

საქართველოს
საინჟინრო
სიახლანი

GEORGIAN
ENGINEERING
NEWS

No.1 (vol. 77), 2016

GEORGIAN ENGINEERING NEWS, No. 1, 2016

International Engineering Academy Georgian Engineering Academy

Editor-in-Chief: Vladimir Dolidze

EDITORIAL BOARD

Demur Chomakhidze	<i>Tbilisi, Georgia</i>	Christo Kuimjiev	<i>Sophia, Bulgaria</i>
Guram Javakhadze	<i>Tbilisi, Georgia</i>	Romualdas Ginevičius	<i>Vilnius, Lithuania</i>
Peter Bielik	<i>Nitra, Slovakia</i>	Kiazo Nadareishvili	<i>Tbilisi, Georgia</i>
Ivan Gorgidze	<i>Tbilisi, Georgia</i>	Oleg Namicheishvili	<i>Tbilisi, Georgia</i>
Boris Gusev	<i>Moscow, Russia</i>	Dmitry Novikov	<i>Moscow, Russia</i>
Paata Kervalishvili	<i>Tbilisi, Georgia</i>	Archil Prangishvili	<i>Tbilisi, Georgia</i>
Vladimir Kekelidze	<i>Dubna, Russia</i>	Mindia Salukvadze	<i>Tbilisi, Georgia</i>
Ramaz Khurodze	<i>Tbilisi, Georgia</i>	Rolf D. Shraft	<i>Stuttgart, Germany</i>
		Irakli Zhordania	<i>Tbilisi, Georgia</i>

EDITORIAL STAFF:

**Ketevan Makhashvili, Leila Kobelashvili
and Alexander Dolidze**

NGO Georgian Engineering News (GEN) LTD

Address: TECHINFORMI Tbilisi 0179, Kostava 47

Tel.: 995 (32) 2335315, 2335122

Fax: 995 (32) 2335122

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

Internet: www.tech.caucasus.net

Copyright © by GEN LTD

შინაარსი - СОДЕРЖАНИЕ

GENERALIZED CONCATENATED CODES BASED ON SIGNAL CONSTELLATIONS OVER GAUSSIAN INTEGERS <i>Tsiklauri G.Z., Shavgulidze S.A., Asanidze A.V., Freudenberger J.</i>	5
РЕШЕНИЕ ДВУМЕРНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ ТЕРМОДИФУЗИИ <i>Безжугашвили Ю.А.</i>	14
INVESTIGATION OF THE ANISOTROPY OF THE HYPERFINE FIELD, PINNING AND MOBILITY OF DOMAIN WALLS IN MAGNETICS BY THE METHOD OF NUCLEAR SPIN ECHO WITH ADDITIONAL INFLUENCE OF MAGNETIC PULSES <i>Mamniashvili G.I., Shermadini Z.G., Gegechkori T.O. and Gavasheli T.A.</i>	19
PRICING IN DYNAMIC PROCESSES <i>Kadagishvili L.G.</i>	32
СЛЕДЯЩИЕ СИСТЕМЫ С НЕЛИНЕЙНОСТЬЮ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ <i>Гониашвили Э.С., Вашикидзе А.А., Гогинашвили Н.Г., Чкадуа Н.В.</i>	36
СЛЕДЯЩИЕ СИСТЕМЫ С НЕЛИНЕЙНОСТЯМИ В ЭЛЕКТРОННОМ ТРАКТЕ <i>Гониашвили Э.С., Гогинашвили Н.Г., Вашикидзе А.А., Чкадуа Н.В.</i>	41
იმპულსური ხელშეშლების გავლენის ანალიზი მფრინავ სენსორულ ქსელებში <i>მახარაძე ს.ა., ბერიძე ჯ.ლ.</i>	46
ჰეტეროგენულ ქსელებში აკონენტთა მობილურობის პროცესების თანხმეზომებისა და ალგორითმების ანალიზი <i>ძოწენიძე გ.გ., მურჯიკენელი გ.გ.</i>	51
LTE ქსელების მწარმოებლურობის ამაღლება საზოგადოებრივ ტრანსპორტში ბანთაშენებელი მცირე ზომის მოძრაობი საბაზო სადგურების საშუალებით <i>ძოწენიძე გ.გ., მურჯიკენელი გ.გ.</i>	55
УСТОЙЧИВОСТЬ СТЕРЖНЯ ПРИ НЕРАВНОМЕРНОМ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ <i>Байсарова Г.Г., Киквидзе О.Г.</i>	60
ПЛАСТИЧЕСКОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ НАПЛАВЛЕННОГО СЛОЯ НА ПЛОСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ <i>Киквидзе О.Г., Булекбаева Г.Ж., Кипиანი П. Н.</i>	64
კლანხის გამოყენება დაბალრეზონანსული ნახშირბადის მტვრის ეფექტური წვისათვის <i>ქეციშვილი ნ.ა., ჯაფარიანი ნ.ბ.</i>	67
ღიაფრაბრულ საღებ მანქანაზე მანბანუმის მადნის გამდიდრების პროცესის ოპტიმიზაცია <i>ენაგელი რ.პ., გამცემლიძე მ.ნ., ჯაფარიანი ნ.ბ., არაბიძე ზ.დ., თუთბერიძე მ.ლ., რუხაძე თ.ა., თევზაძე დ.მ.</i>	70
ნანობანოომილებიანი კატიონგოლივიტირებული ცეოლითური მასალები <i>დოლაბერიძე ნ.მ., მირძველი ნ.ა., ნიუარაძე მ.ო.</i>	81
РАСЧЕТ ВОЛНОВЫХ ДВИЖЕНИЙ ЧЕРНОГО МОРЯ В РАЙОНАХ ПОТИ И АНАКЛИЯ <i>Сагинадзе И. С., Пхакадзе М. Д.</i>	84
სისტემური მიღწევა და მოდელირება ზოგად ეკოლოგიაში <i>ანდრეუაძე შ.ნ., ანდრეუაძე ნ.შ., ანდრეუაძე ლ.შ.</i>	89

ბიოსფეროს ცოცხალი ნივთიერება და ცოცხალის ფიზიკო-ქიმიური ერთიანობა <i>ანდლუაძე შ.ნ., ანდლუაძე ნ.შ., ანდლუაძე ლ.შ.</i>	92
СПЕЦИФИЧНОСТЬ ДЕЙСТВИЯ И СТРОЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ <i>Берძენიшвили И.Г.</i>	95
ბანუშტოებელი ალკანების მათემატიკურ-ქიმიური შესწავლა კვაზი-ანგ-მატრიცების მეთოდის ფარგლებში <i>ქარჩხაძე მ.გ., ფირცხელიანი ნ.ა., გვერდწითელი მ.ი.</i>	97
თავისუფალი ამინომჟავური პროფილის განსაზღვრა მაღალეფექტური თხევადი ქრომატოგრაფიის გამოყენებით <i>შათირიშვილი შ.ი., ბერიშვილი ლ.ა., შათირიშვილი ი.შ.</i>	99
ოქსიდაციის პრევენცია „ცოლიკოური“-ს ჯიშის მუშაობისაგან ღვინომასალების წარმოებისას <i>ჭკუასელი ლ.მ., გელიაშვილი ზ.ე., ხომასურიძე მ.ბ., მესხიძე მ.ზ.</i>	102
ქართული მუშაობის წიკვის ფენოლური ნაერთების ექსტრაქციების მეთოდების დამუშავება სამკურნალო-პროფილაქტიკური დანიშნულების პროდუქციის საწარმოებლად <i>ლობჯანიძე გ.ა., ნამჩევაძე ც.გ.</i>	109
სწრაფი ბაჟინვის ზეგავლენა კენკროვანი ხილის მიკროფლორაზე <i>გურიელიძე მ.ა., ჟღენტი მ.ს., გულუა ლ.კ., თურმანიძე თ.გ.</i>	111
ზოგიერთი კურკოვანი კულტურის ნაყოფების სუნთქვის ინტენსივობა შენახვის პროცესში <i>ჟღენტი მ.ს., გულუა ლ.კ., თურმანიძე თ.გ.</i>	115
ზოგიერთი ოქსიდაზური ფერმენტის ცვლილება კურკოვანი ხილის შენახვის პროცესში <i>გარუნავა მ.გ., გულუა ლ.კ., ჟღენტი მ.ს., თურმანიძე თ.გ.</i>	119
ПРОТИВООПУХОЛЕВАЯ АКТИВНОСТЬ КОМПЛЕКСОВ МЕДИ Cu^{2+} С КЛОТРИМАЗОЛОМ КАК СЛЕДСТВИЕ ФОРМИРОВАНИЯ СПЕЦИФИЧЕСКОЙ ПЕНТАКООРДИНАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ <i>Чигოიძე Н.Ш., Цивциваძე Т.И., Надирაძე И.Ш., Клдიაშვილი Р.Ш., Петриაშვილი Ж.Д., Джапаридзе Р.Дж.</i>	123
„1კანის კიბოს მკურნალობა ბიოდეტრაბირებად პოლიმერში დეკონიკებული 5-ფტორურაცილით: შეზღუდული კლინიკური კვლევის შედეგები <i>კუბლაშვილი ნ.გ., კუციავა ნ.ა., ქაცარავა რ.დ.</i>	129
<i>ლერი გვასალია - 80</i>	135
<i>ბახხენევა პროფესორ ნიკოლოზ ბექაური - 100</i>	136

GENERALIZED CONCATENATED CODES BASED ON SIGNAL CONSTELLATIONS OVER GAUSSIAN INTEGERS

Tsiklauri G.Z., Shavgulidze S.A., Asanidze A.V. and Freudenberger J.

Georgian Technical University
University of Applied Sciences, Konstanz, Germany

Abstract. Codes over Gaussian integers can be used for coding over two-dimensional signal spaces, e.g. using quadrature amplitude modulation. This work demonstrates that the concept of set partitioning can be applied to Gaussian integer constellations that are isomorphic to q -ary extension fields. It is shown that it is always possible to partition the Gaussian integer constellations into subsets such that the minimum squared Euclidean distance of each subset is strictly larger than in the original set. For many cases this construction results in a maximum minimal distance partitioning. This enables generalized concatenated code constructions for codes over Gaussian integers.

Keywords: generalized concatenated codes, signal constellations, signal set partitioning, Gaussian integers.

1. Introduction

Codes over finite Gaussian integer fields were first studied by Huber in [1]. Similar code constructions were later considered in [2]. Furthermore Gaussian integers were applied to construct space-time codes [3]. These code constructions are based on Gaussian integer fields which exist for primes p of the form $p \equiv 1 \pmod{4}$. More recently, codes over Gaussian integer rings [4, 5] and over quaternion integer rings were constructed [6].

In this work we consider set partitioning of Gaussian integer constellations. Set partitioning and multilevel coding is a common technique to combine coding and modulation (see e.g. [7, 8]). With this method, the signal constellation is split into subsets of equal size, and the numbering of the subsets is then encoded with different codes. For ordinary Gaussian integer fields, there exist no signal partitions, because the number of field elements is a prime number.

In [9], it was demonstrated that the concept of set partitioning can be applied to Gaussian integer rings of size $m = c \cdot d$, where c and d are primes of the form $c \equiv d \equiv 1 \pmod{4}$, respectively. This construction is based on additive subgroups of the ring constellation. Such constellations do not exist for integers m that have any prime factor congruent to 3 modulo 4. This work extends the results from [9] to Gaussian integer constellations that are constructed from the extension field $GF(p^2)$. The new construction is based on two-dimensional Euclidean geometries and is applicable for arbitrary primes p (including primes congruent to 3 modulo 4).

2. Preliminaries

Gaussian integers are complex numbers such that the real and imaginary parts are integers. The modulo function of a complex number z is defined as

$$\mu(z) = z \bmod \lambda = z - \left[\frac{z\lambda^*}{\lambda\lambda^*} \right] \cdot \lambda \quad (1)$$

where λ^* is the conjugate of the complex number λ . $[\cdot]$ denotes rounding to the closest Gaussian integer, i.e. for a complex number $z = a + ib$, we have $[z] = [a] + i[b]$. Finite Gaussian integer fields g_p are constructed from primes p of the form $p \equiv 1 \pmod{4}$. In this case we have $p = \lambda \cdot \lambda^*$. Note that the complex modulo function is an operation preserving isomorphism for the finite integer field $Z_p = \{0, 1, \dots, p-1\}$ and finite Gaussian integer fields g_p with respect to addition and multiplication.

In his seminal work [1], Huber also presented Gaussian integer fields that were constructed from extension fields $GF(p^2)$ for primes p of the form $p \equiv 3 \pmod{4}$. For these constellations, we use the modulo function with $\lambda = p$. Hence, we have

$$\mu(z) = z \bmod p = z - \left\lfloor \frac{z}{p} \right\rfloor \cdot p \tag{2}$$

The set g_{p^2} is obtained as

$$g_{p^2} = \{\mu(k + i \cdot l) | k, l \in Zp\} \tag{3}$$

Note that, for primes p of the form $p \equiv 3 \pmod{4}$, the set g_{p^2} is a Gaussian integer field. For arbitrary primes, the set is a Gaussian integer ring. Moreover, the mapping is only operation-preserving with respect to addition and multiplication with the elements from the base field Zp .

Example 1. Consider the extension field $GF(3^2)$ with the primitive polynomial $p(x) = x^2 + x + 2$. Note that $a = 1 + i$ is the root of $p(x)$. Hence, a is a primitive element of the field g_{3^2} and we have

$$g_{3^2} = \{0, \mu(a^0), \mu(a), \mu(a^2), \dots, \mu(a^7)\} = \{0, 1, 1 + i, -i, -1, -1 - i, -1 + i\} \tag{4}$$

In what follows we will construct the subsets of the set g_{p^2} , i.e. we will partition g_{p^2} into p disjoint subsets $g_{p^2}^{(k)}, k = 0, \dots, p-1$ with p elements. Each subset should have a large minimum distance, where we consider the squared Euclidean distance as a distance measure. The squared Euclidean norm of the complex-valued vector z is defined as

$$\|z\|^2 = |z_0|^2 + |z_1|^2 + \dots + |z_{n-1}|^2 \tag{5}$$

and the squared Euclidean distance of the complex-valued vectors y, z is defined as

$$d_{E(y,z)} = \|z - y\|^2 \tag{6}$$

We define the minimum intrapartition distance $\delta^{(k)}$ of $g_{p^2}^{(k)}$ as

$$\delta^{(k)} = \min_{x, y \in g_{p^2}^{(k)}, x \neq y} \|x - y\|^2 \tag{7}$$

The overall minimum squared Euclidean distance is the minimum of all intra-partition distances

$$\delta = \min_{k=0, \dots, p-1} \delta^{(k)} \tag{8}$$

The energy of a signal constellation is defined by

$$E = \sum_{x \in g_{p^2}^{(k)}} \|x\|^2 \tag{9}$$

3. Signal partitioning of Gaussian integer rings

In this section we consider arbitrary primes p , i.e. we investigate the signal partitioning of Gaussian integer rings g_{p^2} . Note that we can consider the extension field $GF(p^2)$ as a two-dimensional vector space (Euclidean geometry) over the base field Z_p [10]. The mapping $\mu(\cdot)$ is operation-preserving with respect to addition and multiplication with the elements from the base field. Therefore, g_{p^2} is also a two-dimensional Euclidean geometry. We will denote the corresponding base field by

$$g_p = \{\mu(k) | k \in Z_p\} \tag{10}$$

In what follows we will construct set partitions as lines (1-flats) in the Euclidean geometry $GF(p^2)$. We use bold symbols to denote elements $a \in g(p^2)$, i.e. points in the complex constellation. Let $a \in g(p^2)$ be a non-zero point in the Euclidean geometry. Then, the p points $\{\mu(\beta a) | \beta \in g_p\}$ form a line that passes through the origin (the zero point). Let a_0 and a be two linearly independent points in $g(p^2)$, i.e. $\beta_0 a_0 + \beta a \neq 0$ unless $\beta_0 = \beta = 0$. Then, the p points $\{\mu(\beta a + a_0) | \beta \in g_p\}$ form a line through the point a_0 . The two lines βa and $\beta a + a_0$ are parallel lines, i.e. they have no common points. The set $\{\mu(\beta a + a_0) | \beta \in g_p\}$ is a coset of $\{\mu(\beta a) | \beta \in g_p\}$. For any line through the origin there are $p-1$ parallel lines. We use this fact to form the partitions of the set $g(p^2)$. Clearly choosing $a_k = \mu(k), k \in Z_p$ as an element of the base field and $a \in g(p^2)$, with non-zero imaginary part, the two points a_k, a are linearly independent. Hence, we obtain the p subsets for $k = 0, \dots, p-1$

$$g_{p^2}^{(k)} = \{\mu(\beta a + a_k) | \beta \in g_p\} \tag{11}$$

Example 2. We use the field G_{3^2} from Example 1 to illustrate the set partitioning. Choosing $a = 1+i$, we obtain the following parallel lines

$$\begin{aligned} g_{3^2}^{(0)} &= \{0, 1+i, -1-i\} \\ g_{3^2}^{(1)} &= \{1, -1+i, -i\} \\ g_{3^2}^{(2)} &= \{-1, i, 1-i\} \end{aligned} \tag{12}$$

The minimum squared Euclidean distance in each subset is two.

In what follows we will demonstrate that the minimum distance in the subsets is determined by the norm of the point a . Therefore, we will present a method to choose an appropriate set of parallel lines.

4. Maximum minimal distance partitioning

The maximum minimal distance (MMD) partitioning for Z^2 lattices and every finite subset of it was investigated by Bajic and J.Woods in [11]. They derived the following upper bound on the achievable minimum squared Euclidean distance δ using p partitions which holds for arbitrary signals sets.

$$\delta \geq \frac{2p}{\sqrt{3}} \approx 1.15p \tag{13}$$

From this bound, we immediately get an improved bound for Gaussian integers, noting that, in the case of Gaussian integer sets, the minimum squared Euclidean distance has to be the sum of two square numbers c^2, d^2 with $c, d \in N_0$.

Theorem 1. The minimum squared Euclidean distance δ in any subset $g_{p^2}^{(k)}$ satisfies

$$\delta \leq c^2 + d^2 \tag{14}$$

where $c, d \in N_0$ are the two largest integers satisfying $c^2 + d^2 \leq \frac{2p}{\sqrt{3}}$.

For the partitions in Example 2, we have $c = d = 1$. Hence, $\delta = 2$ is the largest possible minimum squared Euclidean distance for any possible partitioning, and the presented sets are the MMD partitioning.

In the following we chose $a = c + id$ to construct the set of parallel lines, where $c, d \in N_0, c \geq d$ are the two largest integers satisfying $c^2 + d^2 \leq p$. At least for primes $p \leq 29$ this provides the MMD partitioning. In order to prove this result, we need the following lemmas.

Lemma 1. For any Gaussian integer ring g_{p^2} with modulo function $\mu(\cdot)$ and for any Gaussian integer z , we have

$$\|\mu(z)\|^2 \leq \|z\|^2 \tag{15}$$

Proof. Let a and b be the real part and the imaginary part of $\frac{z}{p}$, respectively. Then, with (1), we have

$$\frac{\mu(z)}{p} = \frac{z}{p} - \left[\frac{z}{p} \right] = a - [a] + i(b - [b])$$

Due to rounding, we have $|a - [a]| \leq |a|$ and $|b - [b]| \leq |b|$. Consequently, we obtain

$$\left| \frac{\mu(z)}{p} \right|^2 \leq \left| \frac{z}{p} \right|^2$$

and thus $\|\mu(z)\|^2 \leq \|z\|^2$.

Lemma 2. Consider the partition of the set g_{p^2} into the p subsets $g_{p^2}^{(0)}, \dots, g_{p^2}^{(p-1)}$. The minimum intrapartition distance $\delta^{(k)}$ of each subset satisfies

$$\delta^{(k)} \geq \min_{z \in g_{p^2}^{(0)} \setminus \{0\}} \|z\|^2 \tag{16}$$

Proof. Consider two elements $z \neq z'$ from the same subset. The squared Euclidean distance is

$$d_E(z, z') = \|z - z'\|^2$$

With $z'' = \mu(z - z')$ and Lemma 1, we have

$$d_E(z, z') \geq \|\mu(z - z')\|^2 = \|z''\|^2, \quad z'' \neq 0, \quad z'' \in g_{p^2}^{(0)}$$

Hence, we have the following lower bound

$$\delta^{(k)} = \min_{z, z' \in g_{p^2}^{(k)}, z \neq z'} \|z - z'\|^2 \geq \min_{z'' \in g_{p^2}^{(0)}, z'' \neq 0} \|z''\|^2$$

which holds for all parallel lines (cosets).

In the following we bound the minimum distance in the subsets of g_{p^2} . However, we consider only the rings where p is a prime of the form $p \equiv 1 \pmod{4}$. In this case, we have $p = c^2 + d^2$.

Theorem 2. For primes p of the form $p \equiv 1 \pmod{4}$, consider the partition of the set g_{p^2} into the p subsets $g_{p^2}^{(0)}, \dots, g_{p^2}^{(p-1)}$. The minimum squared Euclidean distance δ satisfies

$$\delta \geq p \tag{17}$$

Proof. For primes p of the form $p \equiv 1 \pmod{4}$, p can be decomposed as $p = \lambda \lambda^*$ with $\lambda = c + id$. Now note that all elements $z \in g_{p^2}^{(0)} \setminus \{0\}$ are multiples of $\lambda = c + id$, i.e. $z = \beta \cdot \lambda$ with $\beta \in g_p \setminus \{0\}$. Therefore, we have

$$\mu(z) = \beta \lambda - \left[\frac{\beta \lambda}{p} \right] p = \lambda \left(\beta - \left[\frac{\beta \lambda}{p} \right] \lambda^* \right) = \lambda \cdot A, \text{ with } A = \left(\beta - \left[\frac{\beta \lambda}{p} \right] \lambda^* \right)$$

Note that $\mu(z) \neq 0$ implies that A is a non-zero Gaussian integer. Moreover, any non-zero Gaussian integer has a norm of at least one. Hence, we have

$$\|\mu(z)\|^2 = \|\lambda\|^2 \cdot \|A\|^2 \geq \|\lambda\|^2 = p$$

Using Lemma 2, we conclude that $\delta \geq p$ holds for all parallel lines.

Combining the results from Theorem 1 and Theorem 2, we note that the upper bound on the minimum squared Euclidean distance δ coincides with the lower bound if there is no integer n that is equal to the sum of two perfect squares and satisfies $p < n \leq \frac{2}{\sqrt{3}} p$. By testing all sums of perfect squares, it can easily be verified that this is only possible for primes $p \geq 31$, i.e. $31 < 34 = 5^2 + 3^2 \leq \frac{62}{\sqrt{3}}$.

Therefore, we have

Theorem 3. For primes $p \leq 29$ of the form $p \equiv 1 \pmod{4}$, the partition of the set g_{p^2} into the p subsets $g_{p^2}^{(0)}, \dots, g_{p^2}^{(p-1)}$ is the MMD partitioning with the minimum squared Euclidean distance $\delta = p$.

Example 3. We consider the set g_{5^2} . With $a = 2 + i$ we obtain the MMD partitioning illustrated in Fig. 1, where each subset has minimum squared Euclidean distance $\delta = 5$. Note that, according to the construction presented in [9], there exists the complex residue ring

$$g_{25} = \{z \pmod{4 + 3i}, z \in Z_{25}\}$$

with 25 elements which is isomorphic to the residue class ring Z_{25} . It can also be partitioned into 5 subsets, where the subsets have minimum squared Euclidean distance 5. However, the two signal constellations are not equivalent. Ring g_{25} has energy $E = 104$, whereas g_{5^2} has $E = 100$. Hence, with the same minimum squared Euclidean distance, the new construction results in a lower signal energy.

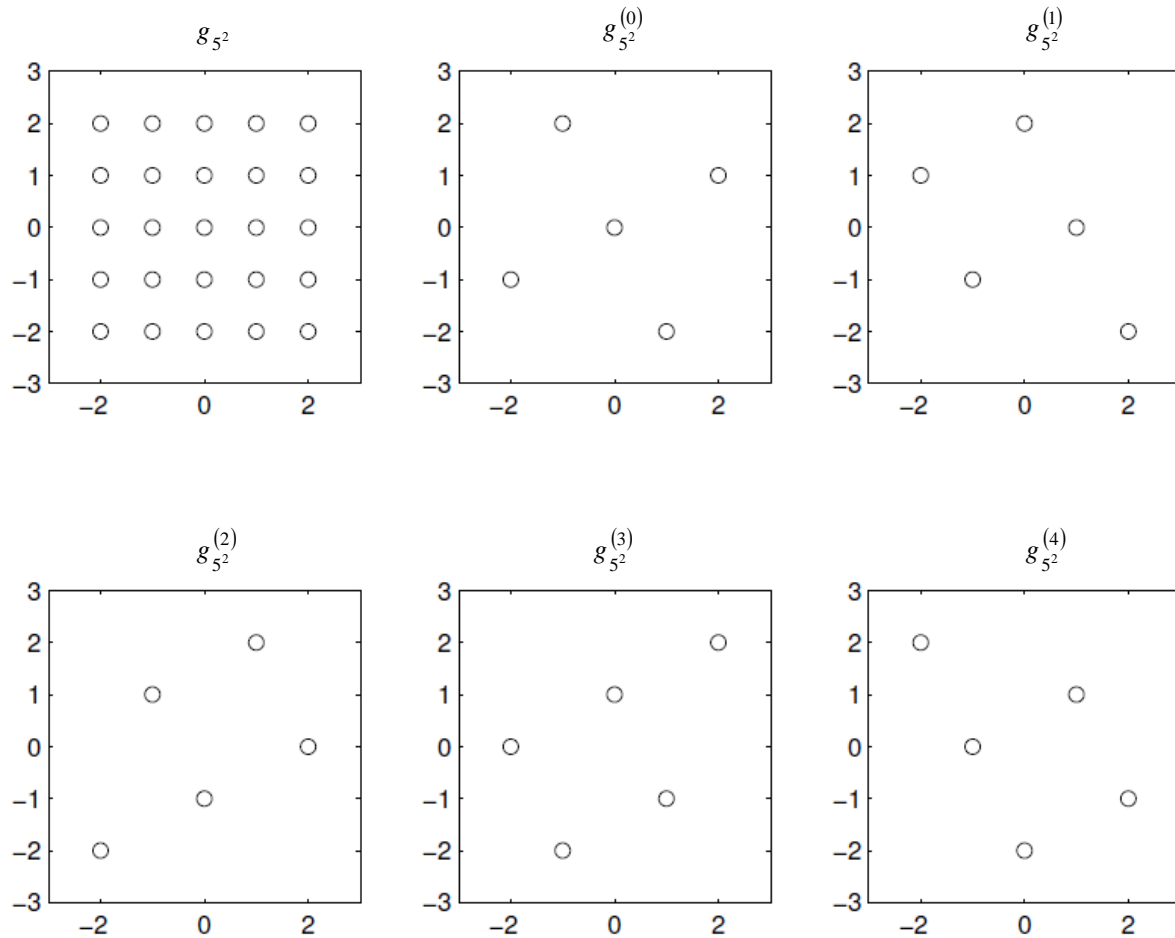


Fig. 1. Complex constellation of the Gaussian integer ring g_{5^2} and its signal partitions

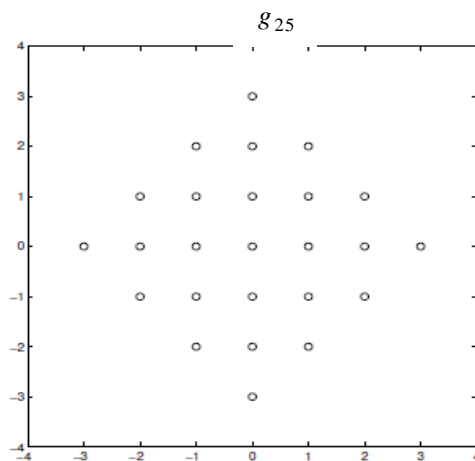


Fig. 2. Gaussian integer ring g_{25}

For primes p of the form $p \equiv 3 \pmod{4}$, we cannot represent p as the sum of two squares. Hence, we have $c^2 + d^2 < p$. The following lower bound on the minimum squared Euclidean distance holds for any prime $p \geq 3$.

Theorem 4. For primes $p \geq 3$, consider the partition of the set g_{p^2} into the p subsets $g_{p^2}^{(0)}, \dots, g_{p^2}^{(p-1)}$ with $a = c + i$. The minimum squared Euclidean distance δ satisfies

$$\delta \geq c^2 + 1 \tag{18}$$

where c is the largest integer such that $c^2 + 1 \leq p$.

Proof. We use Lemma 2 and bound the minimum distance δ for all parallel lines by estimating the minimum norm of any non-zero element in $g_{g_{p^2}}^{(0)}$. Note that

$$g_{g_{p^2}}^{(0)} = \left\{ \beta a : \beta = -\frac{p-1}{2}, \dots, -1, 0, 1, \dots, \frac{p-1}{2} \right\}$$

Due to symmetry, it is sufficient to estimate $\|\beta a\|^2$ for positive values of β . We consider the following three cases:

I. $\beta c \leq \frac{p-1}{2}$:

Note that for $\beta c \leq \frac{p-1}{2}$, we have $\left\lfloor \frac{\beta c}{p} \right\rfloor = 0$ and therefore $\mu(\beta a) = \beta a$. Hence, it follows that

$$\|\mu(\beta a)\|^2 = \|\beta a\|^2 \geq \|a\|^2 = c^2 + 1$$

II. $\beta c > \frac{p-1}{2}$ and $\beta \geq c$:

For $\beta c > \frac{p-1}{2}$ we have $\left\lfloor \frac{\beta c}{p} \right\rfloor > 0$. However, for $\beta \geq c$, βa has a non-zero real part and the imaginary part is equal to c . Therefore, we conclude $\|\beta a\|^2 \geq c^2 + 1$.

III. $\beta c > \frac{p-1}{2}$ and $\beta < c$:

From $\beta < c$ follows $\beta \leq c-1$ and $\beta c \leq c^2 - c < c^2 \leq p-1$. Thus, we have $\frac{\beta c}{p} < 1$ and therefore $\left\lfloor \frac{\beta c}{p} \right\rfloor = 0$.

Based on this fact, we can estimate the norm $\|\beta a\|^2$. Note that in this case $\mu(\beta c) = \beta c - p$ with the absolute value $|\mu(\beta c)| = p - \beta c \geq p - c^2 + c \geq c + 1$, where the last inequality follows from $c^2 + 1 \leq p$. Therefore, we have $\|\beta a\|^2 \geq c^2 + 1$.

We conclude that all non-zero elements of the set $g_{g_{p^2}}^{(0)}$ have a norm greater than or equal to $c^2 + 1$.

Therefore, the minimum squared Euclidean distance in any partition satisfies $\delta \geq c^2 + 1$.

Note that Example 2 is an instance of such a partitioning.

5. Generalized concatenated code constructions

Let $z_1 \in Z_p$ denote the index of a subset and $z_2 \in Z_p$ the element of this subset. The mapping uniquely determines an element $z \in g_{p^2}$.

$$z = \mu(z_2 \cdot a + z_1)$$

Based on the set partitioning and this mapping we can construct multilevel codes for Gaussian integer rings, where the indices for the subsets and the indices for elements in these subsets are protected by different outer codes over the base field Z_p .

The following theorem can be derived using standard arguments, e.g. according to the proof of Theorem (9.1) in [12] (cf. also [13]).

Theorem 5. The minimum squared Euclidean distance δ_{GCC} of a generalized concatenated code constructed from two outer codes $A^{(j)}$; $j=1,2$ with minimum Hamming distances $d_a^{(j)}$ and a partition of the set g_{p^2} with minimum squared Euclidean distances δ is given by

$$\delta_{GCC} \geq \min\{d_a^{(1)}, d_a^{(2)}\} \cdot \delta \quad (19)$$

Example 4. Consider, for instance, the Gaussian integer ring g_{p^2} from Example 3. In this case, the five subsets $g_{p^2}^{(0)}, \dots, g_{p^2}^{(4)}$ have the minimum squared Euclidean distance 5. Hence, to construct a multilevel code with overall minimum squared Euclidean distance five, it is sufficient to protect the indices of the subsets by a code with Hamming distances five. For instance, we can use a non-binary BCH code of length 24 and dimension 17 over the extension field $GF(5^2)$. The elements of the subsets can be chosen arbitrarily. The overall code has length 24 and $5^{17}5^{24} = 5^{41}$ codewords.

6. Conclusion

In this work we introduced the concept of partitioning of Gaussian integer rings g_{p^2} that are isomorphic to q-ary extension fields. Furthermore we proved that the minimum squared Euclidean distance of each subset in these partitions is always larger than in the original set. For primes $p \leq 29$ of the form $p \equiv 1 \pmod{4}$, the partition of the set g_{p^2} into the p subsets $g_{p^2}^{(0)}, \dots, g_{p^2}^{(p-1)}$ is an MMD partitioning. This set partitioning and the proposed mapping enable generalized concatenated coding for finite Gaussian integer sets.

This project has been fulfilled by financial support of Shota Rustaveli National Sciences Foundation (Grant No. FR/45/4-101/14). Any idea in this publication is possessed by the authors and may not represent the opinion of Shota Rustaveli National Science Foundation itself.

REFERENCES

1. K Huber. Codes over Gaussian integers. // IEEE Transactions on Information Theory, 1994, pp. 207-216.
2. X. Dong, C. B. Soh, E. Gunawan, and L. Tang. Groups of algebraic integers used for coding QAM signals. //IEEE Trans. on Inform. Theory, 1998, pp. 1848-1860.
3. P. Lusina, S. Shavgulidze, and M. Bossert. Space-time block factorization codes over Gaussian integers. //IEE Communications, 2004, pp. 415-421.
4. F. Ghaboussi and J. Freudenberger. Codes over Gaussian integer rings. /The 18th Telecommunications Forum TELFOR, Belgrad, Sept. 2010, pp. 662-665.
5. M. Ozen and M. Guezeltepe. Cyclic codes over some finite rings. //Selcuk Journal of Applied Mathematics, 2010, vol. 11, pp. 71-76.
6. M. Ozen and M. Guezeltepe. Cyclic codes over some finite quaternion integer rings. //Journal of the Franklin Institute: Engineering and Applied Mathematics, 2011, vol. 348, pp. 1312-1317.
7. H. Imai and S Hirakawa. A new multilevel coding method using error-correcting codes. //IEEE Trans. On Inform. Theory, May 1977, vol. 23, no. 3, pp. 371-377.
8. G. Ungerboeck. Channel coding with multilevel/phase signals. //IEEE Transactions on Information Theory, 1982, pp. 55-67.
9. J. Freudenberger, F. Ghaboussi, and S. Shavgulidze. Set Partitioning and Multilevel Coding for Codes Over Gaussian Integer Rings. /The 9th International ITG Conference on Systems, Communications and Coding (SCC), January, 2013.
10. Shu Lin and Daniel J. Costello. Error Control Coding. -Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 2004.

11. I.V. Bajic and J.W. Woods. Maximum minimal distance partitioning of the z_2 lattice. //IEEE Trans. on Inform. Theory, 2003, vol. 49, no. 4, pp. 981-992.
12. M. Bossert. Channel coding for telecommunications. -Wiley, 1999.
13. A.R. Calderbank. Multilevel codes and multistage decoding. //IEEE Transactions on Communications, 1989, vol. 37, no. 3, pp. 222-229.

РЕЗЮМЕ

ОБОБЩЕННЫЕ КАСКАДНЫЕ КОДЫ, ОСНОВАННЫЕ НА СИГНАЛНЫХ КОНСТЕЛЛЯЦИЯХ НАД ГАУССОВЫМИ ЦЕЛЫМИ ЧИСЛАМИ

Циклаური Г.З., Шавгулидзе С.А., Асанидзе А.В., Фройденбергер Ю.

Грузинский технический университет

Университет прикладных наук, Констанц, Германия

Коды над гауссовыми целыми числами могут быть использованы для кодирования двухмерных сигнальных пространств, например при использовании квадратурной амплитудной модуляции. В данной работе показано, что принцип разбиения множества может быть применен на конstellляциях гауссовых целых чисел, которые изоморфны q -ичным расширенным полям. Показано, что почти всегда можно разбить конstellляции гауссовых целых чисел на подмножества так, чтобы квадрат минимального евклидова расстояния в каждом подмножестве был строго больше по сравнению с его значением в исходном множестве. Во многих случаях эта конструкция приводит к максимальному значению минимального расстояния при разбиении. Все это позволяет конструировать обобщенные каскадные коды над гауссовыми целыми числами.

Ключевые слова: обобщенные каскадные коды, сигнальные конstellляции, разбиение множества сигналов, гауссовы целые числа.

РЕШЕНИЕ ДВУМЕРНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ ТЕРМОДИФФУЗИИ

Бежуашвили Ю.А.

Грузинский технический университет

1. Постановка задачи. Редукция к «спектральной» задаче.

Пусть R^n - n -мерное евклидово пространство. $D_k \subset R^2$ - конечная область, ограниченная замкнутой кривой S_k , $k = \overline{0; m}$; кривизна кривой S_k непрерывна в смысле Гельдера; причем $S_k \cap S_j = \emptyset$, $k, j = \overline{0; m}$; S_0 охватывает все остальные S_k , а эти последние не охватывают друг друга; $\overline{D_k} = D_k \cup S_k$; $S = \bigcup_{k=0}^m S_k$, $D = D_0 \setminus \bigcup_{k=1}^m \overline{D_k}$; $\Pi_\infty = \{(x, t) : x \in D, t \in [0, \infty]\}$ - бесконечный цилиндр в R^3 ; $S_\infty = \{(x, t) : x \in S, t \in [0, \infty]\}$ - боковая поверхность цилиндра Π_∞ , t - время.

