.okonian@gmail.com

რეზიუმე

განხილვა სამედიცინო მხარდამჭერი ინტელექტუალური სისტემის მოდელი მკურნალობის ამოცანის გადასაწყვეტად. ამოცანის ამოსახსნელად გამოიყენება ცოდნის წარმოდგენის სემანტიკური ქსელი, რომლის წვეროები წარმოადგენენ სიმპტომებსა და სამკურნალო პრეპარატებს, ხოლო რკალები დამოკიდებულებებს, რომლებიც ასახავენ პრეპარატების ზემოქმედებას დარღვევების მიმართ. სემანტიკური ქსელი წარმოადგინება ნულ-ერთეულოვანი მატრიცის სახით. არამკაფიო ცოდნის შემთხვევაში ქსელის რკალებს და შესაბამისი მატრიცის ელემენტებს მიწერებათ წონითი კოეფიციენტები. სამუშაოს ერთ მეთოდში ოპტიმალური წამლის ასარჩევად გამოიყენება ალგებრული ოპერაციები მატრიცებზე და მეორეში არამკაფიო სიმრავლეთა თეორიის მეთოდები. ორივე შემთხვევაში წამალთა შეფასება ხორციელდება მრავალი კრიტერიუმების საფუძველზე.

საკვანძო სიტყვები:

დიაგნოსტიკა, მკურნალობა, დაავადება, პაციენტი, სამედიცინო პრეპარატი.

მედიცინის ერთ-ერთი ძირითადი ამოცანა დაკავშირებულია პაციენტის მკურნალობასთან. მკურნალობა არის პროცესი, რომლის მიზანია დაავადების, პათოლოგიური მდგომარეობის ან სხვა დარღვევის აღმოფხვრა. ამ ამოცანის გადასაწყვეტად, უპირველეს ყოვლისა, უნდა ჩატარდეს პაციენტის მდგომარეობის დიაგნოსტიკა და დასმული დიაგნოზის საფუძველზე უნდა შეირჩეს მკურნალობის რაციონალური ვარიანტი. სამუშაოებში [1,2,3] იყო განხილული და დამუშავებული დიაგნოსტიკების სხვადასხვა ინტელექტუალური სისტემები ექიმის მხარდასაჭერად. მოცემული სამუშაო დაკავშირებულია სამედიცინო ინტელექტუალური სისტემის შექმნასთან ექიმის მხარდასაჭერად პაციენტის მკურნალობის პროცესში.

მკურნალობის პროცესში ხორციელდება თერაპიული საშუალებებით ზეგავლენის მოხდენა დაავადების მიზეზზე, პათოლოგიური პროცესების მექანიზმებზე და დაავადების სიმპტომებზე. ყოველივე ეს მოითხოვს სხვადასხვა სახის სამკურნალო ზემოქმედებას, რომლებიც მოიცავენ წამლებს, ფიზიოთერაპიას, დიეტას, ვარჯიშს და ა.შ.

ამოცანის გადასაწყვეტად განვიხილოთ ექიმის საქმიანობა დიაგნოზის დასმის შემდეგ. ყოველ დიაგნოზთან ასოცირებულია მკურნალობის მეთოდების სიმრავლე. ექიმის ხელოვნება მდგომარეობს მკურნალობის ყველაზე ეფექტიანი მეთოდის არჩევაში. დავუშვათ, ექიმმა აირჩია და გამოიყენა ამ სიმრავლიდან ერთ-ერთი, რომელიც რაღაც კრიტერიუმების მიხედვით არის ეფექტური კონკრეტული პაციენტისთვის. ამის შემდეგ ექიმმა უნდა შეამოწმოს გამოწვეული შედეგი, გაუმჯობესდა თუ არა პაციენტის მდგომარეობა. თუ გაუმჯობესდა, მაშინ აგრძელებს იგივე ან მსგავსი მეთოდის გამოყენებას. თუ მდგომარეობა არ გაუმჯობესდა, მაშინ ექიმი ცვლის სტრატეგიას და იგივე ქმედებას ახორციელებს ახალი სამკურნალო საშუალებების გამოყენებით. გარკვეული დროის შემდეგ ადარებს მიღებულ და

სასურველ მდგომარეობას. თუ მიმდინარე მდგომარეობა დაუახლოვდა სასურველს, მაშინ მკურნალობის პროცესი სწორად მიმდინარეობს.

ინტელექტუალური სისტემების განვითარებამ დღის წესრიგში დააყენა ისეთი კომპიუტერული სისტემების აგება, რომლებიც იყენებენ სხვადასხვა დარგის სპეციალისტების ცოდნას პრაქტიკულ ამოცანათა გადასაწყვეტად. ამჟამად, ცოდნაზე დაფუძნებულმა სისტემებმა მოიპოვეს გამოყენება მრავალ სფეროში, მათ შორის მედიცინაში. მოცემულ ნაშრომში განიხილება ცოდნაზე დაფუძნებული სამედიცინო სამკურნალო მხარდაჭერი ინტელექტუალური სისტემის შექმნა.

პრიორიტეტი, რომელიც ენიჭება ცოდნას, ეფუძნება იმ პრინციპებს, რომლებიც გამოთქმულია ხელოვნური ინტელექტის მრავალი სპეციალისტის, კერძოდ, ცნობილი აშშ-ის მეცნიერის ფეიგენბაუმის [4] მიერ. ერთ-ერთი ასეთი პრინციპი ეხება ცოდნაზე დაფუძნებულ სისტემებს. ამ პრინციპის შესაბამისად ცოდნაზე დაფუძნებული სისტემების სიმძლავრე განპირობებულია, უპირველეს ყოვლისა, ცოდნის ბაზის სიმძლავრით და მხოლოდ მეორე რიგში იმ მეთოდებით (პროცედურებით), რომლებიც მათ მიმართ გამოიყენება. ასეთ ინტელექტუალურ სისტემაში აკუმულირებული იქნება ის ცოდნა და გამოცდილება, რომელიც დაგროვილია შესაბამის სფეროში.

უნდა აღინიშნოს, რომ ინტელექტუალურ სისტემებში ინახება ძირითადად ევრისტიკული ცოდნა. ასეთი ცოდნის გამოყენების აუცილებლობა ჩნდება მაშინ, როდესაც შეუძლებელია დასმული ამოცანის ამოხსნის წესების ზუსტი ფორმულირება, ვერ ხერხდება ან შეუძლებელია ამოცანის ამოხსნა ფორმალური მეთოდების მეშვეობით. ამ შემთხვევაში ამოცანის გადასაწყვეტად გამოიყენება კომპიუტერში ცოდნის წარმოდგენის მეთოდები და მოდელები. მედიცინაში ცოდნის წარმოსადგენად ხშირად გამოიყენება პროდუქციული სისტემები და სემანტიკური ქსელები.

განსახილველი ამოცანის გადასაწყვეტად ჩვენ ავირჩიეთ ცოდნის წარმოდგენის სემანტიკური ქსელები. ჩვენ შემთხვევაში ქსელის წვეროები წარმოსადგენენ სიმპტომებსა და სამკურნალო პრეპარატებს, ხოლო რკალები დამოკიდებულებებს, რომელიც ასახავენ პრეპარატების ზემოქმედებას ამ სიმპტომების გამომწვევ დარღვევებზე. გრაფის სახით წარმოდგენილი სემანტიკური ქსელი შეიძლება გამოვსახოთ ნულ-ერთეულოვანი მატრიცის სახით. არამკაფიო ცოდნის შემთხვევაში ქსელის რკალებს და შესაბამისი მატრიცის კომპონენტებს მიეწერებათ წონითი კოეფიციენტები, რომლებიც ასახავენ ზემოქმედების ხარისხს და ღებულობენ მნიშვნელობებს (0-1) შუალედიდან. ზემოქმედების ხარისხებს იძლევა ექიმი-ექსპერტი თავისი ცოდნის და გამოცდილების საფუძველზე [5].

სამუშაოში განიხილება წამლების არჩევის მეთოდი, რომელშიც არჩევა ხდება რამდენიმე კრიტერიუმის მიხედვით. ვთქვათ, დაავადების შესაძლო სიმპტომების სიმრავლე წარმოდგინება S ვექტორის s_1, s_2, \dots, s_n კომპონენტების სახით. პაციენტის მკურნალობისთვის უნდა გამოვიყენოთ წამალი, რომელსაც შეუძლია პაციენტის განკურნება და მისი სიმპტომების ალაგება. ყოველი ამ წამლის მიმზიდველობა ფასდება პაციენტის ორგანიზმში სხვადასხვა დარღვევებზე დადებითი ზემოქმედების ეფექტიანობით. ესე იგი კრიტერიუმები, რომელთა საფუძველზე ფასდება წამალი შეიძლება იყოს შემდეგი:

- 1) ეფექტიანობა s_1 დარღვევის ან სიმპტომის მოცილების ან შემცირების მიმართ,
- 2) ეფექტიანობა s_2 დარღვევის ან სიმპტომის მოცილების ან შემცირების მიმართ და ა.შ.

ყოველი A_i წამლის ზემოქმედების ეფექტიანობა s_i სიმპტომზე მოიცემა კოეფიციენტით c_{ij} , რომელიც ღებულობს მნიშვნელობას (0-1)-ის შუალედში.

ვთქვათ სისტემა ღებულობს ინფორმაციას პაციენტის სიმპტომების ნაკრების შესახებ. არის აგრეთვე იმ წამლების ნუსხა, რომელთა მიღება ნაჩვენებია ამ დაავადებისას. ცხადია, რომ თითოეული არსებული წამალი სხვადასხვანაირად მოქმედებს პაციენტზე. ვინაიდან თერაპიის მთავარი ამოცანაა არა დაავადების, არამედ პაციენტის მკურნალობა, ჩვენ უნდა ავირჩიოთ წამალი, ან წამალთა ჯგუფი, რომელიც მაქსიმალური ეფექტიანობით, დადებითად მოქმედებს კონკრეტული პაციენტის დარღვევებზე. როგორც ზემოთ იყო

აღნიშნული, დაავადების შესაძლო სიმპტომები წარმოიდგინება S ვექტორის კომპონენტების s_1, s_2, \dots, s_n სახით. კონკრეტულ პაციენტს შეიძლება ჰქონდეს მხოლოდ ზოგიერთი სიმპტომი ამ ნუსხიდან. იმის საჩვენებლად რა სიმპტომები გააჩნია პაციენტს, აიგება ნულ-ერთეულოვანი ვექტორი, რომელიც აჩვენებს სიმპტომების არსებობას – 1 და არარსებობას – 0.

ამ ამოცანის გადასაწყვეტად ავაგოთ C მატრიცა (ნახ.1), რომელშიც ყოველი A_j წამლის ეფექტიანობა s_j სიმპტომის მიმართ მოიცემა c_{ij} კოეფიციენტის მეშვეობით.

$$C = \begin{matrix} & A_1 & \dots & A_n \\ S_1 & [c_{11} & \dots & c_{1n}] \\ \dots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S_m & [c_{m1} & \dots & c_{mn}] \end{matrix}$$

ნახ.1

ამკარაა, რომ კონკრეტული ავადმყოფისთვის ეფექტიანი წამლის ასარჩევად ყველა სვეტში უნდა შევკრიბოთ იმ სტრიქონების კოეფიციენტები, რომლებიც ზემოქმედებენ პაციენტის დარღვევებზე და შესაბამისად მის სიმპტომებზე. ამისათვის აგებული ნულ-ერთეულოვანი ვექტორი, რომელიც აღწერს პაციენტის სიმპტომებს, მრავლდება C მატრიცაზე, რომელშიც მოყვანილია წამალთა რაოდენობრივი შეფასებები (რიცხვები ნულ - ერთეულოვანი შუალედის ფარგლებში). გამოითვლება ყველა სვეტის კომპონენტების ჯამური მნიშვნელობა და აირჩევა მაქსიმალური. წამალი, რომელმაც მიიღო მაქსიმალური მნიშვნელობა, არის ყველაზე ეფექტიანი წამალი არსებული ნუსხიდან. ფაქტობრივად ხორციელდება პაციენტის სიმპტომების ამსახველი S ვექტორის წრფივი გარდაქმნა C მატრიცის მეშვეობით და მიღებულ $D(d_1 \ d_2 \ \dots \ d_n)$ ვექტორში მაქსიმალური ელემენტის არჩევა. ამ ელემენტის რიგითი ნომერი მიუთითებს ყველაზე ეფექტიან წამალზე არსებული ნუსხიდან:

$$D = S \cdot C,$$

სადაც $d_j = s_1 c_{1j} + s_2 c_{2j} + \dots + s_m c_{mj}$, $j = 1, 2, \dots, n$. $\max(d_1, d_2, \dots, d_n)$ მიუთითებს წამალზე, რომელიც ნაჩვენებია კონკრეტული პაციენტისთვის.

განვიხილოთ მაგალითი. ვთქვათ ავადმყოფის სიმპტომების ნუსხა წარმოიდგინება ასე:

$$s_1 = 1, s_2 = 0, s_3 = 1, s_4 = 0$$

ინფორმაცია წამლების შეფასების შესახებ წარმოიდგინება შემდეგი მატრიცის სახით :

$$\begin{matrix} A_1 & A_2 & A_3 & A_4 & A_5 \\ S_1 & [0,7 & 0,2 & 0,6 & 0,3 & 0,5] \\ S_2 & [0,1 & 0,8 & 0,2 & 0,4 & 0,7] \\ S_3 & [0,5 & 0,2 & 0,8 & 0,7 & 0,8] \\ S_4 & [0,3 & 0,5 & 0,2 & 0,6 & 0,4] \end{matrix}$$

ნახ.2

მაშინ ვექტორი 1010 უნდა გამრავლდეს მატრიცაზე (ნახ. 2). მიღებული ვექტორის მაქსიმალური ელემენტი მიუთითებს ოპტიმალურ წამალზე. ჩვენ შემთხვევაში მიღებული ვექტორი იქნება: 1.2, 0.4, 1.4, 1.0, 1.3 ვექტორის მაქსიმალური მნიშვნელობა 1.4 შეესაბამება A_3 წამალს.

აღსანიშნავია, რომ ერთი წამლის მაგივრად შეიძლება გამოიყენოთ წამლების ნაკრები, რომელიც მოქმედებს პაციენტის მრავალ არსებულ აშლილობაზე, მაგრამ განსხვავებული ეფექტიანობით. ე.ი $A_1, A_2 \dots A_n$ ქვეშ იგულისხმება არა წამლები, არამედ წამალთა ნაკრებები. ჩვენ შემთხვევაში A_3 არის უკეთესი წამალთა ნაკრები მოცემული ნუსხიდან.

ვინაიდან თერაპიის მთავარი ამოცანაა არა დაავადების, არამედ პაციენტის მკურნალობა, ჩვენ უნდა ავირჩიოთ წამალი, ან წამალთა ჯგუფი რომელიც მაქსიმალური ეფექტიანობით, დადებითად მოქმედებს კონკრეტული პაციენტის დარღვევებზე. სხვადასხვა

ადამიანში ერთიდაიგივე დაავადების სამკურნალოდ წამლების ეფექტურობაც კი განსხვავებულია. ეს გამოწვეულია კონკრეტული ორგანიზმის ინდივიდუალური მახასიათებლებით. გარდა ამისა, ხშირად წარმოიქმნება ზოგიერთი ინდივიდუალური უკუჩვენება ამ ტიპის პრეპარატების მიმართ, რომლებიც დაკავშირებულია როგორც სხვადასხვა თანმხლებ დაავადებებთან, ასევე კონკრეტული წამლის მიმართ ინდივიდუალურ აუტანლობასთან. ამ პრობლემის გადასაწყვეტად გამოიყენება ცნობილი ამერიკელი მეცნიერის ლ. ზადეს არამკაფიო სიმრავლეთა თეორია და ამერიკელი მეცნიერის იაგერის მეთოდი[5,6,7]. ეს მეთოდი გამოიყენება წამლების (პრეპარატების) რაციონალური არჩევისათვის. ამ მეთოდში ყოველი პრეპარატის ეფექტიანობა უნდა იყოს შეფასებული სხვადასხვა კრიტერიუმების მიხედვით. წამლების ეფექტიანობა i -ური კრიტერიუმის მიხედვით წარმოდგენილია Q_i არამკაფიო სიმრავლის სახით, რომლის ელემენტები ღებულობენ მნიშვნელობებს $[0,1]$ ინტერვალიდან. მაშინ R_j პრეპარატის ეფექტიანობა ყველა კრიტერიუმის მიხედვით შეიძლება მივიღოთ როგორც Q_i არამკაფიო სიმრავლების გადაკვეთა.

ვთქვათ, გვაქვს n შესაძლო წამალი (პრეპარატი), რომლებიც პაციენტის განკურნების მიზნითაა ნაჩვენები და ყოველი პრეპარატის ეფექტიანობა ფასდება ექსპერტის მიერ სხვადასხვა $Q_1 \dots Q_m$ კრიტერიუმების მიხედვით [8].

შეფასება წარმოადგენს არამკაფიო სიმრავლის მიმართ წამლების მიკუთვნების ხარისხის ფუნქციას და ღებულობს მნიშვნელობას $(0,1)$ შუალედიდან.

$$Q_1 = \left\{ \begin{matrix} \mu_{11} & \dots & \mu_{1n} \\ R_1 & & R_n \end{matrix} \right\}$$

$$Q_2 = \left\{ \begin{matrix} \mu_{21} & \dots & \mu_{2n} \\ R_1 & & R_n \end{matrix} \right\}$$

$$\dots$$

$$Q_m = \left\{ \begin{matrix} \mu_{m1} & \dots & \mu_{mn} \\ R_1 & & R_n \end{matrix} \right\}$$

სადაც μ_{ij} $j = 1, \dots, n; i = 1, \dots, m$ წარმოადგენენ $Q_i, i = 1, \dots, m$ კრიტერიუმების მიხედვით წამალთა არამკაფიო სიმრავლის მიმართ მიკუთვნების ხარისხს. მაშინ წამალთა ეფექტიანობის არამკაფიო სიმრავლე, რომელიც აკმაყოფილებს ყველა i კრიტერიუმს, იქნება წარმოდგენილი სიმრავლეთა ინტერსექციით.

$$Q = Q_1 \cap Q_2 \cap \dots \cap Q_m = \left\{ \begin{matrix} \min_i \mu_{i1} & \dots & \min_i \mu_{in} \\ R_1 & & R_n \end{matrix} \right\}, i = 1, \dots, m.$$

რეკომენდებული ალტერნატივის როლში უნდა აირჩეს გადაწყვეტილება, რომლის მიკუთვნების ხარისხი არის მაქსიმალური, ვინაიდან იგი აკმაყოფილებს კრიტერიუმთა სიმრავლეს. მაქსიმალური მნიშვნელობით ინტერსექციის ოპერაცია განისაზღვრება შემდეგნაირად:

დავუშვათ, გვაქვს ორი არამკაფიო სიმრავლე

$$A = \left\{ \begin{matrix} 0/5 & 0/7 & 0/8 & 0/6 & 0/9 \\ y_1 & y_2 & y_3 & y_4 & y_5 \end{matrix} \right\}$$

$$B = \left\{ \begin{matrix} 0/7 & 0/9 & 0/5 & 0/5 & 0/8 \\ y_1 & y_2 & y_3 & y_4 & y_5 \end{matrix} \right\}$$

ამ ორი სიმრავლის გადაკვეთისას მიიღება სიმრავლე

$$C = A \cap B = \left\{ \begin{matrix} 0/5 & 0/7 & 0/5 & 0/5 & 0/8 \\ y_1 & y_2 & y_3 & y_4 & y_5 \end{matrix} \right\}$$

ამ სიმრავლიდან ამოირჩევა ელემენტი რომელსაც გააჩნია მიკუთვნების მაქსიმალური ხარისხი. მოცემულ შემთხვევაში მეხუთე ელემენტს გააჩნია მაქსიმალური მნიშვნელობა.

განვიხილოთ მაგალითი: ავიღოთ ცხრილი წინა მაგალითიდან ნახ. 2 და გამოვიყენოთ არამკაფიო სიმრავლეთა თეორია.

შევასრულოთ ინტერსექციის ოპერაცია. შედეგად მივიღებთ ვექტორს 0,5 0,2 0,6 0,3 0,5. ვექტორის მაქსიმალური მნიშვნელობა აგრეთვე აქვს შესაბამე ელემენტს. ე.ი. ორივე მეთოდის გამოყენებით მივიღეთ ერთნაირი შედეგი.

Development of a Medical Intelligent Support System for Solving the Problem of Treatment

Vadim Radzievski, Maya Mikeladze, Dimitri Radzievski, Iliia Okonian

Summary

A model of an intelligent decision support system in treatment problems is considered. To solve the problem, a semantic knowledge representation network is used, the vertices of which represent symptoms and drugs, and the arcs are relationships that reflect the effect of drugs on disorders. The semantic network is represented as a zero-one matrix of relations. In the case of fuzzy knowledge, the network arcs and the corresponding matrix elements are assigned weights. In one of the methods, algebraic operations on matrices are used to select the optimal preparation, in the other, methods of the theory of fuzzy sets are used. In both cases, drugs are evaluated according to several criteria.

Разработка медицинской интеллектуальной системы поддержки для решения задачи лечения

Вадим Радзиевский, Майя Микеладзе, Дмитрий Радзиевский, Илья Оконян

Резюме

Рассмотрена модель интеллектуальной системы поддержки принятия решений в задачах лечения. Для решения задачи используется семантическая сеть представления знаний, вершины которой представляют симптомы и лекарственные препараты, а дуги – отношения, отражающие воздействие лекарственных препаратов на нарушения. Семантическая сеть представлена в виде ноль-единичной матрицы отношений. В случае нечётких знаний дугам сети и соответствующим матричным элементам присваиваются весовые коэффициенты. В одном из методов для выбора оптимального препарата используются алгебраические операции над матрицами, в другом – методы теории нечетких множеств. В обоих случаях препараты оцениваются по нескольким критериям.

ლიტერატურა – References – Литература

1. მიქელაძე მ., რადიევსკი ვ., ჯალაბოვა ნ., რადიევსკი დ. ცოდნის ორგანიზება ინტელექტუალურ საინფორმაციო სისტემებში დიაგნოსტიკის არაფორმალიზებული ამოცანების გადაწყვეტისას. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის არჩილ ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული, №18, თბილისი, 2014 წ., გვ. 50 – 56.
2. Радзиевский В., Микеладзе М., Джалиянова Н., Радзиевский Д. Причинно-следственная модель знаний в интеллектуальной системе медицинской диагностики. а. ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის 60 წლისთავისადმი მიძღვნილი საიუბილეო კონფერენცია, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ა. ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული №20, თბ., 2016., გვ. 163 – 169.
3. Микеладзе М., Радзиевский В., Джалиянова Н., Радзиевский Д. Методы искусственного интеллекта для решения неформализованных задач диагностики сложных систем на

примере медицины. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის დაარსებიდან 90 წლისთავისადმი მიძღვნილი საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია “21-ე საუკუნის მეცნიერებისა და ტექნოლოგიების განვითარების ძირითადი პარადიგმები”, საქართველო, თბილისი 19 – 21 სექტემბერი, 2012 წელი, გვ. 403 – 406.

4. Feigenbaum E.A. Themes and Casestudies of Knowledge Engineering, Expert System in Micro Electronicage. Edinburgh: Infotach Limited, 1979, P.3-25.
5. Радзиевский В., Микеладзе М., Джалябова Н., Радзиевский Д., Причинно –следственная модель знаний в интеллектуальной системе медицинской диагностики. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის არჩილ ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული, №20, თბილისი, 2016 წ., გვ. 163 – 168.
6. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближённых решений. Мир, Москва, 1976.
7. Yager R. Multiple Objective Decision – Making Using Fussy Sets – “Int – jMen. Mashine Studies, 1977, v 9.
8. 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.

სამკურნალო პრეპარატების არჩევა „იდეალურ პრეპარატთან“ მათი სიახლოვის საფუძველზე

*ვადიმ რადიევსკი, მაია მიქელაძე, დიმიტრი რადიევსკი, ილია ოკონიანი
v_radzievski@yahoo.com, mikeladzemaia@yahoo.com, dradzievski@gmail.com,
i.okonian@gmail.com,*

რეზიუმე

განიხილება სამკურნალო პრეპარატების არჩევა მათი შედარების საფუძველზე „იდეალურ პრეპარატთან“. მოცემულია „იდეალური პრეპარატის“ განსაზღვრება. ხაზგასმულია რომ „იდეალური“ სამკურნალო პრეპარატი ისევე, როგორც რეალური პრეპარატი წარმოიდგინება ვექტორის სახით. ამ ვექტორის კომპონენტები წარმოადგენენ რიცხვებს, რომლებიც აჩვენებენ „იდეალური პრეპარატის“ ზემოქმედებას სიმპტომებზე. ეფექტიანი წამლის ასარჩევად ხორციელდება რეალურად არსებული სამკურნალო პრეპარატების შედარება „იდეალურთან“. აირჩევა სამკურნალო პრეპარატი, რომელიც ეფექტიანობის თვალსაზრისით ყველაზე ახლოსაა იდეალურთან.