Задача I. Найти в цилиндре регулярный вектор $U \in C^1(\overline{\Pi_\infty}) \cap C^2(\Pi_\infty)$ из условий

$$\forall (x, t) \in \Pi_\infty : \begin{cases} A\left(\frac{\partial}{\partial x}\right)u(x, t) - \gamma_1 \text{grad } u_3(x, t) - \gamma_2 \text{grad } u_4(x, t) + q(x, t) = \rho \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial t^2}, \\ \delta_1 \Delta u_3 + q_3(x, t) = a_1 \frac{\partial u_3}{\partial t} + a_{12} \frac{\partial u_4}{\partial t} + \gamma_1 \frac{\partial}{\partial t} \text{div } u, \\ \delta_2 \Delta u_4 + q_4(x, t) = a_2 \frac{\partial u_4}{\partial t} + a_{12} \frac{\partial u_3}{\partial t} + \gamma_2 \frac{\partial}{\partial t} \text{div } u \end{cases} \quad (1)$$

$$\forall x \in D : \lim_{t \rightarrow 0} u(x, t) = \varphi_{(x)}^{(0)}, \quad \lim_{t \rightarrow 0} \frac{\partial u(x, t)}{\partial t} = \varphi_{(x)}^{(1)},$$

$$\lim_{t \rightarrow 0} u_j(x, t) = \varphi_j^{(0)}, \quad j = 3, 4,$$

$$\forall (y, t) \in S_\infty : \begin{cases} U^+(y, t) = F_{(y, t)}^{(k)}, \quad k = \overline{0, r}, \\ \left[R\left(\frac{\partial}{\partial y}, n\right)U(y, t) \right]^+ = F_{(y, t)}^{(k)}, \quad k = \overline{r+1, m}, \end{cases}$$

и для больших значений t

$$\left| \frac{\partial^l U(x, t)}{\partial t^{l_1} \partial x_{x_1}^{l_2} \partial x_{x_2}^{l_3}} \right| < c \cdot \exp(\sigma_0 t), \quad l_1 + l_2 + l_3 = l, \quad l = 0, 1, 2.$$

Здесь Δ - оператор Лапласа; $U = (u, u_3, u_4)$, $u = (u_1, u_2)$ - вектор смещения; u_3 - изменение температуры; u_4 - «химический потенциал» среды, $Q = (q, q_3, q_4)$ - заданный вектор;

$$A\left(\frac{\partial}{\partial x}\right) = \left\| \mu \delta_{jk} \Delta + (\lambda + \mu) \frac{\partial^2}{\partial x_j \partial x_k} \right\|_{2 \times 2}, \quad j, k = 1, 2 - \text{матричный дифференциальный оператор}$$

Ляме [1], $RU = \left(HU, \frac{\partial u_3}{\partial n}, \frac{\partial u_4}{\partial n} \right)$, $HU = Tu - \gamma_1 n u_3 - \gamma_2 n u_4$ - вектор термодиффузионного

напряжения; Tu – вектор упругих напряжений [2]; $\lambda, \mu, \gamma_1, \gamma_2, \delta_1, \delta_2, a_1, a_2, a_{12}, \rho$ – известные упругие постоянные; δ_{jk} – символ Кронекера, $0 \leq r < m$, c, σ_0 – постоянные; $\varphi_{(x)}^{(i)} = (\varphi_1^{(i)}, \varphi_2^{(i)})$, $i = 0, 1$, $\varphi_j^{(0)}(x)$, $j = 3, 4$; $F_{(y,t)}^{(k)} = (f^{(k)}, f_3^{(k)}, f_4^{(k)})$, $f^{(k)} = (f_1^{(k)}, f_2^{(k)})$ – заданные функции. Отметим, что гладкость этих функций совпадает с таковой тех функций, которые были приняты в [1,2] при исследовании динамических задач. Запишем систему (1) в матричном виде

$$B\left(\frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial t}\right)U(x,t) = Q(x,t).$$

Совершенно аналогично [2], можно показать, что задача I не имеет более одного регулярного решения.

Задачу I можно привести к аналогичной задаче с нулевыми начальными данными. С этой целью введем функцию

$$V(x,t) = (v(x,t), v_3(x,t), v_4(x,t)),$$

где $v(x,t) = e^{-t^8} \sum_{K=1}^7 \frac{t^K}{K!} \varphi_{(x)}^{(K)}$, $v_j(x,t) = e^{-t^7} \sum_{K=1}^6 \frac{t^K}{K!} \varphi_j^{(K)}(x)$, $j = 3, 4$

Составим разность

$$U_0(x,t) = U(x,t) - V(x,t),$$

где $U(x,t)$ – решение исходной задачи.

Легко видеть, что $U_0(x,t)$ будет решением задачи I_0 :

$$\begin{cases} B\left(\frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial t}\right)U_0(x,t) = Q_0(x,t) \\ \begin{cases} U_0^+(y,t) = F_0^{(k)}(y,t), & k = \overline{0, r}, \\ \left[R\left(\frac{\partial}{\partial y}, n\right)U_0(y,t) \right]^+ = F_0^{(k)}(y,t), & k = \overline{r+1, m}. \end{cases} \end{cases}$$

Здесь

$$\begin{cases} Q_0 = Q(x,t) - B\left(\frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial t}\right)V(x,t), \\ \begin{cases} F_0^{(k)}(y,t) = F^{(k)}(y,t) - V(y,t), & k = \overline{0, r}, \\ F_0^{(k)}(y,t) = F^{(k)}(y,t) - R\left(\frac{\partial}{\partial y}, n\right)V(y,t), & k = \overline{r+1, m}. \end{cases} \end{cases}$$

Из задачи I_0 формальным применением преобразования Лапласа

$$\hat{U}_0(x, \tau) = \int_0^\infty U_0(x,t) e^{-\tau t} dt$$

получаем эллиптическую граничную задачу с комплексным параметром $\tau = \sigma + i\omega$, в полуплоскости $\pi_{\sigma_0} = \{\tau : \text{Re } \tau \geq \sigma'_0 > \sigma_0\}$,

где $\sigma'_0 = \max\{\sigma_0, \sigma_\varepsilon\}$, $\sigma_\varepsilon = \frac{\lambda + 2\mu}{\rho \varepsilon} (1 - \varepsilon)$, $0 < \varepsilon \ll 1$.

$$\forall x \in D : B\left(\frac{\partial}{\partial x}, \tau\right) \hat{U}_0(x, \tau) = \hat{Q}_0(x, \tau),$$

$$\forall y \in S_k : \begin{cases} \hat{U}_0^+(y, \tau) = \hat{F}_0^{(k)}(y, \tau), k = \overline{0, r}, \\ R\left(\frac{\partial}{\partial y}, n\right) \hat{U}_0(y, \tau) = \hat{F}_0^{(k)}(y, \tau), k = \overline{r+1, m}. \end{cases}$$

2. Исследование спектральной задачи. Обоснование метода

Относительно задачи \hat{I}_0 установлены:

единственность и существование решения, гладкость решения относительно x и τ ; асимптотические оценки решений и их производных относительно $\tau \in \pi_{\sigma_0}$.

Единственность решения задачи \hat{I}_0 доказывается так же как в [2].

Решения задачи \hat{I}_0 ищем в виде

$$\hat{U}_0(x, \tau) = \sum_{k=r+1}^m \int_{S_k} G_{(1)}(x, y, D^{(r)}, i\tau) \varphi(y, \tau) dS - \sum_{k=0}^r \int_{S_k} \left[\tilde{R}\left(\frac{\partial}{\partial y}, n\right) G_{(1)}^*(x, y) \right]^* \hat{F}_0^{(k)}(y, \tau) dS - \int_D G_{(1)}(x, y) \hat{Q}_0(y, \tau) dy$$

где $D^{(r)} = D_0 \setminus \bigcup_{k=1}^r \overline{D_k}$; * - указывает на операцию транспортирования; \tilde{R} - сопряженный с R оператор, $G_{(1)}(x, y, D^{(r)}, i\tau)$ - тензор Грина первой основной граничной задачи термодиффузии. Существование тензора Грина следует из результатов полученных в [2]. Для определения $\varphi(y, \tau)$ получаем систему сингулярных интегральных уравнений

$$\varphi(z, \tau) + \sum_{k=r+1}^m \int_{S_k} R\left(\frac{\partial}{\partial z}, n\right) G_{(1)}(z, y) \varphi(y, \tau) ds = M(z, \tau),$$

где

$$M(z, \tau) = \hat{F}_0^{(k)}(z, \tau) + R\left(\frac{\partial}{\partial z}, n\right) \sum_{k=0}^r \int_{S_k} \left[\tilde{R}\left(\frac{\partial}{\partial y}, n\right) G_{(1)}^*(z, y) \right]^* \hat{F}_0^{(k)}(z, y) ds + R\left(\frac{\partial}{\partial z}, n\right) \int_D G_{(1)}(z, y) \hat{Q}_0(y, \tau) dy,$$

$$R\left(\frac{\partial}{\partial z}, n\right) G_{(1)}(z, y) = R\left(\frac{\partial}{\partial z}, n\right) \Gamma(z - y, i\tau) + K(z, y)$$

$\Gamma(z - y, i\tau)$ - матрица фундаментальных решений оператора $B\left(\frac{\partial}{\partial x}, \tau\right)$; $K(z, y)$ - регулярная матрица.

Опираясь на результаты, полученные в [2], заключаем, что для этой системы справедлива классическая теория Фредгольца.

Для установления дальнейших свойств $\hat{U}_0(x, \tau)$ представим в виде

$$\hat{U}_0(x, \tau) = \hat{U}_0^{(1)}(x, \tau) + \hat{U}_0^{(2)}(x, \tau)$$

$$\begin{aligned}
 & B^0 \left(\frac{\partial}{\partial x} \right) \hat{U}_0^{(1)}(x, \tau) = 0, \\
 & \begin{cases} \left[\hat{U}_0^{(1)}(y, \tau) \right]^+ = \hat{F}_0^k(y, \tau), k = \overline{0, r} \\ \left[R \left(\frac{\partial}{\partial y}, n \right) \hat{U}_0^{(1)}(y, \tau) \right]^+ = \hat{F}_0^k(y, \tau), k = \overline{r+1, m} \end{cases} \quad (2)
 \end{aligned}$$

и

$$\begin{aligned}
 & B \left(\frac{\partial}{\partial x}, \tau \right) \hat{U}_0^{(2)}(x, \tau) = \hat{Q}_0(x, \tau) + \left[B^0 \left(\frac{\partial}{\partial x} \right) - B \left(\frac{\partial}{\partial x}, \tau \right) \right] \hat{U}_0^{(1)}(x, \tau), \\
 & \begin{cases} \left[\hat{U}_0^{(2)}(y, \tau) \right]^+ = 0, k = \overline{0, r}, \\ \left[R \left(\frac{\partial}{\partial y}, n \right) \hat{U}_0^{(2)}(y, \tau) \right]^+ = 0, k = \overline{r+1, m}. \end{cases} \quad (3)
 \end{aligned}$$

Здесь $B^0 \left(\frac{\partial}{\partial x} \right)$ - дифференциальный оператор, полученный из $B \left(\frac{\partial}{\partial x}, \tau \right)$ при $\gamma_1 = \gamma_2 = 0, a_{12} = 0, a_1 = 0, a_2 = 0, \tau = 0$.

Так как задача (2) однозначно разрешима [1], то построив тензор Грина этой задачи, решение выражается равенством

$$\hat{U}_0^{(1)}(x, \tau) = \sum_{k=0}^r \int_{S_k} \left[R \left(\frac{\partial}{\partial y}, n \right) G^*(x, y) \right]^* \hat{F}_0^{(k)}(y, \tau) ds + \sum_{k=r+1}^m \int_{S_k} G(x, y) \hat{F}_0^{(k)}(y, \tau) ds.$$

Ясно, что $\hat{U}_0^{(1)}(x, \tau)$ есть аналитический вектор в полуплоскости π_{σ_0} и устанавливаем следующие оценки

$$\begin{aligned}
 & \left| \hat{U}_0^{(1)}(x, \tau) \right| < \frac{c}{|\tau|^9}, \quad \left| \frac{\partial \hat{U}_0^{(1)}(x, \tau)}{\partial x_k} \right| < \frac{c}{|\tau|^8}, k = 1, 2, x \in \overline{D}, \\
 & \left| \frac{\partial^2 \hat{U}_0^{(1)}(x, \tau)}{\partial x_k \partial x_j} \right| \leq \frac{c}{|\tau|^9}, x \in \overline{D'} \subset D, k, j = 1, 2 \quad (4)
 \end{aligned}$$

Задача (3) эквивалентна системе интегро-дифференциальных уравнений

$$\begin{aligned}
 & \hat{U}_0^{(2)}(x, \tau) + \int_D G^{(1)}(x, y, D) \left[B^0 \left(\frac{\partial}{\partial y} \right) - B \left(\frac{\partial}{\partial y}, \tau \right) \right] \hat{U}_0^{(2)}(y, \tau) dy = \\
 & \int_D G^{(1)}(x, y) \left\{ \hat{Q}_0(y, \tau) + \left[B^0 \left(\frac{\partial}{\partial y} \right) - B \left(\frac{\partial}{\partial y}, \tau \right) \right] \hat{U}_0^{(1)}(y, \tau) \right\} dy \quad (5)
 \end{aligned}$$

где $G^{(1)}(x, y)$ тензор Грина задачи (3).

Проделав соответствующие преобразования, устанавливаем, что (5) эквивалентна системе интегральных уравнений со слабой особенностью, которая разрешима по первой теореме Фредгольма, и решение $\hat{U}_0^{(2)}(x, \tau)$ - аналитический вектор, допускающий оценки

$$\begin{aligned} \left| \hat{U}_0^{(2)}(x, \tau) \right| &< \frac{c}{|\tau|^5}, \quad \left| \frac{\partial \hat{U}_0^{(2)}(x, \tau)}{\partial x_k} \right| < \frac{c}{|\tau|^{3+\alpha_1}}, \quad 0 < \alpha_1 < \frac{2}{3}, \quad x \in \bar{D}, k = 1, 2, \\ \left| \frac{\partial^2 \hat{U}_0^{(2)}(x, \tau)}{\partial x_k \partial x_j} \right| &\leq \frac{c}{|\tau|^{1+\alpha_2}}, \quad \alpha_2 > 0, x \in \bar{D}' \subset D, k, j = 1, 2 \end{aligned} \quad (6)$$

Учитывая (4) и (6), окончательно имеем асимптотические оценки:

$$\begin{aligned} \left| \hat{U}_0(x, \tau) \right| &< \frac{c}{|\tau|^5}, \quad \left| \frac{\partial \hat{U}_0(x, \tau)}{\partial x_k} \right| < \frac{c}{|\tau|^{3+\alpha}}, \quad k = 1, 2, x \in \bar{D}, \tau \in \pi_{\sigma_0}, \\ \left| \frac{\partial^2 \hat{U}_0(x, \tau)}{\partial x_k \partial x_j} \right| &< \frac{c}{|\tau|^{1+\alpha}}, \quad \alpha > 0, k, j = 1, 2, x \in \bar{D}' \subset D, \tau \in \pi_{\sigma_0}. \end{aligned} \quad (7)$$

На основе оценок (7) вектор $\hat{U}_0(x, \tau)$ удовлетворяет условиям для обращения преобразования Лапласа и оригинал определяется интегралом

$$U_0(x, t) = \frac{1}{2\pi i} \int_{\sigma-i\infty}^{\sigma+i\infty} e^{\tau t} \hat{U}_0(x, \tau) d\tau,$$

который является регулярным решением задачи I_0 . Следовательно,

$$U(x, t) = U_0(x, t) + V(x, t)$$

является решением динамической задачи I.

ЛИТЕРАТУРА

1. Купрадзе В.Д., Гегелия Т.Г., Башелейшвили М.О., Бурчуладзе Т.В. Трехмерные задачи математической теории упругости и термоупругости. –Москва, 1976, 658 с.
2. Бурчуладзе Т.В., Гегелия Т.Г. Развитие метода потенциала в теории упругости. -Тбилиси, 1985, 226 с.

SUMMARY

SOLUTION TO THE TWO-DIMENSIONAL PROBLEM OF THERMODIFFUSION

Bezhuashvili Yu.A.

Georgian Technical University

The paper deals with the investigation of a plane dynamic problem of the conjugate theory of thermodiffusion with mixed boundary conditions for multiply-connected domains. By the potential method, singular integral equations and Laplace transform, the theorems of existence and uniqueness of the solution are proved.

Keywords: thermodiffusion, dynamic problem, singular integral equation, Laplace transform, asymptotics.

INVESTIGATION OF THE ANISOTROPY OF THE HYPERFINE FIELD, PINNING AND MOBILITY OF DOMAIN WALLS IN MAGNETICS BY THE METHOD OF NUCLEAR SPIN ECHO WITH ADDITIONAL INFLUENCE OF MAGNETIC PULSES**Mamniashvili G.I., Shermadini Z.G., Gegechkori T.O. and Gavasheli T.A.****E. Andronikashvili Institute of Physics, Iv. Javakhishvili Tbilisi State University
Iv. Javakhishvili Tbilisi State University**

Abstract. Two-pulse nuclear spin echoes were studied experimentally depending on the time of application and pulse amplitudes of the DC magnetic field (video pulses) as well as on the value of the external magnetic field. The measurements were performed with nanopowders and polycrystals of metallic cobalt, in lithium ferrite, half metals Co_2MnSi , NiMnSb , and manganates $\text{La}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$ ($x=0.2; 0.25$). There were revealed two types of dependence of these signals on the time of application of magnetic video-pulses in respect to the moments of application of exciting radio-frequency pulses, which was determined by the degree of anisotropy of local hyperfine fields. The mechanisms of influence of the pinning and mobility of domain walls on the revealed specific features of the signals under study are discussed. It is shown that temporal spectra of the magnetic video pulse effect on two-pulse echoes in multidomain magnets are determined by the parameters of domain walls and can be used for qualitative and quantitative characterization of the magnets.

Keywords: magnets, nuclear spin echo, magnetic video pulse, hyperfine field anisotropy, pinning, domain walls.

Introduction

The possibilities of using different methods of nuclear spin echo spectroscopy for studying the properties of magneto-ordered substances have been analyzed in a great number of works [1-11]. One of widely used methods of this type is based on the inclusion in the system of exciting radio-frequency (RF) pulses of the additional pulses of the DC magnetic field, called magnetic video pulses (MVP), due to the fact that they have no filling frequency. This method is based on the physical principle that, when observing the nuclear spin echo signals from the nuclei located at the domain walls (DW), it is easy to control them by causing a shift of DW under the effect of additional MVP.

The investigations of nuclear spin echoes in magneto-ordered crystals in the presence of additional MVP of relatively weak (considerably lower than the anisotropy field) intensity turned out to be efficient for observation of the effects associated with the anisotropy of the hyperfine field (HFF), and they allowed estimating quantitatively local inhomogeneities, the mobility and pinning of DWs, which is of interest for optimization of the performance of magnetoelectronic devices of various types [1].

Thus, in work [2], the effect of MVP on the spin echo of Eu^{151} nuclei located at the DW of europium garnet $\text{Eu}_2\text{Fe}_3\text{O}_{12}$ was explained by the anisotropy of the HFF for the first time. In work [3] the effect of MVP on the nuclear spin echo at the DW of spinel ferrites, cobalt and thin magnetic films (TMF) was considered.

Two types of the position of the MVP in respect to the second RF pulse in a two-pulse method, symmetric and asymmetric, were investigated (Fig. 1). In case of the symmetric position when MVP overlaps the second RF pulse, a decrease in the echo intensity in the samples with the DW origin of NMR can be explained by sequential excitement of the nuclei jump-like changing their location at the walls, while, in case of the asymmetric position when MVP act in the interval between the RF pulses, it can be explained by an inhomogeneous shift of local NMR frequencies due to the anisotropy of HFF. At the same time, it was shown that, recording the dependence of the echo intensity on the MVP amplitude H_d , it is possible to estimate of the MVP amplitude causing DW shift on value equal to its thickness. But using the dependence of signal intensity at asymmetric excitement of MVP on the signal duration, it is possible to calculate the distribution density of inhomogeneous shifts of NMR frequency due to the anisotropic component of HFF occurring with the shift of DW under the MVP effect. Besides, it was found that spectral variations of the asymmetric MVP effect on the nuclear echo intensity showed an uneven impact of MVP on the echo in different sections of the resonance line of the magnet, which could be considered as an additional characteristics of the magnet under study, for instance, of the effect of package defects or impurities. Frequency spectra of the symmetric pulse effect basically determined by the mobility of DW could also be useful for investigation of the origin of the NMR spectrum.

These results found development in work [4] where the effect of weak asymmetric MVP on the dephasing of the spin echo of ^{59}Co nuclei in Y_2Co_{17} and $(\text{Y}_{0.9}\text{Gd}_{0.1})_2\text{Co}_{17}$ was studied. A strong impact of Gd ions on the anisotropic component of the hyperfine field in $(\text{Y}_{0.9}\text{Gd}_{0.1})_2\text{Co}_{17}$ was revealed in a narrow frequency range of a wide NMR spectrum. The difference between the dephasing spectra in Y_2Co_{17} and $(\text{Y}_{0.9}\text{Gd}_{0.1})_2\text{Co}_{17}$ points to the possibility of studying the magnetic properties of Y_2Co_{17} with substitution for Gd. The most prominent peculiarity of the dephasing method is the possibility of investigation of the specific behavior of Gd ions in a very narrow frequency range, which could be associated with one crystallographic position of Co. Actually, the fact that the Gd ions cause such an essential change in the anisotropic component of HFF on the ^{59}Co nuclei in a very narrow frequency range suggests that they prefer particular crystallographic positions. Hence we can have higher resolution of the NMR spectrum as compared with a common method of recording the NMR spectra.

The effect of generation of additional echoes under the influence of MVP in combination with the RF pulse, allowing the assessment of DW pinning, is also promising for application in practice [11, 12].

Another interesting application of the method of the MVP influence was suggested in work [5] where it was studied the mechanism of formation of a single-pulse echo (SPE) in magnetic materials. The point is that, in some magnets, SPE, the resonance response of the nuclear spin system to a single RF pulse, in many respects behaves like an ordinary two-pulse echo (TPE). To investigate the origin of this similarity, it was studied the role of distortions of RF pulse fronts in the formation of SPE, which resulted in that the regions of distorted RF pulse fronts played a role of RF pulses in the Hahn's mechanism of formation of SPE. To reveal the role of RF pulse fronts in the formation of SPE, it was used a technique of suppression of the effect of RF pulse edges on the nuclear spin system. This aim was achieved by using MVP having the width τ_d and the amplitude H_d the temporal location of which could be varied in respect to the RF pulse edges.

Figure 1 shows Fig. 4 from work [5] to illustrate the scheme of the experiment carried out in that work and the obtained results.

The time dependences of TPE in respect to RF pulses are called time diagrams (TD). As is evident from Fig. 1, TD of the effect of MVP on the SPE is similar to that of the effect of MVP on the TPE. Hence it was inferred that the SPE was formed in lithium ferrite by the mechanism of distortion of the RF pulse edges playing the role of two RF pulses according to Hahn's method.

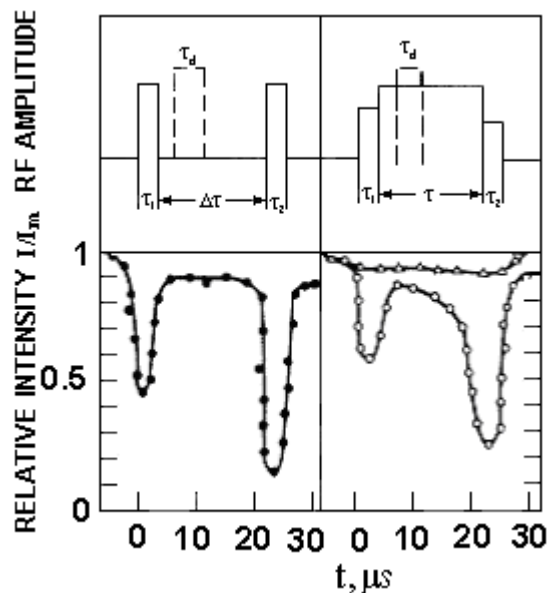


Fig. 1. Time diagrams of the dependence of the intensity of the two-pulse echo (TPE) (●), the single-pulse echo (SPE) (○) and the free induction decay (Δ) on the temporal location of the magnetic pulse $H_d=50$ Oe of duration τ_d for ^{37}Fe NMR in lithium ferrite. The data for the TPE were recorded at $\tau_1=\tau_2=0.8 \mu\text{s}$, $\Delta\tau=21 \mu\text{s}$, $\tau_d=3 \mu\text{s}$; for the SPE – at $\tau=25 \mu\text{s}$, $\tau_d=3 \mu\text{s}$. Resonance frequency 74 MHz, $T=77\text{K}$ [5].

However, in works [13, 14], it was not found the contribution of the mechanism of distortion of RF pulse fronts to the intensity of the observed SPE. Moreover, the controlled additional frequency distortions of the RF pulse edges only led to weakening of the SPE signal under study, and not to its

strengthening as it happened in the case of cobalt [9]. Besides, unlike cobalt, there was no SPE signal on its excitement by a single RF pulse. The strengthening of SPE under such an effect was observed in a number of other magnets (Co_2MnSi and NiMnSb), whereas its absence was observed in MnSb . This means that the investigation results obtained in work [5] were not sufficient for making an unambiguous definition of the mechanism of formation of the SPE in lithium ferrite. It is possible to understand the properties of SPE observed in lithium ferrite in works [13, 14] in the scope of the so-called multiple pulse non-resonant mechanism of formation of SPE [10, 14].

As is well known, in case of SPE different types of spin system response to the single RF pulse could be realized. As was mentioned above, with the distortion of RF pulse fronts, the SPE signal formed by the distortion mechanism was observed [5]. When there is no distortion, in case of an ideal rectangular RF pulse and a resonance action, the SPE signal is absent [10].

In case of one rectangular pulse and a non-resonance effect, the echo signal is formed by the non-resonant mechanism [15, 16]. But under the periodic effect of resonance RF pulses with the repetition rate such that the spin system has no time to come to the equilibrium before the next RF pulse in the sequence, the SPE signal is formed by the multiple pulse non-resonant mechanism [10]. This mechanism of SPE formation was described in detail in works [10, 14].

In the scope of the non-resonant mechanism, the RF pulse fronts play a vital part in the SPE formation, as just at these moments the jump-like (non-adiabatic) change in the effective field direction in the rotating system of coordinates (RSC) takes place. As a result, in case of the non-resonant mechanism of SPE formation, the RF pulse fronts play a role of two pulses in the Hahn's methods [15, 16], which enables one to understand the results of work [5]. When the SPE is observed in cobalt, the SPE signal can be formed by the distortion mechanism related to the presence of transient processes in radiotechnical circuits with switching on/off of the RF pulse. For instance, in the radiofrequency region, the most typical distortions of the rectangular RF pulse are associated with the terminal moments of RF pulse switching on/off, peak voltage sag and oscillations. Besides, as was shown in work [17], the distortion of RF pulse fronts could be caused by the anisotropy of HFF on cobalt nuclei. In this case, the SPE signal is also observed under the effect of a single RF pulse, whereas it is absent in lithium ferrite under similar single-pulse excitement.

Then in work [5] the MVP effect on the TPE signal intensity was analyzed in detail. As was mentioned above, the main impact of the applied MVP on multidomain ferromagnetic is the shift of DW which is reversible at small pulse amplitudes.

Application of MVP symmetrically to the second RF pulse in the samples with wall origin of NMR led to that the first and the second RF pulses excited the nuclei that changed their location at the walls which the resonance frequency and the coefficient of external field gain depend on. At quite short duration of exciting pulses, the resonance frequency variation could be neglected in the systems with low anisotropy of HFF, while the variation in the gain coefficient leads to a decrease in the echo intensity.

Besides, due to the dependence of the nuclear resonance frequency on the nuclei location within DW in the systems with an anisotropic HFF [8], the effect of MVP amplitude H_d in the interval between two RF pulses also causes a decrease in the TPE signal. This effect (dephasing effect) arises, because the frequency shift disturbs the phase coherency of processing nuclear spins, causing a decrease in the efficiency of rephasing. Based on this reasoning, in work [5] it was inferred that, regardless of the MVP location in lithium ferrite, it should be expected that the TPE amplitude will decrease, the decrease in TPE being greater when H_d overlaps the second RF pulse.

It is evident that the considerations given in works [3, 5] point to the fact that the character of TB could change as the anisotropy of HFF in the magnetic increases.

In fact, in work [3] it was shown that the character of the symmetric pulse effect on the TPE signal in lithium ferrite, a magnetically soft magnetic with low anisotropy of HFF and high mobility of DW, will differ from that for the materials with low mobility of DW and high anisotropy of HFF such as, for instance, Co. Hence our further objective is to investigate the character of TD of the MVP effect depending on the type of the magnetic for understanding the origin of TD dependence on the mobility and pinning of DW, and on the anisotropy of the local HFF.

Experimental Results and Discussion

The measurements were carried out by using an incoherent spin echo spectrometer in the frequency range of 40-400 MHz at 77 K [5]. A standard self-excited generator was used over the frequency range 40-220 MHz. The oscillator frequency can be tuned with the help of different inductors and trimmer capacitors. Over the frequency range 200-400-MHz, a commercial Lecher-type generator with a two-wire line including two inductors with different number of windings was used. At the pulse duration from 0.1 to 50 μ s, the maximum amplitude of the RF field obtained on the sample was equal to about 3.0 Oe, and the front slope was not less than 0.15 μ s. The receiver dead time was \sim 1 μ s.

The scheme of the experiment on the pulse effect is shown in Fig. 2 [12]. The magnetic pulse field was formed by a gated stabilizer of controlled-amplitude current and an additional copper coil allowing to obtain magnetic field pulses of the order of magnitude 500 Oe at the sample size of \sim 10 mm.

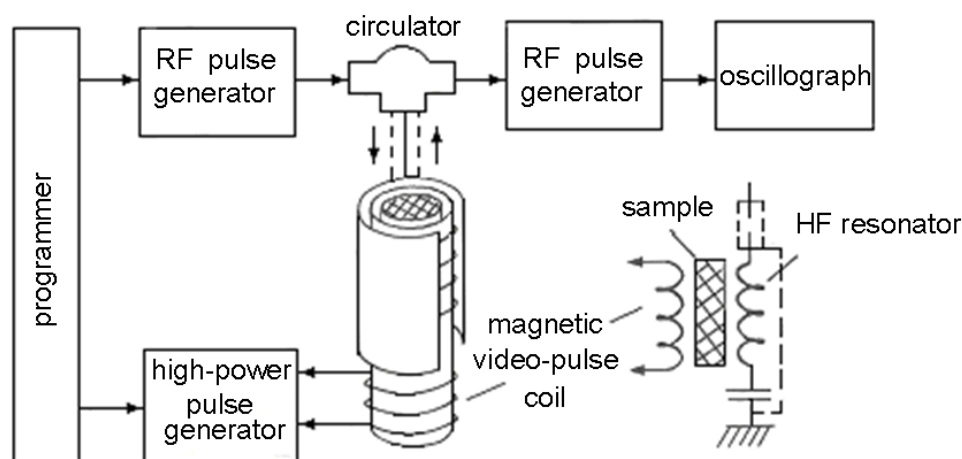


Fig. 2. Scheme of the experiment

Circular samples from polycrystalline lithium ferrite and its solid solutions with zinc $\text{Li}_{0.5}\text{Fe}_{2.5-x}\text{Zn}_x\text{O}_4$ ($0 \leq x \leq 0.25$) enriched with isotope ^{57}Fe (96.8%) as well as lithium ferrite and Heusler alloys NiMnSb and Co_2MnSi were used to study NMR nuclei ^{59}Co and ^{55}Mn . Heusler alloys belong to the class of so-called half metals, and they are interesting for application in spintronics [18].

Besides, there were used thin magnetic films (TMF) fabricated by the method of chemical plating of quartz plates, which were annealed after chemical deposition in vacuum at 500°C for 3-4 hours, and their thickness was \sim 2.2 μm [19].

The samples of manganites of the system $\text{La}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$ ($x=0.2; 0.25$) we produced by using a standard solid-state reaction [20], and the obtained powder-like samples annealed at 1260°C for 72 hours were pressed into blocks.

Besides, we used our synthesized cobalt nanopowders \sim 50-100 nm in size and commercial cobalt nanopowders with grains \sim 22 nm in size (Sun Innovations, Inc., USA) [21, 22].

Figures 3-12 show the dependences of the echo signal intensity on the MVP amplitude for the cases of symmetric and asymmetric effects at the fixed RF pulse frequency in the magnets under study. They allow us to assess the form of TD for arbitrary MVP amplitudes and selected RF pulse frequencies by different degrees of symmetric and asymmetric MVP effects [23-25].

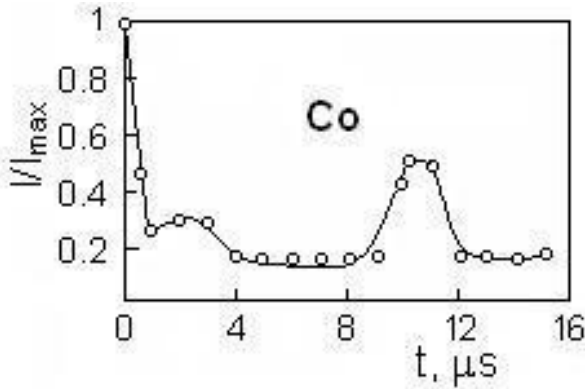


Fig. 3. Time diagrams of the dependence of the TPE intensity on the temporal location of MVP H_d , duration τ_d , in polycrystalline cobalt at $\tau_1=\tau_2=1 \mu s$, $\Delta\tau=10 \mu s$, $\tau_d=2.4 \mu s$, $H_d=100$ Oe, $f_{NMR}=216.5$ MHz

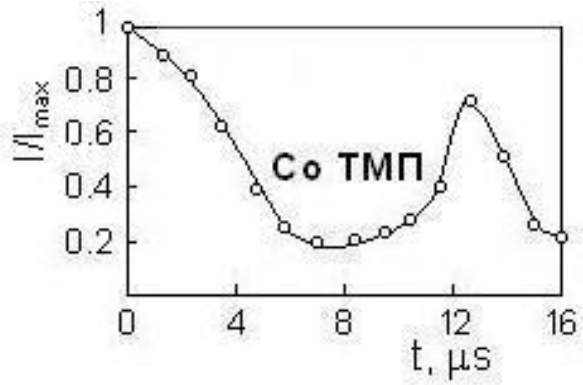


Fig. 4. Time diagrams of the dependence of the TPE intensity on the temporal location of MVP H_d , duration τ_d , in the thin magnetic cobalt film at $\tau_1=\tau_2=1.5 \mu s$, $\Delta\tau=9 \mu s$, $\tau_d=3 \mu s$, $H_d=150$ Oe, $f_{NMR}=218$ MHz

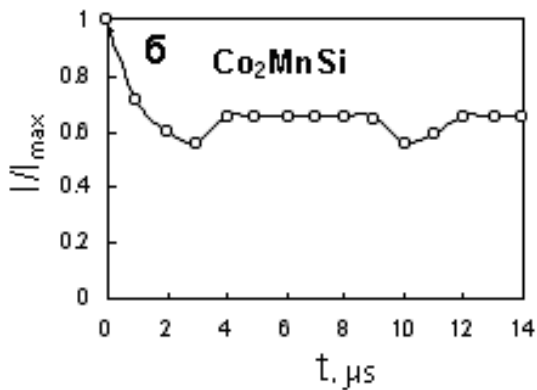
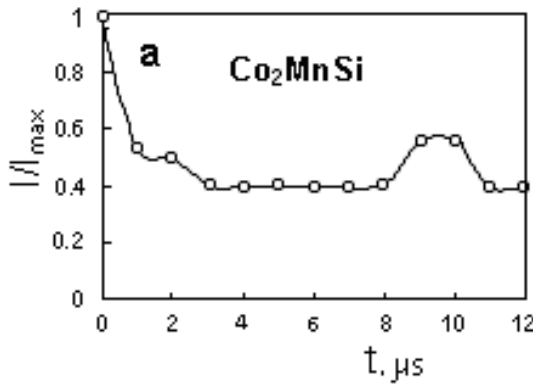


Fig. 5. Time diagrams of the dependence of the TPE intensity on the temporal location of MVP H_d , duration τ_d , in

- a) half metal Co_2MnSi for ^{59}Co NMR at $\tau_1=1.1 \mu s$, $\tau_2=1.4 \mu s$, $\Delta\tau=10 \mu s$, $\tau_d=2 \mu s$, $H_d=550$ Oe, $f_{NMR}=145.5$ MHz;
- b) half metal Co_2MnSi for ^{55}Mn NMR at $\tau_1=\tau_2=3 \mu s$, $\Delta\tau=7 \mu s$, $\tau_d=2 \mu s$, $H_d=300$ Oe, $f_{NMR}=354$ MHz

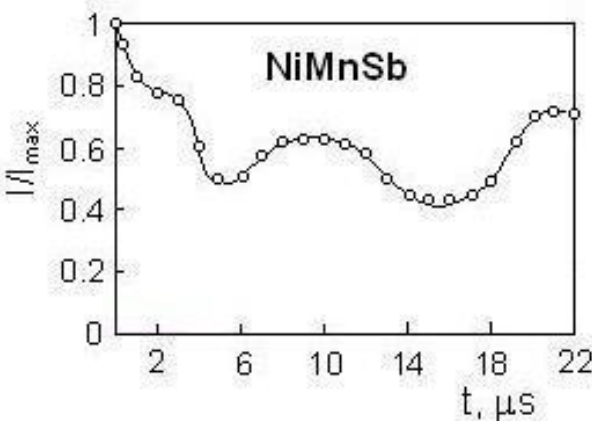


Fig. 6. Time diagrams of the dependence of the TPE intensity on the temporal location of MVP H_d , duration τ_d , in semimetal $NiMnSb$ at $\tau_1=\tau_2=2 \mu s$, $\Delta\tau=11 \mu s$, $\tau_d=3 \mu s$, $H_d=150$ Oe, $f_{NMR}=300$ MHz

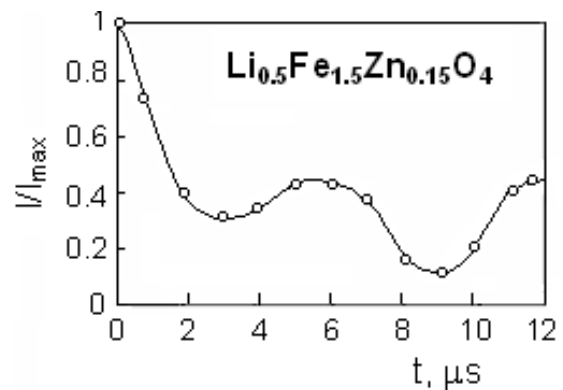


Fig. 7. Time diagrams of the dependence of the TPE intensity on the temporal location of MVP H_d , duration τ_d , in lithium ferrite $Li_{0.5}Fe_{1.5}Zn_{0.15}O_4$ at $\tau_1=1 \mu s$, $\tau_2=1.4 \mu s$, $\Delta\tau=7 \mu s$, $\tau_d=1.7 \mu s$, $H_d=28$ Oe, $f_{NMR}=74$ MHz

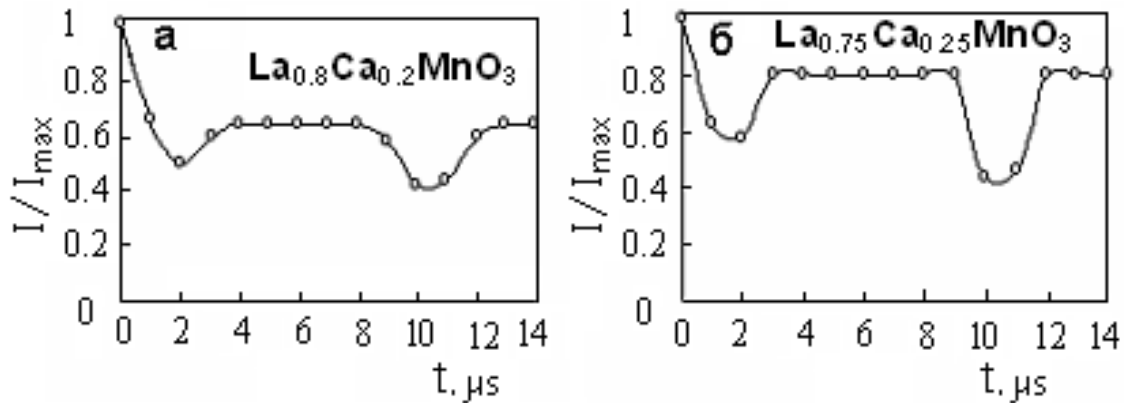


Fig. 8. Time diagrams of the dependence of the TPE intensity on the temporal location of MVP H_d , duration τ_d , in manganites: a) $La_{0.8}Ca_{0.2}MnO_3$ and b) $La_{0.75}Ca_{0.25}MnO_3$ for ^{55}Mn NMR at $\tau_1=\tau_2=2\mu s$, $\Delta\tau=9\mu s$, $\tau_d=0.5\mu s$, $H_d=50$ Oe, $f_{NMR}=368$ MHz

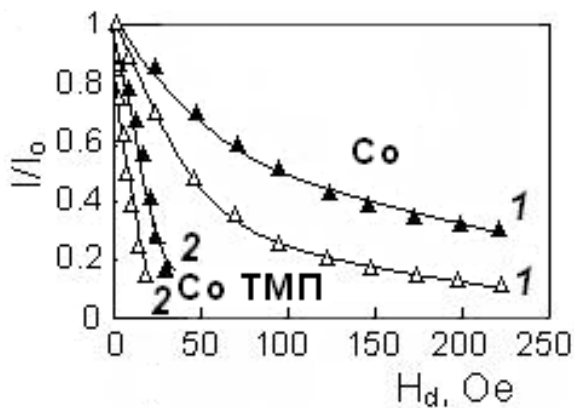


Fig.9. Dependences of the TPE intensity on the amplitude of MVP H_d , duration τ_d , for the symmetric (▲) and asymmetric (Δ) effects: 1) in polycrystalline cobalt at $\tau_1=\tau_2=1.6\mu s$, $\Delta\tau=10\mu s$, $\tau_d=2.4\mu s$; 2) in the thin cobalt film at $\tau_1=1.3\mu s$, $\tau_2=1.5\mu s$, $\Delta\tau=9\mu s$, $\tau_d=3\mu s$; $f_{NMR}=218$ MHz; I_0 – the echo amplitude at $H_d=0$

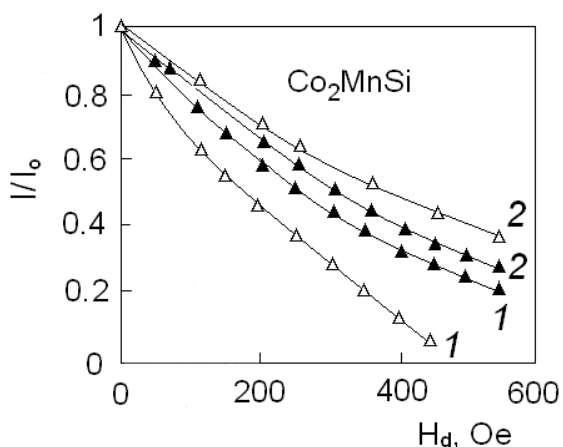


Fig. 10. Dependences of the TPE intensity on the amplitude of MVP H_d , duration τ_d , for the symmetric (▲) and asymmetric (Δ) effects in Co_2MnSi for: 1) ^{59}Co NMR at $\tau_1=\tau_2=2\mu s$, $\Delta\tau=10\mu s$, $\tau_d=3\mu s$, $f_{NMR}=145$ MHz; 2) ^{55}Mn NMR at $\tau_1=0.8\mu s$, $\tau_2=0.9\mu s$, $\Delta\tau=8\mu s$, $\tau_d=3\mu s$; $f_{NMR}=353$ MHz; I_0 – the echo amplitude at $H_d=0$

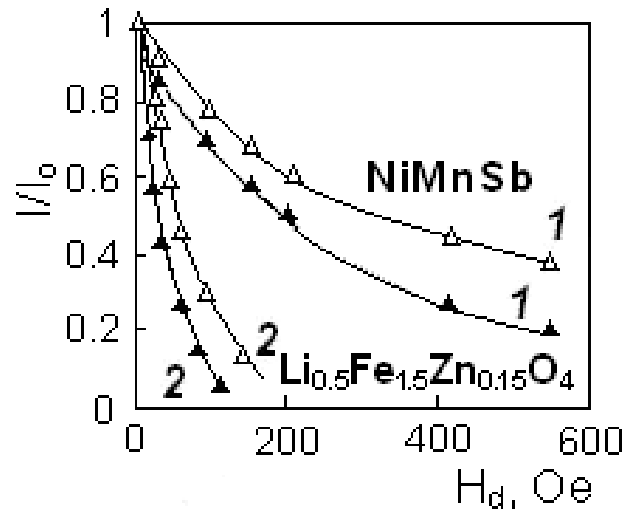


Fig. 11. Dependences of the TPE intensity on the amplitude of MVP H_d , duration τ_d , for the symmetric (\blacktriangle) and asymmetric (\triangle) effects in:
 1) half metal NiMnSb at $\tau_1=\tau_2=2\mu\text{s}$, $\Delta\tau=10\mu\text{s}$, $\tau_d=3\mu\text{s}$; ^{55}Mn NMR $f_{\text{NMR}}=300\text{ MHz}$;
 2) lithium ferrite $\text{Li}_{0.5}\text{Fe}_{1.5}\text{Zn}_{0.15}\text{O}_4$ at $\tau_1=\tau_2=2\mu\text{s}$, $\Delta\tau=19\mu\text{s}$, $\tau_d=3\mu\text{s}$; ^{57}Fe NMR $f_{\text{NMR}}=74\text{ MHz}$; I_0 – the echo amplitude at $H_d=0$

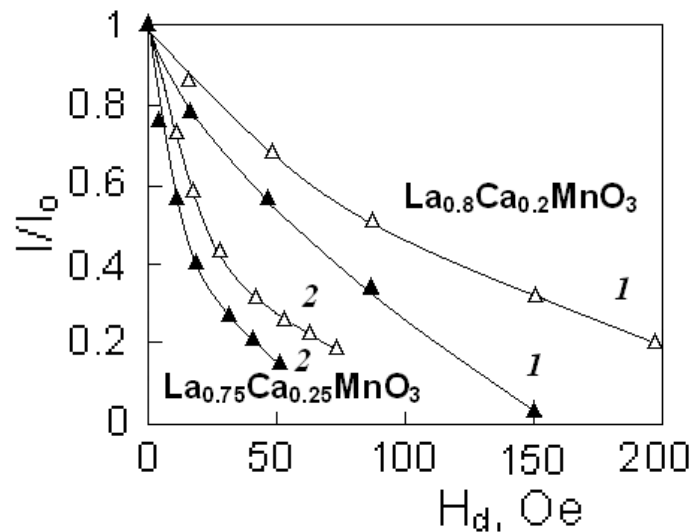


Fig. 12. Dependences of the TPE intensity on the amplitude of MVP H_d , duration τ_d , for the symmetric (\blacktriangle) and asymmetric (\triangle) effects in $\text{La}_{0.8}\text{Ca}_{0.2}\text{MnO}_3$ (1, 2) and $\text{La}_{0.75}\text{Ca}_{0.25}\text{MnO}_3$ (3, 4) at $\tau_1=\tau_2=0.9\mu\text{s}$, $\Delta\tau=7\mu\text{s}$, $\tau_d=1.1\mu\text{s}$; $f_{\text{NMR}}=368\text{ MHz}$; I_0 – the echo amplitude at $H_d=0$

As is evident from the experimental results, the forms of TD of the MVP effect essentially differ for locations with low and high anisotropy of HFF. It makes them convenient to use for additional identification of the origin of the NMR line.

Thus, in contrast to weak anisotropic locations of ^{57}Fe in lithium ferrite, for anisotropic locations of ^{59}Co nuclei (the anisotropy parameter of HFF is equal to 0.7 MHz and 5.8 MHz in units of frequency, respectively), in lithium ferrite and cobalt [23-25] there are observed TD of different forms where concaves and convexes alternate, i.e. in cobalt the echo signal is less suppressed in the region of RF and MVP overlapping.

In the cases we studied, the type of the time diagram was determined by the anisotropy of HFF and did not change for the given nucleus with increasing mobility of DW in the material (for instance, for polycrystalline cobalt and TMF of cobalt, Fig. 9).

We can qualitatively understand the origin of two types of TD from the form of amplitude dependences of the MVP effect in Co_2MnSi , Fig. 10. The forms of dependences of echo signals on the symmetric and asymmetric effects for two different locations in one sample of Co_2MnSi show how the movement of the same DW affect the echo signals from ^{59}Co and ^{55}Mn nuclei, which essentially differ in the anisotropy of HFF. It is clear that the diagrams of the MVP effect are close in the symmetric excitation case and differ essentially in the asymmetric effect case. These peculiarities can be understood if we assume that the diagrams of the symmetric effect are mainly determined by the mobility of DB, i.e. by the coercive force of the sample, whereas the diagrams of the asymmetric MVP effect are mainly determined by the anisotropy of HFF. Hence we can now understand the dependence of the echo signal under the symmetric MVP effect with application of the external magnetic field $H_0=1000$ Oe in lithium ferrite, Fig. 13 [27]. The obtained result testifies that the remained DW are fixed in stronger pinning centers with application of the external field and hence that the echo signals are less suppressed under the symmetric MVP effect.

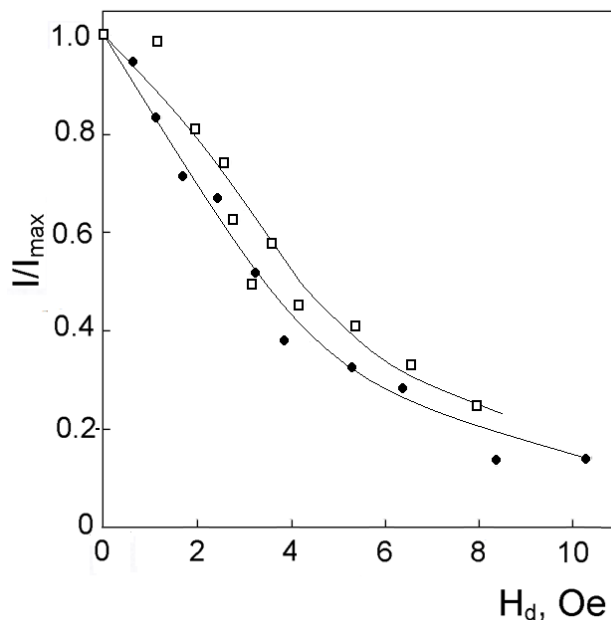


Fig. 13. Amplitude dependence of the TPE intensity at MVP H_d , $H_0=0$ Oe (●) and $H_0=1000$ Oe (□)

Different behavior of this dependence at different values of H_0 is clearly expressed in Fig. 13. To achieve the same intensity of TPE at $H_0=0$ and $H_0=1000$ Oe, different values of H_d are necessary.

As was mentioned above, recording the dependence of the echo signal intensity on the amplitude H_d ($I(H_d)$), it is possible to determine quantitatively the value of the MVP amplitude causing the shift in the DW equal to its effective thickness. This fact allows us to assess easily and quantitatively the DW pinning and the coercive force of the sample for the nuclei contributing the intensity of the spin echo signal of the NMR echo.

Figure 14 shows the experimental data on the dependences of the echo signal intensity on the MVP amplitude H_d under the symmetric MVP effect for cobalt nanopowder, average grain diameter 100 nm, synthesized by electron beam technology [22], cobalt nanopowder, average grain diameter 22 nm, produced by Sun Innovations, Inc., USA, and polycrystalline cobalt powder, grain size ~ 50 μm .

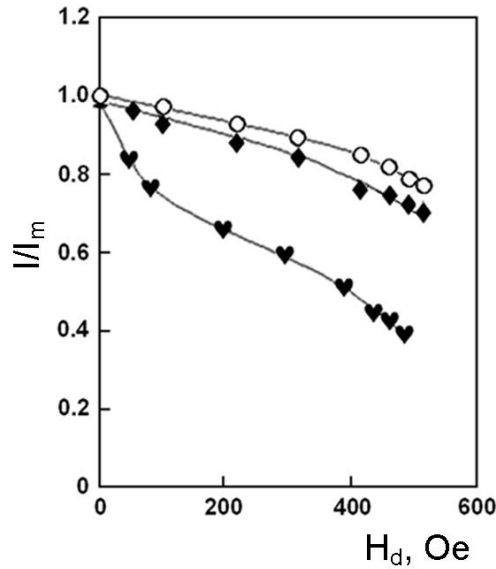


Fig. 14. Dependences of the echo intensity on the MVP amplitude H_d under the symmetric MVP effect for cobalt nanopowder with average grain diameter ~ 22 nm (\circ) and ~ 100 nm (\blacklozenge), and coarse-grained powder with grain size ~ 50 μm (\heartsuit)

As is well known, a decrease in the size grain of cobalt powder from the order of $1\mu\text{m}$ to ~ 150 nm is accompanied by a significant increase in the coercive force of the sample associated with the decreasing size and the increasing part of surface effects. This fact also reflects on the dependence of the echo intensity on the value of the DC external field. In all samples the echo signal intensity hardly changed up to the magnetic field values of the order of an average demagnetizing field because of the presence of DW. However, in the case of nanopowders, the mobility of DW decreases significantly, which should reflect on the character of the $I(H_0)$ dependence of the echo intensity on the value of the external magnetic field H_0 . Besides, because of the increase in the coercive force, a much more powerful external field will be needed to suppress the echo signal in nanopowders. The measurement results on the dependence of the echo signal intensity on the value of the external magnetic field support the above reasoning, Fig. 15.

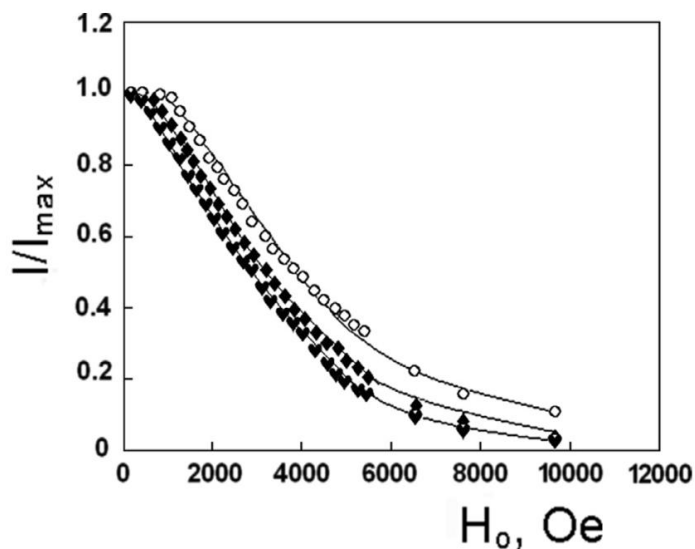


Fig. 15. Dependences of the NMR echo intensity on the value of the external magnetic field for Co powders: Co nanopowder, average grain diameter 100 nm, synthesized by electron beam technology (\blacklozenge); Co nanopowder, average grain diameter 22 nm, produced by Sun Innovations, Inc., USA, (\circ); coarse-grained cobalt powder, grain size ~ 50 μm (\heartsuit)

The DW pinning can also increase when the grain sizes of cobalt nanopowders have decreased after its treatment with the help of a nano-mill. In Fig. 16 are shown the dependences of the echo signal

intensity on the value of the external magnetic field for polycrystalline cobalt powder, average grain size $\sim 50 \mu\text{m}$ and carbon nanopowder doped with cobalt nanoclusters (average size - $\sim 50 \text{nm}$) [21], and for the latter nanopowder after its grinding with a nano- mill for half an hour, similar to the dependences shown in Fig. 15.

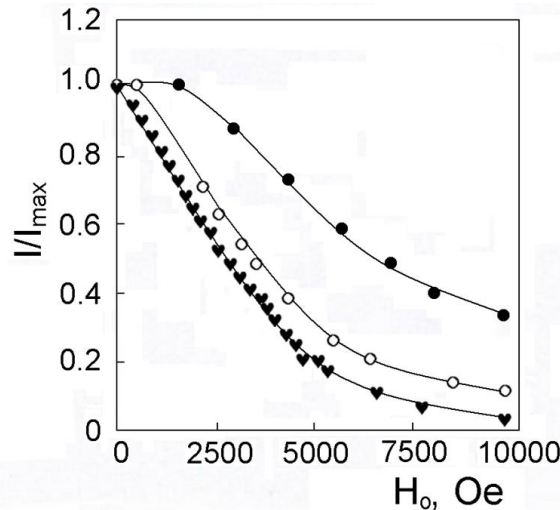


Fig. 16. Dependences of the echo intensity on the value of the external magnetic field for Co powder with grains $\sim 50 \mu\text{m}$ in size (▼) and carbon nanopowder doped with cobalt nanoclusters with grains $\sim 50 \text{nm}$ in size (○), and for the latter nanopowder after grinding with a nano-mill for half an hour (●)

A similar effect should be expected in the result of annealing of the sample. For instance, Figure 17 shows the results of similar investigations for the cobalt sample representing a plate $22 \times 3 \times 1 \text{mm}^3$ in dimensions and $\sim 50 \mu\text{m}$ in thickness deposited on a similar copper plate after short-time ($\sim 30 \text{s}$) annealing at 900°C .

In case of ferrites we should expect a similar dependence of the echo intensity on the DC magnetic field depending on the grain size, which results from the increase in the coercive force of the magnetite powder with its grinding with a planetary mill. In Fig. 18 are shown the dependences of the coercive force of the magnetic powder on the time of grinding with the planetary mill obtained by analyzing the hysteresis curves recorded by using a vibration magnetometer (VSM) [26].

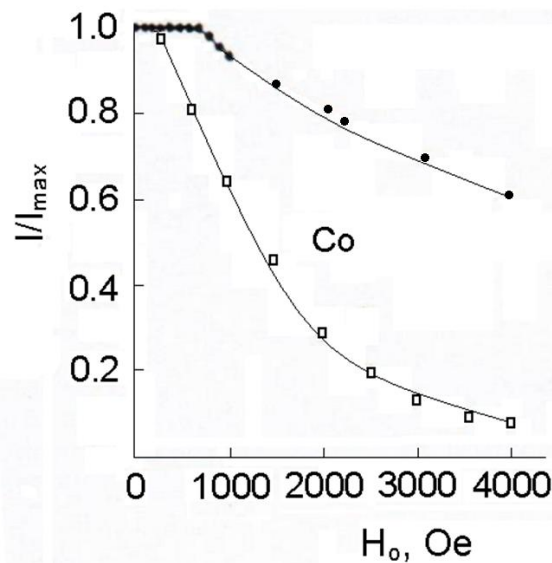


Fig.17. Dependence of the echo signal intensity for the cobalt film on the value of the external magnetic field before (●) and after (□) annealing

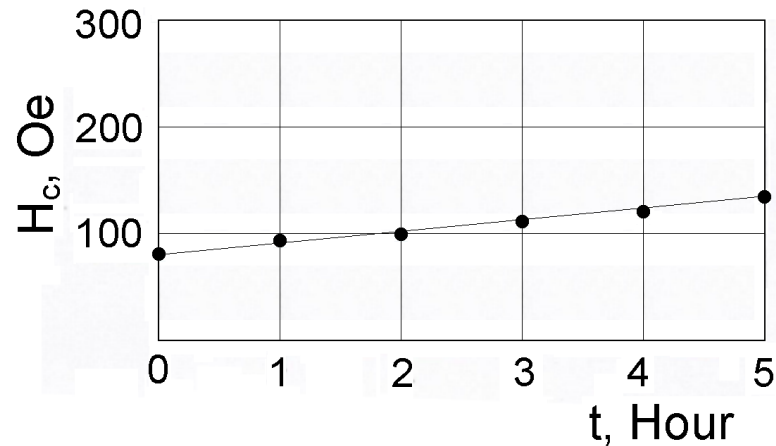


Fig. 18. Dependence of the coercive force H_c of the magnetite powder on the grinding time t

Thus, based on the investigation of the dependence of the echo intensity on the value of the external magnetic field, magnets can be classified by the degree of their magnetic rigidity or by the mobility of DW. For instance, in Fig. 19 it is seen that, of half metal Co_2MnSi , cobalt and lithium ferrite, the magnetically softest sample is lithium ferrite, while half metal Co_2MnSi is the magnetically hardest one.

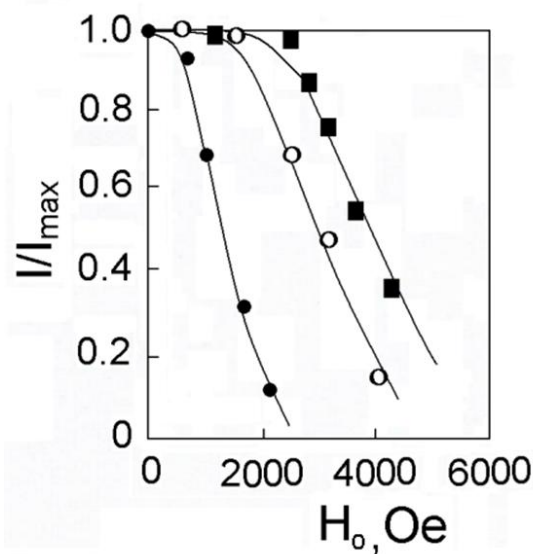


Fig. 19. Dependence of the NMR echo intensity for ^{55}Co nuclei in Co_2MnSi (■), in cobalt (○), and for ^{57}Fe in lithium ferrite (●) on the value of the external magnetic field

It should be noted that, using the technique of chemical vapor deposition (CVD) [21], we can produce carbon powders doped with magnetic nanoclusters with average diameter ~ 50 nm that have the coercive force of different degree depending on the temperature in the reactor chamber. The fabricated magnetic nanopowders could be both relatively magnetically soft and considerably magnetically harder.

In Fig. 20 it is shown amplitude diagrams of the symmetric MVP effect for the samples prepared at $T=1200^\circ\text{C}$ and 700°C .

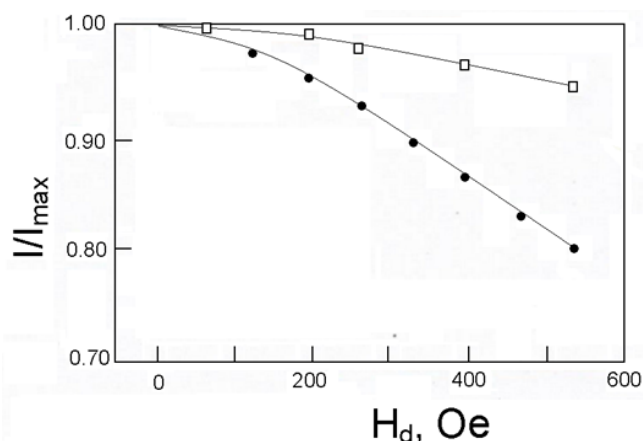


Fig. 20. Dependence of the nuclear spin echo intensity on the external magnetic field of carbon nanopowders doped with cobalt produced by the method of CVD at 1200°C (\square) and 700°C (\bullet)

It should also be noted also that the cobalt samples fabricated in the form of films $\sim 2 \mu\text{m}$ thick by chemical plating of quartz plates and annealing at 500°C for 3-4 hours were considerably magnetically softer than the cobalt powder with grains $\sim 50 \mu\text{m}$ in size, Fig. 17. The degree of magnetic softness of manganates can also be varied by varying the concentration of impurity Ca, Fig. 13. At the same time, the variation in the degree of magnetic softness of the sample, i.e. the decrease in the DW pinning does not change the character of time diagrams of the MVP effect, because they are determined by the value of anisotropy of HFF of the nuclei ^{55}Co , ^{57}Fe , ^{55}Mn , etc., Figs. 9, 11 and 12.

Conclusion

In the result of experimental investigation of different types of TD of the MVP effect, the existence of TD of two types for the magnets under study was revealed. The type of TD is mainly determined by the anisotropy of HFF. We also studied the mechanism of the impact of the size of magnetic powder grains, and the pinning and mobility of domain walls on the revealed specific features of two-pulse echo signals observed under the magnetic video pulse effect.

REFERENCES

1. M.I. Kurkin, E.A. Turov. NMR in Magnetically Ordered Substances and its Applications. – Moscow, Nauka, 1990.
2. V.I. Belotitskii, V.P. Chekmarev. /All-Union Conf. on Physics of Magnetic Phenomena. Abstract, Rotaprint FTINT Akad.NaukUkr. SSR, Kharkov, 1979.
3. L.A. Rassvetalov, A.B. Levitskii. Pulsed Magnetic Field Effect on the Nuclear Spin Echo in Some Ferro and Ferrimagnets. //Fiz.Tverd.Tela, 1981, **23** (11), pp. 3353–3359.
4. E. Machowska, S. Nadolski. Echo Defocusing in Y_2Co_{17} .// Solid State Commun., 1988, **68**(2), pp. 215–217.
5. I.G. Kiliptari, V.I. Tsifrionovich. Single-Pulse Nuclear Spin Echo in Magnets.//Phys. Rev. B: Condens. Matter., 1988, **57**, pp. 11554–11564.
6. Dean R.H., Urwin R.J. The use of nuclear spin-echoes to measure hyperfine field distributions in ferromagnets. // J.Phys. C, 1970, **3**, pp. 1747-1752.
7. Килиптари И.Г., Куркин М.И. I.G. Kiliptari, M.I. Kurkin. A possibility of restoring the gain distribution function of nuclear spins.//Phys. Met. Metallogr, 1992, **74**, N2, pp. 136-139.
8. C.W. Searle, H.P. Kunkel, S. Kupca, I. Maartense. NMR enhancement of a modulating field due to the anisotropic component of the hyperfine field in hcp Co and YCo_5 .//Phys. Rev. B, 1977, **15**, 7, pp. 3305–3308.
9. V.I. Tsifrionovich, E.S. Mushailov, N.V. Baksheev. Nuclear single-pulse echo in ferromagnets. / Zh. Éksp. Teor. Fiz., 1985, **32**, 4, pp. 1481-1489.
10. L.N. Shakhmuratova, D.K. Fowler, D.H. Chaplin. Fundamental Mechanisms of Single-Pulse NMR Echo Formation.//Phys. Rev. A, 1997, **55**, 4, pp. 2955–2967.
11. V.S. Kuz'min, V.M. Kolesenko. Dynamics of Single-Pulse Echo Signals under the Conditions of Zeeman Switching. //J. Appl. Spectroscopy, 2004, **71**, 1, pp. 14-21.
12. A.M. Akhalkatsi, G.I. Mamniashvili, T.I. Sanadze. The Spin-Echo Signals under Combined Action of Magnetic Field and RF Pulses//Appl. Magn. Reson., 1998, **15**, 3–4, pp. 393–399.
13. A.M. Akhalkatsi, G.I. Mamniashvili, S. Ben-Ezra. On mechanisms of single-pulse echo formation in multidomain magnetic materials.//Physics Letters A, 2001, **291**, 1, pp.34-38.

14. A.M. Akhalkatsi, G.I. Mamniashvili, T.O. Gegechkori, S. Ben-Ezra. On the mechanism of formation of a single-pulse echo of ^{57}Fe nuclei in lithium ferrite.//Phys. Met. Metallogr, 2002, **94**, 1, pp. 33-40.
15. V.P. Chekmarev, M.I. Kurkin, S.I. Goloshchapov. Mechanism of formation of single-pulse echo in Hahn spin systems.//Zh. Eksper. Teor.Fiz, 1979, **76**, 5, pp. 1675-1684.
16. V.P. Chekmarev, G.I. Mamniashvili. Multipulse excitation analog in the single-pulse echo method. //Fiz. Met.Metallov.,**51**, 4, pp. 685-689.
17. G.I. Mamniashvili, T.O. Gegechkori, A.M. Akhalkatsi, C.A. Gavasheli. On the role of the hyperfine field anisotropy in the formation of a single-pulse NMR spin echo in cobalt.//J. Supercond. Nov. Magn., 2015, **28**, 3, pp. 911-916.
18. W.E. Pickett, J.S. Moodera. Half metallic magnets.//Phys. Today, 2001, **54**, 5, pp. 39-45.
19. T.N. Khoperia. Electroless deposition in nanotechnology and ULSI. //Microelectronic Engineering, 2003, **69**, 2-4, pp. 384-390.
20. G.M. Zhao, K. Conder, H. Keller, K.A. Müller. Argon annealing of the oxygen-isotope-exchanged manganite $\text{La}_{0.8}\text{Ca}_{0.2}\text{MnO}_{3+y}$.//Phys.Rev. B, 2000,**62**, p. 5334.
21. T.O. Gegechkori, G.I. Mamniashvili, E. Kutelia, L. Rukhadze, N. Maisuradze, B. Eristavi, D. Gventsadze, A. Akhalkatsi, T. Gavasheli, D. Daraselia, D. Japaridze, A. Shengelaya. Technology for production of magnetic carbon nanopowders doped with iron and cobalt nanoclusters.// J. Magn. Magn. Mater., 2015, **373**, pp. 200-206.
22. G.I. Mamniashvili, T.O. Gegechkori, M. Okrosashvili, E. Kutelia, A. Akhalkatsi, T. Gavasheli, D. Daraselia, D. Japaridze, A. Shengelaya, A. Peikrishvili, D. Lesuer. Production of cobalt nanopowders by electron-beam technology and their NMR and magnetometry study. //J. Magn. Magn. Mater., 2015, **373**, pp. 177-182.
23. A.M. Akhalkatsi, T.O. Gegechkori, G.I. Mamniashvili, Z.G. Shermadini, A.N. Pogorelyi, O.M. Kuz'mak. Magnetic Video-Pulse Action on the Nuclear Spin Echo in Multidomain Magnetic Materials.//Phys. Met. Metallogr., 2008, 105, 4, pp. 351-355.
24. G.I. Mamniashvili, T.O. Gegechkori, A.M. Akhalkatsi, C.A. Gavasheli. Features of influence of dc magnetic field pulses on a nuclear spin echo in magnets.//Low Temp. Phys., 2012,**38**, 6, pp. 466-472.
25. G.I. Mamniashvili, T.O. Gegechkori, A.M. Akhalkatsi, C.A. Gavasheli, E.R. Kutelia, L.G. Rukhadze, D.I. Gventsadze. Timing and spectral diagrams of magnetic video-pulse excitation influence on NMR spin-echo in magnets. //J. Supercond. Nov. Magn., 2013,**26**, 4, pp. 1401-1404.
26. G. I. Mamniashvili, T.O. Gegechkori, T.A. Gavasheli, Yu.G. Sharimanov, D.I. Gventsadze, D.M. Daraselia, D.L. Japaridze. On the origin of a stimulated domain-acoustic echo possessing the long- term memory in magnetite powders.//Georgian Engineering News, 2015, 75, 3, pp. 15-22.
27. I.V.Pleshakov, P.S.Popov, Yu.I.Kuz'min, V.I.Dudkin. Study of the domain wall pinning in magnetically ordered materials by the nuclear magnetic resonance method. Pis'ma v Zhurnal Technicheskoi Fiziki, 2016, 42, 2, pp.9-15

РЕЗЮМЕ

ИССЛЕДОВАНИЕ АНИЗОТРОПИИ СВЕРХТОНКОГО ПОЛЯ, ПИННИНГА И ПОДВИЖНОСТИ ДОМЕННЫХ ГРАНИЦ В МАГНЕТИКАХ МЕТОДОМ ЯДЕРНОГО СПИНОВОГО ЭХА ПРИ ДОПОЛНИТЕЛЬНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ МАГНИТНЫХ ВИДЕОИМПУЛЬСОВ

Мамниашвили Г.И., Шермадини З.Г., Гегечкори Т.О., Гавашели Т.А.

Тбилисский Государственный Университет им. Иване Джавахишвили, Институт Физики им. Э.Л. Андроникашвили

Тбилисский Государственный Университет им. Иване Джавахишвили

Экспериментально исследованы сигналы двухимпульсного ядерного спинового эха в зависимости от времени приложения и амплитуд импульсов постоянного магнитного поля (видеоимпульсов), а также от величины внешнего постоянного магнитного поля. Измерения проводились на нанопорошках и полукристаллах металлического кобальта, в литиевом феррите, полуметаллах Co_2MnSi и NiMnSb , а также манганатах $\text{La}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$ ($x=0.2; 0.25$). Обнаружено два типа зависимостей этих сигналов от времени подачи магнитных видеоимпульсов по отношению к моментам подачи возбуждающих радиочастотных импульсов, которые обусловлены степенью анизотропии локальных сверхтонких полей. Обсуждаются механизмы влияния пиннинга и подвижности доменных границ на обнаруженные особенности исследованных сигналов. Показано, что временные спектры воздействия магнитного видеоимпульса на сигналы двухимпульсного эха в многодоменных магнетиках определяются параметрами доменных границ магнетиков и могут служить для их качественной и количественной характеристики.

Ключевые слова: магнетики, ядерное спиновое эхо, магнитный видеоимпульс, анизотропия сверхтонкого поля, пиннинг, доменные границы.

PRICING IN DYNAMIC PROCESSES

Kadagishvili L.G.

V.V. Chavchanidze Institute of Cyberneticsm Georgian Technical University
Georgian Engineering Academy

Abstract. The paper deals with a cybernetic model of pricing, which considers the establishment of a conceptual information system during the dynamic processes. During the dynamic processes, the price variation gets complicated, with the course of the information search being the major problem. It is essential to make the classification in the dynamic processes, which can be described with a differential equation. The phase coordinates are selected, and, as a result, control becomes possible.

Keywords: dynamic processes, pricing, cybernetic model.

Consideration of a cybernetic model of pricing [1] at the level of statistics (experimentally) needs a thorough information system.

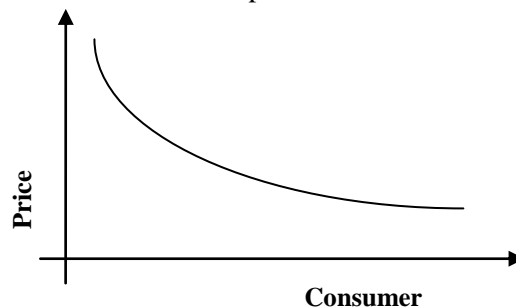
The pricing plan is based on the fact that, as the price increases, the demand for the production increases. The reasons for the price increase must be studied. The price fluctuation complicates the course of the process. The main thing is the information search. The main problem is to classify the i^{th} commodity, where $i = \overline{1, N}$, in the dynamic processes, which can be described by a differential equation. This kind of state depends on the deficit economics.

$$S_i(t) < 0; t_0 < t < t_1$$

Such a condition must be prevented, as it would generally result in a catastrophe for the state and people.

Consideration of such problems in time is a cybernetic system, which must be resolved with a conceptual approach. The consideration of the dynamics needs optimization $S_i(t) \geq 0$. In this case, we must fix the time and consider minimal expenses. This can be done provided the state offers favorable credits. In such a case, this system can be satisfied at a minimum cost. The structure of such a system is considered in such market economy. The process of pricing must be sought. The price is generally originated in the market relations.