საკვანძო სიტყვები:

დიაგნოსტიკა, მკურნალობა, დაავადება, პაციენტი, სამკურნალო პრეპარატი.

მოცემული სამუშაო ეხება მედიცინის ერთ-ერთ ძირითად ამოცანას, რომელიც დაკავშირებულია პაციენტის მკურნალობასთან. მკურნალობის პროცესში ხორციელდება თერაპიული საშუალებებით ზეგავლენა დაავადების მიზეზზე, პათოლოგიური პროცესების მექანიზმებზე და დაავადების სიმპტომებზე. ყოველივე ეს მოითხოვს სხვადასხვა სახის სამკურნალო საშუალებებს, რომლებიც შეიცავენ წამლებს, ფიზიკურ ზემოქმედებას ორგანიზმზე, დიეტას, ვარჯიშს და ა.შ. დღეისათვის თანამედროვე მედიცინა სულ უფრო ხშირად იყენებს ინდივიდუალურ მიდგომას სხვადასხვა დაავადების მკურნალობაში. ეს შეესაბამება თანამედროვე თერაპიის მოთხოვნებს, რომლის ამოცანაა არა დაავადების მკურნალობა, არამედ პაციენტის. აღსანიშნავია, რომ ერთიდაიგივე დაავადების მკურნალობისას სხვადასხვა პაციენტის შემთხვევაში წამლების ეფექტიანობა განსხვავებულია. ეს გამოწვეულია კონკრეტული ორგანიზმის თავისებურებებით, დაავადების სიმძიმით და ა.შ. გარდა ამისა, ხშირად წარმოიქმნება ინდივიდუალური უკუჩვენება მოცემული ტიპის პრეპარატების მიმართ. ეს დაკავშირებულია როგორც სხვადასხვა თანმხლებ დაავადებებთან, ასევე კონკრეტული წამლის მიმართ ინდივიდუალურ აუტანლობასთან. აღსანიშნავია აგრეთვე, რომ თითქმის ყველა წამალს ახლავს მრავალი გვერდითი ეფექტი, რომელიც ზოგიერთი პაციენტისთვის შეიძლება იყოს სრულიად უმნიშვნელო, ზოგისთვის კი შეიძლება გამოიწვიოს ორგანიზმში სერიოზული დარღვევები, სიკვდილიც კი. თანამედროვე ფარმაცოლოგია გვთავაზობს უამრავ სხვადასხვა მედიკამენტს ერთიდაიგივე დაავადების სამკურნალოდ. თითოეულ მათგანს აქვს თავისი დადებითი და უარყოფითი მხარეები და წამლის შეფასების კრიტერიუმების რაოდენობამ შეიძლება რამდენიმე ათეულს მიაღწიოს. ასეთ პირობებში ექიმს შეიძლება გაუჭირდეს წამლის ეფექტიანობის ანალიზი ყველა კრიტერიუმის მიხედვით და ამასთან პაციენტის ყველა ინდივიდუალური მახასიათებლის გათვალისწინება. ეფექტიანი წამლების არჩევის პრობლემის გადაჭრის ერთ-ერთი მიდგომა დაკავშირებულია გადაწყვეტილების მიღების მრავალკრიტერიუმული მეთოდების გამოყენებასთან [1, 2], თუმცა ამ მეთოდების გამოყენება მოითხოვს საკმაოდ შრომატევად მათემატიკურ ოპერაციების განხორციელებას.

მოგეხსენებათ, რომ ნებისმიერი დაავადება დაკავშირებულია პაციენტის ორგანიზმში არსებულ დარღვევებთან. ზოგიერთი ეს დარღვევა ვლინდება სიმპტომების სახით და შეიძლება პირდაპირ დაფიქსირდეს, ზოგი კი საჭიროებს სპეციალურ გამოკვლევებს მათი იდენტიფიცირებისთვის. პაციენტის სამკურნალო პრეპარატის არჩევის პრობლემის გადასაჭრელად შემოვიღოთ ამ პაციენტისთვის „იდეალური პრეპარატი“ ცნება [3]. თუ პაციენტს გააჩნია კონკრეტული დარღვევები და შესაბამისი სიმპტომები, მისი განკურნებისთვის აუცილებელია ისეთი წამლის გამოყენება, რომლის ეფექტიანობა პაციენტის სიმპტომებთან მიმართებაში მაქსიმალური იქნება. ჩვენ ამ სამკურნალო პრეპარატს დავარქვით “იდეალური პრეპარატი“. ეს სამკურნალო პრეპარატი „იდეალურია“ მხოლოდ ამ კონკრეტული პაციენტისთვის. ასეთი პრეპარატი შეიძლება რეალურად არ არსებობდეს, თუმცა, მიღებული მონაცემების საფუძველზე ექიმს შეუძლია მიუთითოს მისი ეფექტიანობა გარკვეული დარღვევებისა თუ სიმპტომების მიმართ.

შეთავაზებულია მეთოდი, რომელიც ეფუძნება რეალური სამკურნალო პრეპარატების შედარებას იდეალურთან. არსებული პრეპარატების სიმრავლიდან უნდა ამოვარჩიოთ პრეპარატი, რომლის ეფექტიანობა ყველაზე ახლოსაა იდეალურთან. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, უნდა გამოითვალოს მანძილი რეალურ და იდეალურ ვექტორებს შორის და შეირჩეს პრეპარატი, რომლისთვისაც ეს მანძილი მინიმალურია.

ცხადია, სამკურნალო პრეპარატს დადებითი გავლენა უნდა ჰქონდეს იმ დარღვევებზე, რომლებიც პაციენტში სიმპტომების სახით ვლინდება. გამოვლენილი დარღვევების საფუძველზე ექიმს შეუძლია აირჩიოს წამალი ან წამლების ჯგუფი, რომელთა მეშვეობით შესაძლებელია ამ დარღვევების აღმოფხვრა ან მათი სიმძიმის შემცირება. ამისათვის საჭიროა მხოლოდ წამლების თვისებების აღწერა და იდეალურ პრეპარატთან შედარება. „იდეალური პრეპარატი“, ისევე როგორც რეალური, შეიძლება წარმოდგენილი იყოს როგორც ვექტორი, რომლის კომპონენტები მიუთითებს რა დარღვევაზე და რა ინტენსივობით მოქმედებს სამკურნალო პრეპარატი. მოცემულ სამუშაოში სამკურნალო პრეპარატის არჩევა ხორციელდება მისი სიახლოვის საფუძველზე იდეალურ პრეპარატთან. „იდეალური პრეპარატი“, ისევე როგორც რეალური, წარმოიდგინება

$$V = (v_1, v_2, \dots, v_n)$$

ვექტორის სახით, სადაც v_1, v_2, \dots, v_n წარმოადგენს რიცხვებს, რომლებიც აჩვენებენ „იდეალური პრეპარატის“ ეფექტიანობას სიმპტომების მიმართ. როგორც ითქვა, რეალური წამლების სიმრავლიდან უნდა ამოვარჩიოთ სამკურნალო პრეპარატი, რომელიც ეფექტიანობის თვალსაზრისით ყველაზე ახლოსაა იდეალურთან. ე.ი მანძილი იდეალურ და რეალურ ვექტორს შორის უნდა იყოს მინიმალური. ნახ. 1-ზე წარმოდგენილია მატრიცა, სადაც $A_1 \dots A_n$ სიმბოლოებით აღნიშნულია სამკურნალო პრეპარატები, ხოლო $S_1 \dots S_m$ სიმბოლოებით - კონკრეტული პაციენტის სიმპტომები. იმისათვის, რომ ვიცოდეთ რა სიმპტომები გააჩნია პაციენტს, აგებულია ბინარული ვექტორი, რომელშიც 1 მიგვითითებს სიმპტომის არსებობაზე და 0 - არარსებობაზე.

რაც შეეხება მანძილს იდეალურ და რეალურ ვექტორებს შორის, უნდა მივიღოთ მხედველობაში, რომ მანძილის განსაზღვრა შესაძლებელია სხვადასხვა მეტრიკულ სივრცეში. ერთ-ერთი ფორმულა, რომელიც ხელსაყრელი აღმოჩნდა ჩვენი ამოცანის გადასაწყვეტად, არის ფორმულა, რომელიც განსაზღვრავს მანძილის ცნებას X და Y ვექტორებს შორის R_1^p მეტრიკულ სივრცეში [4]:

$$R(X, Y) = \sum_{k=1}^n |X_k - Y_k| \quad (1)$$

შესაბამისად, იდეალურ V და რეალურ A_j წამალთა შორის მანძილი განისაზღვრება შემდეგნაირად:

$$R(V, A_j) = \sum_{k=1}^n |v_k - c_{kj}| \quad (2)$$

სადაც $j = 1 \dots n, i = 1 \dots m$. ჩვენ შემთხვევაში n არის წამლების რაოდენობა, m – სიმპტომების რაოდენობა და j – წამლის ნომერია, ხოლო c_{kj} - C მატრიცის ელემენტებია. C მატრიცის j -ური სვეტში იქნება წარმოდგენილი რიცხვები (0-1) შუალედში, რომლებიც აჩვენებენ j -ური რეალური წამლის ეფექტიანობას სხვადასხვა სიმპტომის მიმართ (ნახ.1).

“იდეალური პრეპარატი“ წარმოდგენილია V ვექტორის სახით და მისი კომპონენტები იცვლება ყოველი ახალი პაციენტისთვის. რეალური ვექტორების კომპონენტები უნდა შევადაროთ „იდეალური“ ვექტორის კომპონენტებს ე.ი. უნდა ავიღოთ სხვაობა იდეალურ და რეალურ ვექტორებს შორის, ავიღოთ ამ სხვაობათა ჯამი ყოველი სამკურნალო პრეპარატისთვის და მიღებულ ვექტორში ავირჩიოთ მინიმალური ელემენტი. ეს ელემენტი მიგვითითებს წამალზე, რომელიც ნაჩვენებია კონკრეტული პაციენტისთვის. შესაბამისი ოპერაციები სრულდება ფორმულა (3)-ის მეშვეობით .

$$\begin{aligned} (v_1 - c_{11}) + (v_2 - c_{21}) + \dots + (v_m - c_{m1}) &= R_1, & (v_1 - c_{12}) + (v_2 - c_{22}) + \dots + (v_m - c_{m2}) &= R_2, \\ (v_1 - c_{1n}) + (v_2 - c_{2n}) + \dots + (v_m - c_{mn}) &= R; & \min (R_1, R_2, \dots, R_n) & \end{aligned}$$

(3)

მიღებული ვექტორის მინიმალური მნიშვნელობა მიგვითითებს წამალზე, რომელიც ნაჩვენებია კონკრეტული პაციენტისთვის.

$$S_1 \begin{bmatrix} A_1 & \dots & A_n \\ c_{11} & \dots & c_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{m1} & \dots & c_{mn} \end{bmatrix}$$

ნახ. 1

განვიხილოთ მაგალითი. ამისათვის ავიღოთ რეალური სამკურნალო პრეპარატები წარმოდგენილი ვექტორ- სვეტების სახით. და „იდეალური“ ვექტორის კომპონენტები, რომელიც ჩვენ შემთხვევაში ავიღეთ ერთის ტოლი (ნახ. 2).

$$S_1 \begin{bmatrix} A_1 & A_2 & A_3 & A_4 & A_5 \\ 0,7 & 0,2 & 0,6 & 0,3 & 0,5 \\ 0,1 & 0,8 & 0,2 & 0,4 & 0,7 \\ 0,5 & 0,2 & 0,8 & 0,7 & 0,8 \\ 0,3 & 0,5 & 0,2 & 0,6 & 0,4 \end{bmatrix}$$

ნახ. 2

ფორმულა (3)-ის მიხედვით ოპერაციების ჩატარებისას მიიღება ახალი მონაცემები რომელიც ასახულია ნახ. 3

$$S_1 \begin{bmatrix} A_1 & A_2 & A_3 & A_4 & A_5 \\ 0,3 & 0,8 & 0,4 & 0,7 & 0,5 \\ 0,9 & 0,2 & 0,8 & 0,6 & 0,3 \\ 0,5 & 0,8 & 0,2 & 0,3 & 0,2 \\ 0,7 & 0,5 & 0,8 & 0,4 & 0,4 \end{bmatrix}$$

ნახ. 3

აჯამვის ოპერაციების ჩატარების შედეგად და პაციენტის სიმპტომების $S_1 = 1, S_2 = 0, S_3 = 1, S_4 = 0$ მიხედვით, მივიღებთ შემდეგ რიცხვებს 0.8 , 1.6, 0.6 , 1.0, 0,7 . აქედან მინიმალური იქნება 0.6 (მესამე სვეტი), რომელიც შეესაბამება სამკურნალო პრეპარატს A_3 .

Choosing a Medical Drug Based on its Proximity to the "Ideal Drug"

Vadim Radziewski, Maia Mikeladze, Dimitri Radziewski, Ilia Okonian

Summary

Choosing of therapeutic drugs based on their comparison with the ideal drug is considered. The definition of the "ideal drug" is given. It is emphasized that the "ideal" drug, as well as a real drug, can be represented as a vector. The components of this vector are numbers that represent the effect of the "ideal drug" on symptoms. In order to choose an effective drug, the actual existing medicinal drugs are compared to the "ideal". The drug that is closest to the ideal in terms of effectiveness will be selected.

Выбор лечебных препаратов на основе их близости к „идеальному препарату“

Вадим Радзиевский, Майя Микеладзе, Дмитрий Радзиевский, Илья Оконян

Резюме

Рассматривается выбор лечебных препаратов на основе их сравнения с идеальным препаратом. Дано определение „идеального препарата“. Подчеркивается, что „идеальное“ лекарственное средство, как и реальное лекарство, можно представить в виде вектора, компонентами которого являются числа, показывающие эффективность влияния „идеального“ лекарственного препарата на симптомы. С целью выбора эффективного препарата проводится сравнение реально существующих лечебных препаратов с „идеальным“. Выбирается лечебный препарат, наиболее близкий к „идеальному“ по эффективности.

ლიტერატურა – References – Литература

1. რაძიევსკი ვ., მიქელაძე მ., ჯალიაბოვა ნ., ბესიაშვილი გ., ქარჩავა პ., რაძიევსკი დ. კონკრეტული ავადმყოფისთვის სამკურნალო პრეპარატების არჩევის ინტელექტუალური სისტემა. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ა. ელიაშვილის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული №20, თბ., 2016 წ., გვ. 169 – 174.
2. 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 წ., გვ. 163 – 167.
3. 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.
4. Колмогоров А.Н., Фомин С. В. Элементы теории функций и функционального анализа. Москва. Наука. Главная редакция физико-математической литературы. 1968.

მონაცემთა რბოლის ანალიზი და გამკლავების გზების კვლევა OpenMP-ს პარადიგმაში

თენგიზ ბახტაძე, ირაკლი როდონაია, მერი გეგეჭკორი

t.bakhtadze@gtu.ge; i.rodonaia@gtu.ge

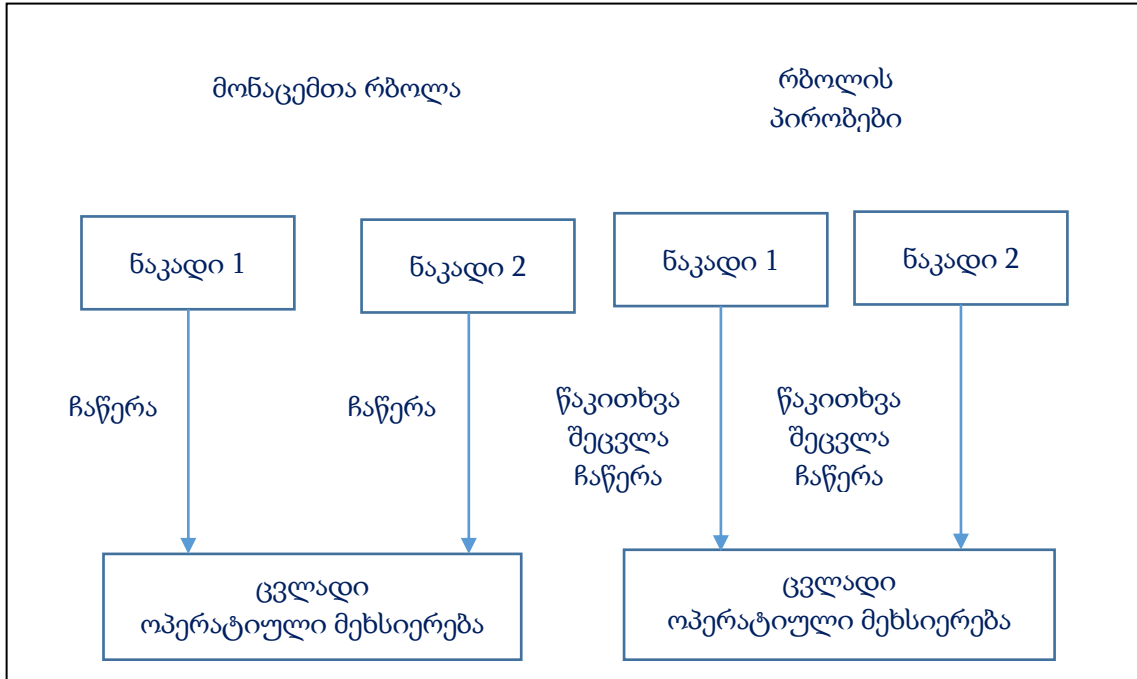
რეზიუმე

ნაშრომში დასაბუთებულია მონაცემთა რბოლის შედეგად შეცდომების გამოვლენის შემთხვევითი ხასიათი კონკრეტულ პროგრამებზე. გამოთვლილია შეცდომების გამოვლენის დამოკიდებულება ამოცანის ზომაზე. გამოთვლილია შესაბამისი შესრულების დროები ნაწილობრივ უახლესი კლასის გამოყენებით. მიდგომის არსი მდგომარეობს პარალელური და სერიული პროგრამის მრავალჯერად შესრულებაში სხვადასხვა ზომის ამოცანაზე. დამუშავებულია და მოყვანილი პროგრამა C++ -ზე Visual Studio (MS) 22-ის Open Mp (Open Multi-Processing)-ს გარემოში. მონაცემთა რბოლის გამოვლენის ანალიზისათვის მოყვანილია რბოლის შემთხვევების რაოდენობრივი და დროითი რეალური და გასაშუალოებული მახასიათებლები.

საკვანძო სიტყვები:

მონაცემთა რბოლა, ჰიპერ ნაკადები, პარალელური დაპროგრამება, C++, Open MP.

მონაცემთა რბოლა შეცდომების ყველაზე რთულ ტიპებს შორისაა პროგრამულ უზრუნველყოფაში. დროისა და ნაკადების ურთიერთქმედების ანალიზი არსებითად რთული პრობლემაა. მონაცემთა რბოლა ბუნებით არადეტერმინისტური პროცესია, რაც ართულებს მის ამოცნობას და გამართვას. ეს არ არის იშვიათი პროგრამული უზრუნველყოფისთვის. დეველოპერებმა შეიძლება გაატარონ კვირები ან თუნდაც თვეები თვალყურის დევნისათვის მონაცემთა რბოლის ძირეული მიზეზის დასადგენად. განსაკუთრებით მაღალი წარმადობის გამოთვლითი (HPC) აპლიკაციებია დაუცველი მონაცემთა რბოლის მიმართ. HPC აპლიკაციები ზოგადად უაღრესად რთულია და პარალელურ სისტემებში წინა პლანზე დგას ტექნიკის შესაძლებლობები. OpenMP ძალიან აადვილებს პარალელური კოდის დაწერას, რომელსაც შეუძლია სრულად ისარგებლოს ამაჩქარებლებით, როგორცაა GPU. მიუხედავად იმისა, რომ OpenMP ფარავს დაბალი დონის სირთულეების უმეტესობას პარალელური პროგრამების დაწერისას, მასში არ არის ჩაშენებული დამცავი საშუალებები მონაცემთა რბოლების წინააღმდეგ. ეს პასუხისმგებლობა რჩება აპლიკაციის შემქმნელზე. შესამოწმებელია, რომ OpenMP პროგრამები მონაცემთა რბოლისაგან თავისუფალია. ქვემოთ მოყვანილია მონაცემთა რბოლის სქემა.



ნახ. 1.

ნახ. 1-ზე, მოყვანილი სქემიდან ჩანს, რომ რბოლის მდგომარეობა წარმოიშევა, როდესაც ორი სხვადასხვა ნაკადი ასინქრონულად ახდენს ჩაწერას ერთსა და იმავე მეხსიერებაში.

მონაცემთა რბოლა საერთო პრობლემაა მრავალნაკადურ პროგრამირებაში. მონაცემთა რბოლა ხდება მაშინ, როდესაც რამდენიმე პროცესი ან ნაკადი წვდება საზიარო რესურსს საკმარისი დაცვის გარეშე, რაც იწვევს განუსაზღვრელ ან არაპროგნოზირებად ქცევას.

ამჟამად ფართოდ არის გავრცელებული სტრუქტურირებული პარალელური პროგრამირების ჩარჩოები, როგორცაა OpenMP [1,2], MPI [3], OpenACC [4] და OpenCL [5], მემკვიდრეობითი თანმიმდევრული კოდიდან მარტივი მიგრაციის გამო. ეფექტური გაშვების სისტემების ხელმისაწვდომობამ და სხვადასხვა არქიტექტურის მრავალმხრივმა მხარდაჭერამ დიდი როლი ითამაშა ამ ჩარჩოების პოპულარიზაციაში.

OpenMP პროგრამირების პარადიგმამ შემოიღო სტრუქტურირებული პარალელიზმი C/C++ და FORTRAN-ში. იგი მხარს უჭერს პროგრამირების მოდელს Single Program Multiple Data (SMPD) მრავალი ნაკადით, Single Instruction Multiple Data (SIMD) პროგრამირების მოდელს ერთ ნაკადში CPU-ებში SIMD ტექნიკის გაფართოებით, ასევე SIMD-ს ბრძანებათა ბლოკის ნაკადებს შორის GPU-ებში. OpenMP უზრუნველყოფს მონაცემთა გარემოს საერთო მეხსიერების თანმიმდევრულობისთვის და მხარს უჭერს ურთიერთ გამორიცხვას და ატომურობას და სინქრონიზაციას ნაკადებს შორის.

თუმცა, OpenMP-ის არასწორმა გამოყენებამ შეიძლება გამოიწვიოს შეცდომები აპლიკაციაში. მონაცემთა წვდომის საერთო ანომალია, რომელსაც მონაცემთა რბოლა ეწოდება. იგი ხდება მაშინ, როდესაც ორი ნაკადი არასწორად წვდება მეხსიერების ერთსა და იმავე ადგილს.

პარალელური პროგრამის შესრულებას, როგორც ამბობენ, აქვს მონაცემთა რბოლა, როდესაც ორი განსხვავებული ნაკადი წვდება მეხსიერების ერთსა და იმავე ადგილს, ეს წვდომა არ არის დაცული ურთიერთ გამორიცხვის მექანიზმით (მაგ., ჩაკეტვა), ორი წვდომის რიგი არადეტერმინისტულია და ერთ-ერთი ასეთი წვდომა არის ჩაწერა.

მიუხედავად იმისა, რომ დამპროგრამებლები უზრუნველყოფენ OpenMP კონსტრუქციების შესაბამისობას სინტაქსურ და სემანტიკურ სპეციფიკაციებთან [6], არცერთი

ძირითადი კომპილატორი, როგორცაა GCC [7], LLVM [8] და PGI [9], არ უზრუნველყოფს მონაცემთა რბოლის გამოვლენის ჩაშენებულ მხარდაჭერას. არსებობს დინამიური ინსტრუმენტები მონაცემთა რბოლების გამოსავლენად, მაგრამ მათ ან ძალიან დიდი დრო სჭირდებათ რბოლის გამოსავლენად, ან შესაძლოა გამოტოვონ ზოგიერთი მონაცემთა რბოლა. ეს იმიტომ ხდება, რომ ეს ინსტრუმენტები დამოკიდებულია ნაკადების შესრულების გრაფიკზე და პროგრამის პარამეტრებზე.

მონაცემთა რბოლის გამომწვევი მიზეზები:

1. აკლია მონაცემთა გაზიარების დირექტივა
2. ციკლში განხორციელებული დამოკიდებულებები
3. SIMD რბოლა
4. სინქრონიზაციის საკითხები
5. ბრძანებების მიმდევრობა დამოკიდებულია ნაკადების რაოდენობაზე

ცნობილია მონაცემთა რბოლის გამოვლენის ორი მიდგომა:

1. სტატიკური
2. დინამიური

სტატიკური მეთოდის გამოყენებისას სისტემის შესასვლელზე მიეწოდება საწყისი კოდი და მისი ტექსტის ანალიზის საფუძველზე ხდება დასკვნების გაკეთება, დინამიური მეთოდი გულისხმობს პროგრამის მრავალჯერად შესრულებას და მის საფუძველზე დასკვნის გაკეთებას.