It is clear that the main problem here is to be aware of the amount of the turnover money in the given situation. The state must ensure that the production volume satisfies the real demand.



If the demand is not met and it is constant $S_i(t) = const$ $t_0 < t < t_n$, then the price increased in the given time period will be at a critical state, and generally, in such a case, local i^{th} commodity being essential goods, needs primary attention. The problem of increasing the volume of the i^{th} commodity optimally in the fixed time N_i , $i = \overline{1, N}$ is to be studied and a balance must be achieved. Here, each of them may have two indicators. On the one hand, it includes the issue of balancing and the price must be minimal, on the other hand.

We do not consider the economic management of the total state, but only the production and consumption of commodities for a local market.

Our goal is to create the information system. As the cybernetic approach suggests, unless we have the thorough initial information, we cannot receive a thorough solution. In order to identify the amount of minimal information needed to solve the problem, the main thing is to search for the information which must be accurate.

The pricing process at the level of statistics differs considerably from the dynamic processes.

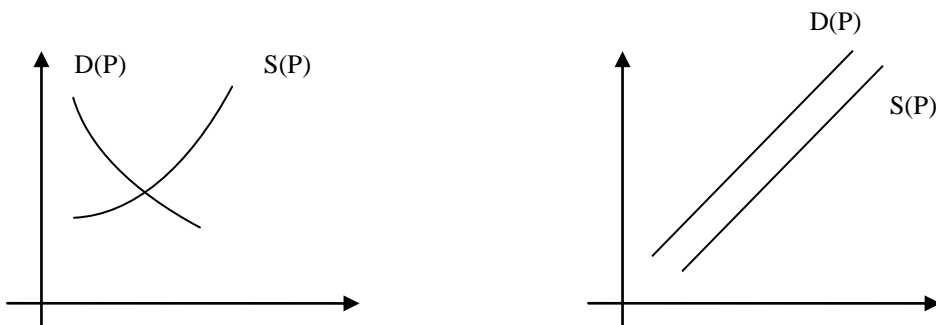
For the dynamic process, the market of some i^{th} commodity is characterized by (a) $D(P)$ demand and (b) $S(P)$ supply. The first assumption about the market at the given time point is that these functions are linear.

$$\begin{aligned} D(P) &= \alpha + \gamma P \\ S(P) &= \beta + \delta P \end{aligned} \quad (1)$$

As we consider the problem in dynamics, the expression can be reduced, if we introduce a balanced term of price when condition $D(P) = S(P) \Rightarrow$ is true. Let us assume that the solution of the equations is π . It is calculated by calculating condition (1)

$$\pi = \frac{\alpha - \beta}{\delta - \gamma} \quad (2)$$

The balanced price cannot be fixed unless this condition is met. Then, there occurs $\delta = \gamma$ to arrive at $\alpha = \beta$. Then, it follows that both lines $D(P)$ and $S(P)$ will coincide.



In fact, function $S(P)$ is an ordinary supply function. At the $(t - \tau)$ moment, the dependence on a fixed price is determined by farmer $D(P(t))$ by referring to $P(t - \tau)$, while wide range of consumers refer to $P(t)$. Such a relationship creates dynamics. Relation $P(t + \tau)$ is possible when new fashion is introduced, for example.

Let us consider a process when at time moment, $\tau_0, \tau_0 \leq t \leq \tau_1$, whatever the price was fixed at time moment $(t - \tau)$, the goods are totally realized with demand $P(t)$ and

$$D(P(t)) = S(P(t - \tau)), \tau_0 \leq t \leq \tau_1.$$

This gives a dynamic model (τ may be a delay).

Considering approximation $\alpha + \gamma P(t) = \beta + \delta P(t - \tau)$, there occurs an initial price function as there was a delay.

As it is known, if $P(t) = \tilde{P}(t)$, then $\tau_0 < \tau \leq t \leq \tau_0$. In such a case, we can say that $\nu\tau \leq \tau_1 - \tau_0$ with ν being constant. This means moving step by step.

Considering formula of the balanced price (2) and deducting (1) from (2), we will have:

$$P(t) - \pi = \frac{\delta}{\gamma} (P(t) - \tau) - \pi, \tau_0 \leq t \leq \tau_1^*$$

As the time increases, we will see what will happen if we use the initial function, which is known as $P(t) = \tilde{P}(t)$. We can calculate

$$P(t) - \pi = \frac{\delta}{\gamma} (\tilde{P}(t) - \tau) - \pi, \tau_0 \leq t \leq \tau_0 + \tau$$

In fact, we know the value of $P(t)$. We can make the next step, and generally, if we make n steps, then:

$$P(t) - \pi = \left(\frac{\delta}{\gamma} \right)^n (\tilde{P}(t) - n\tau) - \pi$$

It will be true along section $\tau_0 + (n - 1)\tau \leq t \leq \tau_0 + n\tau$, where $n = \overline{1\nu}$ and $\nu\tau \leq \tau_1 - \tau_0$.

In ratio $\frac{\delta}{\gamma}$, γ and δ are the indicators of the inclination of lines.

Let us assume that the initial price is limited and $\pi' \leq \tilde{P}(t) \leq \pi''$, $\tau_0 - \tau \leq t \leq \tau_0$. Then, (*) will be as follows:

$$\left(\frac{\delta}{\gamma}\right)^n (\pi' - \pi'') \leq P(t) - \pi \leq \left(\frac{\delta}{\gamma}\right)^n (\pi'' - \pi)$$

All this will be true along the relevant section. If n is quite large, then $P(t) \rightarrow \pi$.

Let us consider a critical case when:

$$\alpha + \gamma P(t) = \beta + \gamma P(t - \tau)$$

$$P(t) = \tilde{P}(t), \tau_0 \leq t \leq \tau_1$$

Demand $\alpha + \gamma P = \beta + \gamma P$ is met.

The initial function is the same and then, along section $P(t) = n \frac{\beta - \alpha}{\gamma} + P(t - n\tau)$:

$$\tau_0 + (n-1)\tau \leq t \leq \tau_0 + n\tau$$

$$n = \overline{1, \nu} \quad \nu\tau \leq \tau_1 \leq \tau_1 - \tau_0.$$

Reintroducing π' and π'' , we get:

$$n \frac{\beta - \alpha}{\gamma} + \pi' \leq P(t) \leq n \frac{\beta - \alpha}{\gamma} + \pi''.$$

This time n_0 increases, and actually the of priceaviation extend.

On the other hand, if $\frac{\beta - \alpha}{\gamma} < 1$, the interval is shifted and the price increases. Let us assume that $\beta > \alpha$, i.e. it is positive and the price increases.

Discrete moments have no full spectrum to depict the moment. Therefore, continuous time must be registered. Then, its analysis will not be problematic, with i and $i + 1$ time intervals being fixed. In our case, we can take a spacing of any intervals and describe the market with conceptual thoroughness.

$$D(P(t)) = S(P(t - \tau))$$

where $P(t - \tau)$ is the price of the concrete i^{th} commodity depending on the price fixed at the $t - \tau$ moment, while a consumer makes a decision at the moment t by considering the price, with τ being time, day and year.

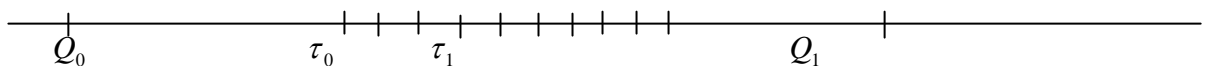
Let us consider the case that is quite common today. The demand for goods is not met by time interval t . Let us consider as a model the case suggesting that the demand for goods is not met, i.e. the model is in deficit. In such a case, the analysis is more complex.

Let us consider the case when some market at time interval $Q_0 \leq t \leq Q$ is characterized in accordance with the demand and supply, and the price at every t moment is $t - \tau$, when the goods are realized and the demand cannot be met.

$$D(P(t)) > S(P(t - \tau)) \quad (1)$$

$$\text{i.e. } \alpha + \gamma P(t) > \beta + \gamma P(t - \tau).$$

Let us denote this section by $Q_0 \leq t \leq \tau_0$



Equation (1) is true from Q_0 to τ_0 . Let us assume price $\tilde{P}(t)$ is given, i.e. the price change by moment $(\tau_0 - \tau)$ creates a misbalance, and the instant value is

$$z(t) = \alpha - \beta + \gamma P(t) - \delta P(t - \tau)$$

while the integral index is

$$q(t) = \int_{\tau_0}^t z(\delta) dS \quad (2)$$

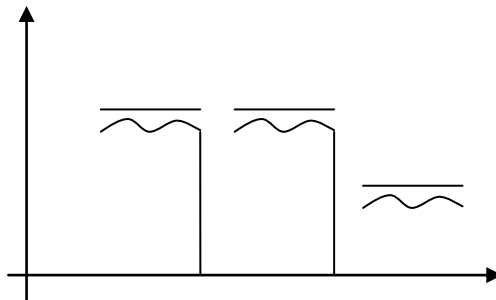
After the misbalance moment τ_0 , τ_0 is to change. In this case, we can consider two optimal problems. Let us derivate formula (2) and make it differential

$$\frac{dq}{dt} = (\alpha - \beta) + \gamma P(t) - \delta P(t - \tau)$$

which has the initial condition $q(\tau_0) = 0$ that yields $P(t) = \tilde{P}(t)$, $\tau_0 - \tau \leq t \leq \tau_0$. Let us use the price as a control parameter:

$$P(t) = u(t).$$

Let us choose a controllable class, which will become a constant functional class.



Let us assume that $0 < \omega \leq u(t) \leq \eta(u)$. We start control $\tau_0 \leq t \leq \tau$ from this point. We fix τ . It is constant. The problem is selected accordingly. We must find the values of $u(t)$ and $q(\tau_1) = 0$, $\tau_1 - \tau_0 \rightarrow \min$. This is an optimal problem with delay, and we will have:

$$\begin{cases} \frac{dq}{dt} = (\alpha - \beta) + \gamma u(t) - \delta u(t - \tau) \\ q(\tau_0) = 0, u(t) \tilde{P}(t) \tau_0 - \tau \leq t \leq \tau_0 \\ q(\tau_1) = 0, \tau_1 - \tau_0 \rightarrow \min. \end{cases}$$

Let us make the balance zero if $u(t)$ ε changes. It could be that we will fail to satisfy condition $q(t)$ from the initially given segment. This will be made with limited phase coordinates $[\text{---}]$.

If we state criterion $r(\tau_1)$, when the $\tau_1 - \tau_0 \rightarrow \min$ misbalance index is violated at moment τ , i.e. we cannot control it because $r(\tau_1 + \varepsilon) = 0$, which has nosense, it will cause slight fluctuations at the economic level: $|r(s)| \leq \varepsilon$ at the economic level and $r(t) = \varepsilon$ is solvable. Control is possible.

REFERENCES

1. Kadagishvili L.G. Cybernetic model of pricing. //Georgian Engineering News, 2015, No.4, pp.50-52.

РЕЗЮМЕ

ЦЕНООБРАЗОВАНИЕ В ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

Кадагишвили Л.Г.

Институт кибернетики им. В.В. Чавчанидзе, Грузинский технический университет

Грузинская инженерная академия

В статье рассматривается кибернетическая модель ценообразования, которая предусматривает создание концептуальной информационной системы во время динамических процессов. Во время динамических процессов усложняется колебание цен и поиски информации становятся главной проблемой. Очень важно осуществить классификацию в динамических процессах, которая описывается дифференциальным уравнением. Подобраны фазовые координаты, после чего управление становится возможным.

Ключевые слова: динамические процессы, ценообразование, кибернетическая модель.

СЛЕДЯЩИЕ СИСТЕМЫ С НЕЛИНЕЙНОСТЬЮ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Гониашвили Э.С., Вашакидзе А.А., Гогинашвили Н.Г., Чкадуа Н.В.

Грузинский технический университет

Уравнение движения системы с нелинейностью исполнительного двигателя на основании (29) [1] имеет вид:

$$A_0 \ddot{Q} + A_1 \dot{Q} + A_2 Q + A_3 Q^3 = 0, \tag{1}$$

где

$$\left. \begin{aligned} A_0 &= T, \quad A_1 = 1 + 2h_1 T - 2HC_1 M_1 \frac{1}{\nu} U_{Y_0}^2, \\ A_2 &= 2h - \omega_0^2 C_1 M_1 U_{b_0}^2 \left(\frac{3K_k}{\operatorname{tg} \varphi} + \frac{1}{\nu} \right), \\ A_3 &= \omega_0^2 (1 - 3C_1 M_3 U_{Y_0}^2), \end{aligned} \right\} \tag{2}$$

Коэффициенты представленного квазилинейного уравнения не являются постоянными, а зависят от частоты и амплитуды искомого решения. Однородное линейное уравнение имеет периодическое решение при наличии пары чисто мнимых корней. Для отыскания параметров периодического решения запишем :

$$\left. \begin{aligned} A_3 &= A_1 A_2 - A_3 A_0 = 0 \\ \nu^2 &= \frac{A_3}{A_1} \end{aligned} \right\} \tag{3}$$

Подставим во второе уравнение системы (3) значения коэффициентов (2) и разрешим его относительно $U_{Y_0}^2$, запишем:

$$U_{Y_0}^2 = \frac{\omega_0^2 - \nu^2 (1 + 2h_1 T)}{\omega_0^2 C_1 K_0 (3 \cos \varphi_1 - \nu K_k \sin \varphi_1)}, \tag{4}$$

или после преобразования

$$\alpha_1 = \frac{\omega_0^2 - \nu^2 (1 + 2h_1 T)}{2h_1 (3C_2 - 2C_3 \nu k_k)}, \tag{5}$$

где $C_2 = \frac{\nu i}{4} \sqrt{\frac{1+T^2\nu^2}{1+k_k^2\nu^2}} \cos \varphi_1$, $C_3 = \frac{\nu i}{4} \sqrt{\frac{1+T^2\nu^2}{1+k_k^2\nu^2}} \sin \varphi_1$, $\alpha = \frac{U_{Y_0}^2}{U_{b_0}^2} \ll 1$,

Будем считать, что величина ω_0^2 не известна. Тогда подставим выражение (4) в коэффициенты характеристического уравнения и их в первое выражение системы (3). Группируя коэффициенты, при ω_0^2 получим :

$$A \omega_0^4 + B \omega_0^2 + C = 0, \tag{6}$$

$$\left. \begin{aligned} A &= \frac{k_k}{b\nu} \left(k_k - \frac{a}{b} \right), \\ \text{где} \quad B &= T \left(\frac{3}{\operatorname{tg} \varphi_1} - 1 \right) + \frac{k_k}{b\nu} \left[2h_1 + \frac{a\nu^2}{b} (1 + 2h_1 T) \right], \\ C &= (1 + 2h_1 T) \left\{ \left(1 + \frac{k_k \nu}{b} \right) \left[2h_1 + \frac{a\nu^2}{b} (1 + 2h_1 T) \right] - \frac{3\nu^2 T}{b \operatorname{tg} \varphi_1} \right\} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

$$\text{здесь} \quad b = \frac{3}{\operatorname{tg} \varphi_1} - k_k \nu, \quad a = \frac{3k_k}{\operatorname{tg} \varphi_1} + \frac{1}{\nu}$$

отсюда

$$\omega_0^2 = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \quad (8)$$

Задаваясь величиной ν , можно определить зависимость $\omega_0^2 = f(\nu)$. Для построения зависимости $U_{y_0} = f(\omega_0^2)$ применим формулу (4). Для этого в правую часть подставим значения ω_0^2 и соответствующие им значения ν .

Знаки тригонометрических функций определяются по формулам (38) [1].

Таблица 1. Знаки тригонометрических функции

	$T > k_k$	$T < k_k$
$\sin \varphi_1$	-	-
$\cos \varphi_1$	+	-
$\operatorname{tg} \varphi_1$	-	+

Из условия положительности коэффициентов уравнения (I) получим необходимые условия существования устойчивых периодических решений:

$$1. \nu > \frac{1}{\sqrt{k_k(2T - 3k_k)}} \quad \text{при} \quad T > \frac{3}{2}k_k \quad (9)$$

$$2. \alpha_1 > \frac{\omega_0^2}{6h_1 c_2} \quad (10)$$

3. Кроме того, выражение (4) имеет физический смысл при

$$\nu < \sqrt{\frac{\omega_0^2}{1 + 2h_1 T}} \quad (11)$$

После определения из необходимых условий области частот и параметров периодических решений по выражениям (4) и (8) можно построить годограф Михайлова:

$$L(j\nu) = \omega_0^2 = 6h_1\alpha_1c_2 + 2h_1\alpha_1c_3k_k\nu - \nu^2(1 + 2h_1T - j[(2h - T\nu^2)\nu - 2h_1\alpha_1c_3 \frac{k_k\nu^2(3k_k - 2T) + 1}{1 + Tk_k\nu^2}]) \quad (12)$$

Если годограф Михайлова охватывает начало координат при подстановке амплитуды несколько большей величины амплитуды периодического решения, то это соответствует его устойчивости, т.е. наличию автоколебаний в системе.

Рассмотрим следящие системы с нелинейностями исполнительного двигателя и электронного тракта.

Коэффициенты уравнения [2] принимают вид:

$$\left. \begin{aligned} A_0 &= T, \quad A_1 = 1 + 2h_1T - 2HC_1M_1 \frac{1}{\nu} U_{y_0}^2, \\ A_2 &= 2h_1 + 2HF(\alpha_0) - \omega_0^2 C_1 M_1 U_{y_0}^2 \left(\frac{3k_k}{\operatorname{tg} \varphi_1} + \frac{1}{\nu} \right), \\ A_3 &= \omega_0^2 F(\alpha_0) - 3\omega_0^2 C_1 M_2 U_{y_0}^2, \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

Используя выражение (4), получим формулы для определения параметров периодических решений:

$$U_{y_0}^2 = \frac{\omega_0^2 F(\alpha_0) - \nu^2(1 + 2h_1T)}{3\omega_0^2 C_1 M_2 - 2HC_1 M_1 \nu}$$

или
$$\alpha = \frac{\omega_0^2 F(\alpha_0) - \nu^2(1 + 2h_1T)}{2h_1(3C_2 - 2C_3 k_k \nu)} \quad (14)$$

$$\omega_0^2 = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \quad (15)$$

Условия (7), (8), (9) и (10) справедливы, но при ω_0^2 необходимо поставить множителем коэффициент $F(\alpha_0)$ гармонической линеаризации нелинейности усилителя. Учет нелинейностей усилителя [3] совместно с нелинейностью исполнительного двигателя приводит к уменьшению амплитуды периодического решения, снижению верхней границы частоты и нижней границы амплитуды периодического решения.

Рассмотрим следящие системы с нелинейностями исполнительного двигателя электронного тракта при наличии трения в механической передаче.

Коэффициенты уравнения [2], приведенного к виду (1) и (2) принимают вид:

$$\left. \begin{aligned} A_0 &= T \\ A_1 &= 1 + 2h_1T - 2HC_1M_1 \frac{1}{\nu} U_{y_0}^2 \\ A_2 &= 2h_1 + 2HF(\alpha_0) - \omega_0^2 C_1 M_1 U_{y_0}^2 \left(\frac{3k_k}{\operatorname{tg} \varphi_1} + \frac{1}{\nu} \right) + \frac{4m}{\pi\alpha_0\nu} \\ A_3 &= \omega_0^2 F(\alpha_0) - 3\omega_0^2 C_1 M_2 U_{y_0}^2 \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

На основании (3) получим формулы для определения параметров периодических решений, которые приводятся к виду (14), (15) [2], где

$$\left. \begin{aligned}
 A &= \frac{k_k}{b\nu} \left(k_k - \frac{a}{b} \right) \\
 B &= T \left(\frac{3}{\operatorname{tg} \varphi_1} - 1 \right) - \frac{k_k}{b\nu} \left[2h_1 + \frac{a\nu^2}{b} (1 + 2h_1T) + \frac{4m}{\pi\alpha_0\nu} \right] \\
 C &= (1 + 2h_1T) \left\{ \left(1 + \frac{k_k\nu}{b} \right) \left[2h_1 + \frac{a\nu^2}{b} (1 + 2h_1T) + \frac{4m}{\pi\alpha_0\nu} \right] - \frac{3\nu^2T}{b\operatorname{tg} \varphi_1} \right\}
 \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

Необходимые условия существования устойчивых периодических решений запишем в следующем виде:

$$\left. \begin{aligned}
 1. \quad \nu &> \frac{1}{\sqrt{k_k(2T - 3k_k)}} \quad \text{При } T > \frac{3}{2}k_k \\
 2. \quad \alpha &< \frac{\omega_0^2 F(\alpha_0)}{6h_1C_2} \\
 3. \quad \nu &< \sqrt{\frac{\omega_0^2 F(\alpha_0)}{1 + 2h_1T}} \\
 4. \quad m &< \frac{\pi\alpha_0\nu}{4} \left[T\nu^2 + 2h_1\alpha_1C_3 \frac{k_k\nu(3k_k - 2T)}{1 + Tk_k\nu^2} - 2h_1 - 2HF(\alpha_0) \right]
 \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

Годограф Михайлова может быть построен по выражению:

$$L(j\nu) = \omega_0^2 F(\alpha_0) - 6h_1\alpha_1c_2 + 2h_1\alpha_1c_3k_k\nu - \nu^2(1 + 2h_1T) - j[(2h_1 - T\nu^2)\nu - 2h_1\alpha_1c_3 \frac{k_k\nu^2(3k_k - 2T) + 1}{1 + Tk_k\nu^2} + \frac{4m}{\pi\alpha_0}] \quad (19)$$

При $T < 3/2 k_k$ периодические решения отсутствуют. Если слагаемые с параметрами $U_{y_0}^2$ малы по сравнению с остальными слагаемыми коэффициентов характеристических уравнений, т.е. выполняются условия:

$$\left. \begin{aligned}
 1. \quad 2HC_1M_1 \frac{1}{\nu} U_{y_0}^2 &\ll 1 \\
 2. \quad \omega_0^2 C_1 M_1 U_{y_0}^2 \left(\frac{3k_k}{\operatorname{tg} \delta_1} + \frac{1}{\nu} \right) &\ll 2h_1 + 2HF(\alpha_0) \\
 3. \quad |3C_1 M_2 U_{y_0}^2| &\ll 1
 \end{aligned} \right\} , \quad (20)$$

то исследование сводится к случаю

$$\nu^2 = \frac{\omega_0^2 a(\alpha_0)}{1 + 2h_1T} \quad (21)$$

$$a(\alpha_0) = \frac{2h_1(1 + 2h_1T)}{\omega_0^2 [T - k_k(1 + 2h_1T)]} \quad (22)$$

В следящих системах, в которых выполняется условие, накладывающее ограничение на величину момента трения, при исключении корректирующего устройства ($k_k = 0$) можно возбудить автоколебания и по формулам (21), (22) определить их параметры. Пусть при $k_k = 0$; $T = 1 \cdot 10^{-3}$ сек, $2h_1 \approx 10 \frac{1}{\text{сек}}$, $U_{y_0} \leq 10b$, $\omega_0^2 = (10 \div 60) \cdot 10^3 \frac{1}{\text{сек}^2}$. При выполнении условия (20) по формуле $v^2 = \frac{\omega_0^2 \cdot a(\alpha_0)}{1 + 2h_1 T}$ находим коэффициент гармонической линеаризации $a(\alpha)$, который позволяет определить отношение амплитуды автоколебаний к зоне линейности, либо к зоне нечувствительности усилителя.

Таблица 2.

$\omega_0^2 \cdot 10^3 \frac{1}{\text{сек}^2}$	20	30	40	50	60
$a(\alpha_0)$	0,45	0,3	0,22	0,18	0,15
v	95 1/сек=15Гц				
$\alpha_0 / \alpha \text{ неч}$	2,25	1,75	1,5	1,4	1,3
$\alpha_0 / \alpha \text{ лцн}$	2,75	4,2	5,7	6,8	8,1

Для выбранных параметров выполняется условие (26) [2], т.е. автоколебания существуют при ограничении выходного напряжения усилителя. Автоколебания в таких системах происходят с постоянной частотой, но с изменением амплитуды при различных коэффициентах ω_0^2 .

ЛИТЕРАТУРА

1. Бодокия Т.Д., Чкадуа Н.В., Гониашвили Э.С. Анализ следящих систем с учетом нелинейности двухфазного исполнительного двигателя.
2. Бодокия Т.Д., Абуладзе В.Ш., Гониашвили Э.С. Чкадуа Н.В. Влияние частоты переменного тока на уравнение движений следящих систем с учетом эксплуатационных особенностей.
3. Боголюбов Н.Н., Митропольский Ю.А. Асимметрические методы в теории нелинейных колебаний. –Москва, Физматгиз, 1988, 447 с.

SUMMARY

TRACKING SYSTEMS WITH NONLINEARITIES OF THE ACTUATING MOTOR

Goniashvili E.S., Vashakidze A.A., Goginashvili N.G. and Chkadua N.V.

Georgian Technical University

The paper deals with the analysis of tracking systems where the condition imposing a constraint on the value of the friction moment is fulfilled. By excluding a corrector, it is possible to obtain self-excited oscillations and to determine their parameters analytically. The coefficient of linear harmonization which allows determining the relationship between the amplitude of self-excited oscillations and the linearity zone or the dead zone of the amplifier was determined.

Keywords: tracking system, actuating motor, nonlinearity, self-excited oscillations, linearharmonization.

СЛЕДЯЩИЕ СИСТЕМЫ С НЕЛИНЕЙНОСТЯМИ В ЭЛЕКТРОННОМ ТРАКТЕ

Гониашвили Э.С., Гогинашвили Н.Г., Вашакидзе А.А., Чкадуа Н.В.

Грузинский технический университет

Для анализа следящей системы в электронном тракте рассмотрим уравнение (12) из [1].

В связи с отысканием периодических решений объединим действительные и мнимые члены левой части уравнения (6), положив $F(\alpha_0) = a(\alpha_0)$.

$$\begin{aligned} X(\alpha_0, \nu) &= -(1 + 2h_1T)\nu^2 + \omega_0^2 a(\alpha_0) = 0; \\ Y(\alpha_0, \nu) &= -T\nu^3 + 2h_1\nu + 2Ha(\alpha_0)\nu = 0. \end{aligned} \quad (1)$$

Совместное решение этих уравнений позволяет определить параметры периодического решения. Из уравнений [1] определим частоту периодического решения:

$$\begin{aligned} \nu^2 &= \frac{2(h_1 + Ha(\alpha_0))}{T}; \\ \nu^2 &= \frac{\omega_0^2 a(\alpha_0)}{1 + 2h_1T}. \end{aligned} \quad (2)$$

Приравняв правые части полученных выражений, определим $a(\alpha_0)$, связывающее амплитуду периодического решения с нелинейностью усилительного устройства через параметры системы:

$$a(\alpha_0) = \frac{2h_1(1 + 2h_1T)}{\omega_0^2 [T - k_k(1 + 2h_1T)]}. \quad (3)$$

Подставив это выражение в (2), [1], получим:

$$\nu = \sqrt{\frac{2h_1}{T - k_k(1 + 2h_1T)}}. \quad (4)$$

Это равенство выполняется при $T > K_k / (1 - 2h_1K_k)$. Следовательно, при $T < K_k / (1 - 2h_1K_k)$ периодических решений не существует. Из формулы (4) видно, что увеличение запаздывания в электронном тракте уменьшает частоту периодического решения.

Для определения устойчивости периодических решений определим составляющие неравенства (9), [1].

$$\left. \begin{aligned} \left(\frac{\partial X}{\partial \alpha_0} \right)^* &= \omega_0^2 \left(\frac{\partial a}{\partial \alpha_0} \right)^*, & \left(\frac{\partial X}{\partial \nu} \right)^* &= -2\nu(1 + 2h_1T), \\ \left(\frac{\partial Y}{\partial \alpha_0} \right)^* &= 2H \left(\frac{\partial a}{\partial \alpha_0} \right)^* \nu, & \left(\frac{\partial Y}{\partial \nu} \right)^* &= -3\nu^2 + 2h_1 + 2Ha. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

$$\text{т.к. } \nu^2 = \frac{2(h_1 + Ha)}{T}, \text{ то } \left(\frac{\partial Y}{\partial \nu} \right)^* = -(h_1 + Ha)$$

Тогда (9) [1] принимает вид:

$$\left(\frac{\partial a}{\partial \alpha_0}\right)^* \omega_0^2 \{v^2 [2k_k(1+2h_1T) - 3T] + 2(Ha + h_1)\} > 0. \quad (6)$$

Конкретизируем нелинейности электронного тракта. Для нелинейности - ограничения выходного сигнала, знак производной $\partial a/\partial \alpha_0$ отрицательный. Следовательно, для удовлетворения неравенства (6) необходимо условие:

$$v^2 [2k_k(1+2h_1T) - 3T] + 2Ha(\alpha_0) + 2h_1 < 0 \quad (7)$$

Тогда критерий (9) выполняется при неравенстве:

$$v > \sqrt{\frac{2Ha(\alpha_0) + 2h_1}{3T - 2k_k(1+2h_1T)}} \quad (8)$$

Для нелинейности - зона нечувствительности усилителя к вводимому сигналу, знак производной $\partial a/\partial \alpha_0$ положительный. В этом случае

$$v^2 [2k_k(1+2h_1T) - 3T] + 2Ha(\alpha_0) + 2h_1 > 0 \quad (9)$$

Следовательно, аналитический критерий выполняется при

$$v < \sqrt{\frac{2Ha(\alpha_0) + 2h_1}{3T - 2k_k(1+2h_1T)}}. \quad (10)$$

Получение уравнений движения, наиболее полно отражающих специфику работы систем и удобных для исследования аналитическими методами, представляет сложную задачу. В некоторых случаях для всестороннего описания динамики системы приходится довольствоваться несколькими уравнениями, раскрывающими поведение системы с учётом нелинейностей электронного тракта, исполнительного двигателя и трения в механической передаче.

Если принять идеализированный момент "сухого трения", величина которого имеет постоянное значение, а знак определяется направлением движения в сторону противоположную движению; то аналитически это можно записать:

$$M_{Tp} = -|M_{Tp}| \text{sign} \dot{\theta} \quad \text{при} \quad \dot{\theta} = 0. \quad (11)$$

В этом случае трение можно представить характеристикой типа "релейной". Гармоническая линеаризация такой нелинейности приводит к виду:

$$F(M_{Tp}) = \frac{4M_{Tp}}{\pi \alpha_0 v} P. \quad (12)$$

Величина момента трения направлена на уменьшение момента, создаваемого исполнительным двигателем. Уравнение относительно переменной θ при величине момента трения, приведённого к валу исполнительного двигателя, принимает вид:

$$T\ddot{\theta} + (1+2h_1T)\dot{\theta} + 2h\dot{\theta} + \omega_0^2\theta = \varepsilon T\ddot{v} + \varepsilon\ddot{v} + 2H\dot{v} + \omega_0^2v - m\text{sign}\dot{\theta} \quad (13)$$

где введено обозначение

$$m = \frac{M_{Tp}}{I_{np}} \quad (14)$$

Уравнение для исследования собственного движения следящей системы с учётом нелинейностей электронного тракта и трения в механической передаче на основании (5), (6) [1], и (12), (13) принимает вид:

$$Tp^3 + (1 + 2h_1T)p^2 + \left(2h_1 + \frac{4M_{Tp}}{\pi\alpha_0 v}\right)p + \omega_0^2 \alpha(\alpha_0) = 0 \quad (15)$$

Для отыскания периодических решений, запишем два уравнения, положив $p = jv$:

$$X(\alpha_0, v) = -(1 + 2h_1T)v^2 + \omega_0^2 \alpha(\alpha_0) = 0 \quad (16)$$

$$Y(\alpha_0, v) = -Tv^3 \left[2h_1 + 2Ha(\alpha_0)\right]v + \frac{4m}{\pi\alpha_0} = 0 \quad (17)$$

Из этих уравнений определим:

$$v^2 = \frac{\omega_0^2 a(\alpha_0)}{1 + 2h_1T} \quad (18)$$

$$v^2 = \frac{2\left[h_1 + 2Ha(\alpha_0)\right] + \frac{2m}{\pi\alpha_0 v}}{T} \quad (19)$$

Приравняв правые части полученных выражений, определим:

$$a(\alpha_0) = \frac{\left(2h_1 + \frac{4m}{\pi\alpha_0 v}\right)(1 + 2h_1T)}{\omega_0^2 [T - K(1 + 2h_1T)]} \quad (20)$$

Подставим (19) в (17), получим:

$$v = \sqrt{\frac{2h_1 + \frac{4m}{\pi\alpha_0 v}}{T - K_k(1 + 2h_1T)}} \quad (21)$$

Параметры периодических решений существуют при

$$T > \frac{K_v}{1 - 2h_1K_k} \quad (22)$$

С увеличением параметра m частота периодического решения увеличивается. Зная параметры системы, можно определить амплитуду периодического решения - коэффициент гармонической линеаризации $a(\alpha_0)$.

Если

$$\frac{4M_{Tp}}{\pi\alpha_0 v} \ll 2h_1, \quad (23)$$

то формулы (20), (21) переходят в (3), (4)

Область существования периодических решений определяется по аналитическому критерию. Для этого запишем частные производные уравнений (16), (17)

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial X}{\partial \alpha_0} &= \omega_{\alpha_0}^2 \left(\frac{\partial a}{\partial \alpha_0} \right)^*, \left(\frac{\partial Y}{\partial \alpha_0} \right)^* = 2Hv \left(\frac{\partial a}{\partial \alpha_0} \right)^* - \frac{4m}{\pi \alpha_0^2}, \\ \left(\frac{\partial X}{\partial v} \right)^* &= -2(1+2h_1T)v, \left(\frac{\partial Y}{\partial v} \right)^* = 3Tv^2 + 2h_1 + Ha \end{aligned} \right\} \quad (24)$$

Для конкретной нелинейности знак $\partial a / \partial \alpha_0$ легко определяется. С увеличением α_0 параметр $a(\alpha_0)$ уменьшается. Аналитический критерий устойчивости периодических решений с учетом нелинейности за счёт ограничения выходного напряжения при наличии трения в механической передаче записывается:

$$\omega_0^2 \frac{\partial a}{\partial \alpha_0} (-3Tv^2 + 2h_1 + Ha) - 2v(1+2h_1T) \left(2Hv \frac{\partial a}{\partial \alpha_0} + \frac{4m}{\pi \alpha_0^2} \right) > 0 \quad (25)$$

при

$$m < \frac{\pi \omega_0^2 \frac{\partial a}{\partial \alpha_0} \alpha_0^2}{8v(1+2h_1T)} \left\{ v^2 [3T - 2K_k(1+2h_1T)] - 2(h_1 + Ha) \right\}. \quad (26)$$

Из физических соображений видно, что область частот, при которой выполняется условие (25), (26) имеет вид:

$$v < \sqrt{\frac{2(h_1 + Ha)}{8v(1+h_1T)}} \quad (27)$$

при

$$T > \frac{2K_k}{3 - 4h_1K_k}. \quad (28)$$

Аналитический критерий устойчивости периодических решений с учётом зоны нечувствительности усилителя при наличии трения в механической передаче записывается:

$$\omega_0^2 \frac{\partial a}{\partial \alpha_0} (2h_1 + 2Ha - 3Tv^2) + 2v(1+2h_1T) \left(2Hv \frac{\partial a}{\partial \alpha_0} - \frac{4m}{\pi \alpha_0^2} \right) > 0, \quad (29)$$

при

$$m < \frac{\pi \omega_0^2 \frac{\partial a}{\partial \alpha_0} \alpha_0^2}{8v(1+2h_1T)} \left\{ v^2 [2K_k(1+2h_1T) - 3T] - 2(h_1 + Ha) \right\}. \quad (30)$$

Область частот при этом ограничена

$$v < \sqrt{\frac{2(h_1 + Ha)}{3T - 2K_k(1+2h_1T)}} \quad (31)$$

выполняется как и неравенство (27) при условии (28).

Следует иметь в виду, что коэффициент гармонической линеаризации $a(\alpha_0)$ в случае нелинейности ограничения выходного напряжения усилителя с ростом амплитуды α_0 уменьшается, в случае же нелинейности типа зоны нечувствительности с ростом амплитуды α_0 увеличивается.

Таким образом, параметры периодических решений в случае нелинейностей усилителя определяются по формулам (3), (4), которые являются параметрами автоколебаний при

выполнении условия (8) в случае ограничения выходного напряжения усилителя и условия (10) в случае учета зоны нечувствительности усилителя.

Исследованная следящая система при учёте двух нелинейностей одновременно: нелинейностей усилителя и момента сухого трения механической передачи показывает, что параметры периодических решений определяются по формулам (20), (21). Эти параметры нелинейных решений являются параметрами автоколебаний при выполнении неравенства (26) для случая ограничения выходного напряжения усилителя, либо при выполнении неравенств (27), (30) для случая нелинейности зоны нечувствительности усилителя. Необходимыми условиями в этом случае является выполнение неравенств (28), (30).

Таким образом, необходимым условием существования периодических решений в системе является условие $T > K_k / (1 + 2h_1 K_k)$, справедливое как для нелинейностей усилителя, так и для двух нелинейностей одновременно - усилителя и момента сухого трения. При этом, достаточные условия, накладывающие ограничение на частоту периодического решения в случае нелинейностей усилителя, становятся необходимыми в случае учёта нелинейностей усилителя и момента сухого трения.

В случае учета нелинейности ограничения выходного напряжения моментом сухого трения усилителя, накладывается ограничение на нижнюю границу частоты периодического решения; в случае нелинейности зоны нечувствительности усилителя - на верхнюю границу частоты периодического решения.

В случае, если параметр m системы больше величины, определяемой соответственно (26) либо (28), то устойчивые периодические решения отсутствуют, т.е. автоколебаний в системе нет. При учёте одновременно двух нелинейностей усилителя - зона нечувствительности и ограничение выходного напряжения полученные формулы справедливы, но вместо коэффициента гармонической линеаризации берётся коэффициент, подсчитанный по формуле [2].

ЛИТЕРАТУРА

1. Чкадуа Н.В., Бодокія Т.Д., Гониашвили Э.С. Особенности следящих систем на подвижных основаниях. //Georgian Engineering News, 2008, № 1, сс.87-91 .
2. Боголюбов Н.Н., Митропольский Ю.А. Асимметрические методы в теории нелинейных колебаний. -Москва: Физматгиз, 1988, 447 с.

SUMMARY

TRACKING SYSTEMS WITH NONLINEARITIES IN THE ELECTRONIC SECTION

Goniashvili E.S., Goginashvili N.G., Vashakidze A.A. and Chkadua N.V.

Georgian Technical University

The paper deals with the analysis of nonlinear tracking systems. The basic task consists in the definition of the amplitude, frequency and conditions of origination of periodic solutions as well as of their stability. The investigations in various complex systems carried out by the method of harmonic linearization of nonlinearities and the correlation of their results with those of mathematical modeling showed quite good compliance. The investigation of the tracking system with simultaneous consideration for two nonlinearities, the nonlinearities of the amplifier and the dry friction moment of mechanical transmission, was performed. It is shown that, in the case of taking into account the nonlinearity of the constraint on the output signal of the amplifier, the constraint is imposed on the lower border of the periodic solution frequency, whereas, in the case of the nonlinearity of the dead zone of the amplifier, - on the upper border of the periodic solution frequency.

Keywords: tracking system, periodic solution, nonlinearity, amplifier, dry friction moment.

იმპულსური ხელშეწყობის ბაზენის ანალიზი მფრინავ სენსორულ ქსელებში

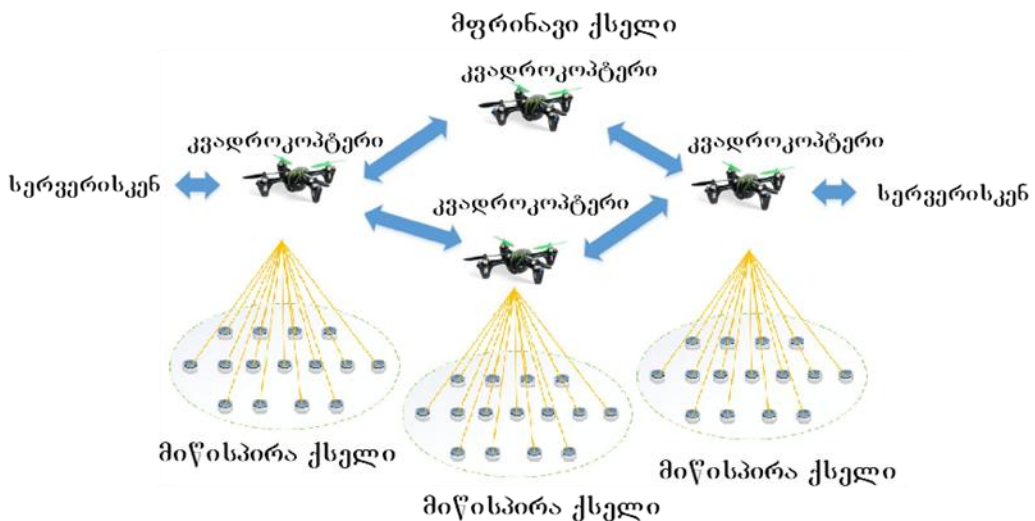
მანარაძე ს.ა., ბერიძე ჯ.ლ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ბოლო რამდენიმე წელია გამოჩნდა სატელეკომუნიკაციო ქსელების ახალი ტიპი, რომელიც შედგება მინიატურული უსადენო მოწყობილობისაგან – სენსორებისაგან, რომლებიც ახდენენ ისეთი ფუნქციების რეალიზებას როგორებიცაა აუცილებელი პარამეტრების გაზომვა, მართვა, კონტროლი, მონიტორინგი. მსგავსი ქსელების დამახასიათებელ განსაკუთრებულობას წარმოადგენს თვითორგანიზება, ენერგოეფექტურობა და სენსორული ველით გარემოს მაქსიმალურად დიდი ტერიტორიის დაფარვა. თავდაპირველად სენსორული ქსელების ორგანიზების ალგორითმები ვარაუდობდა სენსორული კვანძების სტაციონარულ განთავსებას: კვანძის მდგომარეობა არ იცვლებოდა ქსელის მთელი სიცოცხლის ციკლის განმავლობაში. სენსორული ქსელების სფეროს განვითარების შესაბამისად კვანძები გახდა მობილური გადაადგილებადი გარკვეული წესითა და სინქარით, ზოგჯერ ქაოტურად.

დღეს გამოჩნდა ყველგანშედწევადი სენსორული ქსელის ახალი კლასი - მფრინავი სენსორული ქსელები (FUSN, Flying Ubiquitous Sensor Networks) (ნახ.1), რომელიც შედგება მიწისპირა და მფრინავი სეგმენტებისაგან [1]. მფრინავი სენსორული ქსელები მომსახურების ზონის ტერიტორიას გარდაქმნიან ხანგრძლივი ევოლუციის ჰეტეროგენურ სისტემად. ასეთი ქსელების განმასხვავებელი განსაკუთრებულობაა - რამდენიმე სენსორული ველის არსებობა. მონაცემები მიიღება უპილოტო მფრინავი აპარატის (უმა) მიერ მიწისპირა სენსორული ველიდან და გადაეცემა ამ მონაცემების დამუშავების მაღალი რანგის ცენტრებს (სერვერებს).

უპილოტო მფრინავი აპარატები ალჭურვილია თანამედროვე გამზომი მოწყობილობებით, კავშირის საშუალებებით და გამოიყენება როგორც სენსორული ქსელის მობილური კვანძები. ეს კვანძები ურთიერთქმედებენ უსადენო სენსორული ქსელის მიწისპირა სეგმენტთან, აფართოებენ გადასაწვევტი ამოცანების სპექტრს, ამარტივებენ ინფორმაციის შეგროვების პროცესებს და იძლევიან მიწისპირა სეგმენტის ენერჯის ეკონომიას.



ნახ.1. მფრინავი სენსორული ქსელის ტიპური სტრუქტურა

მიწისპირა სეგმენტი შედგება დამოუკიდებელი, ტერიტორიულად განაწილებული, უსადენო სენსორული ქსელების სიმრავლისაგან, რომელთაგანაც ინფორმაცია

გადაეცემა უმა-ს, მაშინ როცა უმა შედის სენსორული კვანძების რადიომილწევის არეში.

ელექტრონიკის განვითარებაში მიღწეულმა წარმატებებმა შექმნა ტექნიკური პირობები, რომ მფრინავი სენსორული ქსელების (მსკ) შემადგენლობაში იყოს დიდი რაოდენობით მობილური კვანძები, რომელთა ზომები შესაბამისია მსკ-ის მიწისპირა სეგმენტის ზოგიერთი კვანძების ზომების. მაგ. მსკ-ის ზოგიერთი მობილური კვანძი იწონის მხოლოდ 27 გრამს. ასეთი კვანძებით შექმნილი ქსელი შეიძლება გამოყენებული იქნას სოფლის მეურნეობაში, მეცხოველეობაში, საყოფაცხოვრებო სისტემების კონტროლისათვის, საგანგებო სიტუაციების პირობებში და სხვა.

მსკ-ის მიწისპირა სტრუქტურის მოდელის ფუნქციონალურ დონეზე გამოიყენება შემდეგი სახის კვანძები: ფუნქციონალური კვანძები (Φ-კვანძები) რომლებიც ახორციელებენ ინფორმაციის შეგროვებას მოცემული კვანძების განთავსების წერტილის მიმდებარე კვანძებიდან; ტრანზიტული კვანძები (T-კვანძები), რომლებიც ასრულებენ მარშრუტიზაციას და რეტრანსლიაციას - Φ-კვანძების მიერ შეგროვებული ინფორმაციის გადაცემას ინფორმაციის შეგროვების ცენტრში (იშც), - კოორდინატორში, მისი შემდგომი გადაცემისათვის ინფორმაციის დამუშავების იერარქიულად ზემდგომი დონეებისაკენ. სწორედ ამ ეტაპზე - კოორდინატორიდან ზემდგომი დონისაკენ - ინფორმაციის გადაცემას ემსახურება უმა.

მსკ-ის აგების პროცესი საკმაოდ რთულია. ცალკეული ამოცანების გადაწყვეტისათვის ამჟამად შემუშავებულია მეთოდები და ალგორითმები, თუმცა თვით პროცესი არაა ფორმალურიზებული მკაცრი წესების ნაკრების სახით.

უმა-ს მიწისპირა სენსორული ქსელის რადიომილწევის არეში ყოფნის ხანგრძლივობა ძალზე შეზღუდულია. ამიტომ ინფორმაციის შეგროვებისა და გადაცემის მარშრუტების ოპტიმიზაცია პირველი რიგის ამოცანას წარმოადგენს [2]. გარდა ამისა ძალზე მნიშვნელოვანია FUSN ქსელებისათვის დამახასიათებელი, გარე ზემოქმედების მადესტაბილიზებული ფაქტორები და ხელშეშლამდგრადობა, ასეთი ზემოქმედების მიმართ [3]. ერთერთ ასეთ ფაქტორს წარმოადგენს ზემოკლე ელექტრომაგნიტური იმპულსები (ზემი) და სივრცეში გავრცელებული შესაბამისი ელექტრომაგნიტური ველი. ხელშეშლამდგრადობის ქვეშ იგულისხმება FUSN-ის შესაძლებლობა შეასრულოს მოცემული ფუნქციები ზემოკლე იმპულსური ხელშეშლების არსებობისას.

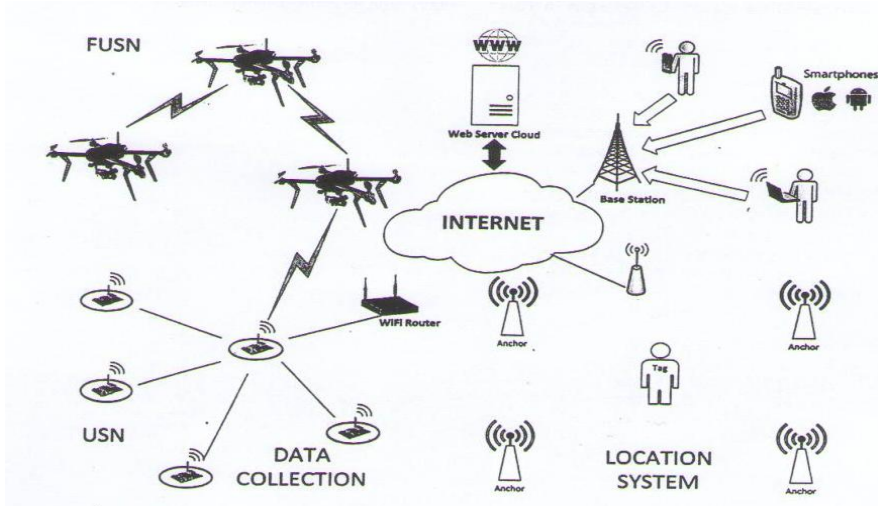
FUSN-ზე ზემი-ს ზემოქმედება განისაზღვრება მისი სტრუქტურული განსაკუთრებულობებით, რომელსაც შეიძლება მიეკუთვნოს იმ აპარატურული საშუალებების განაწილებული არქიტექტურა, რომლებიც მონაწილეობენ ინფორმაციულ გაცვლაში (კოორდინატორი, მარშრუტიზატორი, სენსორული კვანძი). FUSN-ზე ზემი-ს უფრო ნამდვილ გამოვლენას წარმოადგენს კავშირის წყვეტა და მომსახურებაზე უარის თქმა, რომელიც წარმოიშვება სენსორულ კვანძებში კავშირის დარღვევისას და ასევე კავშირის არსებით ინფორმაციის გაცვლისას.

კავშირის წყვეტები და მომსახურებაზე უარის თქმა ვლინდება კვანძების არასაშტატო რეჟიმში გაღვიძებისას, გადამწოდების განგაშით ამუშავებისას და ინფორმაციის დამახინჯებით გადაცემისას. ამგვარად ირღვევა როგორც FUSN ელემენტების ფუნქციონირება, ასევე მთლიანი ქსელის, რაც საშუალებას არ იძლევა გადაწყდეს მონაცემთა შეგროვებისა და დამუშავების დასმული ამოცანები.

FUSN-ში ზემი-ს ზემოქმედებისადმი ხელშეშლამდგრადობის ამაღლების ერთერთ გზას წარმოადგენს კონსტრუქციაში ისეთი სპეციალური დაცვის აპარატურულ-პროგრამული მეთოდებისა და საშუალებების გამოყენება, როგორცაა ფართოზოლოვანი ფილტრები, მონაცემთა გადაცემისას სიჭარბის შეტანა და სხვა [3].

დაეუშვათ მოცემულია მიწისპირა სეგმენტის სტრუქტურა FUSN გრაფის სახით $G(V,E)$, სადაც $V = \{\delta\}$ - ქსელის კვანძების, ხოლო $E = \{e_{k,i}\}$ - კავშირის ხაზების სიმრავლეებია, რომლებითაც ხორციელდება უშუალოდ ინფორმაციის გადაცემა (ნახ.2). მოცემულ შემთხვევაში FUSN წარმოადგენს ინფორმაციის დამუშავების იერარქიულ ერთრანგიან ქსელს მწარმოებლობით $\Pi = \{\Pi_i\}$. ქსელში მუშავდება r -ტიპის

განაცხადი $B = \{b_q\}$, ($q = 1 \dots r$) რომლებიც შეიძლება გადაიცეს კვანძებს შორის. ყოველი ტიპის განაცხადისათვის მოცემულია გამოთვლების მოცულობა $O = \{o_q\}$. კავშირის არხის გამტარუნარიანობა აღვნიშნოთ სიმრავლით - D . მოცემულია კვანძებს შორის შეტყობინების გადაცემის ინტენსივობის მატრიცა $H = \|h_{ij}\|$.



ნახ.2. FUSN მიწისპირა სეგმენტის სტრუქტურა

ქსელის საერთო გამტარუნარიანობა ხასიათდება გარე ნაკადების ჯამური სიდიდით, რომელსაც გადასცემს ქსელი და გამოითვლება:

$$H_{\Sigma} = \sum_i \sum_j h_{i,j} \tag{1}$$

იმ პირობებით, რომ $T^q \leq T_{მოც}$, $q = 1 \dots r$

T^q და $T_{მოც}$ q -ური ტიპის განაცხადის დამუშავების საშუალო და მოცემული დროა.

FUSN ფუნქციონირების პროცესში კავშირის კვანძებზე და არხებზე იმოქმედებს ზემეში, რაც წარმოქმნის ელექტრომაგნიტურ გარემოს, პარამეტრების სიმრავლით $\Theta = \{\lambda_n, P_n, E_n, \tau_n, \Delta F\}$, სადაც λ_n - ზემოქმედების ნაკადის ინტენსივობაა; P_n - ელექტრომაგნიტური იმპულსის სიმძლავრე; E_n - ხელშეშლების სპექტრი; τ_n - ზემოქმედების ხანგრძლივობა; ΔF - სისწორული დიაპაზონი.

ხელშეშლამდგრადობის მანვენებლად გამოვიყენოთ ეფექტურობის შენახვის კოეფიციენტი K_{ce} , რომელიც ახასიათებს FUSN გამტარუნარიანობის შემცირებას ხელშეშლების ზემოქმედებით კერძოდ, განვსაზღვროთ:

$$K_{ce} = \frac{H_{\Sigma}^{\Pi}}{H_{\Sigma}} \tag{2}$$

$H_{\Sigma}^{\Pi} - H_{\Sigma}$ განაცხადების ჯამური ნაკადია, რომელიც დამუშავდება FUSN-ში ზემეში-ს ზემოქმედებისას და არარსებობის პირობებში შესაბამისად.

K_{ce} მაჩვენებლის ამადლებისათვის არსებობის ზემი-ს ზემოქმედებისაგან დაცვის საშუალებების სიმრავლე $M = \{m_j\}, j = i, \dots, 1$ რომელთაგანაც თითოეული ხასიათდება მახასიათებლების სიმრავლით $m = \{w_y\}, y = i \dots u$, თუ ცნობილია დანახარჯები j -ური საშუალების შემუშავებაზე C_j . თითოეული საშუალება შეიძლება გამოყენებული იქნას ქსელის ნებისმიერ კვანძში, მაშინ მიღებული იქნება ქსელის ხელშეშლამდგრადობის მაჩვენებლის K_{ce} ნაზრდი ΔK_{cej} j -ური დაცვის საშუალების გამოყენების ხარჯზე - $\Delta K_{cej} = f\{\Delta K_{cej}(n, x)\}, i = 1, j = 1, e; \Delta K_{ij}$ - i -ური კვანძის K_{ce} -ს ნაზრდია მასში j -ური საშუალების გამოყენების ხარჯზე. $n\{G(V, E), O, \Pi, D, B, E, M\}$ - FUSN-ის მახასიათებლების, ელექტრომაგნიტური გარემოს და დაცვის საშუალებების სიმრავლეა.

ვთქვათ, $X = \{x_{ij}\}$ - ორობითი ცვლილების მატრიცაა, რომელშიც

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, \text{თუ ქსელის } j = \text{ურ კვანძში გამოიყენება } i - \text{ური საშუალება;} \\ 0, \text{თუ არ გამოიყენება} \end{cases}$$

ამ საწყისი მონაცემებისათვის ამოცანა შეიძლება ფორმულირებული იქნას ასე: განისაზღვროს ისეთი მატრიცა

$$C = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M C_{ij} X_{ij}^* \rightarrow \min, \quad (3)$$

შეზღუდვისას

$$K_{ce} = K_0 + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \Delta K_{ij}(n, x^*) \geq K_{ce}^{მოც} \quad (4)$$

$K_0, K_{ce}^{მოც}$ FUSN-ის მდგრადობის საწყისი და მოცემული მნიშვნელობებია, (3)

და (4) გამოსახულებებით K_0 და $K_{ce}^{მოც}$ მნიშვნელობების განსაზღვრა წარმოადგენს ოპტიმიზაციის ამოცანას მთელი რიცხვიანი პროგრამირებისას. მსგავსი ამოცანების გადასაწყვეტად შემუშავებული ოპტიმიზაციის მეთოდები მოყვანილია [4].

დღეისათვის K_{ce} -ს გაზრდის ანგარიში ზემი-ს ზემოქმედებისაგან დაცვის საშუალების გამოყენებით თითქმის შეუძლებელია. ეს განპირობებულია იმით, რომ ჯერ ერთი არ არსებობენ ანალიტიკური დამოკიდებულებები ამ ორ მახასიათებელს შორის და მეორე - გამოთვლების პროგრამული რეალიზაცია გამოთვლითი პროცედურების უსაზღვროდ დიდი რაოდენობის გამო პრაქტიკულად შეუძლებელია.

ამრიგად, ზემი-ს მოქმედება იწვევს კავშირის წყვეტას და მომსახურებაზე უარების მაღალ პროცენტულ მაჩვენებლებს. ამასთანავე უპილოტო მფრინავი აპარატების გამოყენების თავისებურება, რაც გამოიხატება მომსახურების დროის შეზღუდულობაში, შესამჩნევად ზღუდავს FUSN ქსელების გამოყენების არეალს - მათი გამოყენება მიზანშეწონილია პაკეტური გადაცემის პირობებში, დაყოვნებებისადმი ტოლერანტულ ქსელებში.

FUSN-ქსელში ზემი-ს მოქმედებით გამოწვეული ხელშეშლამდგრადობის შემცირების განსაზღვრისათვის საჭიროა შეფასებული იქნას ამ იმპულსების ზემოქმედებისაგან (ელექტრომაგნიტური გარემოსაგან) დაცვის საშუალებების ეფექტურობა თითოეულ კვანძზე. დაცვის საშუალებების ეფექტურობის შეფასებისათვის საჭიროა თითოეულ კვანძზე თითოეული დაცვის საშუალების გამოყენების ეფექტურობის მატრიცული წარმოადგენა და დანახარჯების მინიმიზაცია ოპტიმიზაციის პროგრამული მეთოდების გამოყენებით. გამოთვლების რეალიზებად

ჩარჩოებში მოქცევისათვის შესაძლებელია ოპტიმიზაციის ამოცანა დაყვანილი იქნას ხელშეშლამდგრადობის ამა თუ იმ საშუალების რეალიზაციისათვის დანახარჯების (C) მინიმიზაციაზე.

ლიტერატურა

1. Ч.З. Динь, Р.В. Киричек, А.И. Парамонов, А.Е. Кучерявый. Имитационная модель инсталляции сенсоров с квадрокоптера на заданной территории, Информационные технологии и телекоммуникации, №2, 2015, сс. 93-100.
2. А.Е. Кучерявый, А.Г. Владыко, Р.В. Киричек. Теоретические и практические направления исследований в области летающих сенсорных сетей. //Электросвязь, №7, 2015, сс. 9-11.
3. А.А. Разумов, Р.В. Киричек. Исследование устойчивости фрагмента летающей сенсорной сети к воздействию сверхкоротких Электромагнитных импульсов. //Электросвязь, №9, 2015, сс. 15-17.
4. Л.Г. Раскин. Анализ сложных систем и элементы теории оптимального управления. -М.: Сов радио, 1976, 344с.

SUMMARY

ANALYSIS OF THE EFFECT OF PULSED INTERFERENCE IN FLYING SENSOR NETWORKS

Makharadze S.A. and Beridze J.L.

Georgian Technical University

The paper deals with the role of sensor networks in modern telecommunications. Prominence is given to so-called flying sensor networks, cooperative networks employing theterrestrial segments and unmanned aerial vehicles (UAV),The effect of ultrashort pulsed interference on the network bandwidth is discussed. The algorithms improving the interference resistance of the network under the conditions of ultrashort pulsed interference were developed.

Keywords: sensor network, unmanned aerial vehicles, coordinator, routing, sensor node, interference resistance, bandwidth.

ჰეტიროგენულ ქსელებში აბონენტთა მობილურობის პროცენტის
თავისებურებებისა და ალგორითმების ანალიზი

ძოწენიძე გ.გ., მურჯიკელი გ.გ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

საზოგადოდ, რადიოკავშირის ტექნოლოგიებმა ფართო გამოყენება ჰპოვა მთელს მსოფლიოში. აქედან გამომდინარე, ძალიან მნიშვნელოვანია, რომ თითოეული გეოგრაფიული ადგილი დაფარულ იქნას ერთზე მეტი რადიოტექნოლოგიით. რადიოტექნოლოგიების რაოდენობა თითოეულ ადგილას ნავარაუდებია, რომ გაიზრდება, რადგან დღით-დღე იზრდება Wi-Fi ტექნოლოგიის დანერგვის ტრენდი, ფართოდ მიმდინარეობს 4G ქსელის ინტეგრაცია და განვითარება. კონკრეტულ ერთ წერტილში აბონენტისთვის ხელმისაწვდომი იქნება რამდენიმე ტექნოლოგია. ტექნოლოგიებთან წვდომის შესაძლებლობა მოწყობილობებში შეზღუდულია, იმის მიხედვით თუ რომელი რადიომხარდაჭერით ფუნქციონირებს მობილური მოწყობილობა. იმის მერე რაც მომხმარებელი აირჩევს რადიოქსელს, თითოეული ქსელი ცდილობს, რომ მომხმარებელს მოემსახუროს საუკეთესო პირობებით. ლოკალიზებული რესურსის გამოყოფის მეთოდი, ძირითადად არ წარმოადგენს ოპტიმალურ ვარიანტს ვიდრე ცენტრალიზებული მართვის სისტემის მიერ მიღებული გადაწყვეტილება. ეფექტურობა იზრდება იმ შემთხვევაში, როცა რესურსის მენეჯმენტის პროცესი ერთობლივად ითვალისწინებს რესურსის განაწილებას ტექნოლოგიებს შორის და ოპტიმალურად იყენებს მრავალტექნოლოგიან ქსელს. ქსელის მაღალი ხელმისაწვდომობისა და სპექტრული ეფექტურობის მისაღწევად საჭიროა კოგნიტური მოწყობილობების გამოყენება და რესურსის გამოყოფის კონტროლის გლობალურ დონეზე იმპლემენტაცია. მნიშვნელოვანი ძალისხმევაა საჭირო იმისათვის, რომ მოხდეს რესურსის გამოყოფის პროცესის ერთობლივი ოპტიმიზაცია ფიჭურ ან WLAN სისტემებში რათა შედეგად იქნას მიღებული ქსელის საიმედოობა, ეფექტურობა და ენერჯის ოპტიმალური მოხმარება. მნიშვნელოვანი სამუშაოები მიმდინარეობს ქსელის არჩევის პრობლემასთან დაკავშირებით, სადაც განხილულია მეთოდები რომლის საშუალებითაც მობილური მოწყობილობა განსაზღვრავს თუ როდის უნდა განხორციელდეს ვერტიკალური მობილობა და რომელ ტექნოლოგიებს შორის.

რამდენიმე ტექნოლოგიის მხარდამჭერი მოწყობილობებისათვის, ქსელის შერჩევის ალგორითმები, რომელთა საშუალებითაც მიიღწევა ოპტიმალური სერვისის მიწოდება, იყოფიან შემდეგ კატეგორიებად:

- ა) ალგორითმები გადაწყვეტილების ფუნქციაზე დაფუძნებული სტრატეგიით;
- ბ) ალგორითმები მომხმარებელზე ცენტრალიზებული სტრატეგიით;
- გ) ალგორითმები რამდენიმე თვისების გამოყენებაზე დაფუძნებული სტრატეგიით;

დ) ალგორითმები ბუნდოვან ლოგიკაზე დაფუძნებული სტრატეგიით.

საზოგადოდ, გადაწყვეტილების მიღების დროს, ყველა სტრატეგია იყენებს რიგ თვისებებს, რომლებიც დაკავშირებულია მობილურ მოწყობილობასთან ან სერვისის მომწოდებელთან.

მობილური მოწყობილობის თვისებები მოიცავს: თითოეული მომხმარებლის მიერ მიღწევად გამტარუნარიანობას, ელ.კვების წყაროს სიციცხლისუნარიანობას და სერვისის ხარისხის ისეთ მაჩვენებლებს, როგორცაა, პაკეტების დანაკარგები, პაკეტების დაყოვნება და პაკეტების კანკალი ანუ ჯიტერი.

სერვისის მომწოდებლის თვისებებში შედის: დატვირთვის ბალანსირება, გამტარუნარიანობა, ღირებულება თითოეულ გადაცემულ ბაიტზე და ჯამური შემოსავალი.

გადაწყვეტილების ფუნქციაზე დაფუძნებული სტრატეგია იყენებს შეწონილ ფუნქციას, რომელიც აერთიანებს ორივეს - მომხმარებლის და სერვისის მომწოდებლის თვისებებს.

მომხმარებელზე ცენტრალიზებული სტრატეგია ფოკუსირებულია მომხმარებლის ერთ ან მეტ მოთხოვნაზე, რათა აირჩიოს მომსახურე ქსელი. გადაწყვეტილების მიღების მულტი-თვისებიანი სტრატეგია უმკლავდება პრობლემებს, რომელთა გადაწყვეტა დაკავშირებულია ალტერნატივების შერჩევაზე.

რამდენიმე რადიოტექნოლოგიის თანაარსებობა ქმნის ჰეტეროგენულ ქსელს. იმ შემთხვევაში, თუ თითოეული ტექნოლოგია იმუშავებს დამოუკიდებლად (იგულისხმება რადიორესურსის მენეჯმენტი) ქსელის დონეზე მწარმოებლურობა არც თუ ისე სახარბიელო იქნება. მაღალი შედეგების მისაღებად აუცილებელია, რადიოტექნოლოგიების ერთობლივი მენეჯმენტი, რომელიც შესაძლებელია განხორციელდეს რესურსის გლობალური GRC (Global Resource Controller) მაკონტროლებლის საშუალებით. ამასთან, უნდა აღინიშნოს, რომ ქსელში აღნიშნული კვანძის შემოტანა ქმნის გარკვეულ პრობლემებს, კერძოდ, წარმოშობს ზედნადებს (Overhead) და მომხმარებლის მოწყობილობის მიერ ენერჯის დანახარჯის მატებას. მაგრამ ამავდროულად მივიღებთ შემდეგ უპირატესობებს: კავშირის გაწყვეტის ალბათობის შემცირებას, ტრაფიკის ოპტიმალურ და პრიორიტეტიზებულ მომსახურებას, გადატვირთვების შემცირებას, როგორც საქსელო, ასევე თითოეული რადიოტექნოლოგიის დონეზე. ნავარაუდებია, რომ მობილური მოწყობილობა არის რამდენიმე ტექნოლოგიის მხარდაჭერით და საშუალებას აძლევს მომხმარებელს, ნებისმიერ დროს ისარგებლოს ნებისმიერი ხელმისაწვდომი ტექნოლოგიით.

ჩვენს მიერ დამუშავებულ იქნა რადიოტექნოლოგიების ერთობლივი მენეჯმენტის მოწყობილობის ალგორითმები, რომლის საშუალებით შესაძლებელია დაჩქარდეს მობილობის პროცესი, შემცირდეს მობილური მოწყობილობის მიერ ენერჯის მოხმარება და ასევე შემცირდეს გადატვირთვების ალბათობა.

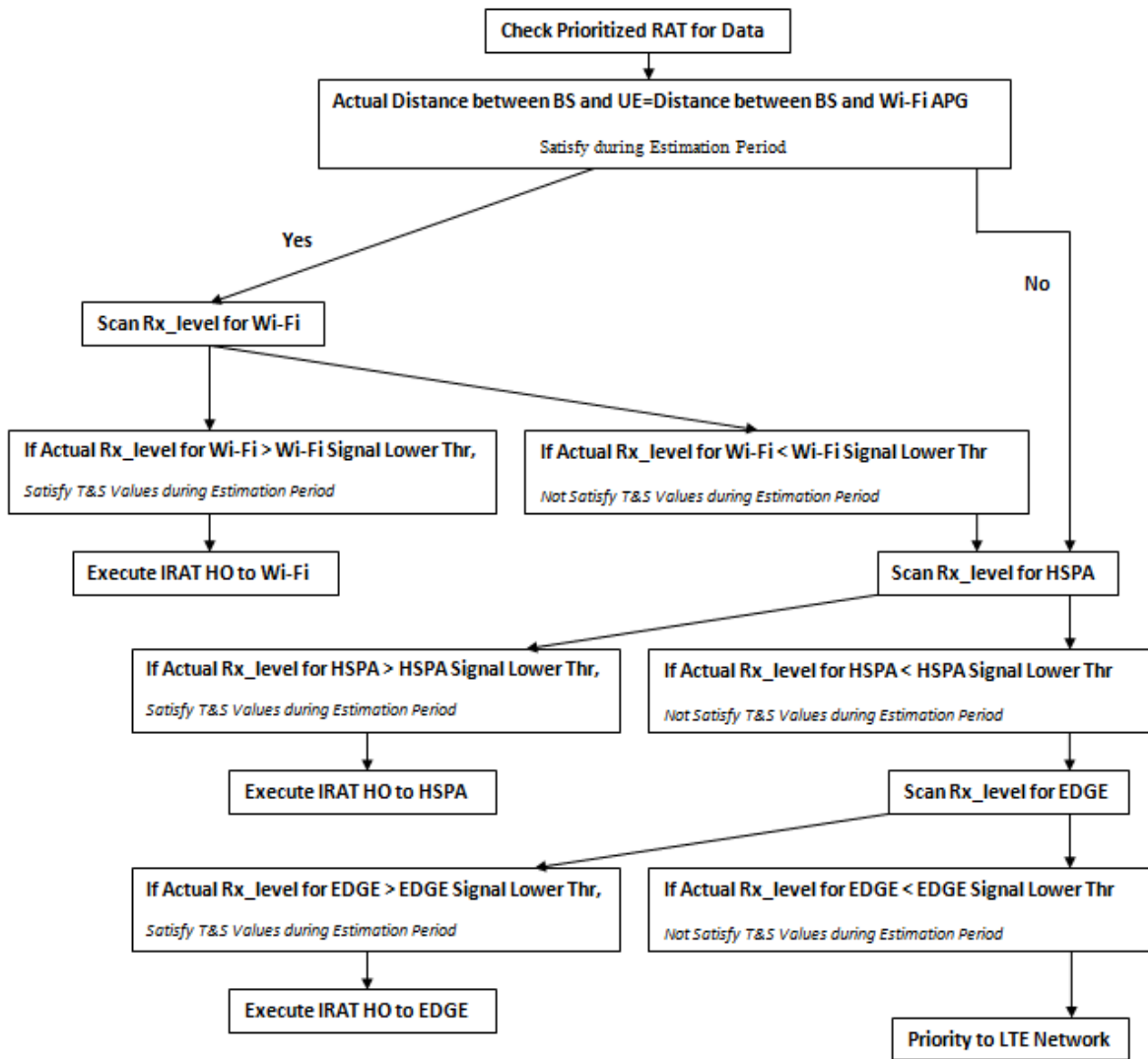
იმისათვის, რომ გამოყენებულ იქნას შემოთავაზებული ალგორითმები, საჭიროა განხორციელდეს გარკვეული ცვლილებები, როგორც ჰეტეროგენული ქსელის მხარეს, ისე მობილური მოწყობილობის მხარეს. კერძოდ, მობილური UE მოწყობილობის მხარეს ჩართული უნდა იყოს 2G/3G/4G/WLAN ტექნოლოგიების ავტომატურად დასკანირების ფუნქცია.

ხოლო ქსელის მხარეს:

- საჭიროა განხორციელდეს რესურსის გლობალური კონტროლი GRC კვანძის საშუალებით;
- შეიცვალოს საკონტროლო მესიჯების ბლოკი (SIB, MIB);
- შეიცვალოს საკონტროლო და სასიგნალო მესიჯების ნაკადების მიმართულება;
- საჭიროა განხორციელდეს სხვა დამატებითი პარამეტრული და ფუნქციური ცვლილებები.

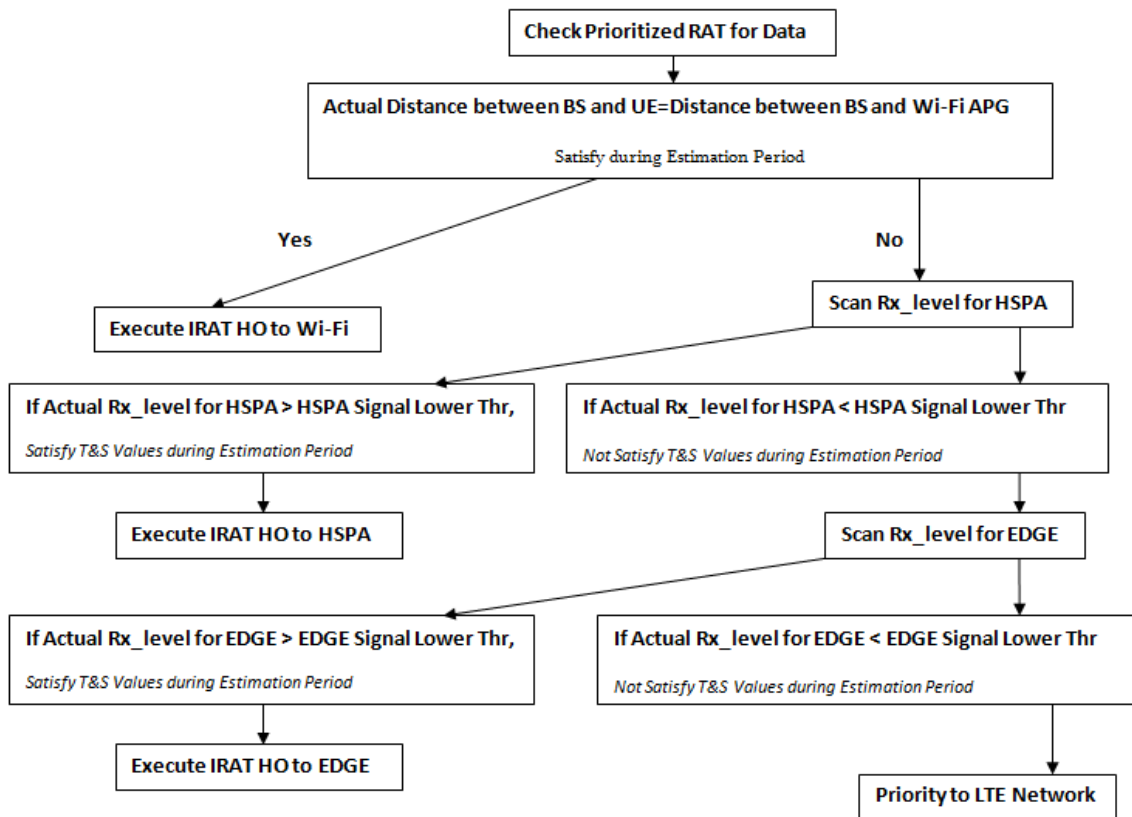
შემოთავაზებული ალგორითმი წარმოდგენილია LTE ტექნოლოგიის მაგალითზე, როდესაც აღნიშნული ტექნოლოგიის შიგნით წარმოიშობა გადატვირთვა და მოცემული ვითარებიდან გამომდინარე რეკომენდირებულია გარკვეული მოცულობის მონაცემთა ტრაფიკის გადასროლა სხვა რადიოტექნოლოგიაზე. მონაცემთა ტრაფიკისთვის მაღალპრიორიტეტულ ტექნოლოგიას WLAN-ი წარმოადგენს. სხვა ტექნოლოგიებთან შედარებით WLAN ტექნოლოგია მონაცემთა გადაცემის სიჩქარის თვალსაზრისით აკმაყოფილებს LTE ტექნოლოგიის მომხმარებლის მოთხოვნას, სწორედ ამიტომ აღნიშნულ ტექნოლოგიას ენიჭება მაღალი პრიორიტეტი. ალგორითმი №1-ის მიხედვით (ნახ.1), მობილური მოწყობილობა WLAN ქსელს იმ შემთხვევაში დაასკანირებს თუ მას წინასწარ ეცოდინება მოცემულ არეალში არის თუ არა აღნიშნული ტექნოლოგიის დაფარვა. ამ ინფორმაციას მომსახურე LTE ქსელი სისტემური საინფორმაციო ბლოკების საშუალებით აწვდის მობილურ მოწყობილობას. საინფორმაციო ბლოკები შეიცავს TA (Timing Advance) გაზომვებზე დაყრდნობილ მონაცემებს, რომლის საშუალებითაც მობილური მოწყობილობა ღებულობს ინფორმაციას, რომ იგი იმყოფება WLAN ქსელით დაფარულ ტერიტორიაზე და იწყებს სკანირებას. თუ Wi-Fi-ს სიგნალის დონე აღემატება დასაშვებ ზღვარს, მაშინ განხორციელდება მობილობა აღნიშნულ ტექნოლოგიაზე.