ორივე მიდგომა იყენებს საკმაოდ რთულ სისტემებს და ხშირად მორგებულია კონკრეტულ კომპილატორებზე. მაგალითად LLVM (*Low Level Virtual Machine*).

სტატიკაში მოყვანილი მიდგომა განეკუთვნება მეორე ტიპს. ზოგადად, იგი არ არის დამოკიდებული კონკრეტულ კომპილატორზე და კონკრეტულ ენაზე და პლატფორმაზე. OpenMp მხოლოდ მაგალითისათვისაა განხილული. იგი არ თხოულობს სპეციალური კომპლექსური პროგრამული უზრუნველყოფის გამოყენებას. პრინციპში შეიძლება გამოყენებული იქნას ნებისმიერი პარალელური დაპროგრამების ტექნოლოგიისათვის.

ნაშრომში დასაბუთებულია მონაცემთა რბოლის შედეგად შეცდომების გამოვლენის შემთხვევითი ხასიათი კონკრეტულ პროგრამებზე. გამოთვლილია შეცდომების გამოვლენის დამოკიდებულება ამოცანის ზომაზე. გამოთვლილია შესაბამისი შესრულების დროები ნაწილობრივ უახლესი კლასის გამოყენებით. მიდგომის არსი შემდეგში მდგომარეობს შემდეგში. წარმოვიდგინოთ ამოცანა A, რომელიც შეიძლება განვახორციელოთ სერიული (არაპარალელური) გზით და პარალელურად. შესაბამისად P1 და P2 პროგრამებით. შედეგები აღვნიშნოთ R1 და R2 შესაბამისად. მონაცემების ზომა აღვნიშნოთ N-ით. შესრულების დრო T1 და T2 -ით შესაბამისად. ბუნებრივია ამოცანა თუ სწორად არის დაპროგრამებული სერიული და პარალელური გამოთვლის შედეგი ერთი და იგივე უნდა იყოს. თუ მონაცემთა რბოლის შედეგად შეცდომას ადგილი არ აქვს, მაშინ P1 და P2-თვის $R1 = R2$ და როგორც წესი, საკმარისი N-ისთვის, $T1 < T2$. პრაქტიკა გვიჩვენებს, რბოლის შედეგად შეცდომების გამოვლენა პირველი გაშვებისთანავე არ ვლინდება. ამისათვის საჭიროა N-ის გაზრდა, ვინაიდან N-ის პატარა მნიშვნელობისათვის შეცდომის გამოვლენა შეიძლება მრავალი გაშვებისას არ მოხდეს. N-ის საკმარისად დიდი მნიშვნელობისათვის შედეგი სტაბილური ხდება მრავალი გაშვებისას. ანუ $R1 = R2$ ან $R1 \neq R2$. უტოლობის შემთხვევაში ადგილი აქვს რბოლის შედეგად შეცდომების გამოვლენას. რბოლის მიზეზის დასადგენად საჭიროა P2 დან ამოვიდოთ პარალელური კონსტრუქციები. პროგრამების გაშვებით, რომელიც მოგვცემს $R1 = R2$ შედეგს, იმ კონსტრუქციის მიზეზი ყოფილა. ცალკეული კონსტრუქციების სინქრონიზაციისათვის შეიძლება გამოვიყენოთ შემდეგი საშუალებები.

როგორ გავუმკლავდეთ მონაცემთა რბოლას OpenMP-ში. ამისათვის გამოიყენება შემდეგი დირექტივები:

1. **#pragma omp critical**
2. **#pragma omp atomic**
3. **reduction**

ექსპერიმენტალურად დადგენილია, რომ ყველაზე ეფექტურია reduction-ის გამოყენება. რბოლის მდგომარეობა შეიძლება წარმოიშვას პროგრამულ უზრუნველყოფაში, როდესაც კომპიუტერულ პროგრამას აქვს რამდენიმე კოდის შტო, რომლებიც ერთდროულად სრულდება. თუ რამდენიმე კოდის ნაკადს მოსალოდნელზე განსხვავებული დრო სჭირდება, ისინი შეიძლება დასრულდეს მოსალოდნელზე განსხვავებული თანმიმდევრობით, რამაც შეიძლება გამოიწვიოს პროგრამული შეცდომები გაუთვალისწინებელი ქცევის გამო. რბოლა ასევე შეიძლება მოხდეს ორ პროგრამას შორის, რაც გამოიწვევს უსაფრთხოების პრობლემებს. კრიტიკული რბოლის პირობები იწვევს არასწორ შესრულებას და პროგრამულ შეცდომებს. კრიტიკული რბოლის პირობები ხშირად ხდება, როდესაც პროცესები ან ნაკადები დამოკიდებულია ზოგიერთ საერთო მდგომარეობაზე. ოპერაციები საერთო მდგომარეობებზე კეთდება კრიტიკულ მონაკვეთებში, რომლებიც უნდა იყოს ურთიერთგამომრიცხავი. ამ წესის შეუსრულებლობამ შეიძლება გააფუჭოს საზიარო მეხსიერება/რესურსი. მონაცემთა რბოლა სხვადასხვა ფორმალური მეხსიერების მოდელების მნიშვნელოვანი ნაწილია. C11 და C++11 სტანდარტებში განსაზღვრული მეხსიერების მოდელი განსაზღვრავს, რომ C ან C++ პროგრამას, რომელიც შეიცავს მონაცემთა რბოლას, აქვს განუსაზღვრელი ქცევა [10, 11]. რბოლის მდგომარეობა შეიძლება რთული იყოს რეპროდუცირება და გამართვა, რადგან საბოლოო შედეგი არადეტერმინისტულია და დამოკიდებულია ფარდობით დროზე ინტერფერენციულ ნაკადებს შორის. ამრიგად, მსგავსი პრობლემები შეიძლება აღმოიფხვრას გამართვის რეჟიმში მუშაობისას, დამატებითი ჟურნალის დამატების ან სპეციალური გამართვის სისტემის მიმაგრებისას. შეცდომას, რომელიც ასე ქრება გამართვის მცდელობების დროს, ხშირად მოიხსენიება როგორც "ჰაიზენბაგი". კომპიუტერული პროგრამირების ჟარგონში, heisenbug არის პროგრამული უზრუნველყოფის შეცდომა, რომელიც, როგორც ჩანს, ქრება ან ცვლის თავის ქცევას, როდესაც ადამიანი ცდილობს მის შესწავლას [12]. ტერმინი დაკავშირებულია ვერნერ ჰაიზენბერგის სახელთან, ფიზიკოსი, რომელმაც პირველად დაადასტურა კვანტური მექანიკის დამკვირვებლის ეფექტი, რომელიც აცხადებს, რომ სისტემაზე დაკვირვების აქტი აუცილებლად ცვლის მის მდგომარეობას. ამიტომ უკეთესია რბოლის პირობების თავიდან აცილება პროგრამული უზრუნველყოფის ფრთხილი დიზაინით.

ავტორის მიერ კონსტრუირებულია პროგრამა ამ პრობლემის კვლევისათვის. ქვემოთ მოყვანილია მისი სრული ტექსტი.

```
#define _USE_MATH_DEFINES
#include <iostream>
#include <vector>
#include <string>
#include <cmath>
#include <chrono>
#include <Windows.h>
#include <iomanip>
#include <cstdlib >
using namespace std;
#define nmiliwamebi std::chrono::time_point<std::chrono::steady_clock>
using namespace std;
long long zoma;
```

```

long long int Tduration(nmiliwamebi start, nmiliwamebi end)
{
    return std::chrono::duration_cast<chrono::nanoseconds>(end - start).count();
}

int main() {
    int kk = 5; // kk- გადაკომპილირების გარეშე პროგრამის გაშვებათა რაოდენობა
    nmiliwamebi startOmp;
    nmiliwamebi startSerial;
    nmiliwamebi endOmp;
    nmiliwamebi endSerial;
    double jamiserial = 0., jamiomp = 0.;
    double Sedegiomp = 0;
    double Sedegi = 0;
    long long int durationomp;
    long long int durationSerial;
    int h = 10; // მასივის ზომის ცვლის ბიჯი ++/--
    int M = 20; // განსხვავებულ შედეგების მითითებული რაოდენობა, ანუ
    ადგილი ჰქონდა საზიარო მეხსიერების საზიარო გამოყენებას
    int k = 0; // განსხვავებულ შედეგების მთვლელი
    int MM = M + 1;
    int ii; // გადაკომპილირების გარეშე პროგრამის გაშვებათა რაოდენობის
    მთვლელი
    vector<int> veck(MM); vector<int> vecii(MM); vector<int> veckk(MM);
    vector<int> veczoma(MM); vector<double> vecjamiserial(MM); vector<double>
    vecjamiomp(MM);
    vector<double> vecSedegiomp(MM); vector<double> vecSedegiserial(MM);
    vector<long long> vecOmpDuration(MM); vector<long long>
    vecSerialDuration(MM);
    for (ii = 1; ii <= kk; ++ii)
        // kk- გადაკომპილირების გარეშე პროგრამის გაშვებათა რაოდენობა
        {
            zoma = 20; // მიმდინარე მასივის ზომა (ელემენტების რაოდენობა)
            კლებადობის შემთხვევა
            if(ii==1)
            {
                std::cout << "***** " << '\n';
                std::cout << "start zoma:" << zoma << '\n';
                std::cout << "h : " << h << " kk : " << kk << " M:" << M << '\n' << '\n';
                while (1)
                {do{vector<double> vec(zoma);
                #pragma omp parallel for
                for (int i = 0; i < vec.size(); ++i) {vec[i] = sin(M_PI *
float(izoma)
                startOmp = std::chrono::steady_clock::now();
                jamiomp = 0.;

```

```

// პარალელური კოდი
#pragma omp parallel for// reduction(+ : jami)
for (int i = 0; i < vec.size(); ++i) {jamiomp += vec[i];
    endOmp = chrono::steady_clock::now();
    Sedegiomp = M_PI * jamiomp;
    startSerial = std::chrono::steady_clock::now();
    jamiserial = 0.;

    for (int i = 0; i < vec.size(); ++i) {
        vec[i] = sin(M_PI * float(i) / zoma);
    }
    // სერიული კოდი
    for (int i = 0; i < vec.size(); ++i) {

        jamiserial += vec[i];
    }
    endSerial = chrono::steady_clock::now();
    Sedegi = M_PI * jamiserial;
    zoma -= h;// მასივის ზომის შემცირება h ბიჯით
} while (Sedegi == Sedegiomp && zoma);
if (zoma == 0)break;
++k;// მონაცემთა რბოლის მთვლელი
veczoma[k] = zoma + h;
veck[k] = k; vecii[k] = ii;
vecjamiomp[k] = jamiomp;
vecSedegiomp[k] = Sedegiomp;
vecSedegiserial[k] = Sedegi;
vecjamiserial[k] = jamiserial;
durationomp = Tduration(startOmp, endOmp);
vecOmpDuration[k] = durationomp;
durationSerial = Tduration(startSerial, endSerial);
vecSerialDuration[k] = durationSerial;
if (k >= M)break;}
    if (k >= M)break;}
if (k == 0)cout << "No data Race" << endl;
else {
    cout << " k  ii  zoma  omp<>serial  OmpDuration  SerialDuration\n";
    for (int iii = 1; iii <= k; ++iii)
    {    cout <<setw(4) << veck[iii] << " " << setw(4) << setprecision(4) << vecii[iii] <<
" " <<setw(4) << veczoma[iii] << " " << (vecOmpDuration[iii] > vecSerialDuration[iii]) ? "
omp>ser " : " omp<ser ");
        cout << " " << setw(8) << vecOmpDuration[iii] << " " <<
vecSerialDuration[iii] << " ";
        cout << endl;}
    cout << " " ii " AvarageZoma  omp<>serial  AvarageOmpDuration
AvarageSerialDuration\n";

```



```

long long AvarageOmpDuration = 0, AvarageSerialDuration = 0;
for (int iix = 1; iix <= ii; ++iix)
{long long AvarageOmpDuration = 0;
  long long AvarageZoma = 0;
  long long AvarageSerialDuration = 0;
  int kq = 0;
  for (int iii = 1; iii < k; ++iii)
  {if (vecii[iii] == iix)
    {++kq; AvarageOmpDuration += vecOmpDuration[iii];
      AvarageSerialDuration += vecSerialDuration[iii];
      AvarageZoma += veczoma[iii];}}
  AvarageOmpDuration /= kq; AvarageSerialDuration /= kq; AvarageZoma /=
kq;cout << " " << setw(4) << setprecision(4) << iix << " " << setw(4) << AvarageZoma << "
" << (AvarageOmpDuration > AvarageSerialDuration ? " omp>ser " : " omp<ser ");cout << "
" << setw(8) << AvarageOmpDuration << " " << AvarageSerialDuration << " ";cout <<
endl;}}

```

200 ელემენტისათვის პროგრამა იძლევა შემდეგ შედეგს:

start zoma:200

h :10 kk :5 M:20

k	ii	zoma	omp<>serial	OmpDuration	SerialDuration
1	1	200	omp<ser	9300	17200
2	1	190	omp<ser	8300	14900
3	1	180	omp<ser	5600	14200
4	1	170	omp<ser	5600	13900
5	1	160	omp<ser	7700	14700
6	1	150	omp<ser	8000	14000
7	1	140	omp<ser	6200	11700
8	1	130	omp<ser	7800	11900
9	1	120	omp<ser	7500	10700
10	1	110	omp<ser	5300	8300
11	1	90	omp<ser	5200	8100
12	1	70	omp<ser	4500	7000
13	1	60	omp<ser	4900	5500
14	1	50	omp>ser	5600	4800
15	1	30	omp>ser	4200	2600
16	2	200	omp<ser	6900	18200
17	2	190	omp<ser	6800	17200
18	2	180	omp<ser	5500	14300
19	2	170	omp<ser	7100	15300
20	2	160	omp<ser	5500	14300
ii	AvarageZoma	omp<>serial	AvarageOmpDuration	AvarageSerialDuration	
1	123	omp<ser	6380	10633	
2	185	omp<ser	6575	16250	

ზემოთ მოყვანილ ამონაბეჭედში:

h = მასივის ზომის ცვლის ბიჯია, M განსხვავებულ შედეგების მითითებული შესაძლო სამეზბნი მაქსიმალური რაოდენობა. k განსხვავებულ შედეგების რაოდენობის მთვლეელია. ii გადაკომპილირების გარეშე პროგრამის გაშვებათა მითითებული მაქსიმალური რაოდენობაა.

როგორც შედეგებიდან ჩანს, 200 ელემენტის შემთხვევაში 20 რბოლის მისაღწევად ზომის ცვლილებისას ბიჯით 10, დაგვირდა ავტომატურად პროგრამის 2-ჯერ გაშვება. პარალელური შესრულების დრო მეტი აღმოჩნდა სერიულზე ზომის 50-ე და 30-ე შემთხვევაში.

10 ელემენტის შემთხვევაში:

start zoma:10

h :1 kk :5 M:4

k	ii	zoma	omp<>serial	OmpDuration	SerialDuration
1	1	9	omp>ser	4300	1100
2	2	10	omp>ser	4000	1300
3	2	9	omp>ser	3900	900
4	3	9	omp>ser	4100	1100
ii	AvarageZoma	omp<>serial	AvarageOmpDuration	AvarageSerialDuration	
1	9	omp>ser	4300	1100	
2	9	omp>ser	3950	1100	
3	9	omp>ser	4100	1100	

start zoma:10

h :1 kk :5 M:15

k	ii	zoma	omp<>serial	OmpDuration	SerialDuration
1	1	10	omp>ser	6600	1600
2	1	8	omp>ser	5400	900
3	1	7	omp>ser	5400	800
4	2	7	omp>ser	4900	700
5	3	10	omp>ser	4200	1000
6	3	8	omp>ser	4900	900
7	4	6	omp>ser	5200	700
8	5	7	omp>ser	4900	700
ii	AvarageZoma	omp<>serial	AvarageOmpDuration	AvarageSerialDuration	
1	8	omp>ser	5800	1100	
2	7	omp>ser	4900	700	
3	9	omp>ser	4550	950	
4	6	omp>ser	5200	700	
5	7	omp>ser	4900	700	

როგორც მაგალითებიდან ჩანს, ელემენტების პატარა რაოდენობის შემთხვევაშიც ვლინდება მონაცემთა რბოლა, ხოლო სერიული შესრულების დრო უფრო მცირეა. ე.ი. აზრი არ აქვს პარალელურ დაპროგრამებას. მოყვანილი პროგრამა

ვარიაციის დიდ საშუალებას იძლევა, უბრალოდ სტატიის მოცულობის გამო შედეგების დემონსტრირებაში შეზღუდულები ვართ.

Data race analysis and handling research in the OpenMP paradigm

Tengiz Bakhtadze, Irakli Rodonaya, Meri Gegechkori

Summary

The paper substantiates the random character of the detection of errors in specific programs as a result of the data race. Dependence of error detection on task size is calculated. Calculated corresponding execution times in nanoseconds using the latest class. The essence of the approach lies in the multiple execution of a parallel and serial program on a task of different sizes. The program was developed and brought to C++ in the Open Mp (Open Multi-Processing) environment of Visual Studio (MS) 22. For the analysis of data race detection, the quantitative and average characteristics of race cases are presented.

Анализ гонки данных и исследование способов обработки в парадигме OpenMP

Тенгиз Бахтадзе, Ираклий Родоная, Мери Гегечкори

Резюме

В статье обосновывается случайный характер обнаружения ошибок в параллельных программах в результате гонки данных. Рассчитана зависимость обнаружения ошибок от размера задачи. Рассчитано соответствующее время выполнения в наносекундах с использованием современного класса. Суть подхода заключается в многократном выполнении параллельной и последовательной программы на задаче разного объема. Программа была разработана и представлена на C++ в среде Open Mp (Open Multi-Processing) Visual Studio(MS) 22. Для анализа обнаружения гонки данных представлены количественные и временные характеристики случаев гонки.

ლიტერატურა - References – Литература

1. Leonardo Dagum and Rameshm Enon. 1998. OpenMP: an industry standard API for shared-memory programming. Computational Science & Engineering, IEEE 5, 1 (1998), 46–55.
2. OpenMP Architecture Review Board. 1997. OpenMP Application Programming Interface. [\(https://www.openmp.org\)](https://www.openmp.org).(1997). [Online; accessed 19-October-2019].
3. MPI. 2019. MPI-3.1 (May 2019). Retrieved August 8, 2019 from <https://www.mpi-forum.org/docs/>.

4. OpenACC. 2019. The OpenACC Application Programming Interface, v2.7 (November 2018). <https://www.openacc.org/specification>. (2019). [Online; accessed 08-August-2019].
5. Khronos OpenCL Working Group. 2019. The OpenCL Specification, v2.2-11 (July 2019). <https://www.khronos.org/registry/OpenCL/>. (2019). [Online; accessed 08-August-2019].
6. OpenMP Architecture Review Board. 2015. OpenMP Application Programming Interface Version 4.5. <https://www.openmp.org/wp-content/uploads/openmp-4.5.pdf>. (2015). [Online; accessed 19-May-2019].
7. Project GNU. 2019. GCC, the GNU Compiler Collection. <https://gcc.gnu.org/>. (2019). [Online; accessed 08-August-2019].
8. LLVM. 2019. The LLVM Compiler Infrastructure. <http://llvm.org/>. (2019). [Online; accessed 08-May-2019].
9. PGI. 2018. PGI Accelerator Compilers with OpenACC Directives. <https://www.pgroup.com/resources/accel.htm>. (2018). [Online; accessed 08-August-2019].
10. 3. "ISO/IEC 9899:2011 - Information technology - Programming languages - C" (http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=578532018-01-30).
11. 4. "ISO/IEC 14882:2011" (http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=50372). ISO. 2 September 2011. Retrieved 3 September 2011.
12. https://en.wikipedia.org/wiki/Heisenbug#cite_note-jarhei-1

ინტერფეისების მოდელირება ბიზნეს-პროცესების მართვის სისტემებისათვის

თეიმურაზ სუხიაშვილი
sukhiashviliteimuraz08@gtu.ge

რეზიუმე

ბიზნეს-პროცესების მართვის კომპიუტერულ სისტემაში დამაკავშირებელი კვანძების მოდელირებისათვის გამოიყენება ინტერფეისები – ოპერაციების ერთობლიობა, რომლებიც ახდენენ მომსახურების სპეციფიცირებას, რომელსაც წარმოადგენს კლასი. კლასი შეიძლება რამდენიმე ინტერფეისის რეალიზებას ახდენდეს. ამასთან, სისტემის მოქნილობისა და გამოყენების სიმარტივისათვის სასურველია კონკრეტულ კონტექსტში კლასის ეგზემპლარს შეეძლოს წარმოადგინოს მხოლოდ ის ინტერფეისი, რომელიც, მისი როლიდან გამომდინარე, მოცემულ სიტუაციას შეესაბამება. ეს მოითხოვს კლასის ქცევის დეტალურ ანალიზს.

სტატიაში განიხილება UML-ის მდგომარეობის დიაგრამის გამოყენებით კლასის ქცევის დეტალური ანალიზი და ყოველი სიტუაცია-მდგომარეობისათვის შესაბამისი ინტერფეისის დადგენა.

საკვანძო სიტყვები:

კლასი, მდგომარეობა, მოვლენა, დიაგრამა, სტერეოტიპი.

1. შესავალი

პროგრამული სისტემის დაპროექტებისას მნიშვნელოვანია ავაგოთ სისტემები ამოცანათა მკაფიო გამიჯვნით. ეს გულისხმობს, რომ სისტემის განვითარებისას ცვლილებას მის ერთ ნაწილში არ შეეხოს დანარჩენს. ამ მიზნის მისაღწევად აუცილებელია სისტემის დამაკავშირებელი კვანძების სპეციფიცირება, რომლებსაც უკავშირდებიან დამოუკიდებლად ცვალებადი ნაწილები.

დამაკავშირებელი კვანძების მოდელირებისათვის გამოიყენება ინტერფეისები. ინტერფეისები – ეს ოპერაციების ერთობლიობაა, რომლებიც ახდენენ მომსახურების სპეციფიცირებას, რომელსაც წარმოადგენენ კლასები.

ინტერფეისი ახდენს კლასის სპეციფიცირებას, მაგრამ არ ახდენს არავითარ შეზღუდვას მის რეალიზაციაზე. კლასი შეიძლება რამდენიმე ინტერფეისების რეალიზებას ახდენდეს. ამასთან ისინი მოვალეობას იღებენ შეასრულონ თავიანთი ყველა კონტრაქტები, უნდა შეიცავდნენ მეთოდებს ინტერფეისით გამოცხადებული ოპერაციების რეალიზებისათვის. ასევე კლასი შესაძლებელია დამოკიდებული იყოს რამდენიმე ინტერფეისისაგან. ამ დროს ის ელოდება, რომ გამოცხადებული კონტრაქტები შესრულდებიან მათი რეალიზებადი გარკვეული კომპონენტების ნაკრებით. სწორედ ამიტომ ამბობენ, რომ ინტერფეისი წარმოადგენს სისტემაში დამაკავშირებელ კვანძს. იგი განსაზღვრავს კონტრაქტის პირობებს, რომლის შემდეგაც ორივე მხარე კლიენტი და მომწოდებელი შეუძლიათ იმოქმედონ ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად, მთლიანად დაეყრდნონ რა ურთიერთ მოვალეობებს.

კლასთან, რომელიც იყენებს ინტერფეისს, დაკავშირება ხდება დამოკიდებულების მიმართებით. შევქმნით რა ახალ ინტერფეისს, პირველ რიგში უყურებთ ოპერაციათა სიმრავლეს, რომელიც განსაზღვრავს კლასის სერვისს. ინტერფეისი განსაზღვრავს კონტრაქტის პირობებს და კლასის ყველა ეგზემპლარები უნდა იცავდნენ ამ პირობებს. ამასთან კონკრეტულ კონტექსტში ეგზემპლარს უნდა შეეძლოს წარმოადგინოს მხოლოდ ის ინტერფეისები, რომლებიც მოცემულ სიტუაციას შეესაბამება. ეს ნიშნავს, რომ ყოველი ინტერფეისი განსაზღვრავს როლს, რომელსაც თამაშობს ობიექტი. როლი – ეს გარკვეული არსების ქცევაა კონკრეტულ კონტექსტში ან სხვა სიტყვებით – პირი, რომლითაც აბსტრაქცია მიმართულია სამყაროს მიმართ. შესაბამისად, ობიექტი წარუდგენს სამყაროს ამა თუ იმ “სახეს” და მასთან ურთიერთქმედებაში მყოფი კლიენტები ელოდებიან მისგან შესაბამის ქცევას.

აღნიშნული ფაქტები მიგვანიშნებენ იმაზე, რომ კლასის ინტერფეისის დადგენისას უნდა გაანალიზებული იქნას კლასის ყველა შესაძლო სიტუაცია-მდგომარეობა. ამისათვის მიზანშეწონილი იქნება გამოვიყენოთ UML -ის მდგომარეობათა დიაგრამა.