საჭიროა ოპერატორმა შეიმუშაოს აკურატული გეგმა, სადაც ზუსტად იქნება განსაზღვრული თითოეული ტექნოლოგიის დაფარვის არეალი და საზღვრები.



ნახ.1. მობილობის პროცედურის გაუმჯობესებული ალგორითმი №1

იმისათვის, რომ დაჩქარდეს მობილობის პროცედურის განხორციელება LTE ქსელიდან WLAN ქსელზე, ასევე დაზოგილ იქნას აბონენტის მოწყობილობის ენერჯია, ქვემოთ შემოთავაზებული ალგორითმი №2-ით (ნახ.2) შესაძლებელია ე.წ. „ბრმა“ მობილობის განხორციელება. ეს ალგორითმი არ ითვალისწინებს სიგნალის დონის შეფასებას და მობილობის განხორციელებისას იგი ეყრდნობა სისტემური ინფორმაციის ბლოკების მეშვეობით მიღებულ TA (Timing Advance) გაზომვების შედეგად წარმოდგენილ მონაცემებს. რა თქმა უნდა, არის იმის ალბათობა, რომ მობილური მოწყობილობის გადართვა შესრულდეს ისეთ WLAN სადგურზე, რომლის სიგნალი სუსტია და შედეგად მივიღოთ სერვისის ხარისხის გარკვეულწილად გაუარესება ცალკეული მომხმარებლებისთვის. ამ ალგორითმის გამოყენება დასაშვებია მხოლოდ იმ შემთხვევაში, როდესაც LTE ქსელში არის გადატვირთვების მაღალი დონე და აუცილებელია ქსელის ოპერატიული განტვირთვა, მისი ფუნქციონირების შენარჩუნების მიზნით.



ნახ. 2. მობილობის პროცედურის გაუმჯობესებული ალგორითმი №2

შემოთავაზებული ალგორითმების საშუალებით, შესაძლებელია ტექნოლოგიის შიგნით არსებული გადატვირთვების შემცირება, ტრაფიკის სხვა ტექნოლოგიებზე გადანაწილების გზით, ამავდროულად მცირდება მობილობის პროცედურის ხანგრძლივობა და იზრდება მობილური მოწყობილობის კვების წყაროს სიცოცხლისუნარიანობა. აღნიშნული უპირატესობებიდან გამომდინარე შესაძლებელია, როგორც ჰეტეროგენული ქსელის, ასევე მასში შემავალი ცალკეული ტექნოლოგიის დონეზე მწარმოებლურობის ამღლება.

ლიტერატურა

1. Qian F., Wang Z., Gerber A., Mao Z. M., Sen S. and Spatscheck O. Characterizing Radio Resource Allocation for 3G/4G Networks, IMC, 2010.
2. Qian F., Wang Z., Gerber A., Mao Z. M., Sen S. and Spatscheck O. A Close Examination of Performance and Power Characteristics of 4G Networks, Mobisys., 2012.
3. Jorgueski L., Prasad R., Overview of Radio Resource Management (RRM) Issues in Multi-Radio Access Systems. /7th European Conference on Wireless Technology, 2004, pp. 97-100.

SUMMARY

ANALYSIS OF SUBSCRIBERS’ MOBILITY PROCEDURE CHARACTERISTICS AND ALGORITHMS IN HETEROGENEOUS NETWORKS

Dzotsenidze G.V. and Murjikneli G.G.

Georgian Technical University

The paper deals with the analysis of subscribers’ mobility procedure characteristics. There is offered an improved algorithm by which it is possible to make faster the mobility procedure between different radio access technologies, to reduce mobile device power consumption and to minimize congestion in the network.

Keywords: LTE, radiotechnology, WLAN, traffic, network

LTE ქსელების მწარმოებელურების ამაღლება საზოგადოებრივ ტრანსპორტში
ბანთაშვსებში მცირე ზომის მოძრავი საბაზო სადგურების საფუძველზე

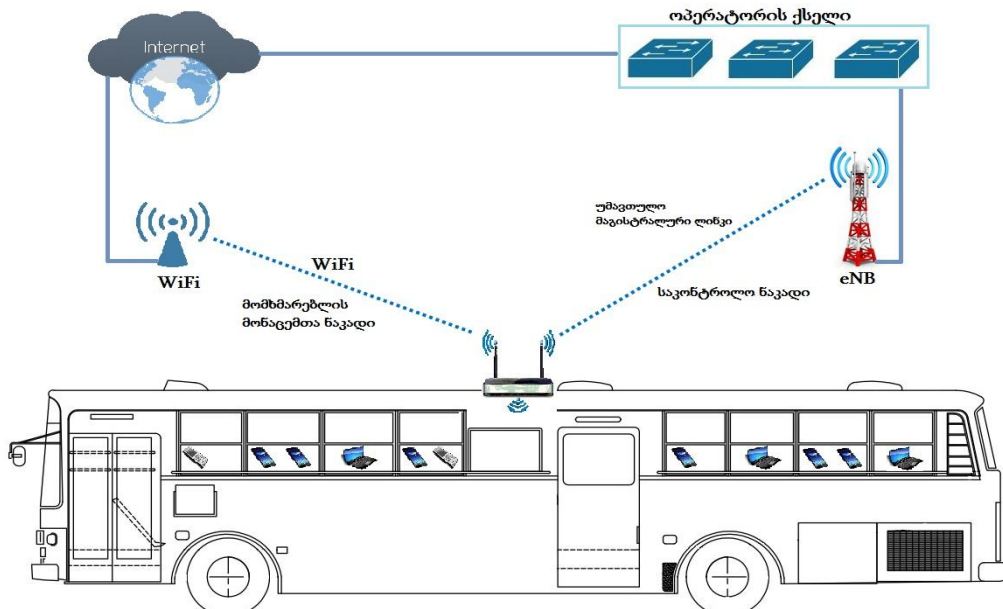
ძოწენიძე გ.გ., მურჯიკელი გ.გ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

მობილური კავშირგაბმულობის მომხმარებლების მზარდი მოთხოვნის დასაკმაყოფილებლად განუწყვეტლივ ვითარდება ქსელების შესაძლებლობები და ინერგება ახალი სტანდარტები. მობილური ოპერატორებისათვის უმნიშვნელოვანეს გამოწვევას წარმოადგენს ქსელის დაფარვისა და ტევადობის გაზრდის პრობლემები. დღესდღეობით, LTE ტექნოლოგია, რომელიც წინამორბედ ტექნოლოგიებთან შედარებით მომხმარებლებს სთავაზობს მონაცემთა გადაცემის ზემაღალ სიჩქარეებს, დგას მის მფლობელობაში არსებული რესურსების ამოწურვის პრობლემის წინაშე.

ფიჭური ქსელის ოპერატორები მაკრო და მცირე ზომის საბაზო სადგურების გამოყენებით ჰქმნიან მაღალი მწარმოებელურების LTE ქსელებს. შენობის შიგნით მცირე ზომის ფიჭების გამოყენება წარმოადგენს საუკეთესო გადაწყვეტილებას ქსელის დაფარვასთან და ტევადობასთან დაკავშირებული პრობლემების აღმოფხვრის თვალსაზრისით. სერვისის ხარისხის გასაუმჯობესებლად უკვე ბევრმა ოპერატორმა დაიწყო მცირე ზომის ფიჭების გამოყენება ხალხმრავალ ადგილებში. მიმდინარეობს კვლევები მცირე ზომის მოძრავი საბაზო სადგურების გამოყენებასთან დაკავშირებით. საზოგადოებრივ ტრანსპორტში დამონტაჟებული ასეთი ფიჭები შექმნიან ლოკალურ დაფარვას ტრანსპორტის შიგნით.

მცირე ზომის მოძრავი საბაზო სადგურების გამოყენებასთან დაკავშირებული კვლევები წარმოდგენილია რამდენიმე ნაშრომში [1-4], მაგრამ აღნიშნული მეთოდის გამოყენების ეფექტურობასთან და მწარმოებელურობასთან დაკავშირებული კითხვები ჯერ კიდევ არსებობს.



ნახ.1. ახალი მიდგომის გამოყენება LTE ქსელში

იმ მომხმარებლების რაოდენობა, რომლებიც მობილურ მოწყობილობას აქტიურად იყენებენ საზოგადოებრივი ტრანსპორტით გადაადგილების დროს, ექსპონენციალურად იზრდება. შესაძლოა ასეთ მომხმარებელს სერვისი სათანადო ხარისხით ვერ მიეწოდოს, სიგნალის ცუდი დონის ან შეზღუდული რესურსის გამო, რომელიც გამოწვეულია სიგნალის კარგვით და დოპლერის ეფექტით, რომელთა მიხედვით წარმოადგენს ტრანსპორტის გადაადგილება მნიშვნელოვანი სიჩქარით, ასევე მობილურ მოწყობილობასა და მაკრო საბაზო სადგურს შორის დიდი მანძილი.

ჩვენს მიერ გამოკვლეულ იქნა საზოგადოებრივ ტრანსპორტში მცირე ზომის მოძრავი საბაზო სადგურების დანერგვით მოსალოდნელი პოტენციური მწარმოებლურობა. ნაგარაუდებია, რომ მცირე ზომის საბაზო სადგური განთავსებულია ავტობუსში, რათა მოემსახუროს მგზავრებს, ხოლო სახურავზე განთავსებული მიმღებ-გადამცემით იგი დაუკავშირდება მაკრო საბაზო სადგურს. მოძრავი სადგური ახდენს ტრაფიკის აგრეგაციას მაკრო სადგურის აღმაგულ და დადმაგულ ლინკზე (ნახ.1).

ანალიზისთვის შერჩეულ იქნა მწარმოებლურობის შესაფასებელი ორი მეტრიკა PEP (Pairwise Error Probability) და OP (Outage Probability), რათა შეფასებულ იქნას სერვისის ხარისხი და მობილური მოწყობილობის ენერჯის მოხმარება. ჩატარებულ იქნა კვლევა, რომლის საფუძველზე მიღებულ იქნა შემდეგი შედეგები:

- შემთავაზებულია მობილური მცირე საბაზო სადგურის მხარეს წინასწარი კოდირების ვარიანტი, რომელიც საშუალებას იძლევა თავიდან იქნას აცილებული სატრანსპორტო საშუალების გარეთ მიღებარე საბაზო სადგურიდან მიღებული ხელისშემშლელი სიგნალის გავლენა.

- განხორციელდა PEP და OP მეტრიკების დეტალური ანალიზი.

- სიმულატორის გამოყენებით შედარდა მცირე ზომის მოძრავი სადგურის გამოყენებით მიღებული შედეგები სტანდარტული მეთოდით სიგნალის გადაცემის ვარიანტთან.

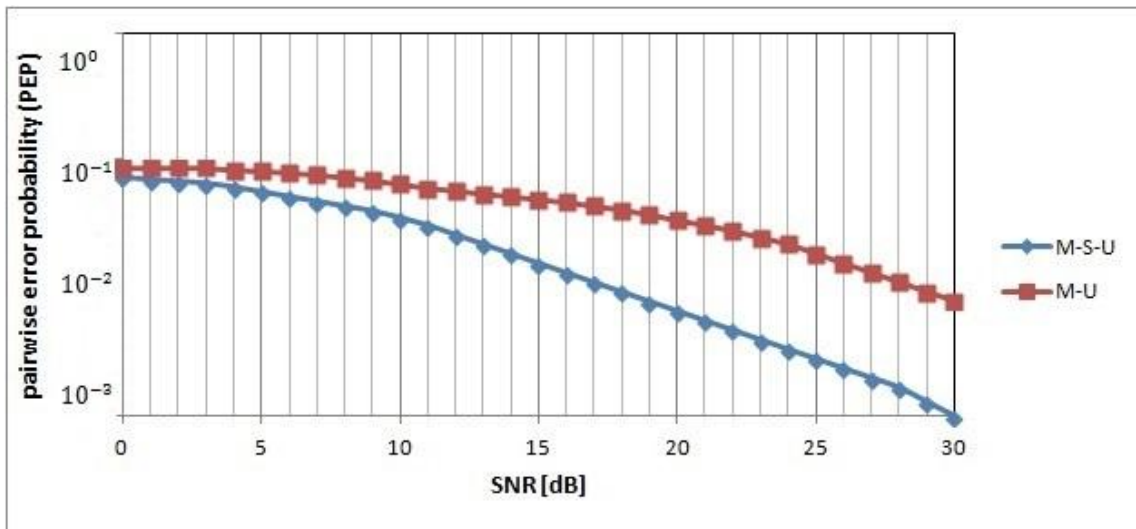
PEP არის შეცდომების ალბათობა, რომელიც გამოითვლება გადასაცემი სიგნალისთვის (S), რომლის დამახინჯებული ვარიანტი (\hat{S}) წარმოადგენს იქნება მიმღებ მხარეს.

OP არის სიგნალის დაყოვნების ალბათობა, რომელიც ანგარიშობს იმ შემთხვევების ალბათობას, როდესაც ხმაურის დონე აჭარბებს სასარგებლო სიგნალის დონეს.

MATLAB სიმულატორის გამოყენებით შესრულდა მწარმოებლურობის ანალიზი. შემთავაზებული მიდგომა შედარდა სტანდარტულ შემთხვევას (ტრანსპორტში მყოფ მომხმარებელს ემსახურება მაკრო საბაზო სადგური). ჩვენ გადამტანის სიხშირული ზოლის სიგანედ მოვიაზრებთ 100მჰც-ს, ხოლო მოდულაციის სქემად QPSK (Quadrature Phase-Shift Keying), ასევე $f_M=2,5$ გჰც და $f_s=2,6$ გჰც, $T_s=500$ მკვმ, $v=60$ კმ/სთ, $\alpha=3,67$, $\theta=\pi$, $\tau_d=1,328$ მკვმ და $G_{MS}/G_{SU}=-30$ დბ. ცხრილში მოცემულია სიმულაციის დროს გამოყენებული სხვა დამატებითი პარამეტრები. ჩვენ ვიყენებთ წინასწარ კოდირებას Θ შემდეგ პარამეტრებთან ერთად $C=2$ და $D=2$. მოცემული პარამეტრებიდან მიიღება $[K_{MS}, R_{MS}] = [1, 1]$ იმ შემთხვევაში როცა $M \rightarrow S$ ლინკი არის გამოყენებული, ხოლო $S \rightarrow M$ ლინკის შემთხვევაში ჩვენ გვაქვს სიხშირულ-დროითი არხი, საიდანაც მიიღება $[K_{SU}, R_{SU}] = [0, 0]$.

სიმულაციის დროს გამოყენებული პარამეტრები

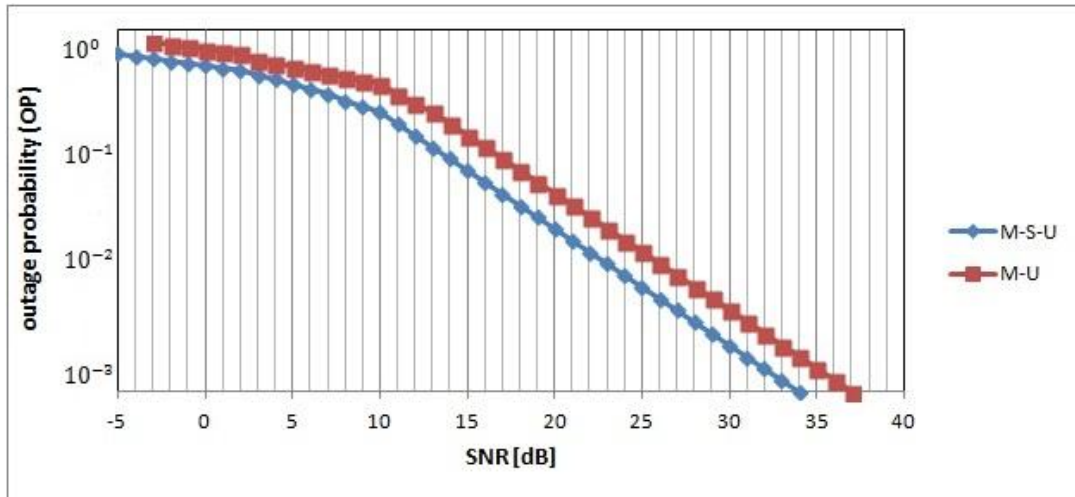
პარამეტრი	მნიშვნელობა
f_M [მჰც]	2500
f_s [მჰც]	2600
h_M [მ]	20
h_s [მ]	2
L_{sh} [დბ]	8
L_{pen} [დბ]	9,6



ნახ.2. არსებული და მიღებული PEP პარამეტრის შედეგების შედარება

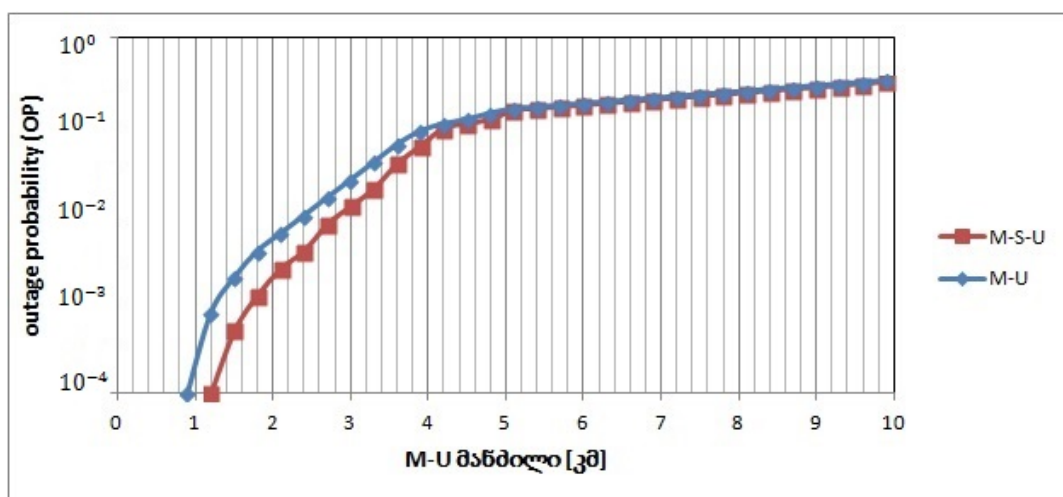
წინასწარი კოდირების პარამეტრებში $C = 2$ და $D = 2$, შემავალი მონაცემთა $s(n)$ ბლოკების სიგრძეა $N_s \times 1 (CD)$, ხოლო წინასწარი კოდერის გამოსასვლელზე $u(n)$ ბლოკების სიგრძეა $N_t \times 1 ((C + R)(D + K))$. აქედან გამომდინარე, წინასწარი კოდერის გამოსასვლელზე ბლოკების გადაცემის სიჩქარე ტოლია: $N_s/N_t = CD/((C + R)(D + K))$.

როგორც ნახ. 2-დან ჩანს, მცირე ზომის მოძრავი საბაზო სადგურის გამოყენების შემთხვევაში საგრძნობლად მცირდება ენერჯის მოხმარება. მაგალითად, როდესაც $PEP = 10^{-2}$ $M \rightarrow S \rightarrow U$ სცენარისათვის გადაცემის სიმძლავრე ~ 10 დბ-ით ნაკლებია, ვიდრე $M \rightarrow U$ შემთხვევაში.



ნახ.3. არსებული და მიღებული OP პარამეტრის შედეგების შედარება

ნახ. 3-ზე წარმოდგენილია სერვისის წვევების ალბათობა $M \rightarrow S \rightarrow U$ და $M \rightarrow U$ სცენარების შემთხვევაში. სერვისის წვევების ალბათობის ზუსტი ანგარიშისთვის საჭიროა აღებულ იქნას მიღებული სიგნალის SNR ალბათობის განაწილების ფუნქციის რიცხვითი მნიშვნელობები. მცირე ზომის მოძრავი საბაზო სადგურის სქემის გამოყენების შემთხვევაში, გადაცემის პირველ ეტაპზე, მაკრო საბაზო სადგური მის წინასწარ კოდირებულ სიგნალს უგზავნის მოძრავი სადგურის მიმდებარეობის, ხოლო მეორე ეტაპზე, მოძრავი სადგური მიღებულ სიგნალს აწვდის ტრანსპორტის შიგნით მყოფ მობილურ მოწყობილობას, იმ შემთხვევაში თუ სიგნალის დეკოდირება სწორად შესრულდა. მცირე ზომის მოძრავი საბაზო სადგური ასდენს სიგნალის დეკოდირებას და შემდეგ აგზავნის დეკოდირებული სიგნალის კოპირებულ სიგნალს მობილური მოწყობილობის მიმართულებით. პრაქტიკულად მცირე ზომის მოძრავი საბაზო სადგურს CRC(Cyclic Redundancy Check) გამოყენებით შეუძლია შეამოწმოს გადაწვევების სისწორე. მაღალი SNR-ის რეგიონში, მაგალითად, $SNR > 8$ დბ მოძრავი მცირე საბაზო სადგურის შემთხვევაში სიმძლავრის მოგება შეადგენს ~ 4 დბ-ს.



ნახ.4. M-U მანძილის შედარება

ნახ. 4-ზე მკაფიოდ ჩანს დაფარვის არეალის ზრდა მოძრავი მცირე ზომის ფიქსის გამოყენების შემთხვევაში. მაგალითად, $OP = 10^{-4}$ -ის დროს $M \rightarrow S \rightarrow U$ სცენარი

M→U სცენართან შედარებით, იძლევა დაფარვის არეალის გაუმჯობესებას დაახლოებით ~ 0,3 კილომეტრით.

სიმულაციის შედეგების ანალიზის საფუძველზე შეიძლება დავასკვნათ, რომ შემოთავაზებული მიდგომის გამოყენებით შესაძლებელია LTE ქსელებში ფიჭის დაფარვის არეალის გაზრდა, მობილური მოწყობილობის ენერჯის მოხმარების შემცირება, PEP და OP ხარისხობრივი მაჩვენებლების გაუმჯობესება.

ლიტერატურა

1. N. Lu, X. Zhu, Z. Jiang, X. Lu, F. Yang, and Q. Bi, Performance of LTE-advanced macro-pico heterogeneous networks. /Proc. IEEE Wireless Commun. and Networking Conf. (WCNC), Apr. 2013, pp. 545-550.
2. M. Qutqut, H. Abou-zeid, H. S. Hassanein, A. Rashwan, and F. Al-Turjman. Dynamic small cell placement strategies for LTE heterogeneous networks. /Proc. IEEE Symp. on Comput. and Commun. (ISCC), June 2014.
3. P. Mekikis, E. Kartsakli, A. Antonopoulos, A. Lalos, L. Alonso, and C. Verik-oukis, Two-tier cellular random network planning for minimum deployment cost. /Proc. IEEE I. Conf. on Commun. (ICC), June 2014.
4. M. Qutqut, M. Feteiha, and H. S. Hassanein, Outage probability analysis of mobile small cells over LTE-A networks. /Proc. Int. Wireless Commun. and Mobile Comput. Conf. (IWCMC), Aug. 2014.

SUMMARY

IMPROVEMENT OF LTE NETWORKS PERFORMANCE USING MOBILE SMALL BASE STATIONS IN PUBLIC TRANSPORT

Dzotsenidze G.V. and Murjikneli G.G.

Georgian Technical University

The paper deals with a method for improving the performance of LTE networks, which is achieved by mobile small base stations deployment in public transport. Using the suggested method, it is possible to improve PEP and OP quality indicators, as well as to increase the coverage of the cell.

Keywords: base stations, performance, cell, LTE.

УСТОЙЧИВОСТЬ СТЕРЖНЯ ПРИ НЕРАВНОМЕРНОМ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

Байсарова Г.Г., Киквидзе О.Г.

Каспийский государственный университет технологии и инжиниринга им. Ш.Есенова,
Актау, Казахстан
Государственный университет Ак. Церетели, Кутаиси

Для обычных строительных конструкций критическая нагрузка при потере устойчивости в упругой стадии часто весьма близка к разрушающей и является опасной. Тем более, что всегда существующие в натуре отклонения от расчетной схемы отрицательно влияют на устойчивость элемента или всего сооружения. Поэтому весьма актуально в расчетной модели максимально учитывать геометрические особенности конструкции и режим нагружения сооружения в условиях эксплуатации.

При исследовании устойчивости стойки каркасов необходимо учитывать собственный вес, внешние нагрузки и неравномерное температурное поле, которое может быть связано с разными причинами. Такие расчеты актуальны для внедрения новых строительных материалов. Весьма интересно установить зависимость критической нагрузки от градиента температуры в поперечном сечении и время, за которое наступает критическое состояние для конструкции.

Для установления критической нагрузки и формы деформированного элемента необходимо исследовать геометрически нелинейную термоупругую задачу. Аналитическое решение связанной нелинейной задачи механики стержней и задачи теплопроводности трудно и в определенном смысле не эффективно. Задача эффективно решается численными методами, что позволяет автоматизировать сложные инженерные расчеты. Уравнения геометрически нелинейной задачи плоского деформирования при заданном температурном поле представлены в статье [1]. Основные уравнения нестационарной термомеханической задачи приведены в работе [2].

Рассмотрим стержень с прямоугольным поперечным сечением, нагруженный продольно-поперечной нагрузкой и нестационарным температурным полем $T = T(t, z, y)$. Для температурной задачи выберем систему координат zoy , начало которой расположено на нижней поверхности стержня, ось y совпадает с осью симметрии поперечного сечения, а ось z параллельна оси стержня. Пусть нижняя поверхность стержня на участке $[e, b]$ нагревается нагревательным устройством мощностью Q .

Уравнение теплопроводности в безразмерных величинах имеет вид :

$$\frac{\partial \bar{T}}{\partial \bar{t}} = \bar{a} \left[\left(\frac{h}{L} \right)^2 \frac{\partial^2 \bar{T}}{\partial \bar{z}^2} + \frac{\partial^2 \bar{T}}{\partial \bar{y}^2} \right] + \bar{Q} [\phi(\bar{z} - \bar{e}) - \phi(\bar{z} - \bar{b})] \quad (1)$$

Для нелинейной задачи механики используем метод Эйлера. Выберем систему координат z_1cy_1 , начало которой совпадает с приведенным центром тяжести поперечного сечения, а ось z_1 параллельна оси z .

Поскольку температурное поле нестационарное, то компоненты вектора перемещений точек термоупругой линии тоже нестационарные и зависят от осевой координаты и времени (z_1, t) : $w = w(z_1, t)$, $v = v(z_1, t)$, $\theta = \theta(z_1, t)$. Рассматривается медленное нагружение при котором силой инерции можно пренебречь. Будем считать, что перемещения большие и не зависят от пути термомеханического нагружения.

В координатах Эйлера система дифференциальных уравнения нелинейной задачи плоского деформирования термоупругости в безразмерных величинах имеют вид:

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial \bar{v}}{\partial \bar{z}_1} &= (1 + \varepsilon_0) \sin \theta, \\
 \frac{\partial \bar{w}}{\partial \bar{z}_1} &= (1 + \varepsilon_0) \cos \theta - 1, \\
 \frac{\partial \theta}{\partial \bar{z}_1} &= \bar{\kappa}_x, \\
 \frac{\partial \bar{R}}{\partial \bar{z}_1} &= -(1 + \varepsilon_0) \bar{q}_{y_1}, \\
 \frac{\partial \bar{H}}{\partial \bar{z}_1} &= -(1 + \varepsilon_0) \bar{q}_{z_1}, \\
 \frac{\partial \bar{M}}{\partial \bar{z}_1} &= (1 + \varepsilon_0)(\bar{H} \sin \theta - \bar{R} \cos \theta - \bar{m})
 \end{aligned} \tag{2}$$

В уравнениях (1) и (2) использованы следующие безразмерные величины:

$$\begin{aligned}
 \bar{T} &= \frac{T}{T_f}; \bar{t} = \frac{t}{t_*}; \bar{y} = \frac{y}{h}, \bar{Q} = \frac{t_* Q}{c \gamma T_f V_0}, \bar{q}_{y,z} = \frac{q_{y,z}}{q_*}, \bar{z} = \frac{z}{L}, \bar{a} = \frac{a t_*}{h^2}, \bar{e} = \frac{e}{L}, \bar{b} = \frac{b}{L} \\
 \bar{z}_1 &= \frac{z_1}{L}, \bar{v} = \frac{v}{L}, \bar{w} = \frac{w}{L}, \bar{\kappa}_x = \kappa_x L, \bar{R} = \frac{R}{q_* L}, \bar{H} = \frac{H}{q_* L}, \bar{m} = \frac{m}{q_* L}, \bar{M} = \frac{M}{q_* L^2}, \bar{y}_1 = \frac{y_1}{h}, \bar{\rho} = \frac{\rho}{L}
 \end{aligned}$$

где - t_* конечное значение времени нагрева; V_0 - объем тела; T_f - температура окружающей среды; γ - плотность материала; c - теплоемкость твердого тела; T - температура; $a = \lambda / (c \gamma)$ - коэффициент температуропроводности; λ - теплопроводность твердого тела; L - длина стержня до деформации; q_* - максимальное значение распределенной нагрузки; ϕ функция Хэвисайда; q_y, q_z - интенсивность распределенной нагрузки вдоль осей y, z , соответственно; m - интенсивность распределенного внешнего изгибающего момента; R, H - вертикальная и горизонтальная составляющие внутренней силы, соответственно; M - внутренний изгибающий момент; ρ - радиус кривизны стержня в деформированном состоянии; κ_x - параметр, характеризующий кривизну стержня.

Последовательность решения задачи такова. Сначала решается задача теплопроводности, и на каждом шаге определяем распределение температуры в стержне, находим приведенный центр тяжести поперечного сечения и интегрируем нелинейные дифференциальные уравнения плоского деформирования (2).

Для интегрирования дифференциального уравнения в частных производных (1) имеем начальные и граничные условия:

$$t = 0, T = T_f \tag{3}$$

$$\begin{aligned}
y = 0, z \in [0, e) \wedge z \in (b, L], -\lambda \frac{\partial T}{\partial y} &= \alpha(T_a - T_f) \\
y = 0, z \in [e, b], T &= f_1(t) \\
y = h, z \in [0, L], -\lambda \frac{\partial T}{\partial y} &= \alpha(T_h - T_f) \\
z = 0, y \in [0, h], -\lambda \frac{\partial T}{\partial z} &= \alpha_1(T_0 - T_f) \\
z = L, y \in [0, h], -\lambda \frac{\partial T}{\partial z} &= \alpha_1(T_L - T_f)
\end{aligned} \tag{4}$$

В граничных условиях (4) функция $f_1(t)$ обычно задается на основе экспериментов, например, в виде степенной функции в интервале $[e, b]$ [3] $f_1(t) = T_f + q \cdot t^n$. Степенная зависимость устанавливается после обработки результатов экспериментальных исследований.

Для интегрирования системы дифференциальных уравнений (2) используем граничные условия. Для консольной балки с жестким защемлением на левом конце (в начале системы координат) в безразмерных величинах имеем:

$$\begin{aligned}
\bar{z}_1 = 0, \bar{v} = 0, \bar{w} = 0, \theta = 0, \\
\bar{z}_1 = 1, \bar{R} = 0, \bar{H} = 0, \bar{M} = 0.
\end{aligned} \tag{5}$$

Решение уравнения теплопроводности (1) осуществляется методом сеток. Заменяем производные по координатам z и y центральными конечно-разностными аналогами, выбирая прямоугольную сетку, тогда получим:

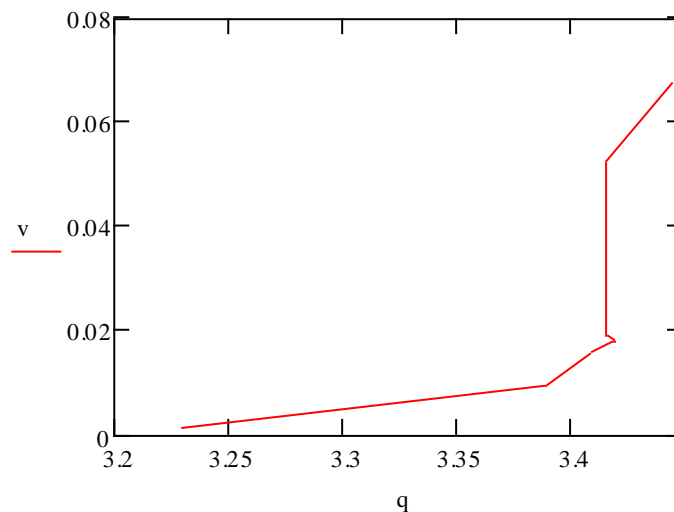
$$\dot{\bar{T}}_{i,j} = \bar{a} \left[\left(\frac{h}{L} \right)^2 \frac{\bar{T}_{i+1,j} - 2\bar{T}_{i,j} + \bar{T}_{i-1,j}}{\Delta \bar{z}^2} + \frac{\bar{T}_{i,j+1} - 2\bar{T}_{i,j} + \bar{T}_{i,j-1}}{\Delta \bar{y}^2} \right] + \bar{Q}_{i,j} \tag{6}$$

Начальные и граничные условия в безразмерных величинах в соответствии с условиями (4) имеют вид:

$$\begin{aligned}
\bar{t} = 0, \bar{T}_{i,j} &= 1; \\
j = 1, i \in [1, \dots, 4] \wedge i \in [6, \dots, 8], \bar{T}_{i,0} &= \bar{T}_{i,2} - 2\alpha\Delta\bar{y}h(\bar{T}_{i,1} - 1)/(\lambda T_f); \\
j = 1, i \in [5, \dots, 8], \bar{T}_{i,1} &= \bar{f}_1(\bar{t}); \\
j = m, \bar{T}_{i,m+1} &= \bar{T}_{i,m-1} - 2\alpha\Delta\bar{y}h(\bar{T}_{i,m} - 1)/(\lambda T_f); \\
i = 0, \bar{T}_{0,j} = \bar{T}_0; i = n, \bar{T}_{n+1,j} &= \bar{T}_{n-1,j} - 2\alpha_1\Delta\bar{z}L(\bar{T}_{n,j} - 1)/(\lambda T_f).
\end{aligned} \tag{7}$$

На каждом шаге времени после определения температурного поля решается нелинейная краевая задача деформирования стержня. Интегрирование системы дифференциальных уравнений (2) с граничными условиями (5) проводится методом движения по параметру с параллельной пристрелкой [4].

Деформация термоупругой линии ε_0 и величина $\bar{\kappa}_x$ определяются с помощью уравнений, приведенных в [1]. При интегрировании системы (2) в качестве параметра движения следует принять внешнюю нагрузку. При нулевом значении внешней нагрузки точно задаются граничные условия в начале интервала интегрирования.



Зависимость поперечного перемещения свободного конца балки от параметра нагрузки,
 $v \equiv \bar{v}, q \equiv \bar{q}$

На рисунке представлены результаты расчета устойчивости консольной балки, нагруженной сосредоточенной силой на свободном конце, при заданном температурном поле и переменном модуле упругости материала. Температура меняется в поперечном сечении по степенному закону. Из зависимости перемещения от нагрузки устанавливаем критическую точку, в которой $\partial \bar{v} / \partial \bar{q} \rightarrow \infty$. Соответствующая этой точке критическая нагрузка $\bar{q} = 3,42$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Киквидзе О.Г. Большие перемещения термоупругих стержней при изгибе. //Проблемы машиностроения и надежности машин, РАН, 2003, №1, сс.49-53.
2. Kikvidze O., Baisarova G. Non stationary problem of beam's deformation at thermo mechanical loading. // Bulletin of Akaki Tsereteli State University, 2014, №2(4), pp.77-82.
3. Байсарова Г.Г., Киквидзе О.Г. Экспериментальное исследование перемещений и температурного поля в стержне при термомеханическом нагружении. //Georgian Engineering News, No.3, 2015, pp.41-44.
4. Валишвили Н.В. Методы расчета оболочек вращения на ЭЦВМ.- М.: Машиностроение, 1976, 278с.

SUMMARY

BUCKLING OF THE BEAM UNDER UNEVEN THERMOMECHANICAL LOADING

Baisarova G.G. and Kikvidze O.G.

Sh. Esenov Caspian State University of Technologies and Engineering, Aktau, Kazakhstan

Akaki Tsereteli State University, Kutaisi

The paper deals with the theoretical investigation of beam resistance under thermomechanical load. The nonlinear differential equations of plane deformation and the differential equation of nonstationary heat conductivity are given. The problem of buckling of the cantilever beam is solved. The beam is loaded by a concentrated axial force at the free end and by an inhomogeneous temperature field. The results of numerical calculation are presented.

Keywords: displacement, buckling, beam, thermomechanical load, concentrated force, inhomogeneous temperature field.

ПЛАСТИЧЕСКОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ НАПЛАВЛЕННОГО СЛОЯ НА ПЛОСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Киквидзе О.Г., Булекбаева Г.Ж., Кипиани П.Н.

Государственный университет Ак.Церетели, Кутаиси
Каспийский государственный университет технологии
и инжиниринга им. Ш.Есенова, Актау, Казахстан

В восстановительных технологиях или при обработке шва сварного соединения пластическое деформирование слоя часто осуществляется путем обкатки цилиндрическим роликом. Обкаткой получается более чистая поверхность, высока точность форм восстановленных поверхностей и поверхностная прочность. Обкаткой осуществляется осаживание металла по толщине в зоне шва сварного соединения для создания пластических деформаций удлинения в продольном и поперечном направлениях, обеспечивается также значительное снижение остаточных напряжений [1].

Обычно рекомендуемые параметры технологического процесса обкатки наплавленного слоя находят по приближенным формулам на основе решения одномерной задачи. Одномерная задача на основе теории упрочнения решена в работе [2]. Для более точного описания напряженно-деформированного состояния слоя в очаге деформации необходимо решить двухмерную задачу с учетом реальных свойств металла при повышенных температурах.

Рассмотрим деформирование материала под действием абсолютно жесткого цилиндрического тела (ролика), которое совершает плоско-параллельное движение. Деформируемый материал находится на жесткой поверхности. Скорость перемещения центра ролика обозначим через v_0 , а угловую скорость вращения – через ω . Считается, что они постоянные во времени величины. Примем прямоугольную систему координат x, y, z . Рассматривается плоское деформирование, и напряженно-деформированное состояние не зависит от координаты y . Компоненты скоростей перемещений точки в очаге деформации: $v_z = v_z(z, x), v_x = v_x(z, x), v_y = 0$.

Компоненты тензора напряжений $\sigma_{ij} = \sigma_{ij}(x, z); i, j = x, y, z; \tau_{zy} = 0, \tau_{xy} = 0$. За полные деформации примем деформации ползучести.

Уравнение состояния материала выбираем на основе теории ползучести – упрочнения [3]:

$$\sigma_e = a \zeta_e^m \kappa^n \quad (1)$$

где: a, m, n - постоянные материала при определенной температуре; σ_e, ζ_e - эквивалентное напряжение и эквивалентная скорость деформации, соответственно, $\kappa = \int \zeta_e dt$ - параметр Удквиста.

Постоянные материала обычно определяются путем обработки кривых ползучести. Из уравнения (1), как частный случай ($n = 0$) получается модель нелинейно-вязкого тела:

$$\sigma_e = a \zeta_e^m, \quad (2)$$

или модель пластического материала ($m = 0, n \neq 0$) с нелинейным упрочнением.

Компоненты скоростей деформаций в рассматриваемом случае вычисляются по формулам:

$$\xi_x = \partial v_x / \partial x, \xi_z = \partial v_z / \partial z, \xi_y = 0, \eta_{xz} = \partial v_x / \partial z + \partial v_z / \partial x \quad (3)$$

Условие несжимаемости материала имеет вид: $\xi_x + \xi_z = 0$, или в скоростях перемещений с учетом зависимостей (3):

$$\partial v_x / \partial x + \partial v_z / \partial z = 0 \quad (4)$$

В таком случае, эквивалентная скорость деформации и параметр Удквиста равняются:

$$\xi_e = 2/\sqrt{3} \sqrt{(\partial v_x / \partial x)^2 + (\partial v_x / \partial z + \partial v_z / \partial x)^2 / 4} \quad (5)$$

$$\kappa = \int \xi_e / v_x dx \quad (6)$$

Компоненты тензора напряжений вычисляются зависимостями Сен-Венана - Леви - Мизеса [4]:

$$\sigma_{ij} = \sigma_0 \delta_{ij} + 2\sigma_e \xi_{ij} / (3\xi_e) \quad (7)$$

где σ_0 – среднее напряжение $\sigma_0 = \sigma_{ii} / 3$; δ_{ij} – символ Кронекера.

В рассматриваемом случае из формул (3),(7) легко установить, что $\sigma_y = \sigma_0$; и следовательно $\sigma_0 = (\sigma_x + \sigma_z) / 2$.

Дифференциальные уравнения равновесия с учетом зависимостей (3), (5), (7) после несложных преобразований примут вид:

$$\begin{aligned} & \left(\frac{\partial v_x}{\partial z} + \frac{\partial v_z}{\partial x} \right) \frac{\partial^2}{\partial z^2} \left(\frac{\sigma_e}{\xi_e} \right) + \frac{\sigma_e}{\xi_e} \left(\frac{\partial^3 v_x}{\partial z^3} + \frac{\partial^3 v_z}{\partial x \partial z^2} - \frac{\partial^3 v_x}{\partial x^2 \partial z} - \frac{\partial^3 v_z}{\partial x^3} + 4 \frac{\partial^3 v_x}{\partial z \partial x^2} \right) - \\ & - \left(\frac{\partial v_x}{\partial z} + \frac{\partial v_z}{\partial x} \right) \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left(\frac{\sigma_e}{\xi_e} \right) + 4 \frac{\partial^2}{\partial z \partial x} \left(\frac{\sigma_e}{\xi_e} \right) \frac{\partial v_x}{\partial x} = 0 \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial \sigma_0}{\partial x} + \frac{2}{3} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\sigma_e}{\xi_e} \right) \frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{1}{3} \frac{\sigma_e}{\xi_e} \left(2 \frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial x \partial z} \right) + \\ & + \frac{1}{3} \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\sigma_e}{\xi_e} \right) \left(\frac{\partial v_x}{\partial z} + \frac{\partial v_z}{\partial x} \right) = 0 \end{aligned} \quad (9)$$

Система уравнений (8), (9) с учетом уравнения состояния (1), зависимостей (5) и (6) являются нелинейными дифференциальными уравнениями в частных производных относительно скоростей перемещений и среднего нормального напряжения.

Для интегрирования дифференциальных уравнений имеем граничные условия:

$$z = 0, v_z = 0; v_x = 0 \quad (10)$$

На поверхности контакта материала с роликом скорости перемещения равняются:

$$(z, x) \in L; v_z = \omega R \sin \alpha, v_x = v_0 - \omega R \cos \alpha \quad (11)$$

где L - дуга окружности с центральным углом α_0 , $0 \leq \alpha \leq \alpha_0$; R - радиус ролика.

На боковых поверхностях $x = 0, x = a$ имеем условие, равенство нулю суммарной силы в направлении оси x ,

$$\int \sigma_x dz = 0 \quad (12)$$

Интегрирование нелинейных дифференциальных уравнений (8), (9) с граничными условиями (10), (11) и (12) необходимо вести численными методами, например, методом конечных разностей с использованием итерационного процесса. Задаем нулевое приближение для скорости перемещения v_z , из условия несжимаемости определяем скорость перемещения v_x , определяем эквивалентную скорость деформации, параметр Удквиста и из уравнений

равновесия находим среднее нормальное напряжение и скорость перемещения v_z . Сравниваем заданное и полученное значения скорости перемещения на каждом шаге итерации.

Для численного решения задачи введем безразмерные величины (h_0 - высота наплавленного слоя до деформации):

$$\bar{\sigma}_{ij} = \frac{\sigma_{ij}}{a\omega^m}, \bar{\sigma}_e = \frac{\sigma_e}{a\omega^m}, \bar{v}_x = \frac{v_x}{\omega R}, \bar{v}_z = \frac{v_z}{\omega R}, \bar{x} = \frac{x}{h_0}, \bar{z} = \frac{z}{h_0}, \bar{\xi}_{ij} = \frac{\xi_{ij}}{\omega}, \lambda = \frac{h_0}{R}$$

Компоненты скоростей деформации (3), эквивалентная скорость деформации (5), параметр Удквиста (6) и уравнение состояния (1) в безразмерных величинах имеют вид:

$$\bar{\xi}_x = \frac{1}{\lambda} \frac{\partial \bar{v}_x}{\partial \bar{x}}, \bar{\xi}_z = \frac{1}{\lambda} \frac{\partial \bar{v}_z}{\partial \bar{z}}, \bar{\eta}_{xz} = \frac{1}{\lambda} \left(\frac{\partial \bar{v}_x}{\partial \bar{z}} + \frac{\partial \bar{v}_z}{\partial \bar{x}} \right) \quad (13)$$

$$\bar{\xi}_e = 2/(\lambda\sqrt{3}) \sqrt{(\partial \bar{v}_x / \partial \bar{x})^2 + (\partial \bar{v}_x / \partial \bar{z} + \partial \bar{v}_z / \partial \bar{x})^2 / 4}, \quad \bar{\kappa} = \lambda \int \bar{\xi}_e / \bar{v}_x d\bar{x}, \quad \bar{\sigma}_e = \bar{\xi}_e^m \bar{\kappa}^n.$$

Используя приведенные выше безразмерные величины, уравнение равновесия (8) имеет такой же вид, заменяя размерные величины на соответствующие безразмерные. Таким образом, сформулированы основные дифференциальные уравнения двумерной краевой задачи и граничные условия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сагалевич В.М. Методы устранения сварочных деформаций и напряжений. - М.: Машиностроение, 1974, 248 с.
2. Киквидзе О.Г., Тулеугалиева Г.Б., Булекбаева Г.Ж., Бекенова А., Билашова Г. Расчет граничного слоя при пластическом деформировании поверхностей. // Georgian Engineering News 2011, №4 (Vol. 60), сс.51-55
3. Малинин Н.Н. Ползучесть в обработке металлов. - М.: Машиностроение, 1986, 216 с.
4. Малинин Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести. - М.: Машиностроение, 1975, 399 с.

SUMMARY

PLASTIC DEFORMATION OF THE BUILT-UP LAYER ON A FLAT SURFACE

Kikvidze O.G., Bulekbaeva G.J. and Kipiani P.N.

Akaki Tsereteli State University, Kutaisi

Esenov Caspian State University of Technologies and Engineering, Aktau, Kazakhstan

The paper deals with the two-dimensional boundary problem of plastic deformation at rolling of the built-up layer. The equation of state of the material is chosen on the basis of the creep theory. The main differential equations are presented and the corresponding boundary conditions are formulated.

Keywords: built-up layer, plastic deformation, strain, velocity of strain, hardening theory, equation of state.

პლაზმის გამოყენება დაბალრეაქტიული ნახშირების მტვრის ეფექტური წვისათვის

ქევნიშვილი ნ.ა, ჯავშანაშვილი ნ.ბ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

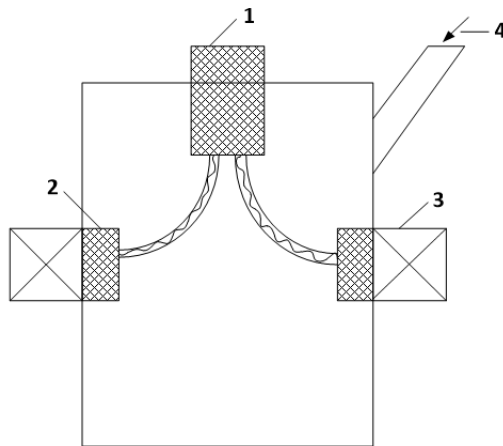
მყარი საწვავის ეფექტური წვის ტექნოლოგიების შექმნა 21-ე საუკუნეში კიდევ უფრო მნიშვნელოვანი გახდა, რადგან ქვანახშირის წილი თბოელექტროსადგურების ენერჯო გენერაციაში სხვა საწვავთან შედარებით ყველაზე მაღალია. დღესდღეობით მთელ მსოფლიოში ნახშირზე მომუშავე თბოელექტროსადგურებზე გამომუშავდება 50%-ზე მეტი ელექტრული და თბური ენერჯია, აშშ-ში დაახლოებით 60-%, ყაზახეთში 8%-ზე მეტი, ხოლო ჩინეთში დაახლოებით 90%. ამავე დროს ენერგეტიკული ნახშირების ხარისხი ყველგან უარესდება, რაც იწვევს მათი აალებისა და სრულად წვის გართულებას, იმავდროულად გარემოში მაგნე ნივთიერებების ემისიების ზრდას. ენერგეტიკული ნახშირების ეფექტური წვის განხორციელების ერთ-ერთი საინტერესო ტექნოლოგიაა პლაზმატრონის გამოყენება სხვადასხვა კონსტრუქციული და პრინციპული გადაწყვეტით.

ამჟამად მომუშავე ენერგეტიკულ ბლოკებში ნახშირის მტვრის აალებისა და მისი სტაბილიზაციისთვის გამოიყენება მაღალრეაქტიული საწვავი (მაზუთი, გაზი), რომლის წილი შეადგენს სანთურის სრული სიმძლავრის 20-25%-ს, რაც იწვევს მათი დიდი რაოდენობით პარალელურ რეჟიმში წვას. იგივე რეჟიმის განხორციელებისათვის პლაზმატრონის მაქსიმალური სიმძლავრე არ აღემატება 1-2%-ს, ამავე დროს მცირდება გარემოში მაგნე ნივთიერებების გამოტყორცნა.

ნახშირის მტვრის თერმოქიმიური მომზადება პლაზმატრონის გამოყენებით გულისხმობს ჰაერისა და ნახშირის მტვრის ნარევის გახურებას ნარევიდან აქროლადების გამოსვლის ტემპერატურამდე და კოქსის ნარჩენის ნაწილობრივ გაზიფიკაციას. ამჟამად, საწყისი დაბალრეაქტიული საწვავიდან მიიღება მაღალრეაქტიული ორკომპონენტიანი სათბობი (გაზები აქროლადებიდან + კოქსის ნარჩენი), რომელიც მეორად ჰაერთან შერევის შემდეგ საკმაოდ მდგრადად იწვის საცეცხლე კამერაში. ექსპერიმენტებით დაადასტურებულია, რომ ნახშირის მტვრის ორსაფეხურიანი წვის პროცესში NO_x წვის კამერის გამოსასვლელში ორჯერ მცირდება, ხოლო მექანიკურად არასრული წვა ოთხჯერ მცირდება.

მიუხედავად ბევრი უპირატესობისა პლაზმურ ტექნოლოგიას გააჩნია ერთი ძირითადი ნაკლი, რომელიც მათი მუშაობის რესურსთანაა დაკავშირებული.

პლაზმატრონის პრინციპიული სქემა წარმოდგენილია ნახ.1-ზე.



ნახ.1. პლაზმური დანადგარის სქემა

- 1 - სპილენძის ან გრაფიტის კათოდური ელექტროდი;
- 2 - სპილენძის ანოდური ელექტროდი;
- 3 - მბრუნავი მაგნიტური ველის კოჭები;
- 4 - ნახშირის მტვრისა და პირველადი ჰაერის ნარევის მიწოდება

როგორც ნახ.1-დან ჩანს, პლაზმატრონის ელექტროდებიდან ყველაზე მძიმე რეჟიმში მუშაობს კათოდური ელექტროდი. იმ შემთხვევაში, როდესაც კათოდურ ელექტროდად გრაფიტია გამოყენებული, იგი აღჭურვილია სპეციალური მექანიკური მიმწოდებლით, რათა ეროზირებული გრაფიტის გამო წარმოქმნილი ზედმეტი დენი ანოდთან მუდმივად იყოს მისი გადაადგილებით შენარჩუნებული. ანოდური ელექტროდი შედარებით მაღალი რესურსით გამოირჩევა, რადგან ელექტრული რკალის საკონტაქტო წერტილი მბრუნავი მაგნიტური ველის გამო მუდმივად გადაადგილდება მთელ წრიულ ფართობზე განსხვავებით კათოდისგან, სადაც იგი ერთ წერტილშია ლოკალიზებული. სპილენძის ელექტროდების (კათოდი და ანოდი) ეროზიის სიჩქარეს განსაზღვრავს ბევრი ფაქტორი, მათ შორის ყველაზე მნიშვნელოვანია დენის ძალის სიდიდე და მაგნიტური ველის ზემოქმედებით დენის ნაკადის ბრუნვის მდგრადობის დარღვევა. ამიტომ ენერგეტიკულ დანადგარებში გამოყენებული პლაზმატრონების ნორმალური მუშაობისთვის საჭიროა კუთრი ეროზიის მნიშვნელობა შენარჩუნებული იქნას ხანგრძლივად დენების ქვეკრიტიკულ სიდიდეებზე. სპილენძის ანოდის ეროზია შეადგენს დაახლოებით 2×10^{-9} კგ/კულონი, ხოლო კათოდის $4,1 \times 10^{-9}$ კგ/კულონი [1].

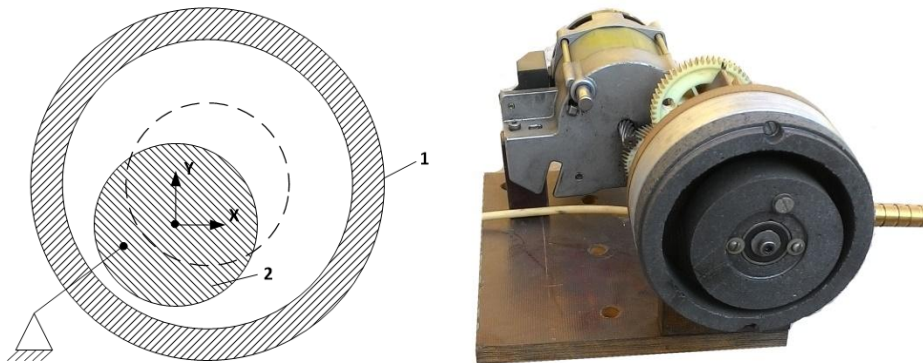
ამჟამად პრაქტიკაში გამოყენებული პლაზმატრონების რესურსი საკუთარ გარემოში არ აღემატება 200 სთ-ს, როცა დენის მაქსიმალური მნიშვნელობაა 200 ა.

როგორც აღვნიშნეთ, ელექტროდების ეროზიის სიჩქარეს განსაზღვრავს თბური ნაკადების სიმკვრივე პლაზმის გარემოში. კუთრი თბური ნაკადის მნიშვნელობა განისაზღვრება, როგორც თბური ნაკადის ფარდობა ელექტროდების შესაბამის ფართობთან.

$$q = \frac{Q}{S}$$

პლაზმაში გამოყოფილი თბური ნაკადი პირდაპირპროპორციულია პლაზმაში გამავალი დენის ძალების, რომელიც თავის მხრივ განსაზღვრავს პლაზმატრონის სიმძლავრეს. ამდენად თბური ნაკადის სიმკვრივის შესამცირებლად საჭიროა მაქსიმალურად გაიზარდოს კათოდის და ანოდის ფართობები.

პლაზმატრონის ნორმალური მუშაობისთვის ელექტროდების ფართობების ლოკალური გაზრდა თავისთავად არ იწვევს მისი მუშაობის რესურსის გაზრდას იმის გამო, რომ ანოდსა და კათოდს შორის წარმოქმნილი რკალი მთელ ზედაპირზე თანაბრად არ ნაწილდება. იგი ყოველთვის ამ ზედაპირის ორ კონკრეტულ წერტილს შორის გენერირდება გარკვეული შემთხვევითი გადაადგილებით. ელექტროდების მთელ ფართობზე გენერირებული რკალის თანაბარი გადაადგილებისთვის შეიქმნა სპეციალური კონსტრუქცია, რომლის პრინციპიალური სქემა ნახ.2-ზე.



ნახ.2. პლაზმატრონის მოძრავ დრეწოიანი სპეციალური კონსტრუქცია
1 - კათოდი; 2 - ანოდი

პლასმატრონის მოძრავი მაგნიტური კოჭას მაგივრად გააჩნია ანოდის გადასაადგილებელი ამძრავი. ამძრავი ისე გადაადგილებს ანოდს, რომ იგი არ ბრუნავს XY სიბრტყეში და გარკვეული სიჩქარით მხოლოდ იცვლება მინიმალური ღრეჩო ანოდსა და კათოდს შორის მთელი 3600, შესაბამისად თბური ნაკადიც ბრუნავს ღრეჩოს ბრუნვის სიჩქარით. კონსტრუქცია საშუალებას იძლევა შეუზღუდავად გაიზარდოს ელექტროდების ფართობი და შემცირდეს საშუალო თბური ნაკადის სიმკვრივე რამდენიმე რიგით, რაც თავის მხრივ მნიშვნელოვნად ზრდის პლასმატრონის მუშაობის რესურსს.

ამჟამად, ამ ტექნოლოგიაზე მორგებული საცდელ-სამრეწველო დანადგარი 1200 კვ/სთ ნახშირის ხარჯით მზადდება გასაშვებად მაღალტემპერატურულ თბოვიზიკური პროცესების ლაბორატორიაში.

ლიტერატურა

1. Карпенко Е.И., Лукьяяшенко В.Г., Мессерле В.Е., А.Б. Устименко, А.В. Яковенко, Новые технологии топливоиспользования и переработки минерального сырья. //Горение и плазмохимия, том 2, №2, 2004, сс. 117-146.

SUMMARY

APPLICATION OF PLASMA TO EFFICIENT COMBUSTION OF LOW-REACTIVE COAL DUST

Kevkhishvili N.A. and Javshanashvili N.B.

Georgian Technical University

The paper deals with the efficiency of application of the plasmatron to coal combustion. Thermochemical treatment of coal dust by using the plasmatron implies heating of the air and coal mixture up to the temperature until the volatiles are released and partial gasification of the coke residue. Thus, from the low-reactive fuel derives highly reactive two-component one. There is suggested a solution of the problem associated with one of the major drawbacks of plasma technology related to their working resource.

Keywords: plasmatron, low-reactive coal, highly reactive coal, combustion.

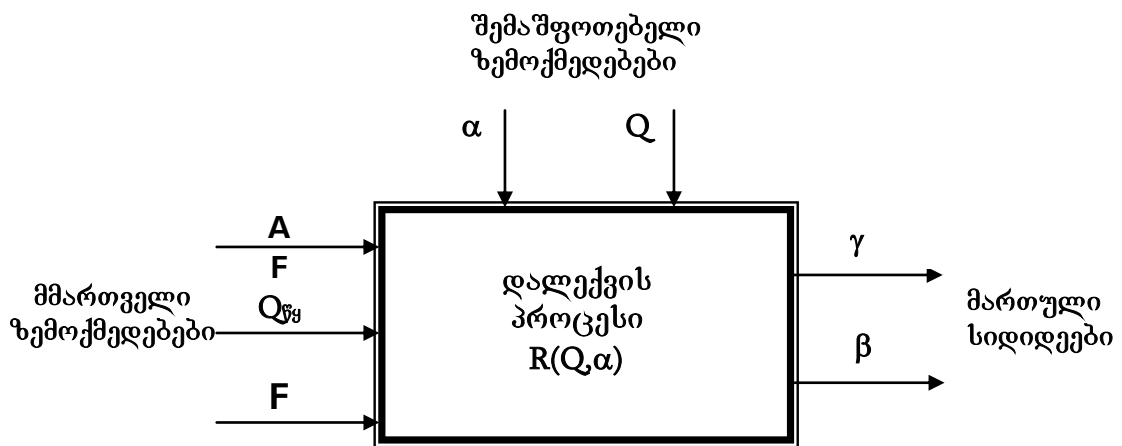
დიაფრაგმულ სალექ მანქანაში მანგანუმის მადნის გამდიდრების პროცესის ოპტიმიზაცია

ენაგელი რ.პ., გამცემლიძე მ.ნ., ჯავახიშვილი გ.ვ., არაბიძე ზ.დ.,
თუთბერიძე მ.დ., რუხაძე თ.ა., თევზაძე დ.მ.

სსიპ გრიგოლ წულუკიძის სამთო ინსტიტუტი, საქართველოს ტექნიკური
უნივერსიტეტი

დიაფრაგმულ სალექ მანქანაში მანგანუმის მადნის გამდიდრების პროცესი, სხვადასხვა სიმკვრივის მინერალების დაყოფის ეფექტურობის ამოღების მიზნით, შესწავლილია როგორც ავტომატიზაციის ობიექტი. აღნიშნული პროცესის ოპტიმიზაციისათვის გათვალისწინებული იქნა ის მმართველი, შემაშფოთებელი და მართული პარამეტრები, რომლებიც მონაწილეობენ დალექვის პროცესში [1-3].

დალექვის პროცესი, როგორც ავტომატიზაციის ობიექტი, განიხილება წარმოდგენილი სტრუქტურული სქემის სახით (ნახ. 1):



ნახ. 1. დალექვის პროცესი - მართვის ობიექტი

სქემაზე ნაჩვენებია: მმართველი ზემოქმედებები - სალექი მანქანის საგების რხევის ამპლიტუდა A , მმ; პროცესზე მიწოდებული წყლის რაოდენობა $Q_{ფყ}$, ლ; საგების რხევის აღმძვრელი დარტყმის ძალა F , კგ; შემაშფოთებელი ზემოქმედებები - სასარგებლო კომპონენტის (მანგანუმის მადნის) შემცველობა გასამდიდრებელ მადანში α , %; გამდიდრების პროცესზე მიწოდებული მადნის რაოდენობა Q , კგ; მართული სიდიდეები (გამდიდრების ხარისხობრივი მაჩვენებლები) - კონცენტრატის გამოსავალი γ , % და სასარგებლო კომპონენტის (მანგანუმის) შემცველობა კონცენტრატში β , %.

დალექვის პროცესის მიმდინარეობა ხასიათდება რეჟიმული მაჩვენებლით - საგების გაფხვიერებით R , რომელიც თავის მხრივ არის გასამდიდრებელი მადნის რაოდენობის (Q , კგ) და მასში მანგანუმის შემცველობის (α , %) ფუნქცია.

პროცესის ოპტიმიზაცია გულისხმობს ისეთი სიდიდის მმართველი ზემოქმედებების მოძებნას, რომლებიც შემაშფოთებელი ზემოქმედებების ცვალებადობის მიუხედავად უზრუნველყოფენ მართული სიდიდეების (პროცესის ხარისხობრივი მაჩვენებლის) ოპტიმალური მნიშვნელობების მიღებას. ამ მიზნის ფორმულირებისათვის მიღებულია ტექნოლოგიური კრიტერიუმი (ნახ. 1): დასახული ხარისხის

კონცენტრატის მაქსიმალური გამოსავლის მიღება მმართველი ზემოქმედებების გარკვეულ ფარგლებში ცვალებადობის დროს [4,5]

$$\gamma(A, Q_{fy}, F) \rightarrow \max$$

$$\beta(A, Q_{wy}, F, \alpha) = \text{const}; \quad (1)$$

$$A \leq A_{\max}; \quad Q_{fy\min} \leq Q_{fy} \leq Q_{fy\max}; \quad F_{\min} \leq F \leq F_{\max}.$$

ოპტიმიზაციის კრიტერიუმი, როგორც მოყვანილი სისტემიდან ჩანს, შედგება სამი წევრისაგან - მიზნის ფუნქცია, შეზღუდვის ფუნქცია და მმართველი ზემოქმედებების ცვალებადობის ზღვრები. მათი განსაზღვრისათვის აუცილებელია საკვლევ საღეჭ მანქანაზე ჩატარებული ექსპერიმენტების საფუძველზე აიგოს კონცენტრატის გამოსავლის სამივე მმართველი ზემოქმედებისაგან წყვილი და მრავლობითი დამოკიდებულებები

$$\gamma(A) = a_1 \cdot A^{k_1} e^{-c_1 \cdot A};$$

$$\gamma(Q_{fy}) = a_2 \cdot Q_{fy}^{k_2} e^{-c_2 \cdot Q_{fy}}; \quad (2)$$

$$\gamma(F) = a_3 \cdot F^{k_3} e^{-c_3 \cdot F}.$$

$$\gamma(A, Q_{fy}, F) = a \cdot A^{k_1} \cdot Q_{fy}^{k_2} \cdot F^{k_3} \cdot e^{-c_1 \cdot A - c_2 \cdot Q_{fy} - c_3 \cdot F} \quad (3)$$

ამ გამოსახულებებში $a, a_1, a_2, a_3, k_1, k_2, k_3, c_1, c_2, c_3$ - უცნობი კოეფიციენტებია, რომლებიც განისაზღვრებიან ექსპერიმენტის მონაცემების მიხედვით.

კრიტერიუმის მეორე წევრის - შეზღუდვის ფუნქციის მისაღებად საჭიროა კონცენტრატის ხარისხის მმართველი და შემაშვოთებელი ზემოქმედებებისაგან წყვილი და მრავლობითი დამოკიდებულებების აგება, რისთვისაც ვიყენებთ, შესაბამისად

$$\beta(A) = \alpha + b_1 \cdot A^{\Psi_1};$$

$$\beta(Q_{fy}) = \alpha + b_2 \cdot Q_{fy}^{\Psi_2}; \quad (4)$$

$$\beta(F) = \alpha + b_3 \cdot F^{\Psi_3};$$

$$\beta(A, Q_{fy}, F, Q, \alpha) = \alpha + b \cdot A^{\theta_1} \cdot Q_{fy}^{\Psi_2} \cdot F^{\Psi_3} \cdot Q^{\theta_1} \cdot \alpha^{\theta_2}. \quad (5)$$

ამ შემთხვევაშიც, კოეფიციენტები - $b, b_1, b_2, b_3, \Psi_1, \Psi_2, \Psi_3, \theta_1, \theta_2$ განისაზღვრებიან ექსპერიმენტის მონაცემების მიხედვით.

ცხრილი 1. ლაბორატორიულ პირობებში საღეჭ მანქანაზე ჩატარებული ექსპერიმენტის შედეგები

№	სინჯის წონა Q, კგ	წყლის ხარჯი Q _{ლ/წთ}	ამპლიტუდა A, მმ	წყლის ნაკადის სიჩქარე V, მ/წმ	დარტქმის ძალა F, კგ	ძრავას ბრუნთა რიცხვი, n ,ბრ/წთ	გაფხვიერება R, მმ	γ, %	β, %	α, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1,76	60	10	0,51	40,12	400	2	62,9	41,12	30,3
2	1,8	60	6	0,35	36,4	400	1,5	65	34,35	30,3
3	2,1	40	8	0,56	41,1	400	1,7	70	39,23	30,7
4	1,8	40	8	0,41	37,4	400	1,4	60	34,5	30,9
5	1,6	40	8	0,41	37,4	400	1,8	57,1	38,3	29,8
6	1,5	40	4	0,3	34,9	400	1,5	60	37,56	30,6
7	1,45	40	4	0,45	38,6	400	1,7	58	38,1	30,6
8	1,5	40	10	0,69	43,8	400	1,9	60	40,9	30,6
9	1,6	40	10	0,44	38,9	400	2,1	64	39,3	30,6
10	0,95	120	10	0,69	43,8	400	2,5	38	44,69	28,3
11	0,9	120	12	0,78	52,25	400	2,4	36	45,52	28,3
12	1,01	120	12	0,51	44,9	400	2,6	37	48,55	29,4
13	1,19	120	8	0,56	41,1	400	2,5	44,1	46,69	28,6
14	1,4	180	14	0,9	58	400	2,2	50	41,9	29,8
15	1,3	180	14	0,85	56	400	2,1	46	39,8	28,6
16	1,2	180	14	0,8	55	400	2	48	34,5	29,4
აღწერითი სტატისტიკა										
საშუალო	1,44	88,75	9,50	0,58	43,73		1,99	53,51	40,31	29,80
სტანდ. ცდომილება	0,08	14,02	0,81	0,05	1,87		0,10	2,71	1,08	0,23
მედიანა	1,48	60,00	10,00	0,54	41,10		2,00	57,55	39,55	30,05
სტანდ. გადახრა	0,34	56,08	3,22	0,19	7,50		0,38	10,86	4,32	0,92
დისპერსია	0,11	3145,00	10,40	0,03	56,23		0,14	117,93	18,70	0,85
ასიმეტრია	0,06	0,67	-0,19	0,36	0,88		0,07	-0,36	0,38	-0,58
მინიმუმი	0,90	40,00	4,00	0,30	34,90		1,40	36,00	34,35	28,30
მაქსიმუმი	2,10	180,00	14,00	0,90	58,00		2,60	70,00	48,55	30,90
ჯამი	21,30	1360,00	142,00	8,70	659,55		29,90	793,20	603,89	446,50
რაოდენობა	16,00	16,00	16,00	16,00	16,00		16,00	16,00	16,00	16,00

ცხრ. 1-ში მოცემულია ლაბორატორიულ პირობებში სადექ მანქანაზე ჩატარებული ექსპერიმენტების შედეგები. აქვე, გაანგარიშებულია გაზომილი პარამეტრების ძირითადი სტატისტიკური მაჩვენებლები. კომპიუტერული პროგრამა «Matlab»-ის საშუალებით, უმცირეს კვადრატთა მეთოდით განისაზღვრა უცნობი კოეფიციენტების რიცხვითი მნიშვნელობები, რომლებიც მოცემულია როგორც წყვილ დამოკიდებულებებში, ასევე მიზნის და შეზღუდვის ფუნქციებში. გათვლებით მიღებული წყვილი

დამოკიდებულებების უცნობი კოეფიციენტების რიცხვითი მნიშვნელობების ჩასმით (2) და (4) ფორმულებში მივიღებთ

$$\gamma = 43,959 \cdot A^{0.5012} \cdot e^{0.0954}; \gamma = 639,474 \cdot Qc^{-0.6838} \cdot e^{-0.00501}; \gamma = 52977161 \cdot F^{-4.667} \cdot e^{-0.086} \quad (6)$$

$$\beta = 29,80 + 4.6707 \cdot A^{0.3670}; \beta = 29,80 + 3,6805 \cdot Qc^{0.2419}; \beta = 29,80 + 1,1103 \cdot F^{0.5961} \quad (7)$$

$$\beta = 29,80 + 14,995 \cdot Q^{-1.104}; \beta = 29,80 + 41278016 \cdot a^{-4.4723} \quad (8)$$

ანალოგიურად განისაზღვრა მიზნისა და შეზღუდვის მრავლობით დამოკიდებულებებში უცნობი კოეფიციენტების სიდიდეები:

$$a=864729398,2; k_1=0,597631452; k_2=0,51672062; k_3=-5,5241325;$$

$$c_1=0,077969668; c_2=-0,00277596; c_3=-0,12795642; \beta=0,0000000182;$$

$$\psi_1=0,363907993; \psi_2=0,313818266; \psi_3=-1,0408696.$$

$$\Theta_1=-1,45007088, \Theta_2=6,615714536 \quad (9)$$

ამ მნიშვნელობების ჩასმით (3) მიზნის ფუნქციაში, მივიღებთ

$$\gamma = 8,65 \cdot 10^8 \cdot A^{0.598} \cdot Q_{\psi_j}^{-0.519} \cdot F^{-0.517} \cdot e^{(-0,078A+0,0028Q_{\psi_j}+0,128F)} \quad (10)$$

ზემოთ მიღებული კოეფიციენტების მნიშვნელობების შეტანით შეზღუდვის ფუნქციაში (5) მივიღებთ

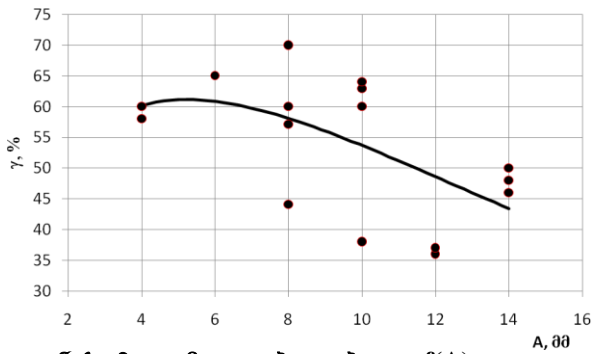
$$\beta = \alpha + 1.82 \cdot 10^{-8} \cdot A^{0.3639} \cdot Q_{\psi_j}^{0.3138} \cdot F^{-1.041} \cdot Q^{-1.45} \cdot a^{6.616} \quad (11)$$

ცხრ. 1-ში მოტანილი სტატისტიკური მანვენებლების მიხედვით შეგვიძლია განვსაზღვროთ ექსპერიმენტის დროს მმართველი სიდიდეების ცვალებადობის ზღვრები

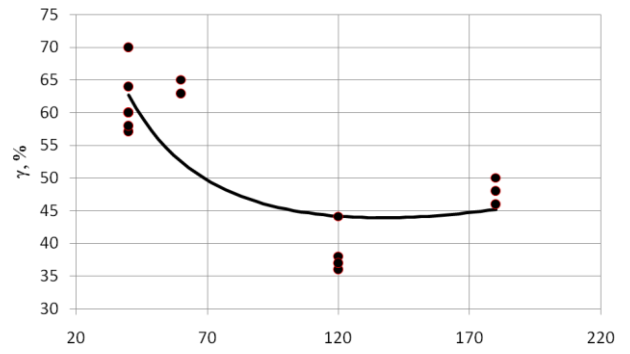
$$4 \leq A \leq 14; \quad 40 \leq Q_{\psi_j} \leq 180; \quad 35 \leq F \leq 58 \quad (12)$$

მიზნის და შეზღუდვის ფუნქციების ანალიზის მიზნით აგებული იქნა წყვილი დამოკიდებულებები. ნახ. - 2, 3 და 4 მოცემულია (6) გამოსახულებების მიხედვით აგებული გრაფიკები; ნახ. 5, 6 და 7 - გამოსახულებების (7) მიხედვით აგებული გრაფიკები; ნახ. 8 და 9 კი - დამოკიდებულებების (8) მიხედვით აგებული გრაფიკები.