ამოცანის გადაწყვეტა

თუ სისტემაში გვაქვს მდგომარეობისაგან დამოკიდებული ობიექტები ქცევის რთული დინამიკით, მაშინ მათთვის შესაძლებელია ავად მოდელი, რომელიც აღწერს ობიექტის მდგომარეობებს და გადასვლებს მათ შორის. ეს მოდელი წარმოდგება მდგომარეობის დიაგრამის სახით. ობიექტების მოდელირებისას უნდა მოვახდინოთ, ძირითადად, სამი საგნის სპეციფიცირება: მდგრადი მდგომარეობები, რომელშიც შესაძლებელია იმყოფებოდეს ობიექტი; მოვლენები, რომლებიც ახდენენ გადასვლების ინიცირებას; და მოქმედებები, რომლებიც სრულდება მდგომარეობის ყოველი შეცვლისას.

მდგრადი მდგომარეობა ეს ისეთი მდგომარეობაა, რომელშიც ობიექტი იმყოფება განუსაზღვრელად დიდი დროის განმავლობაში. მოვლენებს შეუძლიათ აგრეთვე გადასვლების ინიცირება თავის თავში და მოახდინონ შიდა გადასვლები, როდესაც საწყისი და მიზნობრივი მდგომარეობები ერთმანეთს ემთხვევა. მოვლენებზე ან მდგომარეობის ცვლილებაზე რეაქციისას ობიექტმა შეიძლება შეასრულოს გარკვეული მოქმედება.

მაგალითისათვის განვიხილოთ კლასი *კურსისშეთავაზება* ობიექტის ქცევა, რომელიც ახდენს კურსების შერჩევას სტუდენტებისათვის. მდგომარეობის დიაგრამის ასაგებად თავიდან ვახდენთ მდგომარეობების იდენტიფიცირებას. მდგომარეობათა გამოვლენის ნიშნებია ობიექტის ატრიბუტების მნიშვნელობების შეცვლა და კავშირების გაწყვეტა სხვა ობიექტებთან. ობიექტი *კურსისშეთავაზება* შეიძლება იმყოფებოდეს მდგომარეობაში კურსზე მიღება გახსნილია მანამდე, სანამ მასზე დარეგისტრირებულ სტუდენტთა რაოდენობა არ გადააჭარბებს 10-ს, ხოლო როგორც კი გადააჭარბებს 10-ს, ობიექტი გადადის მდგომარეობაში კურსზე მიღება დახურულია. ამის გარდა, მდგომარეობაში კურსზე მიღება გახსნილია ჩართულია მდგომარეობები კურსი არავის არ მიჰყავს ანუ არ არსებობს კავშირი პროფესორის რომელიმე კურსთან და კურსი დანიშნულია (ასეთი კავშირი არსებობს).

ხოლო მდგომარეობაში კურსზე მიღება დახურულია ჩართულია, კურსი გაუქმდა, კურსი შევსებულია და კურსი ჩართულია განრიგში. კომპოზიციური მდგომარეობები საშუალებას იძლევიან გავამარტივოთ დიაგრამა, შევამციროთ რა გადასვლების რაოდენობა,

რამდენადაც ჩართული მდგომარეობები მემკვიდრეობით იძენენ კომპოზიციური მდგომარეობების ყველა თვისებებსა და გადასვლებს.

შემდეგ უნდა მოვახდინოთ მოვლენათა იდენტიფიცირება. მოვლენები, როგორც წესი დაკავშირებული არიან გარკვეული ოპერაციების შესრულებასთან. კლასში *კურსისშეთავაზება* განისაზღვრა ორი ოპერაცია – პროფესორის მიერ კურსების არჩევასთან (ახალი კავშირის შექმნა) და არჩეულ კურსზე უარის თქმა (კავშირის გაწყვეტა).

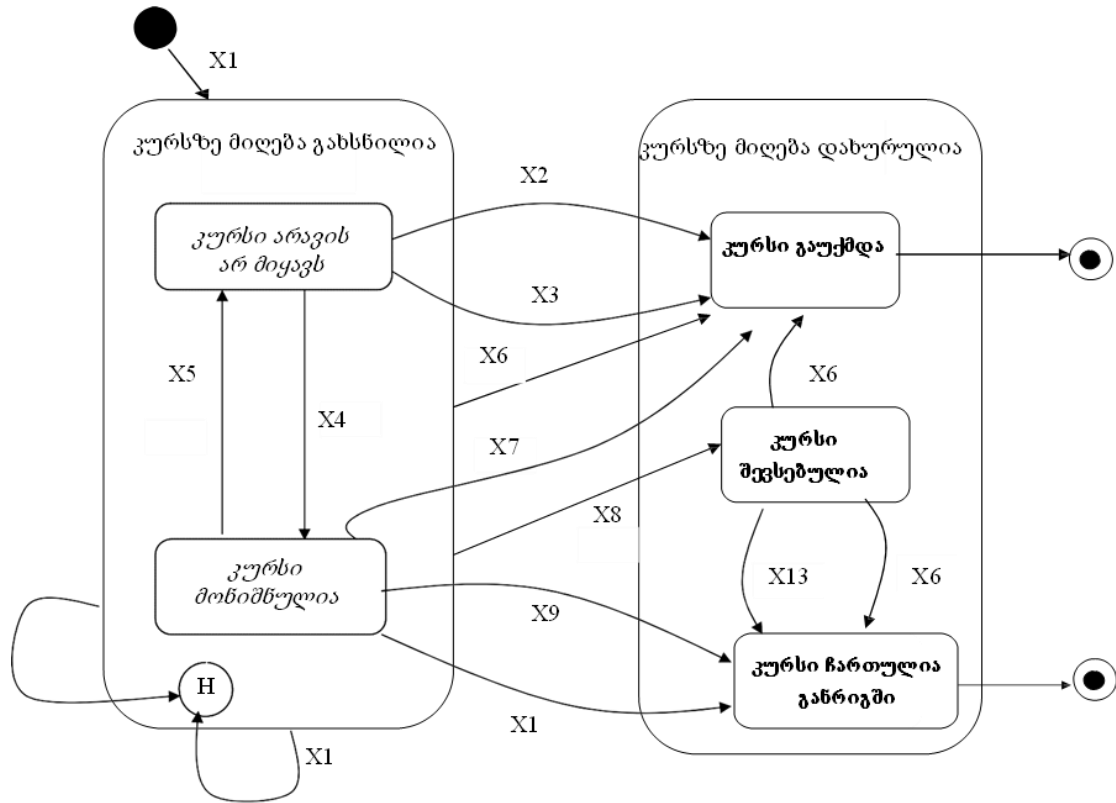
ბოლოს ვახდენთ მდგომარეობებს შორის გადასვლების იდენტიფიცირებას. გადასვლები გამოისახებიან მოვლენებით. დიაგრამის გადატვირთვის თავიდან ასაცილებლად, ქვემოთ მოყვანილია იმ მოვლენების აღწერა, რომლებიც განაპირობებენ ერთი მდგომარეობიდან გადასვლას მეორეში: X1 – სტუდენტების რაოდენობა=0; X2 – რეგისტრაციის დახურვა; X3 – დახურვა; X4 – პროფესორის დამატება; X5 – პროფესორის ამოგდება; X6 – დამთავრება; X7 – დახურვა [სტუდენტების რაოდენობა<3]; X8 – სტუდენტების რაოდენობა=10; X9 – რეგისტრაციის დახურვა[სტუდენტების რაოდენობა>=3]; X10 – დაიხურა სტუდენტების რაოდენობა >=3; X11 – სტუდენტის დამატება [სტუდენტის_რაოდენობა =სტუდენტის_რაოდენობა+1]; X12– სტუდენტის დამატება/სტუდენტის _რაოდენობა = სტუდენტის_რაოდენობა+1; X13- რეგისტრაციის დახურვა.

მოცემულ დიაგრამაზე გამოყენებულია მოდელირების ისეთი შესაძლებლობები, როგორც არის კომპოზიციური (**composite state**) და ისტორიული მდგომარეობები (**history state**) კომპოზიციური მდგომარეობები საშუალებას იძლევიან გავამარტივოთ დიაგრამა, შევამციროთ რა გადასვლების რაოდენობა, რამდენადაც ჩართული მდგომარეობები მემკვიდრეობით იძენენ კომპოზიციური მდგომარეობების ყველა თვისებებსა და გადასვლებს.

ისტორიული მდგომარეობა – ეს ფსევდომდგომარეობაა, რომელიც აღადგენს წინამდებარე აქტიურ მდგომარეობას კომპოზიტურ მდგომარეობაში. იგი საშუალებას აძლევს კომპოზიტურ მდგომარეობას დაიმახსოვროს რომელი ჩართული მდგომარეობა იყო მიმდინარე გამოსვლის მომენტში, იმისათვის რომ ნებისმიერი გადასვლა ბრუნდებოდეს სწორედ ამ ჩართულ მდგომარეობაში, და არა საწყის მდგომარეობაში.

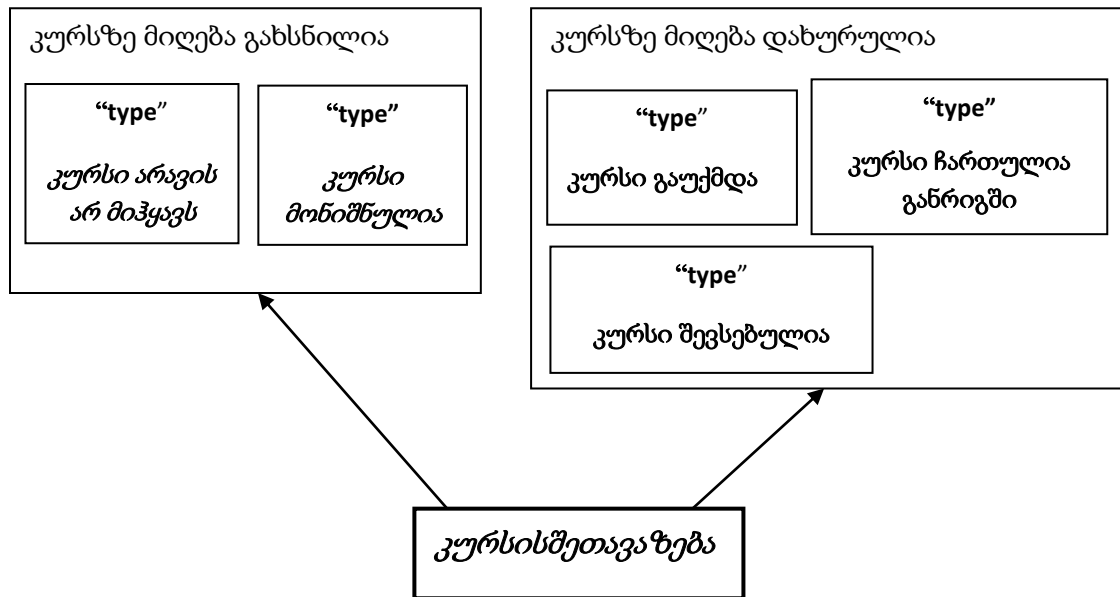
მოყვანილი დიაგრამიდან ნათლად ჩანს თითოეულ მდგომარეობაში შესასრულებელი მოქმედებები(ოპერაციები), შესაბამისად ინტერფეისი, რომელიც კლასს *კურსისშეთავაზება* შესაძლებელია ჰქონდეს მოცემულ სიტუაცია-მდგომარეობაში.

აბსტრაქციების სემანტიკის ფორმალური მოდელირებისათვის და მათი გარკვეულ ინტერფეისთან შესაბამისობისათვის გამოიყენება სტერეოტიპი type. ეს არის კლასის სტერეოტიპი, რომლის მეშვეობით განისაზღვრება ობიექტების მოქმედების არე ოპერაციებთან ერთად. ტიპის კონცეფცია მჭიდროდ არის დაკავშირებული ინტერფეისის კონცეფციასთან, მხოლოდ იმ განსხვავებით, რომ ტიპის აღწერა შესაძლებელია შეიცავდეს ატრიბუტებს, ხოლო ინტერფეისის აღწერა – არა.



ნახ.1. მდგომარეობის დიაგრამა კომპოზიციური მდგომარეობებით

ქვედა ნახაზზე მოყვანილია როლები, რომელსაც კლასი *კურსისშეთავაზება* თამაშობს მართვის სისტემის კონტექსტში. მოცემული ნახაზიდან ჩანს, რომ კლასი *კურსისშეთავაზება* ეგზემპლარები შესაძლებელია მივაკუთვნოთ ხუთიდან ერთ ტიპს, რომლებიც წარმოიდგინებინან სტერეოტიპული კლასების სახით.



ნახ.2.

3. დასკვნა

UML-ში არსებული მდგომარეობათა დიაგრამით საშუალება გვძლევს დეტალურად დავახასიათოთ კლასების ქცევა, განვსაზღვროთ სიტუაცია-მდგომარეობები, მოვლენები, რომლებიც იწვევენ გადასვლებს ერთი მდგომარეობიდან მეორეში და მოქმედებები, რომლებიც შესაძლებელია შესრულდეს თითოეულ მდგომარეობაში. ეს გვაძლევს საფუძველს ზუსტად განვსაზღვროთ თუ რა მომსახურების გაწევა-(ინტერფეისი) შეუძლია ამა თუ იმ სიტუაციაში (მდგომარეობაში). რითაც სისტემა გახდება უფრო მოქნილი და გაუმჯობესდება მისი მოხმარება.

Modeling interfaces for business process control systems

Teimuraz Sukhiashvili

Summary

Interfaces are used in the system to model docking points - a set of operations? specifying the services provided by the class. A class can implement multiple interfaces. However, for ease of use, it is desirable in a particular context, the instance provided only those interfaces that are appropriate for the situation, based on its role. This requires a detailed analysis of the behavior of the class. The article discusses, using the UML state diagram, a detailed analysis of the behavior of a class and the establishment of an appropriate interface for each state-situation.

Моделирование интерфейсов для систем управления бизнес процессов

Теимураз Сухиашвили

Резюме

В системе для моделирования стыковочных узлов используются интерфейсы – набор операций, специфицирующих услуги, предоставляемые классом. Класс может реализовывать несколько интерфейсов. Тем не менее для удобства использования желательно в конкретном контексте экземпляр предоставлял только те интерфейсы, которые соответствуют ситуации, исходя своей роли. Это требует детальный анализ поведения класса.

В статье рассматривается с использованием диаграммы состояний UML детальный анализ поведения класса и установление для каждого состояния-ситуации соответствующего интерфейса.

ლიტერატურა – References – Литература

1. Arlow D., Neustadt A. (2008). UML.2 and the unified process. 2nd ed., Practical Object-Oriented Analysis and Design. St. Petersburg-Moscow (in Russian)
2. Sukhiashvili T. (2020). Unified Modeling Language (UML2) and Unified Software Development Process (UP). Georgian Techn. Univ., (in Georgian). Internet resource: <https://gtu.ge/book/uml2.pdf>.
3. Sukhiashvili T. Development means of adaptation at object-oriented design. Georgian Technical University. AUTOMATED CONTROL SYSTEMS, 2016 - No 2(31), pp.93-95.

სტატიები სტუდენტების მონაწილეობით

ARTICLES WITH STUDENT PARTICIPATION

СТАТЬИ С УЧАСТИЕМ СТУДЕНТОВ

მზის ფოტოელექტრული სადგურის ეფექტურობის გაზრდის პრინციპები

პაატა ჯოხაძე, ნიკა ბერიძე¹

paata_j@yahoo.com, n.beridze@gtu.ge

რეზიუმე

სტატიაში განხილულია საკითხები, რომლებიც ეხება მზის ფოტოელექტრული სადგურების პროექტების რეალიზების გარკვეულ თავისებურებებს. გლობალური დათბობის ფენომენთან დაკავშირებული გამოწვევების ფონზე მზის გამოსხივების გამოყენებით ელექტრული ენერჯის მიღება ერთ-ერთ უმნიშვნელოვანეს საკითხად გადაიქცა, მაგრამ ინვესტორების გარკვეულ ნაწილს მზის ფოტოელექტრული სადგურების პროექტების მიმართ გააჩნია სკეპტიკური დამოკიდებულება, ვინაიდან მზის ფოტოელექტრული სადგურის დადგმული სიმძლავრის გამოყენების კოეფიციენტი შედარებით ნაკლებია იგივე დადგმული სიმძლავრის მქონე განახლებადი ენერჯის სხვა წყაროებზე (მაგალითად, ჰიდრორესურსებზე) მომუშავე ელექტროსადგურების დადგმული სიმძლავრის გამოყენების კოეფიციენტთან შედარებით, რაც თავის მხრივ განაპირობებს ელექტროსადგურის საშუალო წლიური გამომუშავების სიდიდეს და, შესაბამისად, შემოსავლებს და ინვესტიციების დაბრუნების პერიოდს. სტატიაში მოყვანილია წინასწარი კვლევების შედეგები, რომლებიც შესაძლებლობას იძლევიან აიხსნას მზის ფოტოელექტრული სადგურების შედარებით დაბალი ეფექტურობის გამომწვევი მიზეზები და მოიძებნოს მათი ეფექტურობის გაზრდის გზები.

საკვანძო სიტყვები:

გლობალური დათბობა; განახლებადი ენერგორესურსები; მწვანე ენერჯია; მზის ფოტოელექტრული მოდული; მზის ფოტოელექტრული სადგური.

1. შესავალი

კაცობრიობის პრაქტიკული საქმიანობა მოღვაწეობის ნებისმიერ სფეროში, ფაქტობრივად წარმოადგენს ენერჯის ნაკადების კონცენტრაციაზე დამოკიდებულ პროცესს. ელექტრო-ენერჯიაზე მოთხოვნილება განუწყვეტლივ იზრდება. წიაღისეულ საწვავზე მომუშავე ელექტროსადგურები და საწვავზე მომუშავე სატრანსპორტო საშუალებები წარმოადგენენ დედამიწის ატმოსფეროში სათბური გაზების ემისიის მნიშვნელოვან წყაროს და წარმოადგენენ გლობალური კლიმატის ცვლილების ერთ-ერთ მნიშვნელოვან მიზეზს.

გლობალური დათბობის ფენომენი 21-ე საუკუნის უმნიშვნელოვანეს გამოწვევას წარმოადგენს მთელი მსოფლიოს მასშტაბით, ჩატარებული კვლევების საფუძველზე მიღებული და ინტერნეტ სივრცეში დღეისათვის არსებული სტატისტიკური მონაცემების მიხედვით: მე-19 საუკუნის ბოლოდან დედამიწის ზედაპირის საშუალო ტემპერატურა გაიზარდა დაახლოებით 1.2 °C; არქტიკის ზღვის ყინულის მოცულობა მცირდება დაახლოებით 13,1%-ით ყოველ ათწლეულში და არქტიკა თბება ორჯერ მეტი სიჩქარით გლობალური ტემპერატურის საშუალო ზრდის ტემპებთან შედარებით; მსოფლიოს მასშტაბით,

¹ სტუ. ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტი. მართვის სისტემებისა და ავტომატიზაციის დეპარტამენტის დოქტორანტი.

მნიშვნელოვნად იმატა მყინვარების ინტენსიურად დნობამ, რასაც, როგორც წესი, მოჰყვება დამანგრეველი ღვარცოფები.

კლიმატის ცვლილების მთავრობათაშორის ექსპერტთა ჯგუფის (IPCC – The Intergovernmental Panel on Climate Change) აზრით ჯერ კიდევ არსებობს გლობალური დათბობით გამოწვეული შედეგების თავიდან არიდების შანსები, თუ ჩატარებული იქნება ენერგორესურსების მოხმარების არსებული სისტემების მოდიფიცირების და ჩანაცვლების ღონისძიებები [1, 2].

საქართველო არ ფლობს წიაღისეული ენერგომატარებლების მნიშვნელოვან რესურსებს, რათა სრულად გადაწყვიტოს საქართველოს ენერგოდამოუკიდებლობის პრობლემა. ამიტომ ამ პრობლემის მოგვარების ერთ-ერთ გზას ენერჯის განახლებადი და ალტერნატიული წყაროების მაქსიმალური ეფექტურობით ათვისება წარმოადგენს. ბოლო წლებში განსაკუთრებული ყურადღება ეთმობა განახლებადი ალტერნატიული ენერჯის ისეთი წყაროების გამოყენებას როგორცაა მზის და ქარის ენერჯის წყაროები, რომლებიც ძირითად პრიორიტეტს წარმოადგენენ ევროგაერთიანების წევრი ყველა ქვეყნისთვის. საქართველომ 2014 წელს ასოცირების ხელშეკრულებით აიღო ევროგაერთიანების ენერგეტიკული კანონმდებლობის მესამე პაკეტთან ჰარმონიზების ვალდებულება, რითაც ქვეყანა სრულიად ჩაერთო კლიმატის ცვლილების შედეგად გამოწვეული პრობლემების მოგვარებაშიც [3, 4, 5].

2. მზის ფოტოელექტრული სადგურების ეფექტურობა

მზის ელექტროსადგურის ენერჯის პირველად წყაროს, როგორც ეს მისი სახელწოდებიდან ჩანს, წარმოადგენს მზის გამოსხივების ენერჯია, რომელიც სხვადასხვა მეთოდების გამოყენებით გარდაიქმნება ელექტრულში. მზის ელექტრო სადგურებიდან შეიძლება გამოეყოთ ორი ძირითადი ტიპი: **ჰელიო სისტემები**, რომლებიც მზის ენერჯიას თბო-მცვლელის მეშვეობით გარდაქმნიან ორთქლში და ამუშავებენ ორთქლის ტურბო-აგრეგატებს, მაგრამ ჰელიო სისტემები საკმაოდ ძვირად ღირებულ ობიექტებს წარმოადგენენ, რომელთა მართვა და ექსპლუატაცია საკმაოდ რთულია. ჰელიო სისტემების უპირატესობა იმაში მდგომარეობს, რომ შეიძლება თბური ენერჯის აკუმულირება და მზის ჩასვლის შემდეგ მისი გამოყენება გარკვეული პერიოდის განმავლობაში; **მზის ფოტოელექტრული სადგურები**, რომლებშიც მზის გამოსხივების ენერჯის ელექტრულში გარდაქმნისთვის გამოიყენება მზის ფოტოელექტრული მოდულები (Photovoltaic Module – PV Module) ცნობილი როგორც მზის პანელები, რომელთა უმრავლესობა წარმოადგენს ნახევარგამტარებისგან შედგენილი p-n გადასასვლელის მქონე ელემენტების ერთობლიობას, რომლებიც მზის სხივის ზემოქმედების შედეგად გამოიმუშავებენ მუდმივი ძაბვის (უმეტესად 0.5-0.55 ვოლტი) ელექტრომომარაგებელ ძალას (ემძ) და რომლებიც ერთმანეთთან მიერთებული არიან მიმდევრობით-პარალელურად [6, 7].

მზის ფოტოელექტრული სადგურის ეფექტურობა პირველ რიგში დამოკიდებულია მზის პანელების მარგი ქმედების კოეფიციენტზე (მქკ). კვლევებმა გვიჩვენეს, რომ მსოფლიო ბაზარზე არსებული მზის პანელები სხვადასხვა ტექნოლოგიების გამოყენებით მზადდება, შესაბამისად, მათ გააჩნიათ სხვადასხვა მქკ და განსხვავებული ფასები. საოჯახო (ინდივიდუალურ) მზის ელექტროსადგურებში ყველაზე ხშირად გამოიყენება ე.წ. პოლიკრისტალური პანელები, რაც განპირობებულია შედარებით დაბალი ფასებით, მათი მქკ იცვლება 13%-დან 17%-მდე, მეტი მქკ გააჩნია შედარებით ძვირ მონოკრისტალურ მოდულებს, რომელთა მქკ იცვლება 18%-დან 23%-მდე [8].

მზის პანელების ზემოთ მოყვანილი მქკ-ს მნიშვნელობები არ წარმოადგენენ იმ ზღვარს, რომელიც შეიძლება გააჩნდეს მათ. ვაშინგტონის უნივერსიტეტის სუფთა ენერჯების ინსტიტუტის (Clean Energy Institute – University of Washington) მიერ გავრცელებული ინფორმაციის თანახმად მკვლევარებმა შეძლეს სილიციუმ-პეროვსკიტის (კალციუმ ტიტანიუმის ოქსიდის მინერალი CaTiO₃ - Perovskite) ე.წ. ტანდემით შექმნათ

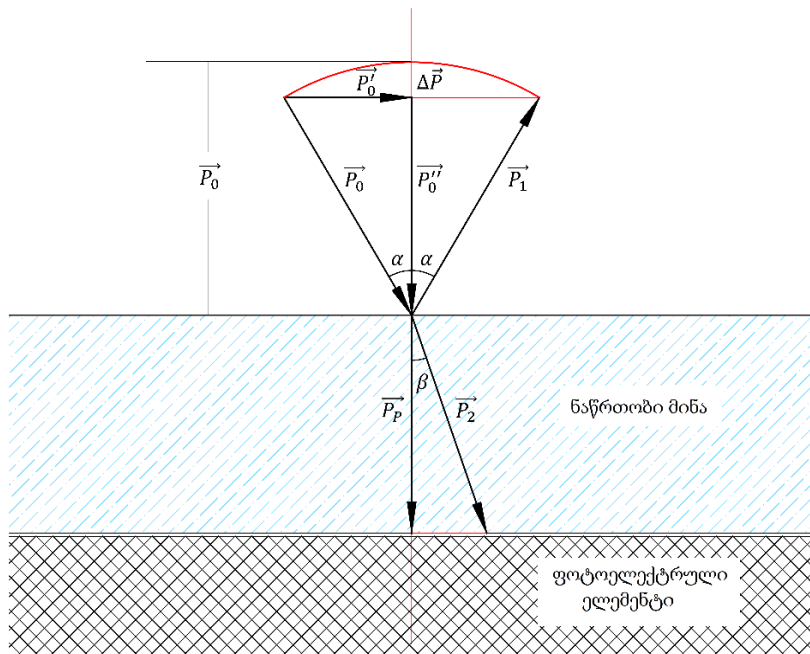
მზის პანელის ელემენტის საცდელი ნიმუში, რომლის მქკ 29.1%-ის ტოლია და მოსალოდნელია მისი შემდგომი ზრდა, ამასთან, მოსალოდნელია, რომ ეს ელემენტები უახლოეს მომავალში გადაიქცევიან ჩვეულებრივი სილიციუმის მონოკრისტალური მზის პანელების იაფიან და მაღალ-ეფექტურ ალტერნატივად. 2022 წლის 18 მაისს აშშ-ს ენერჯეტიკის სამინისტროს განახლებადი ენერჯის ეროვნული ლაბორატორიის (NREL – National Renewable Energy Laboratory) მიერ გავრცელებული იქნა ინფორმაცია იმის შესახებ, რომ მკვლევარებმა შექმნეს მზის ფოტოელექტრული გარდამქმნელი ელემენტი მქკ-ის რეკორდული მნიშვნელობით 39,5% დედამიწის და 34,2% კოსმოსის პირობებში. ეს უკანასკნელი კი საკმაოდ მიმზიდველს გახდის მზის ელექტროსადგურების პროექტების განვითარების პერსპექტივას [2, 9].

მზის პანელების მწარმოებელი კომპანიები მზის პანელების მქკ-ის მაქსიმალურ მნიშვნელობას განსაზღვრავენ ტესტირების სტანდარტული პირობებისთვის (STC – Standard Test Conditions), რომლისთვის გარემოს ტემპერატურა +25°C-ის ტოლია, ხოლო პანელის ზედაპირზე ნორმალის მიმართ სხივის დაცემის კუთხე 0°. ფორმულას აქვს შემდეგი სახე:

$$\eta(\%) = \frac{P_{STC}}{(S_m \cdot 1000W/m^2)} \cdot 100$$

სადაც: P_{STC} – მოდულის მაქსიმალური სიმძლავრეა მოცემული პირობებისთვის, S_m – მოდულის ზედაპირის ფართობი, იგულისხმება, რომ პანელის 1 კვადრატულ მეტრ ფართობზე ეცემა 1000 ვატი სიმძლავრის მზის გამოსხივება.

განვიხილოთ 1-ელ ნახაზზე მოცემული სხივთა სვლის და სხივთა სიმძლავრეთა დიაგრამა



ნახ. 1. სხივთა სვლა მზის პანელის კონსტრუქციაში, სხივთა სიმძლავრეების ვექტორები

ნახაზზე 1 შემოღებულია დაშვებები: \vec{P}_0 მზის პანელის ფოტოელექტრულ ელემენტზე რაღაც α კუთხით დაცემული სხივის სიმძლავრეა, არეკლილი სხივის სიმძლავრე \vec{P}_1 -ის ტოლია, ხოლო გარდატეხილი სხივის კი \vec{P}_2 , მაშინ დიაგრამის მიხედვით მივიღებთ, რომ ფოტოელექტრულ ელემენტზე დაცემული სხივის \vec{P}_p სიმძლავრე \vec{P}_0 სიმძლავრის \vec{P}_0' ვერტიკალური მდგენელის ტოლი იქნება, რომელის სიდიდეც ΔP -ს სიდიდით ნაკლებია პანელზე კუთხით დაცემული სხივის, ანუ მიიღება, რომ

$$P_p = P_0 - \Delta P = P_0 - P_0 * \cos(\alpha) = P_0 * [1 - \cos(\alpha)]$$

ამრიგად, პანელის ზედაპირზე სხივის დაცემის კუთხის ზრდა იწვევს მის ფოტოელექტრული ელემენტის ზედაპირზე ვერტიკალურად დაცემული სხივის სიმძლავრის და, შესაბამისად, მქკ-ის მნიშვნელობის შემცირებას, ანუ გამომუშავებული ენერჯის მოცულობის შემცირებას. საქართველოში გავრცელებული პრაქტიკით, მზის ფოტოელექტრული სადგურის პანელების დამონტაჟება, სახსრების ეკონომიის თვალსაზრისით, ხორციელდება ფიქსირებული, უმეტესად ჰორიზონტისადმი 42° დახრის კუთხით და სამხრეთისკენ მიმართული მუშა ზედაპირით. პანელების მოცემული დახრის კუთხისთვის გაზაფხულ/შემოდგომის ბუნიობის დღეს მზის ზენიტში ყოფნისას მზის სხივების პანელის ზედაპირზე დაცემის კუთხე 0° -ის ტოლია და შესაბამისად მხოლოდ ამ დროის მცირე შუალედში პანელს გააჩნია მაქსიმალური მქკ, ყველა სხვა შემთხვევაში მისი მქკ მნიშვნელოვნად ნაკლებია მაქსიმალურზე, შესაბამისად, ცხადია, რომ გამომუშავებული საშუალო წლიური ენერჯიაც ნაკლებია შესაძლო მაქსიმუმზე.

დედამიწის ზედაპირამდე მოღწეული მზის ჯამური გამოსხივება შედგება პირდაპირი, გაბნეული და არეკლილი სხივებისგან, მათგან მზის გამოსხივების ენერჯის არსებითი წილი მოდის პირდაპირ გამოსხივებაზე. მზის აღმოსავლეთიდან დასავლეთისკენ მოძრაობის ტრაექტორია და, შესაბამისად, მზის ზენიტის სიმაღლე და დღის ხანგრძლიობა განუწყვეტილად იცვლება ზამთრის ნაბუნიობის დღის მინიმუმიდან ზაფხულის ნაბუნიობის დღის მაქსიმუმამდე, შესაბამისად იცვლება დახრის ფიქსირებული კუთხით დამონტაჟებული მზის პანელის ზედაპირზე მზის პირდაპირი სხივის დაცემის კუთხეც, როგორც მზის სიმაღლის, ასევე მისი აზიმუტის მიხედვით, რის გამოც მზის ფოტოელექტრული სადგური წლის განმავლობაში გამოიმუშავებს შესაძლო მაქსიმუმზე გაცილებით ნაკლებ ელექტროენერჯიას.

ლოგიკურია, რომ მზის ფოტოელექტრული სადგურის ეფექტურობის გაზრდის ერთ-ერთ შესაძლებლობას წარმოადგენს მზის პანელებზე მზის პირდაპირი სხივების დაცემის შემდგომ დაგვარად მინიმალური კუთხის შენარჩუნება, რაც, თავის მხრივ, გულისხმობს მზის პანელების მობრუნებას მისი ღერძების გარშემო მზის მოძრაობის მიხედვით, კონსტრუქცია, რომელიც ამას უზრუნველყოფს ცნობილია როგორც ტრეკერი. არსებობს ორი ტიპის ტრეკერი: ერთღერძიანი, რომელიც უზრუნველყოფს მასზე დამონტაჟებული მზის პანელების (6, 9 ან 12 პანელის) მობრუნებას ჰორიზონტალური ან ვერტიკალური ღერძის მიმართ და ორღერძიანი ტრეკერი, რომელიც უზრუნველყოფს მასზე დამაგრებული მზის პანელების შემოტრიალებას როგორც ვერტიკალური, ასევე ჰორიზონტალური ღერძის მიმართ, ეს უკანასკნელი ფაქტობრივად წარმოადგენს მზის სრულ მიმყოლ სისტემას. ორივე შემთხვევაში ტრეკერის მართვის სისტემის დამკვეთის როლში გამოიყენება მზის მდებარეობის განმსაზღვრელი ფოტოელექტრული სენსორი.

იმის დასადგენად, თუ რამდენად იზრდება ტრეკერების გამოყენებით მზის ფოტოელექტრული სადგურის ეფექტურობა, ჩატარებული იქნა კვლევები საქართველოს სამხრეთ/დასავლეთი ნაწილის კონკრეტული ტერიტორიისთვის, რომლებშიც გამოყენებული იქნა ინტერნეტ რესურსები: მზის გლობალური ატლასი², სისტემა „GAISMA“³ და

² <https://globalsolaratlas.info/map>

„SUNCALC“⁴, რომელთა საშუალებით დადგინდა, შემდეგი ყოველდღიური მონაცემები მთელი წლის განმავლობაში: მზის ამოსვლის დრო და აზიმუტი; მზის ჩასვლის დრო და აზიმუტი; ნათელი დღის ხანგრძლივობა, დღის განმავლობაში მზის აზიმუტი და სიმაღლე ყოველ საათობრივად.

კვლევების ძირითად მიზანს წარმოადგენდა შემდეგი თანაფარდობების დადგენა:

$$k_0 = \frac{E_1}{E_0}; k_1 = \frac{E_2}{E_0}; k_3 = \frac{E_2}{E_1}$$

სადაც: E_0 - წარმოადგენს საშუალო წლიურ გამომუშავებულ ენერგიას ფიქსირებული კუთხით დამონტაჟებული პანელებისთვის; E_1 - წარმოადგენს საშუალო წლიურ გამომუშავებულ ენერგიას ერთ ღერძიან ტრეკერზე დამაგრებული პანელებისთვის; E_2 - წარმოადგენს საშუალო წლიურ გამომუშავებულ ენერგიას ორღერძიან ტრეკერზე დამაგრებულ პანელებისთვის.

ჩატარებული კვლევის შედეგად დადგინდა, რომ $k_0 = 1.33$, რაც ნიშნავს, რომ ერთღერძიანი ტრეკერის გამოყენებისას მზის ფოტოელექტრული სადგურის გამომუშავება გაიზრდება 1.33-ჯერ ფიქსირებული კუთხით დამონტაჟებული პანელების შემთხვევასთან შედარებით, $k_1 = 1.77$, რაც ნიშნავს, რომ ორღერძიანი ტრეკერის გამოყენებისას მზის ფოტოელექტრული სადგურის გამომუშავება გაიზრდება 1.77-ჯერ ფიქსირებული კუთხით დამონტაჟებული პანელების შემთხვევასთან შედარებით, $k_3 = 1.33$, რაც ნიშნავს, რომ ორღერძიანი ტრეკერის გამოყენებისას მზის ფოტოელექტრული სადგურის გამომუშავება გაიზრდება 1.33-ჯერ ერთღერძიან ტრეკერზე დამონტაჟებული პანელების შემთხვევასთან შედარებით. შეიძლება ითქვას, რომ მზის ფოტოელექტრული სადგურის ეფექტურობის გაზრდის მიზნით ტრეკერების გამოყენება სავსებით გამართლებულია. წინასწარი უხეში გათვლებით დადგენილია, რომ მხოლოდ გამომუშავებული ენერგიის ნაზრდიდან მიღებული შემოსავლები უზრუნველყოფენ ტრეკერების გამოყენებაზე გაწეული დამატებითი ხარჯების დაბრუნებას მაქსიმუმ 3 წლის განმავლობაში, რაც ენერგეტიკული ობიექტებისთვის საკმაოდ მაღალ მაჩვენებელს წარმოადგენს. ამრიგად, შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ ტრეკერების გამოყენება ეკონომიკური თვალსაზრისითაც გამართლებულია.

Principles for improving the efficiency of a solar photovoltaic power plant

Paata Jokhadze, Nika Beridze

Summary

The article discusses with issues related to some features of the implementation of projects of solar photovoltaic power plants. Against the backdrop of issues related to the phenomenon of global warming, generating electricity using solar radiation has become one of the most important issues. However, some investors are skeptical about solar photovoltaic power plant projects, as since the installed capacity utilization factor of solar photovoltaic power plant is relatively lower than that of power plants that use other renewable sources (e.g., hydro resources) with the same installed capacity. This determines the average annual output of the power plant, as well as its revenue and investment payback periods. The article presents the results of preliminary research, which provide an opportunity to explain the reasons for the relatively low efficiency of solar photovoltaic installations and to find ways to increase their efficiency.

³ <https://www.gaisma.com/en>

⁴ <https://www.suncalc.org/>

Принципы повышения эффективности солнечной фотоэлектрической станции

Паата Джохадзе, Ника Беридзе

Резюме

В статье рассматриваются вопросы, связанные с некоторыми особенностями реализации проектов солнечных фотоэлектрических станций. В свете вызовов, связанных с явлением глобального потепления, получение электроэнергии с использованием солнечного излучения стало одним из важнейших вопросов, однако определенная часть инвесторов скептически относится к проектам солнечных фотоэлектрических станций, поскольку коэффициент использования установленной мощности солнечной фотоэлектрической станции относительно меньше по сравнению электростанциями, которые используют другие возобновляемые источники энергии (например, гидроресурсы) с такой же установленной мощностью, что, в свою очередь, определяет среднегодовой объем выработки электростанции, а также выручки и сроки окупаемости инвестиций. В статье представлены результаты предварительных исследований, которые дают возможность объяснить причины относительно низкой эффективности солнечных фотоэлектрических установок и найти пути повышения их эффективности.

ლიტერატურა - References – Литература

1. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability; Summary for Policymakers, Technical Summary and Frequently Asked Questions. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. © Intergovernmental Panel on Climate Change. ISBN 978-92-9169-161-6, 2022, -328 p.
2. პაატა ჯოხაძე, ნიკა ბერიძე. მზის ფოტოელექტრული სადგურების პროექტების განვითარების პერსპექტივები. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, შრომათა კრებული „მართვის ავტომატიზებული სისტემები“, 1512-3979 (Print), EISSN:1512-2174 (Online), თბილისი: გამომცემლობა „ტექნიკური უნივერსიტეტი“. 2023, № 1(35), გვ. 73-78.
3. მარიამ დევაძე. მზის ენერჯეტიკა საქართველოში: პრობლემები, გამოწვევები და საჭირო ღონისძიებები. ჰაინრიჰ ბიოლის ფონდის თბილისის ოფისის - სამხრეთ კავკასიის რეგიონის მხარდაჭერით ჩატარებული კვლევები. თბილისი: ჰაინრიჰ ბიოლის ფონდი. 2020, -47 გვ.
4. Ottmar Edenhoffer, Ramon Pichs Madruga, Youba Sokona. Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. © Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 2012, -1076 p.
5. Georgia's Third National Communication to the UNFCCC. Tbilisi: Ministry of Environment and Natural Resources Protection of Georgia. 2015, -266 p.
6. Michael Boxwell. Editor: Sheila Glasbey. Solar Electricity Handbook. The Sixth Edition. Greenstream Publishing, United Kingdom: 2014. -1230 p.
7. D. Yogi Goswami. Principles of SOLAR ENGINEERING. Third Edition. CRC Press Taylor & Francis Group, USA: 2015. -765 p.
8. PV System Design and Performance. Wilfried van Sark. Utrecht University, The Netherlands: 2019. -362 p.
9. Brittany L. Smith, Michael Woodhouse, Kelsey A. W. Horowitz, Timothy J. Silverman, Jarett Zuboy, and Robert M. Margolis. Photovoltaic (PV) Module Technologies: 2020 Benchmark Costs and Technology Evolution Framework Results. Report. National Renewable Energy Laboratory (NREL), Denver, USA. 2021, -66 p.

სათბურის კონტროლისა და მონიტორინგის სისტემა

გიორგი გიორგანაშვილი¹, ანა კობიაშვილი, მერი გეგეჭკორი

giorgi.giorganashvili@gmail.com, a.kobiashvili@gtu.ge

რეზიუმე

სასოფლო-სამეურნეო პროდუქციის წარმოებაში მნიშვნელოვანი ადგილი უკავია სასათბურე სექტორს, რომლის წარმოშობის აუცილებლობა შეიქმნა დედამიწის მოსახლეობის ზრდის, კლიმატის ცვლილებების, ურბანიზაციის შედეგად პროდუქტიული მიწების შემცირებისა და საკვებ პროდუქტების წარმოებაზე გაზრდილი მოთხოვნის გამო, და ასევე, ჩრდილოეთის ქვეყნებში აგროკულტურების მოყვანის სირთულეების დასაძლევად.

სწორედ ამ მიზეზებისა და არაპროგნოზირებადობის ზრდის გამო ფერმერები სულ უფრო მეტად იყენებენ უახლესი ტექნოლოგიების მიღწევებს მოსავლის ხარისხის გაუმჯობესებისა და მისი რაოდენობის გასაზრდელად.

სტატიაში განხილულია სათბურის კონტროლისა და მონიტორინგის სისტემის მოდელი, რომლის მიზანია მცირე სათბურის ტემპერატურისა და ტენიანობის მართვა. სისტემა არის შექმნილი C/C++, PHP, HTML და mysql ენების გამოყენებით. მონაცემებზე მონიტორინგი ხდება რეალურ დროში და ინტერფეისი მომხმარებლისთვის მარტივად გასაგები.

აღწერილია სისტემის კომპონენტები, მოცემულია მოდულის შესაბამისი პროგრამული კოდები.

აღნიშნული სისტემა მნიშვნელოვნად ამარტივებს სათბურის ძირითადი პარამეტრების რეგულირებას.

საკვანძო სიტყვები:

სათბური, სენსორი, ამპრავი, მიკროკონტროლერი, მონაცემთა ბაზა.

საუკუნეების მანძილზე სოფლის მეურნეობის ზრდამ ხელი შეუწყო ცივილიზაციის განვითარებას. დღეს კი ის ჩვენი ეკონომიკის ერთ-ერთი მთავარი ნაწილია [1]. ბოლო ორი დეკადის განმავლობაში მსოფლიო სასოფლო მეურნეობის სექტორი კლიმატის ცვლილების, რესურსების შემცირებისა და მოსახლეობის ზრდის შედეგად დიდი გამოწვევების პირისპირ აღმოჩნდა. სოფლის მეურნეობის შემდგომი გაფართოების შესაძლებლობა შეზღუდულია თვით მიწების ლიმიტირებული ხელმისაწვდომობის გამო, რადგან ეს გამოიწვევს ბუნებრივი ეკოსისტემების დაკარგვას. მეორე უდიდესი გლობალური საფრთხეა ნებისმიერი მიწის გადაქცევა სასოფლო-სამეურნეო მიწად, რაც პრობლემას უქმნის ბიომრავალფეროვნების შენარჩუნებას. ამიტომ ერთადერთ გამოსავლად რჩება მიწათსარგებლობის ტრანსფორმაცია, კერძოდ, არსებული რესურსების ბევრად ეფექტურად გამოყენება, რისი მიღწევის მნიშვნელოვანი გზაა სასათბურე მეურნეობის განვითარება.

პროდუქციის მაღალი ხარისხის მისაღწევად მცენარეების უმრავლესობა მუდმივ დაკვირვებას მოითხოვს. დიდი რაოდენობით ადამიანური რესურსი იხარჯებოდა ყოველთვის მოსავლის მონიტორინგზე. ამ პრობლემის მოსაგვარებლად შესაძლებელია გამოვიყენოთ ჭკვიანი სათბურის სისტემა, რომელიც უზრუნველყოფს მცენარეებისათვის შესაფერისი გარემო პირობების შექმნას და გამოყენებული რესურსების მინიმუმამდე დაყვანას სრული ავტომატიზაციის ხარჯზე.

¹ სტუ-ს ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის მაგისტრანტი

სათბური არსებითად არის სტრუქტურა, რომელიც დღისით თბება მზისგან მომავალი ინფრარითელი გამოსხივების ხარჯზე. ის მისი სტრუქტურის წყალობით მიღებულ თერმულ ენერჯიას დიდხანს ინარჩუნებს და ასევე უზრუნველყოფს მცენარეების დაცვას. გარდა ამისა, შესაძლებელია ხელოვნურად შეექმნათ მასში კლიმატი, რაც საშუალებას მოგვცემს მთელი წლის განმავლობაში მივიღოთ პროდუქცია.

გაერთიანებული ერების ორგანიზაციის 2023 წლის მონაცემებით, მსოფლიოში დაახლოებით 9.5 მილიონი ჰექტარი უკავია სათბურებს. ამ მხრივ, განსაკუთრებით გამოირჩევა ჰოლანდია, რომლის სასათბურე მეურნეობასაც უკავია 10562 ჰექტარი, რაც მთელი ქვეყნის 0.25%-ს შეადგენს. 2000 წლიდან მოყოლებული ტექნოლოგიური ინოვაციები მოიცავს კონტროლის სისტემას „დახურულ სათბურს“, რომელიც ნაკლები ენერჯიის გამოყენებასთან ერთად ფერმერს საშუალებას აძლევს მოიპოვოს სრული კონტროლი [2].

სათბურის უპირატესობებია:

- მცენარეების დარგვა შესაძლებელია სეზონის მიუხედავად.
- მცენარეების დაცვა წვიმების სეზონისგან, ქარიშხლებისგან, ქარისგან და ყინვისგან.
- მაღალი მოსავლიანობა სივრცის ოპტიმიზაციით, მაგალითად, ვერტიკალურად დარგვა.
- ირიგაციის ეფექტურად მოხმარება.
- სასუქის ნარჩენების შემცირება.
- მავნებლებისა და დაავადებების კონტროლი.
- ნახშირორჟანგის დონის გაზრდა, რაც უკეთეს ფოტოსინთეზს იწვევს.
- მავნე ულტრაიისფერი სხივების გაფილტვრა.
- არაპროდუქტიული ნიადაგის დარგვა.

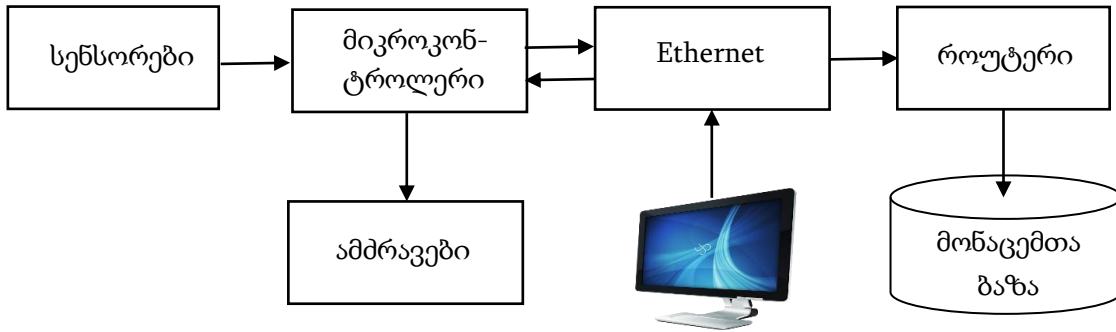
ხოლო თუ მას ჭკვიან სათბურად გადავაქცევთ, მაშინ მიემატება სხვა უპირატესობებიც:

- ფინანსების, დროის და ადამიანური რესურსების დაზოგვა.
- ზოგიერთ მცენარეს სჭირდება უფრო ხანგრძლივი განათება, ვიდრე სხვებს; ჭკვიანი სათბური შეიძლება დაპროგრამდეს ისე, რომ უზრუნველყოს განათების სწორი პერიოდი მცენარეთა განვითარებისთვის.
- ჭკვიანი სათბური ავტომატურად აკონტროლებს მცენარისთვის საჭირო მორწყვას, განათებას და ტემპერატურას და აზღავნის სენსორულ მონაცემებს მასზე მორგებულ აპლიკაციაზე ნებისმიერი ადგილიდან დასაკვირვებლად.
- უზრუნველყოფს, რომ დისტანციურად მოხდეს მართვის ბლოკის პარამეტრების დაყენება.
- შეუძლია სხვადასხვა სახის განგაშის საშუალებით მომხმარებელს აცნობოს სისტემაში არსებული ტექნიკური ხარვეზი, მაგალითად სენსორის მწყობრიდან გამოსვლა.

სათბურის კონტროლისა და მონიტორინგის სისტემის ძირითადი მიზანია შექმნას ეფექტური სასათბურე გარემო, რომელიც მკვეთრად შეამცირებს შრომის ღირებულებას და ასევე დაეხმარება მცირე ფერმერებს მოსავლის მოყვანაში მთელი წლის განმავლობაში. სათბურის კლიმატის ოპტიმალური რეგულირება საშუალებას მოგვცემს გავაუმჯობესოთ პროდუქტიულობა და, ამასთან, შევძლოთ გამოყენებული ენერჯიის მინიმუმამდე დაყვანა.

შესაძლებელია აიგოს სისტემა, რომლის გამოყენება ძალზე მარტივია და მომხმარებელს დისტანციურად შეუძლია აკონტროლოს და დააკვირდეს სათბურში არსებული გარემო პირობების პარამეტრებს; სენსორების მიერ წაკითხული ინფორმაცია შეინახება მონაცემთა ბაზაში, რომლის საშუალებითაც მომხმარებელს შესაძლებლობა ექნება დააკვირდეს სათბურში არსებული კლიმატის ცვლილებას ხანგრძლივი პერიოდის განმავლობაში. სისტემის შესაქმნელად გამოყენებული ხელსაწყოების ღირებულება საკმაოდ დაბალი იქნება. კერძოდ, შესაძლებელია შეიქმნას დისტანციური მართვისა და მონიტორინგის სისტემა, რომელიც საშუალებას მისცემს მომხმარებლებს მუდმივად აკონტროლონ და დააკვირდნენ სათბურს შორიდან, რაც დაზოგავს მათ დროს, ადამიანურ და ფინანსურ რესურსებს.

სისტემა შედგება სენსორებისგან, მიკროკონტროლერებისა (Arduino ან Raspberry Pi) და ამპრავებისგან. სისტემა მუშაობს ისე, რომ როდესაც გარემოს პარამეტრები გადაკვეთს უსაფრთხოების ზღვარს, სენსორები აღმოაჩენენ ცვლილებას იმ მონაცემებში, რომლებსაც მიკროკონტროლერი კითხულობს მისი შეყვანის პორტებიდან და ასრულებს შესაბამის მოქმედებას, რათა დააბრუნოს პარამეტრი საჭირო მნიშვნელობამდე (ნახ.1).



ნახ. 1. მონიტორინგისა და კონტროლის სისტემის სტრუქტურა

სენსორების მიერ შეგროვილი ინფორმაცია იგზავნება სერვერზე როუტერის გავლით და მომხმარებლებს რეალურ დროში გადაეცემათ ვიზუალურად მარტივად გასაგები ინტერფეისის საშუალებით. ამავე ინტერფეისის მეშვეობით ხდება სისტემაში არსებული უსაფრთხოების ზღვრების მითითება.

სათბურში მცენარეთათვის სწორი კლიმატის შექმნა კონტროლის სისტემის უპირველესი ფუნქციაა. მაგალითად, ტემპერატურის დასარეგულირებლად სენსორიდან მიღებული სიგნალი იგზავნება მიკროკონტროლერში, შეედარება მის მინიმალურსა და მაქსიმალურ ზღვრებს, რომლებიც წინასწარაა შეტანილი. შედეგად მაკორექტირებელი სიგნალი გაიგზავნება საბოლოო საკონტროლო ელემენტში ტემპერატურის დასარეგულირებლად. საკონტროლო ელემენტი გამოიმუშავებს ან შთანთქავს სითბოს სათბურში კონტროლერიდან გამოგზავნილი ანალოგური სიგნალის საფუძველზე, რათა მიაღწიოს საჭირო ნიშნულს.

ტემპერატურის გარდა არსებობს სხვა რამდენიმე პარამეტრი, რომელთა გაზომვაც არანაკლებ მნიშვნელოვანია და მათი გაზომვით ჩვენ შეგვიძლია გავაანალიზოთ და გავაუმჯობესოთ სისტემა. ერთ-ერთი ასეთი პარამეტრია ტენიანობა.

ზედმეტი ტენიანობის თავიდან აცილება აუცილებელია მცენარის მაქსიმალური ზრდისათვის, რაც შესაძლებელია სათანადო ვენტილაციის სისტემის არსებობით და ასევე გათბობის სისტემის მენეჯმენტით. თუ ეს ორი ფაქტორი არ არის დანერგილი, სათბურში შეიძლება იყოს დაავადებები და ასევე, ობის გამრავლება, რაც ზიანს აყენებს კულტივირებულ მცენარეებს. მნიშვნელოვანია აგრეთვე CO₂-ის კონცენტრაცია. მცენარის ზრდისთვის აუცილებელი საკვები ნივთიერებაა CO₂. ის საჭიროა ფოტოსინთეზისთვის, ეს კი ის პროცესია, რომლის დროსაც მცენარეები საკუთარ საკვებს ქმნიან. ნახშირორჟანგი მიიღება ატმოსფეროში არსებული ჰაერიდან ან წყლიდან. ფოტოსინთეზის დროს მცენარე იყენებს მას ნახშირწყლების წარმოებისთვის, რაც ხელს უწყობს მცენარის განვითარებას [3].

მოწინავე სისტემები იყენებენ ინტუიციურ ინტერფეისს, სადაც სენსორები ემატება დილაკის შეხებით. თითოეულ სენსორს შეიძლება მიენიჭოს საკუთარი სახელი და ჰკვიანი სათბურის ტერიტორიები შეიძლება დაიყოს სექტორებად. შეგიძლიათ აკონტროლოთ ინფორმაცია როგორც სექტორის, ისე ზოგადად. ჰკვიანი სათბურის შექმნის ბოლო ნაბიჯი არის მობილური ან ვებ აპლიკაციების დაყენება და სენსორების ნორმალურ რეჟიმში მუშაობის შესახებ შეტყობინებების უზრუნველყოფა, ასევე გადაუდებელი გაფრთხილებები საგანგებო სიტუაციების შესახებ.

არსებობს მრავალი სხვადასხვა ტიპის სენსორი, რომლებიც ხელმისაწვდომია ჭკვიანი სათბურებისთვის და რომლებიც ზომავენ და აცნობებენ მონაცემებს გარემოს მონიტორინგისთვის და ავტომატიზაციის კონტროლისთვის. ესაა ტენიანობის, ტემპერატურის, ნიადაგის ტენიანობის, სინათლის, ნიადაგის PH, ჰაერის ხარისხისა და ნახშირორჟანგის სენსორები.

მონიტორინგისა და კონტროლის სისტემის ბირთვია Arduino Uno ან Raspberry Pi. მასზე არსებული მიკროკონტროლერის საშუალებით შესაძლებელია ერთდროულად წავიკითხოთ რამდენიმე სენსორის მნიშვნელობები და ამავე დროს ვმართოთ მასზე მიერთებული ამძრავები ჩამრთველი რელეების საშუალებით. ტენიანობის და ტემპერატურის სენსორებად ვიყენებთ მარტივ DHT22 ციფრულ სენსორებს.

კვების წყაროს დაკარგვის შემთხვევაში Arduino-ში რეალური დროის შესანარჩუნებლად ვიყენებთ DS1302 RTC მოდულს. DS1302 რეალური დროის საათი არის იაფი მოდული მაღალი სიზუსტით, რომელიც შეიძლება გამოყენებულ იქნეს სხვადასხვა პროექტებში. ის საშუალებას გვაძლევს მივიღოთ რეალური წამი, წუთი, საათი, დღე, თვე და წელი. ამ მოდულში თარიღი ავტომატურად დგინდება იმის მიხედვით, თვეში არის 29, 30 თუ 31 დღე და ასევე წელიწადი ნაკიანია თუ არა.

პროგრამირების ენა, რომელიც გამოიყენება Arduino-ს მიკრო-კონტროლერის სამართავად, არის C/C++, სპეციალური მეთოდებისა და ფუნქციების დამატებით. ამ პროექტში ასევე ეს ენა გამოიყენებული, რადგან იგი არის აპარატურის ენა და ის არის ძირითადი ენა, რომელიც გამოიყენება მიკროკონტროლერების პროგრამირებაში.

Arduino-ს დასაპროგრამებლად გამოიყენება ორი ძირითადი ფუნქცია setup და loop [3]. setup ფუნქციაში არსებული კოდი სრულდება ერთხელ და ძირითადად გამოიყენება პარამეტრების დასაყენებლად, ხოლო loop ფუნქციაში არსებული კოდი იმუშავებს განუწყვეტლად, სანამ მოწყობილობა არ გაითიშება.

პროგრამული უზრუნველყოფის დაპროგრამებას ვიწყებთ საჭირო ბიბლიოთეკების და გლობალური ცვლადების დეკლარირებით. თავდაპირველად, Arduino-ში შემავალი სიგნალების გასაშიფრად ვიყენებთ DHT22 და DS1302 ბიბლიოთეკებს. სენსორებიდან მიღებული ანალოგური სიგნალის ჩვენთვის გასაგებ მონაცემებად გადასაქცევად ვიყენებთ DHT ბიბლიოთეკას. DHT.h სათავე ფაილს დეკლარირების შემდგომ ვქმნით DHT კლასის ახალ ობიექტს, რომელსაც ვუთითებთ სენსორისთვის გამოყენებულ ციფრულ კოდსა და სენსორის ტიპს. dht.readHumidity და dht.readTemperature მეთოდებით წინასწარ განსაზღვრული დროის ინტერვალში მიკროკონტროლერი სენსორებიდან წაიკითხავს ანალოგურ ინფორმაციას, შემდგომ ამ მონაცემებს გარდავქმნის ისე, როგორი სახითაც უნდა მივიღეს მომხმარებელამდე და შევინახავთ წინასწარ განსაზღვრულ ცვლადებში. DS1302RTC.h ფაილით Arduino-ს უკავშირებით რეალური დროის ბიბლიოთეკას, რათა დროებითი კვების დაკარგვის შემთხვევაში მიკროკონტროლერი არ ასცდეს საათს.

იმისათვის, რომ ფერმერმა შეძლოს სათბურში არსებული კლიმატის დისტანციურად მონიტორინგი, Arduino უნდა დაუკავშიროთ მონაცემთა ბაზას. ამისათვის საჭიროა შევქმნათ ვებ სერვერი, რომელიც HTTP მოთხოვნებს შეასრულებს [4]. ყოველივე ამის შესაძლებლობას Raspberry Pi-ის შემთხვევაში გვაძლევს ethernet ან RJ45 კაბელი, ხოლო Arduino-ს შემთხვევაში ამის საშუალებას გვაძლევს W5100 Ethernet Shield მოდული, რომლის საშუალებითაც Arduino უკავშირდება როუტერს, რათა სენსორებიდან მიღებული ინფორმაცია აიტვირთოს მონაცემთა ბაზაში. Ethernet Shield-ის გამოსაყენებლად ვიყენებთ Ethernet ბიბლიოთეკას და Ethernet.begin() ფუნქციას, რომელიც იღებს შემდეგ არგუმენტებს:

mac – MAC (მედია წვდომის კონტროლი) მისამართი მოწყობილობისთვის (6 ბაიტის მასივი).

ip – მოწყობილობის IP მისამართი (4-ბაიტის მასივი).

dns – DNS სერვერის IP მისამართი (4-ბაიტის მასივი).

gateway – ქსელის კარიბჭის IP მისამართი (4-ბაიტის მასივი).

subnet – ქსელის ქვექსელის ნიღაბი (4-ბაიტის მასივი).

Arduino-თი HTTP მოთხოვნების გასაგზავნად და მისაღებად საჭიროა როგორც სერვერის ობიექტის დეკლარირება, ასევე კლიენტის ობიექტის დეკლარირება. სერვერის

შესაქმნელად ვაცხადებთ EthernetServer კლასის ობიექტს და გადავცემთ პარამეტრს, რომელიც მიუთითებს, თუ რომელ პორტს უნდა მოუსმინოს საკომუნიკაციოდ. მომხმარებლის აპლიკაციიდან Arduino-ს სამართავად, პორტზე მოსული HTTP მოთხოვნის წასაკითხად ვიყენებთ client.read() მეთოდს. მიღებულ ინფორმაციას ვამუშავებთ და მივანიჭებთ შესაბამის ცვლადებს. შემდგომ, კონტროლის აპლიკაციიდან მოსულ ინფორმაციაზე დაყრდნობით, if პირობითი ოპერატორების საშუალებით, Arduino-ზე, შესაბამის ციფრულ პინზე შევქმნით 0 ან 5 ვოლტ მაზვას (ლოგიკური 0 ან 1), რათა მოხდეს ამძრავის ჩართვა ან გათიშვა. ამისათვის ვიყენებთ Arduino-ში ჩაშენებულ digitalWrite() ფუნქციას, რომელსაც პარამეტრებად გადაეცემა ციფრული კოდი და ლოგიკური დონე.

EthernetClient კლასის ობიექტს დეკლარირებით ვქმნით კლიენტს, რომელსაც შეუძლია დაუკავშირდეს მითითებულ ინტერნეტ IP მისამართს და პორტს. IP მისამართი და პორტი განსაზღვრულია client.connect() ფუნქციაში, რომელიც მათ იღებს არგუმენტების სახით.

Arduino-ს მონაცემთა ბაზასთან დაკავშირების შემდგომ ვქმნით HTTP GET მოთხოვნას, რომლის გამოყენებითაც გაზომილ ცვლადებს ვტვირთავთ მონაცემთა ბაზაში. HTTP მოთხოვნების გაგზავნებს შორის დაყოვნებად აღებულია 5 წუთი.

```
void sendGET()
{
    if (client.connect(gateway, 80)) {
        client.print("GET/ethernet/data.php?");
        client.print("temperature=");
        client.print(temp);
        client.print("humidity=");
        client.print(hum);
        client.stop();
    }
}
```

Arduino-ს მონაცემთა ბაზასთან დასაკავშირებლად ვიყენებთ PHP ფაილს:

```
<?php
$username = "root";
$password = " ";
$host = "localhost";
$db_name = "ethernet";
$con = mysqli_connect($host, $username, $password);
$db = mysqli_select_db($con, $db_name);
$sql_insert = "INSERT INTO data(temperature, humidity) VALUES
('".$_GET["temperature"]."','".$_GET["humidity"]."')";
if (mysqli_query($con, $sql_insert))
{
    echo "Done";
    mysqli_close($con);
}
else
{
    echo "error is ", mysqli_error($con);
}
?>
```

ფუნქციებით mysqli_connect და mysqli_select_db ხდება მონაცემთა ბაზის არჩევა.

მონაცემთა სასურველ ცხრილში შეტანა ხდება INSERT INTO ბრძანების საშუალებით, რომლითაც ცხრილის თითოეულ სვეტს შესაბამისი სენსორის მიერ გაზომილ ინფორმაციას გადავცემთ.

მონაცემთა ბაზაში ცხრილის სტრუქტურა შემდეგნაირია:

ID – ყოველი ახალი სტრიქონის დამატებისას მონაცემთა ბაზის მიერ ავტომატურად ენიჭება. ინკრიმენტი უდრის ერთს.

Temperature – მოცემულ სვეტში ინახება ტემპერატურის სენსორიდან მიღებული ინფორმაცია.

Humidity – მოცემულ სვეტში ინახება ტენიანობის სენსორიდან მიღებული ინფორმაცია.

Date – შეიცავს ინფორმაციას, თუ როდის მიიღო მონაცემთა ბაზამ მოცემული სენსორებიდან ინფორმაცია.

მოცემული ცხრილში არსებული მონაცემების უნიკალური აღმნიშვნელია ID სვეტში შემავალი წევრები.

სათბურის მონიტორინგისა და კონტროლის სისტემის აპლიკაციის მხარე ინტერაქტიული ვებ საიტია. მისი მეშვეობით მომხმარებელს საშუალება აქვს წვდომა ჰქონდეს Arduino-ში არსებული უსაფრთხოების ზღვრების მნიშვნელობებზე და სენსორებიდან მიღებული ინფორმაციაზე. ვებსაიტიდან შესაძლებელია არჩევანი გაკეთდეს, მონიტორინგი შესრულდეს თუ კონტროლი. ნავიგაციის ასაგებად გამოყენებულია HTML, CSS, JQuery და Font Awesome ბიბლიოთეკა.

ტესტირების მაქსიმალური სიზუსტის მისაღწევად, ყველა მოწყობილობილობა ცალ-ცალკე შემოწმდა და გაიტესტა მიკროკონტროლერთან მუშაობაში. მას შემდეგ, რაც დადგინდა, რომ სისტემის კომპონენტები გამართულად მუშაობდა, მოხდა მათი ერთმანეთთან დაკავშირება. მოცემულ ექსპერიმენტში გამოყენებული იქნა ტემპერატურისა და ტენიანობის ციფრული სენსორები. სისტემა თვალყურს ადევნებს სენსორების მიერ წაკითხულ მნიშვნელობებს და თუ მათ გადააჭარბეს დადგენილ ზღვარს, მიკროკონტროლერი გათიშავს ან ჩართავს შესაბამის რელეებს ამძრავების საკონტროლოდ.

მას შემდეგ, რაც სისტემის კონტროლის აპლიკაციიდან დადგინდა ტემპერატურისა და ტენიანობის პარამეტრების ზღვრული მნიშვნელობები, მოხდა დაკვირვება სათბურის პროტოტიპზე. დაკვირვება მიმდინარეობდა 12 საათს და არ უჩვენებია რაიმე სახის უზუსტობა ან ხარვეზი სისტემაში. მაგალითად, როდესაც ტემპერატურის ზღვრის მაქსიმალური მნიშვნელობა დაყენებული იყო 31°C-ზე, 20:06 საათიდან 00:06 საათამდე, გაგრილების სისტემა გამორთული იყო. მაქსიმალური ზღვრის გადაცდენის მომენტისთანავე ჩაერთო გაგრილების სისტემა, რომელიც მუშაობდა იქამდე, სანამ არ მოხდა სენსორებზე დამაკმაყოფილებელი მნიშვნელობების წაკითხვა. იგივე შემთხვევა მოხდა 06:06 საათზე, მაგრამ ამ შემთხვევაში მინიმალური 28°C ზღვრული დაირღვა, რასაც მოჰყვა მყისიერად გათბობის სისტემის ჩართვა.

ტენიანობის კონტროლი რთულია, რადგან თუ ტემპერატურა შეიცვლება, ფარდობითი ტენიანობა საპირისპიროდ იცვლება. მთავარი პრიორიტეტი არის ტემპერატურის კონტროლი, რადგან ეს არის მთავარი ფაქტორი კულტურის ზრდისთვის. ჰაერის ფარდობითი ტენიანობის მნიშვნელობიდან გამომდინარე, ტემპერატურის დაყენების წერტილის რეგულირება შესაძლებელია განსაზღვრული დიაპაზონის ტენიანობის კონტროლის მიზნით. ამიტომ საჭირო ტენიანობის კონტროლი ძალიან რთული ამოცანაა. ტენიანობის სათანადო კონტროლისთვის შესაძლებელია სათბურში არსებული ჰაერის განიავებით, შესაბამისი ვენტილაციის ხელსაწყოებით.

ექსპერიმენტმა აჩვენა, რომ სისტემა სრულად განვითარებულია, შეუძლია დაეხმაროს მცენარეული კულტურის წარმოების გაუმჯობესებას და შეამციროს ადამიანური რესურსების ხარჯი პროცესის ავტომატიზაციით.

მონიტორინგის სისტემას აქვს მკაფიო და ინტუიციური ინტერფეისი. შესაძლებელია ყველა პროცესის კონტროლირება ტაბლეტის, სმარტფონის, ლეპტოპის გამოყენებით.

დასკვნა

ნავარაუდებია, რომ 2050 წლისთვის მსოფლიოს მოსახლეობა მიაღწევს 10 მილიარდს, მოსახლეობას დაჭირდება თითქმის ორჯერ მეტი საკვები, შესაბამისად, საგრძნობლად გაიზრდება სარწყავი წყლის მოხმარება, მაგრამ სათბურს შეუძლია 90%-ით შეამციროს წყლის მოხმარება და პესტიციდების გამოყენება აიცილოს თავიდან. პოპულაციის ზრდასთან ერთად ასევე გაიჩეხება დიდი მასშტაბით ხე-ტყე, რასაც დღევანდელი გლობალური დათბობის ფონზე კატასტროფული შედეგი მოჰყვება.

2050 წელს მოსახლეობის მოთხოვნილების დასაკმაყოფილებლად სურსათის მსოფლიო წარმოება 70%-ით უნდა გაიზარდოს. მსოფლიო სურსათის წარმოების ეს პროგნოზირებული ზრდა გულისხმობს ფერმერული მიწების გაფართოებას ან წარმოების ინტენსიფიკაციას ამჟამად დამუშავებულ მიწაზე. სათბურის ავტომატიზაციის უპირატესობები შემდეგში მდგომარეობს:

1) ტემპერატურის მერყეობისა და ექსტრემალური ტემპერატურისგან დაცვა.

სათბურის გარემოში ტემპერატურის დიაპაზონის შენარჩუნება და კონტროლი კრიტიკულია. ტემპერატურის მერყეობამ შეიძლება რამდენიმე საათში დააზიანოს ან მოკლას მცენარეები. დისტანციური მონიტორინგის სისტემები იცავს ძვირფას მცენარეებს ტემპერატურის უკიდურესი რყევებისგან.

2) ინვენტარის და სხვა აღჭურვილობის კონტროლი.

ოპტიმალური ტემპერატურის შენარჩუნების გარდა, აუცილებელია ინვენტარის უსაფრთხოებისა და კონდიციონების სისტემების ეფექტური მუშაობის უზრუნველყოფა, ტენიანობის შენარჩუნება და ა.შ.

რაც უფრო ადრე ფერმერი აღმოაჩენს ტემპერატურის ვარდნას ან აღჭურვილობის უკმარისობას, მით მეტია ალბათობა იმისა, რომ გადაარჩენს ქონებას და მცენარეებს. დისტანციური მონიტორინგის სისტემები აგზავნიან განახლებებს რეალურ დროში, ასე რომ საწარმოს თანამშრომლებს შეუძლიათ სწრაფად უპასუხონ საფრთხეებს.

3) სიტუაციის მონიტორინგი.

თუ რომელიმე პარამეტრი გამოდის მისი მნიშვნელობების წინასწარ დადგენილი დიაპაზონიდან, მაშინ მოწყობილობები ან სისტემა დაუყოვნებლივ გააფრთხილებს თანამშრომლებს ტელეფონით, ელექტრონული ფოსტით ან SMS-ით. გაფრთხილებები გადაუდებელი სიტუაციების შესახებ, როგორც წესი, აფრთხილებს ფერმერებს, რომ:

- მოხდა ტემპერატურის დაქვეითება;
- ვენტილაციის მდგომარეობა არასასურველია;
- ნახშირორჟანგის დონე მაღალია;
- მოხდა ტენიანობის მნიშვნელოვანი ცვლილებები;
- აღჭურვილობას დაუჩნდა რაიმე პრობლემა;
- მოხდა წყლის გაჟონვა.

4) ვეგეტაციის პერიოდში დაავადებების პრევენცია.

ვეგეტაციის პერიოდში, ჭკვიან სათბურებში არსებულ სისტემებს შეუძლიათ სხვადასხვა გარემო პირობების მონიტორინგი. ამისათვის გამოიყენება როგორც სადენიანი, ასევე უკაბელო სენსორები. სასურველი ტემპერატურის, ტენიანობის დონის, განათებისა და ჰაერის მიმოქცევის შენარჩუნება გადამწყვეტია ობის, დაავადებების თავიდან ასაცილებლად და მცენარის მაქსიმალური მოსავლიანობის გასაუმჯობესებლად.

Greenhouse Control and Monitoring System

Giorgi Giorganashvili, Ana Kobiashvili, Meri Gegechkori

Summary

An important place in the production of agricultural products is occupied by the greenhouse sector, the necessity of which was created due to the growth of the earth's population, climate changes, the

reduction of productive land as a result of urbanization, and the increased demand for the production of food products, as well as to overcome the difficulties of growing agricultural crops in northern countries.

Due to these reasons and the increase in unpredictability, farmers are increasingly using the latest technologies to improve the quality of the crop and increase its quantity.

The article discusses the greenhouse control and monitoring system model, the purpose of which is to manage the temperature and humidity of a small greenhouse. The system is created using C/C++, PHP, HTML and mysql languages. The data is monitored in real time and the user interface is easy to understand.

The components of the system are described, corresponding program codes of the module are given.

This system significantly simplifies the regulation of the main parameters of the greenhouse.

Система управления и мониторинга теплиц

გიორგი გიორგანაშვილი, ანა კობიაშვილი, მერი გეგეჭკორი

Резюме

Важное место в производстве сельскохозяйственной продукции занимает тепличный сектор, необходимость в котором возникла в связи с ростом населения Земли, изменением климата, сокращением продуктивных земель в результате урбанизации, возросшим спросом на сельскохозяйственную продукцию. производство продуктов питания, а также для преодоления трудности выращивания сельскохозяйственных культур в северных странах.

По этим причинам и росту непредсказуемости фермеры все чаще используют новейшие технологические достижения для улучшения качества урожая и увеличения его количества.

В статье рассматривается модель системы управления и контроля теплицы, целью которой является управление температурой и влажностью небольшой теплицы. Система создана с использованием языков C/C++, PHP, HTML и mysql. Данные отслеживаются в режиме реального времени, а пользовательский интерфейс прост для понимания.

Описаны компоненты системы, приведены соответствующие программные коды модуля.

Эта система существенно упрощает регулирование основных параметров теплицы.

ლიტერატურა – References – Литература

1. <https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/agriculture/>
2. <https://en.wikipedia.org/wiki/Greenhouse>
3. <https://electropeak.com/learn/interfacing-ds1302-real-time-clock-rtc-module-with-arduino/>
4. https://developer.mozilla.org/enUS/docs/Learn/Common_questions/What_is_a_web_server/

ბარემ ნაწილაკის ფორმალურ-სემანტიკური ანალიზი

ნათია თავაძე¹

natia.tavadze513@hum.tsu.edu.ge

რეზიუმე

ნაწილაკი ბარემ მეტად საინტერესო გრამატიკული ერთეულია. მას ახასიათებენ როგორც დამოუკიდებელი მნიშვნელობის უქონელ ბგერას ან სიტყვას, რომელიც მნიშვნელობას უცვლის წინადადებას ან მის რომელიმე ნაწილს. ნაწილაკების რაობის შესახებ მრავალი მეცნიერი საუბრობს, თუმცა, ზოგიერთი ნაწილაკის შესახებ შედარებით მწირი ინფორმაცია მოიპოვება სამეცნიერო ლიტერატურაში.

სტატიაში მოცემულია ბარემ ნაწილაკის ფორმალურ-სემანტიკური ანალიზი. შევეცადეთ დეტალურად აღვვწერა რა გზა გაიარა ბარემ ნაწილაკმა შინაარსობრივი თუ ფორმალური კუთხით ძველი ქართული ენიდან დღემდე. სტატიაში წარმოდგენილია თუ რა მნიშვნელობით გამოიყენებოდა ბარემ ნაწილაკი უფრო ხშირად და ასევე, თუ რა ფორმით შეიძლება შეგვხვდეს ის სხვადასხვა დიალექტში.

საკვანძო სიტყვები

„ბარემ“ ნაწილაკი, ფორმალური ანალიზი, სემანტიკური ანალიზი, ენობრივი კორპუსი.

ბარემ ნაწილაკის შესახებ

“ნაწილაკი ჰქვია დამოუკიდებელი მნიშვნელობის უქონელ ბგერას, ბგერათა კომპლექსს თუ სიტყვას, რომელიც ერთვის წინადადების წევრს ან მთელ წინადადებას და მნიშვნელობას უცვლის მას რაიმე მხრით” [3].

მოცემული განმარტება ეკუთვნის აკაკი შანიძეს, თუმცა ამ მოსაზრებას სხვა მეცნიერებიც იზიარებენ. ა. შანიძე აღნიშნავს სხვა სიტყვებთან ნაწილაკების პოზიციებსა და მიმართებებს წინადადებაში და გამოყოფს სამ სახეს: 1. როდესაც ნაწილაკი უშუალოდ სიტყვის ნაწილია (-ც, -ლა), 2. როდესაც სიტყვისგან დეფისითაა გამოყოფილი (-თქო, -მეთქი, -ო), 3. როდესაც ცალკეულ სიტყვადაა წარმოდგენილი (ბარემ, თითქმის...) [3]. ეს საკითხი განხილული აქვს ჟუჟუნა ფეიქრიშვილსაც, რომელსაც ახალი ტერმინები შემოაქვს ნაწილაკების პოზიციის განსაზღვრისთვის წინადადებაში, ესენია თავისუფალი და მყარი პოზიცია. მყარ პოზიციაში ის გამოყოფს კიდევ ორ სახეს: პრეპოზიციური და პოსტპოზიციური [1]. საინტერესოა ასევე ნანა შენგელაიას ნაშრომიც „არასრული სიტყვები“, სადაც ის განსაზღვრავს სრულმნიშვნელობიან და არასრულმნიშვნელობიან/არასრულ სიტყვებს. სრულმნიშვნელობიანებში აერთიანებს ისეთ სიტყვებს, რომელთა მიმართაც შეიძლება დაისვას კითხვა და რომლებიც, წინადადების ძირითად სინტაქსურ სტრუქტურას ქმნიან. რაც შეეხება არასრულმნიშვნელობიან სიტყვებს, შენგელაია მათ მოიხსენიებს, როგორც თავისებურ ერთეულებს, რომლებიც არც შეკითხვებს პასუხობენ, არც რაიმე ლექსიკური ან სემანტიკური მნიშვნელობების შემომტანნი არიან წინადადებაში. მოკლედ, მათ არანაირი ფუნქცია არ აქვთ წინადადებაში. სწორედ ამ არასრული მნიშვნელობის მქონე, იგივე „არასრულ“ სიტყვებში აერთიანებს ნანა შენგელაია ნაწილაკებსაც და კონკრეტულად ჩვენს საკვლევ ბარემ ნაწილაკსაც. [4]

ნაწილაკების შესახებ საუბრისას აუცილებლად ხაზი უნდა გავუსვათ მათ ფუნქციურ ჯგუფებს, საინტერესოა, რომ აკაკი შანიძე გამოყოფს შვიდ ფუნქციურ ჯგუფს, ხოლო

¹ თსუ, ზოგადი და გამოყენებითი ენათმეცნიერების პროგრამა, მაგისტრატურის პირველი კურსის სტუდენტი

ფეიქრიშვილი - ათს. ფეიქრიშვილის მიერ მოცემული ნაწილაკების ფუნქციური ჯგუფები მოიცავს და აჭარბებს შანიძის მიერ გამოყოფილს, ერთ მათგანს კი საერთოდ არ მოიხსენიებს (მიმართებით). შანიძესთან მხოლოდ ნახსენები ნატვრის გამომხატველი ნაწილაკები აქ უკვე გამოყოფილია ცალკე ჯგუფად, ასევე, დამატებულია ჩვენებითი, ნება-სურვილის, შესაძლებლობა-ვარაუდისა და განცვიფრების და მიახლოებითი ჯგუფები. ამასთან მიმართებაში საინტერესოა ის ფაქტი, რომ შანიძის ნარკვევი დაწერილია ბევრად უფრო ადრე ვიდრე ფეიქრიშვილის, სავარაუდოა, რომ სწორედ ამ დროის სხვაობამ გამოიწვია განსხვავება ჯგუფების გამოყოფაშიც, რადგან ენა არის ცოცხალი, იცვლება და მუდმივად ვითარდება.

რაც შეეხება კონკრეტულად *ბარემ* ნაწილაკს, აქაც უპირველესად, აკაკი შანიძის სიტყვებს მოვიშველიებ:

“ბარე, ბარემ (მ „მცა“ ნაწილაკის ნაშთი უნდა იყოს: ბარე-მცა → ბარემ: „ახლოსმცა ვნახეთ ბარე-ო!“ «ვეფხ.», 1226). ხშირად იხმარება ბრძანებით კილოსთან: „ბარემ ერთბაშად დაგვხოცონ ყველანი და მოგვასვენონ“ (ყაზ., 257, 38).” [3]

შანიძის ნაშრომში წარმოდგენილია კონკრეტული ნაწილაკების დახასიათება, რომელიც ანბანთრიგზეა გაწყობილი. სწორედ აქ გვხვდება ზემოთ მოცემული განმარტება.

ამ მონაკვეთიდან გარდა იმისა, რომ *ბარემ* ძირითადად, ბრძანებით კილოსთან გამოიყენება, ვიღებთ ძალიან მნიშვნელოვან ინფორმაციას მისი სტრუქტურის შესახებ. შანიძე ამბობს, რომ *ბარემ* ნაწილაკში -*მ* უნდა იყოს -*მცა* ნაწილაკის ნაშთი, მოცემული დებულება სრულიად მართებული ჩანს, რადგან მას ადასტურებენ სხვა მეცნიერებიც და ამასთან, კორპუსული კვლევის დროსაც შესამჩნევია ეს გარდამავალი ეტაპი. [3]

საინტერესო ინფორმაციას ვხვდებით *ბარემ* ნაწილაკის სტრუქტურასთან დაკავშირებით ასევე “ქართული ენის მორფემებისა და მოდალური ელემენტების ლექსიკონში”, რომელიც კვლავ შანიძის მოსაზრებას ეხმიანება:

“ბარემ” ფორმაში -*მ*, ჩანს, არის -*მცა* ნაწილაკის ნაშთი: ბარე-მცა→ბარემ, რომელიც შემდგომ უფრო მარტივდება: ბარემ→ბარე.” [10] აქვე უნდა აღინიშნოს ისიც, რომ *ბარე* ფორმა ძირითადად დიალექტებში გამოიყენება.

რაც შეეხება *ჟუჟუნა* ფეიქრიშვილს, ის *ბარემ* ნაწილაკს ნება-სურვილის გამომხატველ ფუნქციურ ჯგუფს მიაკუთვნებს. [1]

ბარემ ნაწილაკი ლექსიკონებში

ფორმალური მრავალფეროვნების განსაზღვრისთვის ძალიან მნიშვნელოვანია წარმოვადგინოთ, თუ როგორ გვხვდება *ბარემ* ნაწილაკი სხვადასხვა ლექსიკონში.

1. “ბარემ - ყვედრებისა სიტყვაი არს...”

სულხან-საბა ორბელიანი, ლექსიკონი ქართული, 1991

[12]

2. “ბარემ, ბარემც, ბარემრა”

ვ. თოფურია, ივ. გიგინეიშვილი, ორთოგრაფიული ლექსიკონი, 1968

[11]

3. “ბარე - ზმნს. - რისამე რაოდენობის აღნიშვნისას, დაახლოებით თითქმის

ბარემ - ზმნს. მაშ; რაც არის არის.

ბარემ(ა)ც - ზმნს -ცა ნაწილაკიანი ბარემ

ბარემლა- ზმნს. -ლა ნაწილაკიანი ბარემ

ბარელამ- ზმნს. იგივეა რაც მართებული ბარემლა”

ა. არაბული ქართული ენის განმარტებითი ლექსიკონი,

2008 [8]

4. “ბარევალ - ფშ. ბარემ

ბარემლა- ი გურ. ბარემლა”

ალ. ლლონტი, ქართულ კილო თქმათა სიტყვის კონა,

1984 [9]

5. “ბარე||ბარემ - მოდალური ფორმა, რომელიც გამოხატავს:

ა) მოწოდებას, ნებართვას მიღებული გადაწყვეტილების შესასრულებლად...

ბ) დადასტურება-დაზუსტებას...”

ქართული ენის მორფემებისა და მოდალური ელემენტების ლექსიკონი, 1988

[10]

როგორც ვხედავთ, ბარემ ნაწილაკს საკმაოდ მრავალფეროვანი ფორმალური მხარე აქვს.

კორპუსული კვლევა

ბარემ ნაწილაკის კვლევისას ძალიან დიდი ინფორმაცია მოგვცა კორპუსულმა კვლევებმა. კვლევები ჩავატარეთ ქართული ენის ეროვნულ კორპუსსა და ქართულ დიალექტურ კორპუსში მოპოვებულ მასალაზე.

ქართული ენის ეროვნულ კორპუსში ჩატარებული კვლევის შედეგად რამდენიმე დასკვნის გაკეთება შევძელით. უპირველესად, დაგვიდასტურდა, რომ *ბარემ* ნაწილაკი ფორმალურად განსხვავდება მისი ძველი სახისგან და ის მიღებულია ბარემ-მცა ფორმიდან - მცა ნაწილაკის შეკვეცით. ამ დასკვნის საშუალება მოგვცა იმან, რომ ქართული ენის ეროვნული კორპუსის ძველი ქართულ ენის ქვეკორპუსში არ დაგვიდასტურდა არცერთი *ბარემ*, მაგრამ თავი იჩინა ბარემ-ცა ფორმა. ხოლო უკვე საშუაალ ქართულში დაგვიდასტურდა *ბარემ*, მაგრამ აღარ შეგვხვდა ბარემ-ცა ფორმები. ეს კიდე უფრო ამყარებ შანიძის მოსაზრებას. ქართული ენის ეროვნული კორპუსი დიდად დაგვეხმარა *ბარემ* ნაწილაკის სემანტიკური ანალიზის დროსაც. აქ ჩვენ შევძელით, კონკრეტული წინადადებებისა და ტექსტების გამოყენებით, ნათლად დაგვეჩვენა თუ რამდენად მრავალფეროვანი სემანტიკური მხარე აქვს მას და როგორ უცვლის წინადადებას ემოციურ ელფერს. ამაზე უფრო დეტალურად ქვემოთ ვისაუბრებთ. [14]

ქართულმა დიალექტურმა კორპუსმაც ასევე, გვაჩვენა თუ რამდენად მრავალფეროვანია *ბარემ* ნაწილაკის ფორმალური მხარე, როგორი მდიდარია ის დიალექტური ფორმებით. წარმოგიდგინთ იმ ფორმებს რომლებიც დასტურდება მოცემულ კორპუსში: *ბარე*, *ბარემ*, *ბარემა-თქო*, *ბარემას*, *ბარემდე*, *ბარემლა*, *ბარემლაო*, *ბარემლაცა*. [13]

ბარემ ნაწილაკის ფორმალური ანალიზი

ბარემ ნაწილაკის ფორმალურ მხარეზე საუბარი აუცილებლად უნდა დავიწყოთ იმით, თუ საიდან წარმოიშვა მისი ასეთი ფონემური გამოხატულება. სხვადასხვა მეცნიერი, მათ შორის, ა. შანიძე, ამბობს, რომ ამ ნაწილაკს ძველ ქართულშივე ასეთი ფორმა არ ჰქონდა, „*ბარემ*“ მიღებულია ბარემ+მცა ნაწილაკის შეკვეცილი ფორმით, ბარემ-მცა → ბარემ(ცა). ამაზე ზემოთ უკვე ვრცლად ვისაუბრეთ. [3]

გარდა *ბარემ* ნაწილაკის წარმომავლობის კუთხით განვლილი სახეცვლილებებისა, ჩვენ ასევე უდიდესი ფორმალური მრავალფეროვნება გვაქვს დიალექტებშიც. ზოგჯერ *ბარემ* გვხვდება კიდეც სხვა ნაწილაკდართული, ან, პირიქით, ფონემადაკარგული. ეს მრავალფეროვნება თვალნათლივ გამოჩნდა კორპუსულ კვლევებში, სადაც *ბარემ* ფორმის მრავალი ნაირსახეობა დაგვხვდა. ამ კუთხით საინტერესო იყო ლექსიკონებიც. განვიხილოთ რამდენიმე მათგანი:

- **ბარე** - ფორმა რომელიც წინ უსწრებს *ბარემ*-ს, თანამედროვე ქართულში ძირითადად გვხვდება დიალექტებში, ჩამოცილებული აქვს ფონემა -მ, რაც უნდა იყოს -მცა ნაწილაკის ნაშთი.

- **ბარემა-თქო** - ამ ფორმაში *ბარემ* ნაწილაკი გვხვდება სიტყვა-სიტყვითობის ჯგუფში გაერთიანებულ -თქო ნაწილაკთან.

- **ბარემცა** - ამ ფორმაში *ბარემ* ნაწილაკი გვხვდება გაძლიერებითი ნაწილაკების ჯგუფში გაერთიანებულ -ცასთან.

- **ბარემლაცა** - აქ *ბარემ* ნაწილაკს დართული აქვს არა ერთი არამედ ორი ნაწილაკი -ლა და -ცა ნაწილაკები.

- **ბარემდე** - ამ შემთხვევაში *ბარემ* ნაწილაკი გვხვდება -მდე თანდებულის დართვით.

- **ბარემლაო** - ორი ნაწილაკი აქვს დართული ასევე ამ ფორმასაც: -ლა და -ო.

• **ბარელამ** - საინტერესო ფორმა ასევე ეს კონკრეტული, ვინაიდან ნაწილაკი -და ჩაჯდა არა სიტყვის ბოლოს, არამედ გახლიჩა ის და ბოლო ფონემის წინ დაიდო ბინა. აქედან გამომდინარე, ფორმის ბარემ-ღას ნაცვლად მივიღეთ ბარე-ლა-მ.

როგორც ვნახეთ საკმაოდ მრავალფეროვანია *ბარემ* ნაწილაკის ფორმალური მხარე, ეს ჩამოთვლილი მხოლოდ ნაწილია იმ ვარიანტებისა, რომლებიც გამოყენება სხვადასხვა დიალექტში.

ბარემ ნაწილაკის სემანტიკური ანალიზი

სემანტიკური თვალსაზრისით ძალიან დიდ მრავალფეროვნებასთან გვაქვს საქმე. სანამ უშუალოდ *ბარემ* ნაწილაკის განხილვაზე გადავიდოდეთ, ორიოდ სიტყვა უნდა ვთქვათ ზოგადად ნაწილაკის მნიშვნელობასა და ფუნქციასთან დაკავშირებით წინადადებაში. ნაწილაკები ხაზს უსვამენ, გამოკვეთენ ინფორმაციის გარკვეულ ნაწილს. ამასთანავე, ისინი სპეციფიკურ სემანტიკურ ელფერსაც ჰმატებენ წინადადებას და გარკვეული თვალსაზრისით ლექსიკური შინაარსითაც არიან დატვირთულნი; ამიტომაც მათი ინტერპრეტაცია ცალსახა მორფოლოგიურ მარკერებად არ იქნება მართებული. როგორც ნანა შენგელაია ამბობს, არასრული სიტყვები დიდ სტრუქტურულ ცვლილებებს არ იწვევენ, არ ცვლიან ძირითადი სიტყვების მნიშვნელობას, მაგრამ მაინც ძალიან დიდ გავლენას ახდენენ ფრაზისა თუ წინადადების შინაარსზე. რა უნდა იყოს ამის მიზეზი? ვფიქრობთ, ნაწილაკები არის ის, რაც წინადადებას მთელს ემოციასა და ელფერს აძლევს. მხოლოდ ერთი ნაწილაკის ჩართვამ მთელს სათქმელს შეიძლება სხვა ტონი და შეფერილობა მისცეს - შეიძლება მეტად ირონიული, ან სარკასტული გახადოს ის, მაგალითად:

1. ვანომ ერთი კილო ვაშლი დატოვა.
2. ვანომ ერთი კილო *ვაშლილა* დატოვა.

ფორმალური თვალსაზრისით თითქოს არაფერი, მხოლოდ -ლა ნაწილაკი დაერთო, მაგრამ სხვა საქმეა მისი სემანტიკურ მხარე. პირველ წინადადებაში განსაკუთრებული არაფერი ჩანს, ვანომ რაღაც რაოდენობა წაიღო და გარკვეული რაოდენობა დატოვა. რაც შეეხება მეორე წინადადებას, ინფორმაციული თვალსაზრისით გაცილებით მნიშვნელოვანია. ასევე, შესამჩნევია ემოციური ფონიც. გვრჩება ისეთი შთაბეჭდილება, რომ ვანომ მხოლოდ მცირე ნაწილი, მხოლოდ 1 კილო დატოვა და გაცილებით მეტი ვაშლი წაიღო. როგორც მაგალითიდან ჩანს, ნაწილაკს წინადადების სემანტიკურ და საინფორმაციო მხარეზე საკმაოდ დიდი გავლენა აქვს.

ბარემ ნაწილაკთანაც იგივე მდგომარეობა გვაქვს. ის სრულიად უცვლის წინადადებას სემანტიკურ მნიშვნელობას. მისი გავლენით გამონათქვამი ხდება მეტად ემოციური და ინფორმაციული. აქვე უნდა აღვნიშნოთ, რომ ის მრავალ განსხვავებულ კონტექსტში გამოყენება. *ბარემ* ნაწილაკის მეშვეობით შეიძლება გამოიხატოს ბრაზი, აღშფოთება, თხოვნა, ირონია, ა.შ. განვიხილოთ კონკრეტულ მაგალითებზე:

1. *ბარემ* შეიძლება გამოყენებული იყოს წინადადებაში, სადაც გამოხატავს თანხმობას, ირონიულ კითხვაზე დადებით პასუხს, მისი ჩანაცვლება შეიძლება სიტყვებით, „დიახაც“, „ძალიანაც“, „რა თქმა უნდა“, მაგალითად:

- ❖ *ან იმაზე თუ გიფიქრიათ, მიგვიყვანს კი ეს მათხოვრული, წყალ-წყალა წვნინი ქართველი ერის ნათელ მომავლამდე?! ბარემაც გიფიქრიათ, ბევრ უფრო გლობალურ რამეებზეც გიფიქრიათ, მაგრამ ვშიშობ, რომ არა ხალხის საკეთილდღეოდ, არა ქართული საქმისთვის.* (დიახაც)
- ❖ *ბარემაც კარგად ვუწყით ჩვენ ყველამ, რომ ბევრი რამე სჯობს ჩვენებური, ქართული, ნაღდი, გამოცდილი და გამოსადეგი.* (ძალიანაც)

2. *ბარემ* ნაწილაკმა შეიძლება გამოხატოს ისეთი ქმედება, როდესაც რაღაცას უკვე ვამბობთ ან ვაკეთებთ და მეორე საქმეს/სათქმელსაც მასთან ერთად „მოვიშორებთ“, მაგალითად:

- ❖ ბარემ, გვერდით მაღაზიაში შევირბენ და ბავშვისთვის წითელი რეზინის საშლელს ვიყიდით.
- ❖ ბარემ აქვე გავამხელ, რომ მამა ყვავისთვის ეს მესამე ქორწინება გახლდათ.

3. ბარემნაწილაკმა ასევე შეიძლება გამოხატოს ირონია:

- ❖ ბარემ ასიც მინახავს მაგისტანა გააჭენე ბიჭო. ეგეც სხვებსავით დაილევა და მერე ლობიოსაც ინატრებსო.
- ❖ თუ ასეთი კარგები ვართ, ბარემ მიგვიღეთ ნატოში, სანამ წაიღო რუსეთმა დარჩენილი საქართველოც!

4. ბარემ ნაწილაკმა შეიძლება გამოხატოს ისეთი მოქმედება, როდესაც რაღაც მოხდა/ხდება ძალიან ხშირად ან მძაფრად, როდესაც ქმედება ან საუბარი უკვე ძალიან ზედმეტი და გადაჭარბებულია:

- ❖ ქალაქელი დაუფარავად დასცინოდა - ბარემ, შუაში ჩაუწექი შენცო.
- ❖ ვიწვე, აბა, ასე გულხელდაკრეფილი? გამასვენე ბარემ და ის იქნება.

5. ბარემ ნაწილაკი გამოიყენება რიცხობრივ მახასიათებლებთანაც, მაგრამ ამ შემთხვევაში უფრო ხშირად გვხვდება ბარე ფორმა:

- ❖ ბარემ ხუთი წელიწადი იქნება, რაც მარგოს არ უნახავს შენი თავი.
- ❖ დიდ მაგიდაზე ბარე ოცდაათი ჯამი ჩანახი იდგა, შესადგმელად გამზადებული.

6. ბარემნაწილაკმა შეიძლება გამოხატოს თხოვნა/ვედრება:

- ❖ ეზოსმოდვარი ფეხზე იდგა, პირში შესციცინებდა სპასალარს, თავისი რჩხია, ცერცვისფერი თვალებით ეუბნებოდა თითქოს: სთქვი ბარემ, რისთვის მოსულხარ? სულ ერთია, უთქმელადაც ყოველივე ვიცით.
- ❖ მსმენელები კი სიცილით იხოცებთან, ეძახიან, ეხვეწებიან, ნუ გვაწვალებ, ბარემ თქვი, დააყენე საშველიო, მაგრამ იმან უკეთ იცის თავისი საქმე, ვიდრე მოყოლას გააგრძელებდეს, ჯერ სუფრაზე უნდა გაასწოროს რაღაცა, ადგილი მაინც უნდა შეუცვალოს რამეს, ან თეფშს, ან ჩაიდანს, თითქოს სუფრას ლაზათი მიემატება ამით.

როგორც ზემოთ მოცემული მაგალითებიდან ჩანს, ბარემ ნაწილაკს საკმაოდ მრავალფეროვანი სემანტიკური მხარე აქვს. მხოლოდ ამ ერთი ნაწილაკის დახმარებით წინადადებამ შეიძლება სრულიად შეიცვალოს მნიშვნელობა. მისი როლი წინადადების ემოციური და შინაარსობრივი მხარეების განსაზღვრაში საკმაოდ დიდია.

დასკვნა

ბარემ ნაწილაკი მეტად საინტერესო და მრავალფეროვანია, როგორც ფორმალური, ისე სემანტიკური თვალსაზრისით. მნიშვნელოვანია, რომ ის ყოველთვის ბარემ ფორმით არ არსებობდა. ძველ ქართულში ის წარმოდგენილი იყო როგორც ბარე, ხოლო შემდეგ ბარე-მცა ფორმის შეკვეცით მივიღეთ ბარემ. ეს ნათლად გამოჩნდა კორპუსულ კვლევაშიც.

მეტად საინტერესოა ასევე ბარემ ნაწილაკის ფორმალური მხარე დიალექტებში, კვლევის საფუძველზე შეიძლება ვთქვათ, რომ მას საკმაოდ დიდი ფორმოზომიერია ნაირსახეობა გაჩნია. ზოგიერთ შემთხვევაში ის გვხვდება ნაწილაკდართული, არის შემთხვევები სადაც, არა ერთ, არამედ ორ ნაწილაკდართულს ვხვდებით, ასევე წარმოდგენილია თანდებულდართული ან პირიქით ფონემადაკარგული ფორმებითაც.

კვლევაში ნათლად გამოჩნდა ბარემ ნაწილაკის არა მხოლოდ ფორმალური სიჭრელე, არამედ კონტექსტური მრავალფეროვნებაც. ზემოთ ვხვდებით არაერთ შემთხვევას, თუ როგორ ცვლის ერთი ბარემნაწილაკი მთლიან წინადადების სემანტიკას.

ნაშრომში თავმოყრილია კორპუსებში მოცემული ყველა არსებული მონაცემი ბარემ ნაწილაკის შესახებ. და განსაზღვრულია მისი სემანტიკური მახასიათებლები, რაც მნიშვნელოვან მასალას წარმოადგენს სამომავლო კვლევებისთვის.

The Formal-Semantic Analysis of *barem* Particle

N. Tavadze

Summary

A particle is a very interesting grammatical unit, it is characterized as a sound or word without independent meaning, which changes the meaning of a sentence or some of its parts. Many scientists talk about the meaning of particles, however, there is relatively little information about some particles in the scientific literature. The article provides a formal-semantic analysis of the “barem”particle. We tried to describe in detail the path that the “barem” participle took, from the content and formal point of view, from the ancient Georgian language to the present day. The article presents the meaning in which the “barem” particle was used most often and also in what form it can be found in different dialects.

Формально-семантический анализ частицы “барем”

Н. Тавадзе

Резюме

Частица интересная грамматическая категория. Его характеризуют, как звук или слово, которое не имеет самостоятельное значение, но изменяет смысл целого предложения или какой-либо его части. Частицы вызывают интерес многих учёных лингвистов, их изучают по-разному и глубоко, однако, о некоторых частицах в научной литературе имеется относительно мало информации. В данной статье представлен формально-семантический анализ частицы грузинского языка «Барем» (По меньшей мере, по крайней мере, как минимум, хотя бы...). Мы постарались подробно описать путь развития этой частицы с точки зрения содержания и формы от древнегрузинского языка до наших дней. В статье представлено, в какой форме и по какому значению использовалось чаще эта частица, а также, в каком виде ее можно встретить в разных диалектах сейчас.

ლიტერატურა – References – Литература

1. ფეიქრიშვილი, ქ. ქართული ენის მორფოლოგია, ქუთაისი, 2010; გვ. 251-257;
2. შანიძე, ა. ქართული ენის გრამატიკის საფუძვლები. თბილისი, 1973; გვ. 206-2016;
3. შანიძე, ა. ქართული ენის გრამატიკის საფუძვლები, ტ. III, თბილისი 1980;
4. შენგელაია, ნ. არასრული სიტყვები და ტექსტის სემანტიკური მთლიანობა. გამომცემლობა „დიოგენე“. თბილისი, 2000; გვ. 10-21;
5. ჩუტკერაშვილი, ა. On Particle ‘ai’ in Georgian Language Information Structure. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის არჩილ ელიაშვილის სახელობის მართვის სისტემების ინსტიტუტის შრომათა კრებული, N 24. თბილისი, 2020. გვ.117-120;
6. Chutkerashvili, A. On –c and ki particles in Georgian. Proceedings of 7th International Tbilisi Symposium on Language, Logic and Computation. Spriger-Verlag Berlin Heidelberg, 2009 (IF);

7. Chutkerashvili, A. The Functions of the Particles mxolod and mart'o in Georgian. Proceedings of 8th International Tbilisi Symposium on Language, Logic and Computation. Spriger-Verlag Berlin Heidelberg, 2011 (IF);
8. არაბული ა., 2008: ქართული ენის განმარტებითი ლექსიკონი, ტომი I, თბილისი;
9. ლლონტი, ალ. 1984: ქართულ კილო თქმათა სიტყვის კონა, “განათლება”, თბილისი;
10. ჯორბენაძე ბ., კობაიძე მ., ბერიძე მ. 1988: ქართული ენის მორფემებისა და მოდალური ელემენტების ლექსიკონი, გამომცემლობა “მეცნიერება”, თბილისი;
11. თოფურია ვ., გიგინეიშვილი ივ., 1968: ქართული ენის ორთოგრაფიული ლექსიკონი, “განათლება”, თბილისი.
12. სულხან-საბა ორბელიანი, 1991: ლექსიკონი ქართული, ტომი I, “მერანი”, თბილისი.
13. დიდი ქართული დიალექტური ბაზა და ქართული დიალექტების ელექტრონული ატლასი <http://www.corpora.co/#/>
14. ქართული ენის ეროვნული კორპუსი <http://gnc.gov.ge/gnc/page?page-id=gnc-main-page>

ნაცვალსახელის ანაფორული მიმართება ქართულში

ნუცა ჯვარიძე

n.jvaridze11@gmail.com

რეზიუმე

სტატიაში განხილულია საპილოტე კვლევის მეშვეობით ნაცვალსახელის ანაფორული მიმართება ქართულში. ამ მთავარი მიზნიდან გამომდინარე, ნაშრომის ამოცანაა ენობრივი მონაცემების ანალიზის საფუძველზე იმ ტენდენციების გამოვლენა, რომლებიც მიგვანიშნებენ, თუ როგორ მყარდება მინიმალისტური კონსტრუქციების მქონე წინადადებებში ნაცვალსახელის ანაფორული მიმართებები, ერთი მხრივ, ინფორმანტთა მიერ წინადადებების დამოუკიდებლად ინტერპრეტირებისას და, მეორე მხრივ, დიქტორის მიერ ინტონაციურად განსხვავებული კონტურებით წაკითხული იმავე მასალის შემთხვევაში.

ამ მიმართულებით კვლევა აქტუალურია, რამდენადაც ნაცვალსახელების ანაფორული მიმართებები განსაზღვრავენ ნებისმიერი ტექსტის შინაარსის პლანს და ტოვებენ ფართო კონტექსტებს განსხვავებული ინტერპრეტაციებისათვის, განსაკუთრებით ისეთ ენებში, სადაც არ ფუნქციონირებს სქესის გრამატიკული კატეგორია – მაგალითად, ქართულში.

შესაბამისი სამეცნიერო ლიტერატურა მწირია, განსაკუთრებით ქართულ საენათმეცნიერო სივრცეში. ჩემი კვლევა უფრო სრულყოფილს ხდის ცოდნას ნაცვალსახელთა ანაფორული მიმართების კუთხით და უდავოს ხდის, რომ მომავლისათვის მიზანშეწონილია თემის უფრო ღრმა და დეტალური შესწავლა.

საკვანძო სიტყვები

საპილოტე კვლევა, ერგატივი, კორეფერენცია, ანაფორა, ინტონაცია

ქართულ ენაში სახელთა რამდენიმე კლასი, ე.წ. მეტყველების ნაწილი, გამოიყოფა და მათ შორის ერთ-ერთია ნაცვალსახელი, რომელსაც გამოარჩევს გარკვეული, დანარჩენი მეტყველების ნაწილებიდან განსხვავებული, ფუნქცია. ეს განსხვავებულობა მდგომარეობს იმაში, რომ მას შეუძლია ჩანაცვლოს ყველა სახელი, იქნება ეს არსებითი, ზედსართავი, თუ რიცხვითი. ე.ი. ნაცვალსახელის მთავარი დანიშნულება გამონათქვამში სხვა ტიპის ნებისმიერი სახელის ჩანაცვლება, „ნაცვლად ყოფნა“.

ინფორმაციის გადაცემა ერთი პირისგან მეორისთვის ხდება უშუალოდ კომუნიკაციისას. წინადადება, საკომუნიკაციო ფუნქციის მეშვეობით, მსმენელს აწვდის გარკვეულ ინფორმაციას. ტექსტში ანაფორული ნაცვალსახელის ფუნქციონირებისას გამოიყოფა ანტეცედენტი - სახელი, რომელსაც ის ენაცვლება. თუმცა, ნაცვალსახელთა გამოყენება მინიმალისტურ საინფორმაციო სტრუქტურაში, სადაც მხოლოდ სუბიექტი, ობიექტი და ზმნაა წარმოდგენილი, შეიძლება იქცეს ორაზროვნების მიზეზად. [2]

ორაზროვნებას აჩენს ის, რომ ნაცვალსახელების სავარაუდო ანტეცედენტს შეიძლება წარმოადგენდეს ან სუბიექტი, ან კი ობიექტი.

სინტაქსური ერგატიულობა

ერგატიული კონსტრუქციები გვხვდება მეორე სერიაში წყვეტილსა და მეორე კავშირებითში გარდამავალ ზმნებთან, სადაც პაციენსია აქტუალიზებული. აწმყოსა და

¹ თსუ, ზოგადი და გამოყენებითი ენათმეცნიერების პროგრამა, მაგისტრი

მყოფადის სერიაში ქვემდებარის ნომინატიური (სახელობითი ბრუნვა) კონსტრუქცია გვაქვს [4], მაგ.:

(1) ბიჭ-ი იცკვავს

ბიჭ-ი იცკვავს

ქართული ენა აჩვენებს გახლეჩილ ერგატიულობას, სადაც აწმყო დროის ფორმები აშენებენ ნომინატიურ კონსტრუქციებს და ცენტრალური პოზიცია უკავია აგენსს, ესე იგი ისაა აქტუალიზებული, მაგ.:

(2) ნინო-ღ ხატავს სურათ-ს

ხოლო აორისტში გვექნება სურათი, სადაც აქტუალიზებულია პაციენსი

(3) ნინო-მ და-ხატ-ა სურათ-ი

კორეფერენცია, ანაფორა

კორეფერენცია გადაბმისა და ტექსტის გაერთიანების ერთ-ერთი ფორმაა, რაც გულისხმობს ტექსტში ერთი აღსანიშნის ერთზე მეტი აღმნიშვნელით გამოხატვას. ეს ხშირად ხდება ხოლმე დიალექტურად განსხვავებულ დისკურსებში; მაგალითად, კორეფერენციაა *კომში* და *ბია*.

ანაფორული მიმართებისას მითითება წინამავალი მონაკვეთის შესახებ მოცემულია მომდევნოში, ხოლო კატაფორასთან გვაქვს საქმე მაშინ, როცა ტექსტის წინა მონაკვეთშია მითითება იმაზე, თუ რაზე უნდა იყოს საუბარი შემდგომ ნაწილში [3].

ინტონაცია

სწორედ ინტონაცია გვეხმარება მკაფიოდ გავუსვათ ხაზი წინადადებაში იმ სიტყვას, რომელიც ინფორმაციულად გამოკვეთილი, აქცენტირებულია.

ინტონაცია საშუალებას გვაძლევს ერთმანეთისგან განვასხვაოთ ნეიტრალური, ტოპიკალიზებული თუ ფოკუსირებული წინადადებები. ის ინფორმაციის სტრუქტურირების ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი საშუალებაა. [1]

საპილოტე კვლევა

ჩვენი სამიზნე საკითხის გამოსაკვლევად, საჭიროა საექსპერიმენტო კითხვარის ანტეცედენტურ წინადადებაში წარმოდგენილი იყოს როგორც სუბიექტი, ისე პირდაპირი ობიექტი. გადავწყვიტეთ შეგვეჩინა მაქსიმალურად მინიმალისტური კონსტრუქციები, რათა გამოგვერიცხა წინადადების სხვა წევრების გავლენა.

სატესტოდ შეირჩა 10 წინადადება, სადაც 5 ზმნა აწმყო დროშია, 5 კი აორისტში, რათა გაირკვეს მორფოლოგია განსაზღვრავს თუ არა კორეფერენციული მიმართების სტრატეგიას. წინადადებები ჩაწერილია 4 განსხვავებული ინტონაციური კონტურით: ნეიტრალური, სუბიექტის გამხაზველი, ობიექტის გამხაზველი და ზმნის გამხაზველი.

ექსპერიმენტი მიმდინარეობს კითხვა/პასუხის რეჟიმში. რადგან კვლევა საპილოტეა, შემოვიფარგლეთ 10 ინფორმანტით, 10 წლიდან 52 წლამდე.

ინფორმანტები გამოყოფენ აქტუალიზებულ წევრს, ანუ, იმ წევრს, რომელიც მათთვის უფრო ბუნებრივია. პირველ ეტაპზე მათ დამოუკიდებლად შეეძლებათ წინადადებების წაკითხვა და თითოეულ მათგანში იმის გარჩევა, თუ ვის მიემართება ნაცვალსახელი. [6]

მეორე ეტაპზე, დიქტორი უკითხავს მათ ინტონაციურად შეფერილ, მარკირებულ წინადადებებს, რაც, სავარაუდოდ, მიმანიშნებელი უნდა იყოს იმისა, თუ ვის მიემართება ანაფორულად ნაცვალსახელი.

საექსპერიმენტოდ შეირჩა შემდეგი წინადადებები:

1. *ნინო შვილს ვარცხნის. ის იღიმება.*
2. *ბებია შვილიშვილს აბარებს ბაღში. მას განშორება უჭირს.*

3. მარი მეგობარს ქორწილისთვის ალამაზებს. ის ივინის.
4. დედა შვილს ტუქსავს. ის ძალიან განიცდის.
5. მღვდელი ნათლულს აზიარებს. მას უხარია.
6. მასწავლებელმა მოსწავლე დასაჯა. ის აღელვებულია.
7. დათომ ნინო გააცილა. ის ბედნიერია.
8. ექიმმა პაციენტი გასინჯა. ის შეშფოთებულია.
9. ლექტორმა სტუდენტი შეაქო. ის კმაყოფილია.
10. გიგომ მარი გაიცნო. ის გახარებულია.

ექსპერიმენტი მოიცავს ოთხ ეტაპს:

1. პირველი ეტაპი

ინფორმანტებს დიქტორის პირისპირ ეძლევათ ზეპირი მითითება. ექსპერიმენტი ტარდება ინდივიდუალურად:

წაკითხეთ წინადადებები დამოუკიდებლად, ხმამაღლა და დაასახელოთ, ვინ იგულისხმება მოცემულ ნაცვალსახელში.

პატარა შესვენების შემდეგ გადავივაროთ მომდევნო ეტაპებზე: მეორე ეტაპზე ინფორმანტები ისმენენ წინადადებებს, სადაც დიქტორის მიერ ინტონაციურად გამოკვეთილია სუბიექტი, მესამე ეტაპზე – ობიექტი, ხოლო ბოლო, მეოთხე ეტაპზე – ზმნა.

ყოველი ეტაპის წინ ინფორმანტებს ეძლევათ ზეპირი მითითება:

მოუსმინეთ წინადადებებს ყურადღებით და დაასახელოთ, ვინ იგულისხმება მოცემულ ნაცვალსახელში.

მონაცემთა სტატისტიკური ანალიზი

თითოეული ინფორმანტისგან მივიღეთ 40 პასუხი 10 წინადადების ოთხივე ეტაპზე შეფასების შედეგად; ე.ი. ჯამში საანალიზო მასალად, ექსპერიმენტების შედეგად, მოპოვებულია 400 პასუხი.

ნეიტრალური წაკითხვისას - 10-ვე ინფორმანტის შემთხვევაში ჯამში სუბიექტი დასახელებული იყო 56-ჯერ, ხოლო ობიექტი 44-ჯერ.

სუბიექტის გახაზვისას - მივიღეთ შემდეგი სურათი: სუბიექტი 51, ობიექტი კი 49. ფაქტობრივად მათ შორის სხვაობა არც არის.

ობიექტის გახაზვისას - მკვეთრად ჩანს სხვაობა მათ შორის, რადგან ობიექტის დასახელების რაოდენობაა 66, ხოლო სუბიექტის 34.

ზმნის გახაზვისას - 52 - სუბიექტი, ხოლო 48 - ობიექტი, გამოდის რომ ზმნა-შემასმენლის გახაზვისას მკითხველი ნაცვალსახელს უფრო მეტად სუბიექტს უკავშირებს, ანუ მოქმედ აქტანტს.

მასალის ანალიზი ასაკობრივი ჯგუფების მიხედვით

გადავიდეთ იმაზე, აქვს თუ არა ასაკს განმსაზღვრელი მნიშვნელობა. ამისთვის ინფორმანტები სამ ნაწილად დავყავი

1. ინფორმანტები 20 წლამდე (4 წევრი);
2. ინფორმანტები 20-დან 40 წლამდე; (3 წევრი);
3. ინფორმანტები 40 წელს ზევით (3 წევრი).

➤ ნეიტრალური წაკითხვისას მსგავსება არის პირველ ორ ასაკობრივ ჯგუფს შორის, რომელთა დასახელებული წევრიდან აქცენტირებულია სუბიექტი, ხოლო მესამე ასაკობრივი ჯგუფის შემთხვევაში - ობიექტი.

➤ სუბიექტის გახაზვისას მოსალოდნელი პასუხი აქვს მხოლოდ მეორე ასაკობრივ ჯგუფს, დანარჩენ ორს ობიექტი აქვს გახაზული.

➤ ობიექტის გახაზვისას მონაცემები ადეკვატურია - აქტუალიზებული წევრია ობიექტი.

ზმნის გახაზვისას პირველი და მესამე ასაკობრივი ჯგუფის შემთხვევაში დასახელებულია სუბიექტი, ხოლო მეორე ასაკობრივი ჯგუფი ასახელებს ობიექტს.

მასალის ანალიზი ინფორმანტთა სქესის პარამეტრის მიხედვით

ასევე დავინტერესდით სქესის მიხედვით ჰქონდა თუ არა რაიმე სხვაობა ამ მონაცემებს, დიდი მოლოდინი არ გვქონდა, რომ სხვაობა იქნებოდა, თუმცა, რადგან მონაცემები ამის საშუალებას იძლეოდა შევადარეთ.

ქალი

- 1.1 წინადადების ნეიტრალურად წაკითხვის დროს მონაცემები თანაბარია
- 1.2 სუბიექტის გახაზვისას მეტად დასახელებულია სუბიექტი
- 1.3 ობიექტის გახაზვისას აქტუალიზებულია ობიექტი
- 1.4 ზმნის გახაზვისას აქტუალიზებულია სუბიექტი

მამაკაცი

- 1.2 წინადადების ნეიტრალურად წაკითხვის დროს უპირატესობა ენიჭება სუბიექტს
- 1.3 სუბიექტის გახაზვისას მონაცემები თანაბარია
- 1.3 ობიექტის გახაზვისას აქტუალიზებულია ობიექტი
- 1.4 ზმნის გახაზვისას აქტუალიზებულია ობიექტი

სქესის კატეგორია რომ ჰქონდეს ნაცვალსახელს, ბევრი რამ ნათელი იქნებოდა და ცალსახა პასუხი გვექნებოდა.

მასალის ანალიზი მორფოსინტაქსური პარამეტრით

საპილოტე კვლევაში წარმოდგენილია 5 ნომინატიური კონსტრუქცია და 5 ერგატიული კონსტრუქცია. საინტერესოა საკითხი – ერგატიული კონსტრუქცია უბიძგებს თუ არა ინფორმანტს, რომ ობიექტისკენ გადაიხაროს და ნომინატიური კონსტრუქცია უბიძგებს თუ არა ინფორმანტს, რომ სუბიექტისკენ გადაიხაროს. [5]

სწორედ ამიტომ გადავწყვიტეთ, რომ კვლევა ამ კუთხით საინტერესო პასუხს მოგვცემდა. შედეგი მივიღეთ ზუსტად ერთნაირი, როგორც ნომინატიური, ისე ერგატიული კონსტრუქციის დროს. ესე იგი ინფორმანტები სინტაქსურად ერთსა და იმავეს აღიქვამენ.

ნაცვალსახელის ინტერპრეტაციისას მნიშვნელოვანი ადგილი უკავია ფსიქოლოგიურ ფაქტორებს, ასევე ზოგად სურათებს და ძლიერ გავლენას ინტერპრეტაციაზე ახდენს სემანტიკური ფაქტორი; მაგ.: ერთ-ერთი წინადადება ასეთია:

(4) ექიმმა პაციენტი გასინჯა. ის შემფოთებულია

ადამიანი, რომელიც არ იცნობს ექიმის პროფესიას და ექიმის პიროვნულ თვისებებს, ზოგადი სურათიდან გამომდინარე ასახელებს კორეფერირებულ წევრს, რომელიც, ზოგადი კონტექსტიდან გამომდინარე არის - პაციენტი. სწორედ ამიტომაც რთული სატესტო წინადადებების შერჩევა, რომ ის არ იყოს რაღაც კოგნიტიურ სახეებთან იდენტიფიცირებული და სემანტიკით განპირობებული, მიზნული გარკვეულ წევრთან.

დასკვნა

ქართულში არ არის სქესის გრამატიკული კატეგორია, რაც ნაცვალსახელთა ანაფორული ინტერპრეტაციების ორაზროვნებას მნიშვნელოვნად შეამცირებდა.

გარდა ამისა, წინამდებარე საპილოტე კვლევის შედეგად აშკარად იკვეთება, რომ სოციალიზებული დომინანტური სტრატეგია დაკარგულია (თუმცა, ასაკოვნებში მეტ-ნაკლებად შენარჩუნებულია) და შედეგები 50 : 50-ზეა.

მთავარი რეკომენდაცია: მოვერიდოთ კორეფერენციული ნაცვალსახელების ჭარბ გამოყენებას ტექსტში (განსაკუთრებით იურიდიულ თუ სხვა სახის აკადემიურ ტექსტში) და შეძლებისდაგვარად თავიდან ავიცილოთ ჩვენი სათქმელის საპირისპირო ინტერპრეტაციის

შესაძლებლობა დამატებითი ინფორმაციის მიწოდებისა თუ ზეპირმეტყველებისას ინტონაციური მინიშნებების, ხოლო, წერილობითი ტექსტის შემთხვევაში, ვიზუალური ტექნიკების მოშველიებით.

Anaphoric relation of the pronoun in Georgian

N. Jvaridze

Summary

The article discusses the anaphoric relation of the pronoun in Georgian through a pilot study. Based on this main goal, the task of the paper is to reveal, based on the analysis of linguistic data, the trends that indicate how the anaphoric relations of pronouns are established in sentences with minimalistic constructions, on the one hand, by informants - during independent interpretation of the sentences, and, on the other hand, by the announcer in the same sentence read with different intonation contours. In case of material.

Research in this direction is relevant, as the anaphoric relationships of pronouns determine the content plan of any text and leave wide contexts for different interpretations, especially in languages where the grammatical category of gender does not function - for example, Georgian.

Relevant scientific literature is scarce, especially Georgian linguistic literature in space. My research makes the knowledge of anaphoric relation of pronouns more complete. It certainly makes it indisputable that a deeper and more detailed topic is appropriate for the future Study.

Анафорическое отношение местоимения в грузинском языке

Н. Джваридзе

Резюме

В статье обсуждается анафорическое отношение местоимения в грузинском языке посредством экспериментального исследования. Исходя из этой основной цели, задача статьи состоит в том, чтобы выявить на основе анализа лингвистических данных тенденции, свидетельствующие о том, как устанавливаются местоименные отношения в предложениях с минималистическими конструкциями, с одной стороны, при интерпретации предложений информантами. самостоятельно и, с другой стороны, при прочтении одного и того же материала говорящим с разными интонационными контурами.

Исследования в этом направлении актуальны, так как анафорические отношения местоимений определяют содержательный план любого текста и оставляют широкие контексты для различных интерпретаций, особенно в языках, где грамматическая категория рода не функционирует, например, в грузинском. Соответствующая

Научная литература скудна, особенно грузинская лингвистическая литература. в космосе. Мое исследование делает знания об анафорических отношениях местоимений более полными и делает несомненным, что более глубокое и детальное изучение темы целесообразно в будущем

ლიტერატურა – References – Литература

1. **ასათიანი 2009:** რუსუდან ასათიანი, ინტონაციის როლი წინადადების საინფორმაციო სტრუქტურის ფორმირებაში *ინფორმაციის სტრუქტურირების ძირითადი მოდელები ქართველურ ენებში*, გამომცემლობა „ნეკერი“, თბილისი

2. ასათიანი, სკოპეტეასი 2012: Rusudan Asatiani and Stavros Skopeteas, The information structure of Georgian. In Manfred Krifka and Renate Musan (eds.), *Information Structure*. Berlin: Mouton De Gruyter
3. გამყრელიძე, კიკნაძე, შადური, შენგელაია 2008: თამაზ გამყრელიძე, ზაზა კიკნაძე, ინგა შადური, ნანა შენგელაია, *თეორიული ენათმეცნიერების კურსი*, მეორე გამოცემა, თბილისის უნივერსიტეტის გამომცემლობა, თბილისი
4. კიკვაძე 2014: ზაალ კიკვაძე, სირთულეები ქართულის არმცოდნეთათვის ერგატიული კონსტრუქციის სწავლებისას, *ქართველოლოგიის აქტუალური პრობლემების III ტომი*, ყოველწლიური სამეცნიერო ჟურნალი, თბილისი
5. კროეგერი 2004: Paul R. Kroeger, *Analyzing Syntax A Lexical-Functional Approach*, Cambridge University Press
6. ლადი 2008: D. Robert Ladd, *Intonational Phonology*, second edition, Cambridge Studies in linguistics