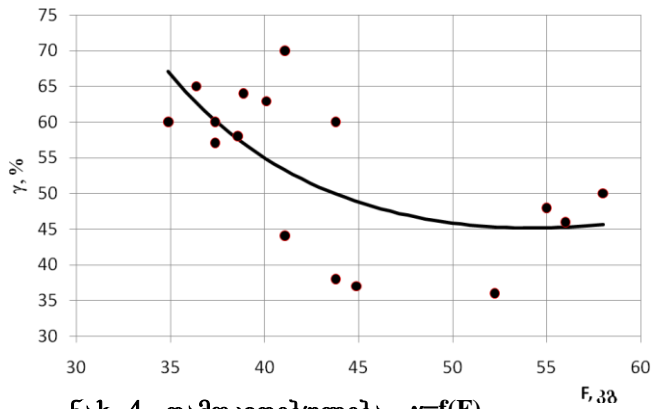
როგორც კორელაციურ ველზე ექსპერიმენტული წერტილების განლაგება, ასევე აგებული წყვილი დამოკიდებულებები რეალურად აღწერენ დალექვის პროცესის ხასიათს. გრაფიკებიდან ჩანს, რომ მმართველი შემოქმედებების (A, Q_{ψ_j}) ზრდა იწვევს კონცენტრატის ხარისხის გაზრდას, მაგრამ, ამავე დროს, მცირდება მისი გამოსავალი γ. ეს გარემოება მიუთითებს პროცესის ტექნოლოგიური კრიტერიუმის (1) მიხედვით ოპტიმალური მართვის აუცილებლობაზე. იგივე დასკვნამდე მივალთ, თუ განვიხილავთ ნახ. 8 და 9 მოცემულ დამოკიდებულებებს, რომლებიც აჩვენებენ კონცენტრატის β ხარისხის შემაშვოთებელ შემოქმედებებისაგან (Q და α) დამოკიდებულების ხასიათს. დამოკიდებულებებს აქვთ დადებითი ხასიათი, რაც იმითაა გამოწვეული, რომ გამდიდრების პროცესზე მიწოდებული მადნის რაოდენობის Q და გასამდიდრებელ მადანში სასარგებლო კომპონენტის შემცველობის α გაზრდით მძიმდება საგები, მცირდება მისი გაფხვიერება, ღარიბდება ცხრილს ქვედა პროდუქტი (კონცენტრატი) და მდიდრდება კუდები გადანადენში. ასეთ შემთხვევაში კონდიციური ხარისხის კონცენტრატის შესანარჩუნებლად აუცილებელია სათანადო მიმართულებით შევცვალოთ პროცესის მმართველი შემოქმედებები.



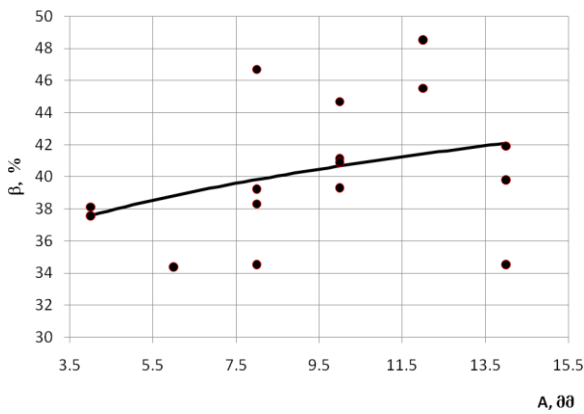
ნახ. 2. დამოკიდებულება $\gamma=f(A)$



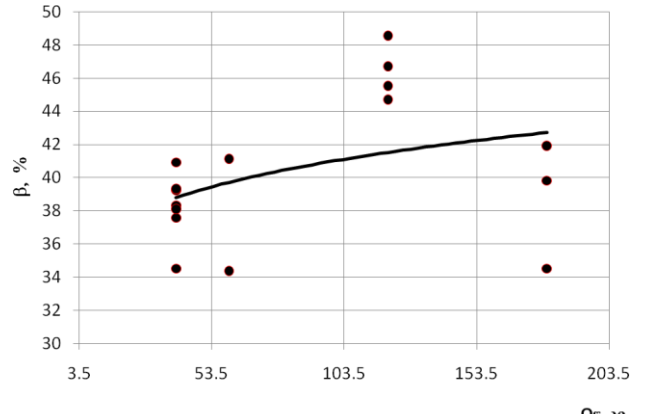
ნახ. 3. დამოკიდებულება $\gamma=f(Q_{წყ})$



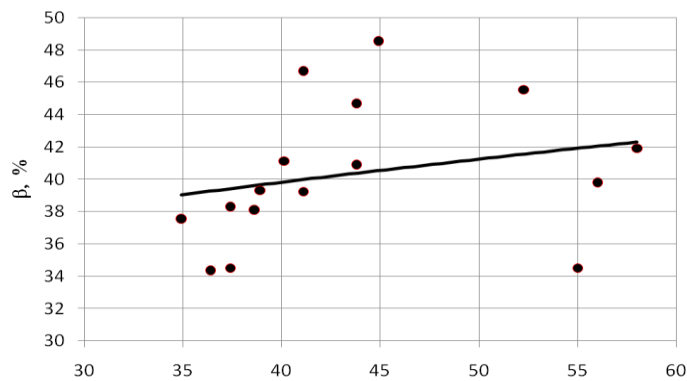
ნახ. 4. დამოკიდებულება $\gamma=f(F)$



ნახ. 5. დამოკიდებულება $\beta=f(A)$



ნახ. 6. დამოკიდებულება $\beta=f(Q_{წყ})$



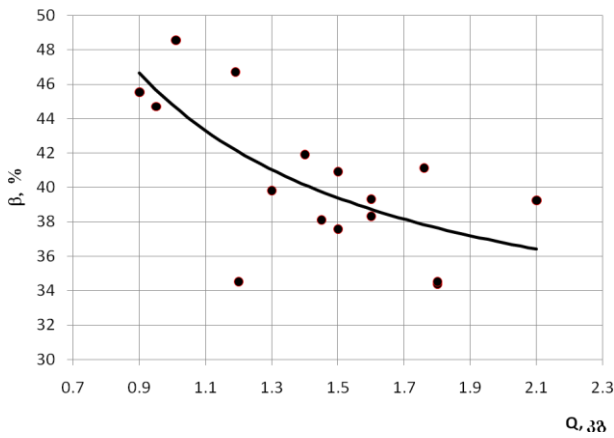
ნახ. 7. დამოკიდებულება $\beta=f(F)$

განვიხილოთ მიზნის (10) და შეზღუდვის (11) ფუნქციები მმართველი ზემოქმედებების მათი მმართველი პარამეტრების (12) ზღვრებში ცვალებადობის დროს. ამისათვის, ჯერ განტოლებაში (10) შეგვაქვს წყლის ხარჯის $Q_{წყ}$ და დარტყმის ძალის F საშუალო მნიშვნელობები. გარდაქმნებით ვიღებთ

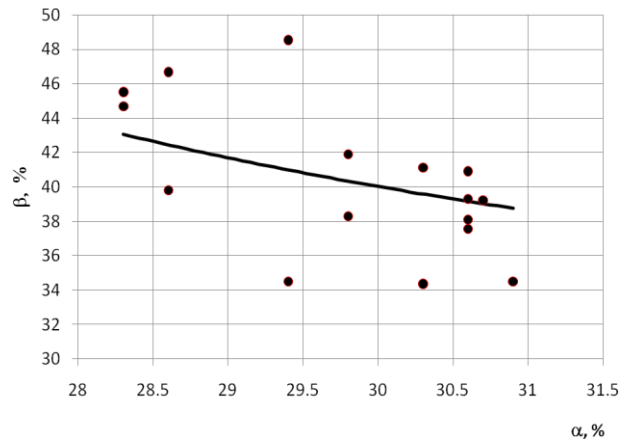
$$\gamma(A) = 2610,72 \cdot A^{0,598} \cdot e^{-0,078 \cdot A} \quad (13)$$

(11) შეზღუდვის ფუნქციაში შეგვაქვს წყლის ხარჯის $Q_{წყ}$, მიწოდებული მასალის რაოდენობისა Q და შემცველობის α საშუალო მნიშვნელობები. შედეგად ვიღებთ

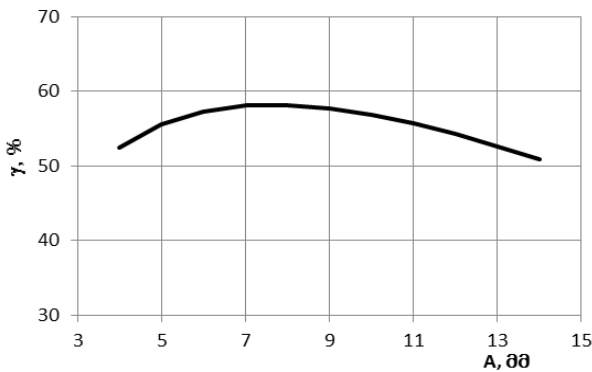
$$\beta(A) = 29,8 + A^{0,3639} \quad (14)$$



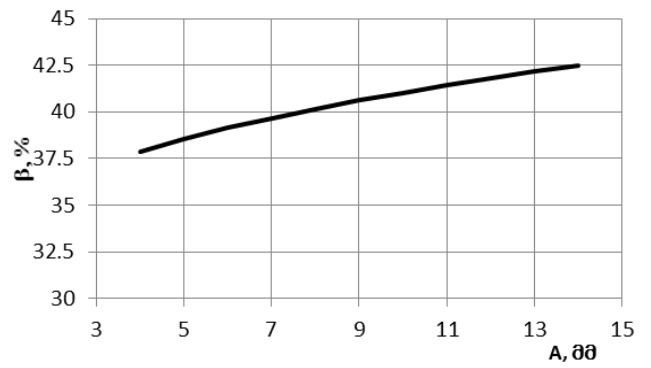
ნახ. 8. დამოკიდებულება $\beta=f(Q)$



ნახ. 9. დამოკიდებულება $\beta=f(\alpha)$



ნახ. 10. დამოკიდებულება $\gamma=f(A)$



ნახ. 11. დამოკიდებულება $\beta=f(A)$

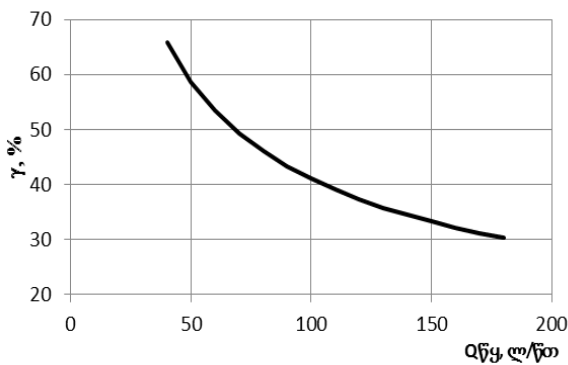
(13) და (14) დამოკიდებულებების შესაბამისი გრაფიკები მოყვანილია ნახ. 10 და 11.

ანალოგიურად, თუ მიზნის (10) და შეზღუდვის (11) განტოლებებში შევიტანოთ A ამპლიტუდის, F დარტყმის ძალის და α საწყისი შემცველობის საშუალო მნიშვნელობებს 1 ცხრილიდან, მივიღებთ

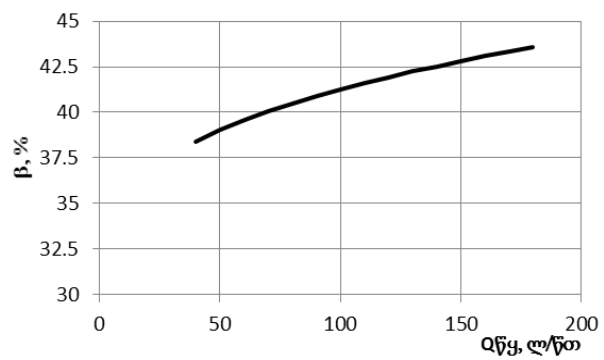
$$\gamma(Q_{\text{წყ}}) = 367.91 \cdot Q_{\text{წყ}}^{-0.5167} \cdot e^{-0.0028 \cdot Q_{\text{წყ}}} \quad (15)$$

$$\beta(Q_{\text{წყ}}) = 29.8 + 2.7 \cdot Q_{\text{წყ}}^{0.3138} \quad (16)$$

(15) და (16) დამოკიდებულებების გრაფიკები მოყვანილია ნახ. 12 და 13.



ნახ.12. დამოკიდებულება $\gamma=f(Q_{\text{წყ}})$



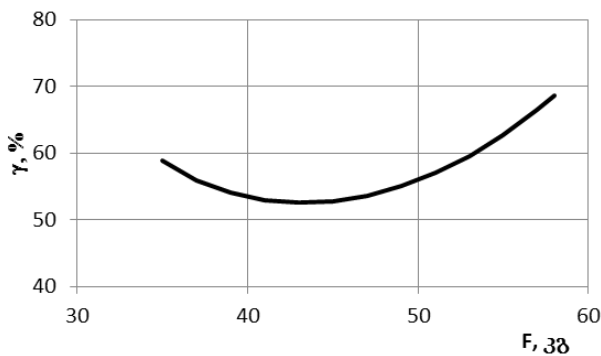
ნახ.13. დამოკიდებულება $\beta=f(Q_{\text{წყ}})$

ამპლიტუდის A, წყლის ხარჯისა $Q_{\text{წყ}}$ და საწყისი შემცველობის α საშუალო მნიშვნელობები შევიტანოთ (10) და (11) განტოლებებში. მივიღებთ

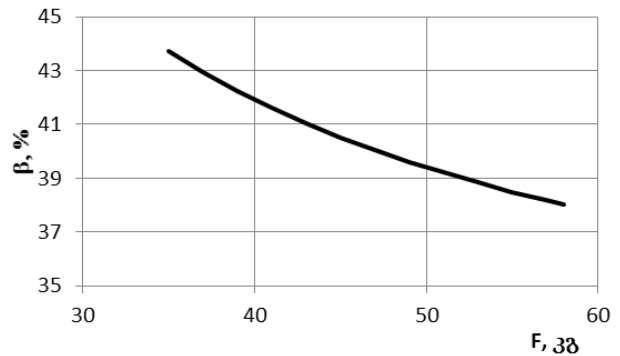
$$\gamma(F) = 2.06 \cdot 10^{10} \cdot F^{-5.5241} \cdot e^{0.128 \cdot F} \quad (17)$$

$$\beta(F) = 29.8 + 563.12 \cdot F^{-1.0409} \quad (18)$$

(17) და (18) დამოკიდებულებების შესაბამისი გრაფიკები მოყვანილია ნახ. 14 და 15.



ნახ. 14. დამოკიდებულება $\gamma=f(F)$



ნახ. 15. დამოკიდებულება $\beta=f(F)$

როგორც მიღებული გრაფიკებიდან ჩანს, თითოეული მმართველი სიდიდე განსხვავებულად ახდენს ზემოქმედებას კონცენტრატის ხარისხზე და გამოსავალზე. მმართველი სიდიდეების ოპტიმალური მნიშვნელობების მოსაძებნად გამოყენებული იქნა წრფივი დაპროგრამების მეთოდის გრაფიკული ვარიანტი [4-6]. ამ

მეთოდის მიხედვით კოორდინატთა სიბრტყის აბსცისთა ღერძზე გადაიზომება კონცენტრატის ხარისხი, ხოლო ორდინატთა ღერძზე - კონცენტრატის გამოსავალი.

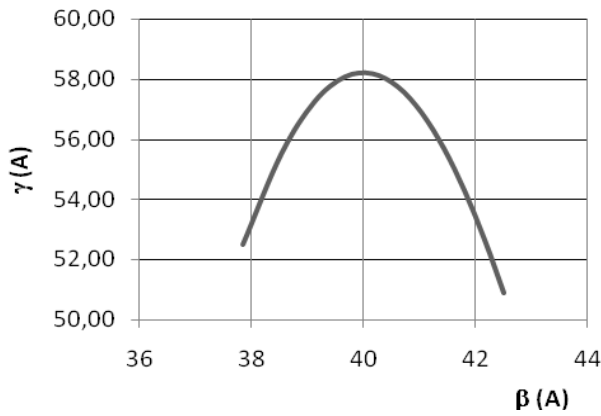
მიზნის ფუნქციაში (10) შეგვაქვს მმართველი ზემოქმედებების - წყლის ხარჯის $Q_{წყ}$ და დარტყმის ძალის F საშუალო მნიშვნელობები, ხოლო ამპლიტუდას A კი ვცვლით მისი ცვალებადობის ზღვრებში (12). ასევე, შეზღუდვის ფუნქციაში (11) შეგვაქვს წყლის ხარჯის $Q_{წყ}$, მიწოდებული მასალის რაოდენობის Q და საწყისი შემცველობის α -ს საშუალო მნიშვნელობები, ხოლო ამპლიტუდას A ვცვლით მისი ცვალებადობის ზღვრებში. შედეგად მივიღებთ კონცენტრატის შეცველობისა β და გამოსავლის γ მნიშვნელობებს, რომლებიც მოყვანილია ცხრ. 2-ში. შესაბამისი გრაფიკი ნაჩვენებია ნახ. 16. ანალოგიურად მოვქებნით β და γ -ს მნიშვნელობებს, როდესაც იცვლება მხოლოდ წყლის ხარჯი $Q_{წყ}$. ძებნის შედეგად მიღებული მონაცემები მოცემულია ცხრ. 3-ში. ამ მონაცემების მიხედვით აგებული იქნა გრაფიკი, რომელიც მოყვანილია ნახ. 17. ასევე მოვქებნით β და γ -ს მნიშვნელობები, როდესაც იცვლება მხოლოდ დარტყმის ძალა F . ძებნის შედეგები მოცემულია ცხრ. 4-ში. აგებული იქნა გრაფიკი, რომელიც მოყვანილია ნახ. 18.

ცხრილი 2. კონცენტრატის შემცველობის β და გამოსავლის γ მნიშვნელობები A ამპლიტუდის ცვლილების მიხედვით

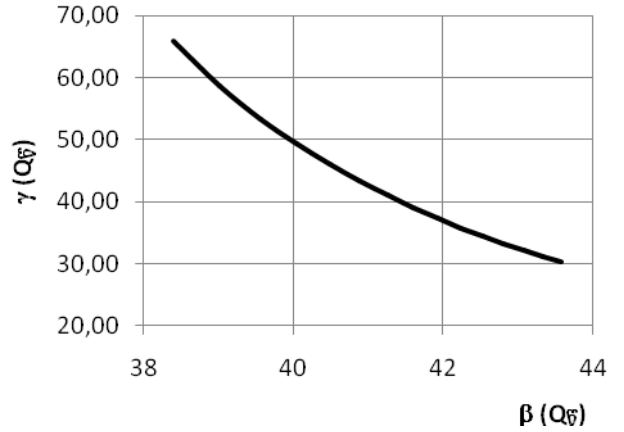
N	A, მმ	$Q_{წყ}$ ლ/წთ	F კგ	β , %	γ , %
1	4	40	46	37,84	52,50
2	5	40	46	38,53	55,49
3	6	40	46	39,13	57,24
4	7	40	46	39,67	58,06
5	8	40	46	40,16	58,16
6	9	40	46	40,61	57,72
7	10	40	46	41,03	56,86
8	11	40	46	41,43	55,68
9	12	40	46	41,80	54,25
10	13	40	46	42,16	52,64
11	14	40	46	42,49	50,90

ცხრილი 3. β და γ -ს მნიშვნელობები წყლის ხარჯის ცვლილების მიხედვით

N	A, მმ	$Q_{წყ}$ ლ/წთ	F, კგ	β , %	γ , %
1	4	40	46	39,60	65,81
2	4	45	46	40,04	58,65
3	4	50	46	40,64	53,37
4	4	55	46	41,18	49,29
5	4	60	46	41,67	46,00
6	4	65	46	42,11	43,28
7	4	70	46	42,53	40,99
8	4	75	46	42,91	39,02
9	4	80	46	43,28	37,31
10	4	85	46	43,62	35,79
11	4	90	46	43,95	34,45
12	4	95	46	44,26	33,24
13	4	100	46	44,55	32,15
14	4	110	46	44,83	31,16
15	4	120	46	45,11	30,25



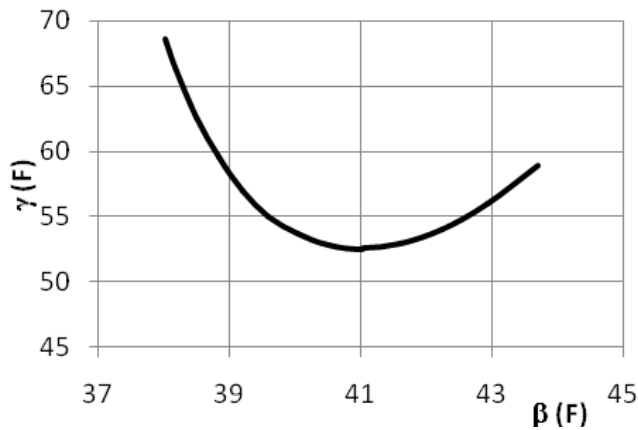
ნახ. 16. ძებნის გრაფიკი, როდესაც იცვლება A



ნახ. 17. ძებნის გრაფიკი, როდესაც იცვლება Q_ფ

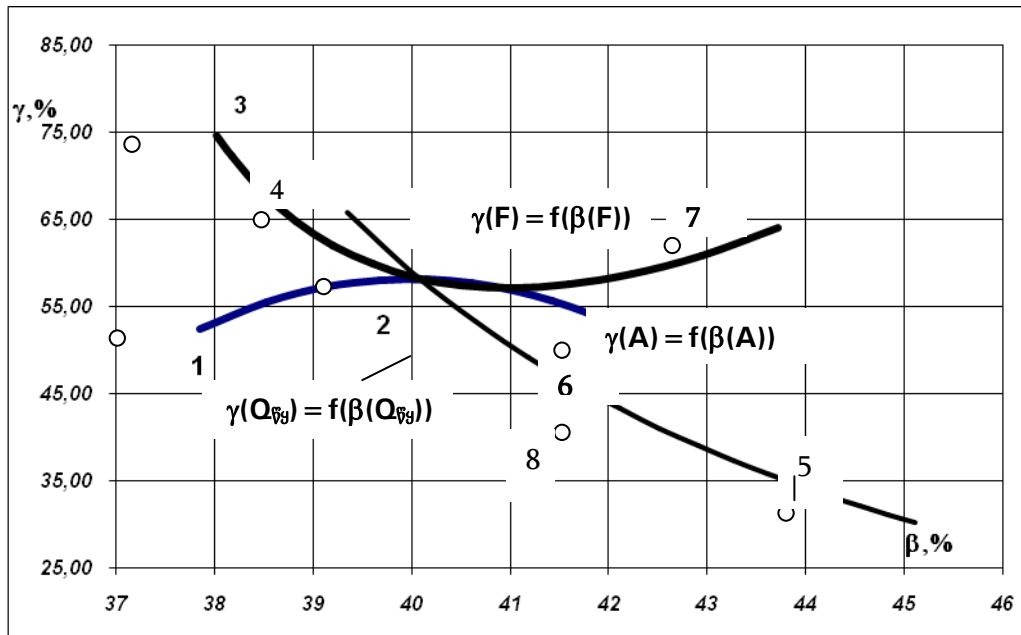
ცხრილი 4. კონცენტრატის შემცველობის და γ გამოსავლის მნიშვნელობები F დარტყმის ძალის ცვლილების მიხედვით

N	A, მმ	Q _ფ , ლ/წთ	F, კგ	β , %	γ , %
1	4	40	35	43,71	58,87
2	4	40	37	42,93	55,94
3	4	40	39	42,23	54,02
4	4	40	41	41,60	52,93
5	4	40	43	41,03	52,55
6	4	40	45	40,51	52,81
7	4	40	47	40,04	53,64
8	4	40	49	39,60	55,04
9	4	40	51	39,20	56,99
10	4	40	53	38,83	59,52
11	4	40	55	38,49	62,66
12	4	40	57	38,17	66,44
13	4	40	58	38,02	68,59



ნახ. 18. ძებნის გრაფიკი, როდესაც იცვლება F

ნახ. 16, 17 და 18 მოყვანილი გრაფიკები მიუთითებენ იმაზე, რომ ოპტიუმის წერტილის მოსაძებნად აუცილებელია განისაზღვროს კონცენტრატის ხარისხის დავალბული მნიშვნელობა, რომლის მუდმივობის გათვალისწინებით მიღებული იქნება კონცენტრატის მაქსიმალური სიდიდე. ამ ამოცანის გადასაჭრელად მოვახდინოთ 16, 17 და 18 გრაფიკების ზედღება, რომლის შედეგად მიღებული გამოსახულება მოყვანილია ნახ. 19.



ნახ. 19. ძებნის გრაფიკების ზედღება

როგორც ვხედავთ, სამივე გრაფიკი ერთმანეთს კვეთს წერტილში 2, კოორდინატებით $\beta=40$, $\gamma=58,6$. ამ წერტილის შემდეგ ოპტიუმის წერტილის მოსაძებნად საჭიროა ვიცოდეთ მოთხოვნები β -ს დავალბული სიდიდის შესახებ. თუ, მაგალითად, კონცენტრატის ხარისხი უნდა იყოს $\beta=38\%$, ან $\beta=39\%$, მაშინ აუცილებელია ძებნა გაგრძელდეს $\gamma(F) = f(\beta(F))$ გრაფიკით, წერტილისაკენ 3. ამ შემთხვევაში შესაბამისად გვექნება $\gamma=75\%$, ან $\gamma=63\%$. თუ გვჭირდება $\beta=39,5\%$ -იანი კონცენტრატი, მაშინ მიზანშეწონილია მე-2 წერტილის შემდეგ ძებნა ვაწარმოოთ $\gamma(Q_{\beta}) = f(\beta(Q_{\beta}))$ მრუდზე მე-4 წერტილისაკენ, სადაც მივიღებთ $\gamma=65,8\%$ -იან გამოსავალს. იმ შემთხვევაში თუ გვჭირდება 40-42%-იანი კონცენტრატი, უნდა ვიმოძრაოთ უბანზე 2 - 6, რადგან უფრო მაღალ გამოსავალს მივიღებთ, ვიდრე უბანზე 2 - 5. წერტილში 6, გამოსავალი $\gamma=50,9\%$ და შემცველობა $\beta=42,5\%$. თუ გვჭირდება, რომ მივიღოთ $\beta=42,5 - 45\%$ -იანი კონცენტრატი, უნდა ვიმოძრაოთ $\gamma(Q_{\beta}) = f(\beta(Q_{\beta}))$ მრუდზე, 8 -იდან 5 წერტილისაკენ. წერტილში 8 გამოსავალი შეადგენს 41%-ს, ხოლო წერტილში 5 კი - 31%-ს. $\gamma(F) = f(\beta(F))$ გრაფიკის უბანი 2 - 7 არ განიხილება, რადგან არარეალურია - ტექნოლოგიურად შეუძლებელია ერთდროულად გაიზარდოს კონცენტრატის როგორც ხარისხი, ასევე მისი გამოსავალი. როგორც ვხედავთ, მმართველი სიდიდეების ოპტიმალური მნიშვნელობების განსაზღვრა დამოკიდებულია იმაზე, თუ როგორი ხარისხის კონცენტრატის მიღება გვჭირდება. იმის მიხედვით, თუ ოპტიუმის ძებნის როგორ თანამიმდევრობას შევირჩევთ, მივიღებთ გრაფიკების ერთმანეთზე გადასვლის სხვადასხვა ვარიანტს (როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ), მაგრამ ყველა შემთხვევაში საჭიროა მიღებულ ალგორითმში გავითვალისწინოთ შემასწოტებელი ზემოქმედებების (Q და α) ცვალებადობა. ამ მიზნით ექსპერიმენტული მონაცემების მიხედვით (ცხრ. 1) აგებული იქნა შესაბამისი დამოკიდებულებები:

$$R = 2,2Q^{-0,62} , \quad R = 2 \cdot 10^7 \cdot \alpha^{-4,81} . \quad (19)$$

ამ დამოკიდებულებების შეტანით შეზღუდვის ფუნქციაში (11) მიწოდებული მასალის რაოდენობისა Q და საწყისი შემცველობის α -ს ნაცვლად, და მათი ცვალებადობით ექსპერიმენტის დროს დადგენილ ზღვრებში (12), მივიღებთ შემცველობის β და გაფხვიერების R მიმართ ჩაწერილ მართვის კანონებს.

აღნიშნული სტატია შესრულებულია შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის მიერ დაფინანსებული საგრანტო პროექტის (საგრანტო ხელშეკრულება №FR/342/3-180/13) ფარგლებში. პუბლიკაციაში გამოქვეყნებული მოსაზრებები ეკუთვნის ავტორებს და შესაძლოა არ ასახავდეს შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის შეხედულებებს.

ლიტერატურა

1. რ. ენაგელი, მ. ქიტოშვილი. მანგანუმის მადნის დაღეკვის პროცესის ალბათობითი მოდელი. //ენერჯია“, 3(55)/2010, გვ. 65-70.
2. Буцхрикидзе Г.Д. Метод оптимизационной идентификации технологических процессов обогащения при многих управляющих параметрах. Известия ВУЗ-ов. //Горный журнал, №11, 1980, сс. 82-86.
3. გ. ბუცხრიკიძე, რ. ენაგელი. დაღეკვის პროცესის ოპტიმალური მართვა. /საერთაშორისო კონფერენციის მასალები. ქ. ოსტრავა, ჩეხოსლოვაკია. 25-27. 09 1984.
4. გ. ბუცხრიკიძე, მ. ონიანი. ოპტიმიზაციის კრიტერიუმი და ამოცანები წიაღისეულის გამდიდრების პროცესებისათვის. //სამთო ჟურნალი, №2(15), 2005.
5. Барский Л.А., Козин В.З. Системный анализ в обогащении полезных ископаемых. -Москва, Недра, 1978, 486с.
6. რ. ენაგელი, მ. ქიტოშვილი. დაღეკვის პროცესის ოპტიმიზაცია მრავალ კამერიან საღეკ მანქანაში. //სამთო ჟურნალი, №2(29), 2012.

SUMMARY

OPTIMIZATION OF THE PROCESS OF THE MANGANESE ORE BENEFICIATION PROCESS IN A DIAPHRAGM JIG MACHINE

Enageli R.P., Gamtsemlidze M.N., Javakhishvili G.V., Arabidze Z.D., Tutberidze M.L., Rukhadze T.A. and Tevzadze D.M.

Grigol Tsulukidze Mining Institute Georgian Technical University

The paper deals with the optimization of the process of manganese ore beneficiation in a diaphragm jig machine. Based on the conducted experiments, a mathematical model of the process was constructed and a technological criterion of optimization, which implies obtaining the maximum amount of concentrate of the desired quality taking into account control and disturbing actions, was determined. The optimization was carried out by a programming method using the graphical version. Based on the obtained results, the process optimal control system and optimal control laws, in which the variation of disturbing actions is considered, can be developed.

Keywords: manganese, jigging, concentrate, yield, control, optimization.

ნანობანოზომილეზიანი კატიონომოფიციცირეზული ცეოლითური მასალები

დოლაბერიძე ნ.მ., მირძველი ნ.ა., ნიჟარაძე მ.ო.

ივ. ჯავახიშვილის უნივერსიტეტი პ. მელიქიშვილის ფიზიკური და ორგანული ქიმიის ინსტიტუტი

ცეოლითები წარმოადგენენ განვითარებული ზედაპირის მქონე მაკრომოლეკულურ სისტემას, მოლეკულურ-საცრულ ეფექტთან შერწყმული, ალუმინსილიკატური კარკასის უარყოფითი მუხტის მაკომპენსირებელი, სხვადასხვა ბუნების კატიონებს შორის იონმიმოცვლითი რეაქციებით [1].

სამედიცინო თვალსაზრისით დიდ ინტერესს იწვევს ბუნებრივი და სხვადასხვა მძიმე ლითონის კატიონებით მოდიფიცირებული წვრილდისპერსული მასალების გამოყენება მყარი ფაზიდან ნაწლაკური ჩხირებისა და ოქროსფერი სტაფილოკოკების გამოსაყოფად [2]. ასევე დიდ ინტერესს იწვევს წვრილდისპერსული ცეოლითების მოხმარება იგივე მძიმე ლითონების კატიონების გამოსაყოფად ორგანიზმიდან ($Ni^{2+}, Zn^{2+}, Cu^{2+}$) [1].

ჩვენს მიერ შემუშავებულია წვრილდისპერსული მძიმე ლითონების კატიონმოდიფიცირებული ბუნებრივი ცეოლითების (კლინოპტილოლიტი, ფილიპსიტი) მიღების ხერხი, რაც ეფექტური მაღალი სისუფთავის ნანოცეოლითური მასალების შექმნის საშუალებას იძლევა [3]. ეფექტურია ასეთი მასალების ურთიერთქმედება მიკროორგანიზმებთან [4].

სამუშაოს მიზანს შეადგენდა იონმიმოცვლის მეთოდით რკონის ადგილმდებარეობის კლინოპტილოლიტისა-CtR და ახალციხის ადგილმდებარეობის ფილიპსიტის-PA კრისტალურ სტრუქტურაში თუთიის კატიონების მაქსიმალური ჩანაცვლების პროცესის შესწავლა და შესაბამისად წვრილდისპერსული კლინოპტილოლიტისა და ფილიპსიტის თუთიის კატიონმოდიფიცირებული ფორმების მიღება.

ცხრილი 1. თუთიის იონმიმოცვლა კლინოპტილოლიტსა და ფილიპსიტში

ცეოლითი	შეყვანილი კატიონის მას.%	ჩანაცვლების ხარისხი,%
CtR		
Zn ₁ CtR	5,65	34,3
Zn ₃ CtR	8,45	53,5
Zn ₆ CtR	12,38	79,4
Zn ₁ PA	6,71	40,0
Zn ₃ PA	11,29	73,8
Zn ₆ PA	15,4	99,02

შევისწავლეთ კლინოპტილოლიტისა და ფილიპსიტის ქმედება სისტემაში CtR- და PA-თუთიაშემცველი ხსნარი. იონმიმოცვლისათვის გამოყენებული იყო მაღალი სისუფთავის კომერციული რეაქტივი თუთიის ქლორიდი. მყარი და თხევადი ფაზის ფარდობა 1:6, თუთიის ქლორიდის წყალხსნარის კონცენტრაცია 16. ერთაქტიანი რეაქციისას ურთიერთქმედების დრო 1სთ, წყლის აბაზანაზე მუდმივი მორევის პირობებში, ტემპერატურა 98-100°C, ჯერადობა-6. იონმიმოცვლის ბოლოს კატიონჩანაცვლებული ცეოლითები ირეცხება ფილტრატში ქლორ-იონების სრულ არყოფნამდე. შემდეგ ნიმუშები მოწმდება რენტგენულ-დიფრაქტომეტრული ანალიზით კრისტალური სტრუქტურის შენარჩუნებაზე და წყლის ორთქლის მიმართ ადსორბციის უნარიანობაზე. აღნიშნული იონმიმოცვლის პროცესისას, მიღებულ პირობებში არ შეიმჩნეოდა ნიმუშების კრისტალური მესრის მნიშვნელოვანი ცვლილება, რასაც მოწმობს შესაბამისი დიფრაქტოგრამების შედარებითი ანალიზი. ჩატარებული ქიმიური ანალიზის

საფუძველზე (კლასიკური და ფოტომეტრიის მეთოდით) გათვლილი ჩანაცვლების ხარისხებიდან გამომდინარე შეიძლება დავასკვნათ, რომ ფილიპსიტის კრისტალურ სტრუქტურაში უფრო წარმატებით ჩანაცვლება თუთიის კატიონები, ვიდრე კლინოპტილოლიტისაში - რაც ფილიპსიტის ანიონური კარკასის აგებულებითაა გამოწვეული. ცხრ.-ში 1 მოტანილია ბუნებრივი CtRQ და PA და მისგან წარმოებული ფორმების ქიმიური ანალიზის შედეგები.

ამ მონაცემების შედარებისას ასევე მივიღვართ დასკვნამდე, რომ ბუნებრივი ცეოლითების თანდათანობით გამდიდრებისას, შესაბამისი კატიონებით, მკვეთრად შეიმჩნევა კატიონჩანაცვლების ხარისხის კანონზომიერი ზრდა იონმიმოცვლის რიცხვის გადიდებასთან ერთად, ანუ ცეოლითების სტრუქტურაში ამ კატიონის კონცენტრირება.

ექსიკატორული მეთოდით განსაზღვრულია ნიმუშების ადსორბციის უნარი წყლის ორქლის მიმართ $P/P_s=0,40$ და ოთახის ტემპერატურაზე. ცხრ.-ში 2 მოტანილი მონაცემები მოწმობს იმას, რომ იონმიმოცვლის ჩაღრმავებისას ადსორბციული მოცულობა იზრდება, რაც ცეოლითის ალუმინსილიკატური კარკასის მაკომპენსირებელი თუთიის კატიონების მატებითაა გამოწვეული. ამ დროს წყლის პოლარული მოლეკულები იოლად აღწევენ ცეოლითის მიკროფორებში და ადსორბირდებიან თუთიის კატიონებზე ძირითადად იონ-დიპოლური ურთიერთქმედების ხარჯზე.

ცხრილი 2. წყლის ორქლის ადსორბცია ბუნებრივ კლინოპტილოლიტზე, ფილიპსიტზე და მათ თუთიის კატიონებით მოდიფიცირებულ ფორმებზე

ცეოლითი	ადსორბცია	
	მმოლ/გ	სმ ³ /გ
CtR	3,52	0,064
Zn ₁ CtR	3,76	0,068
Zn ₃ CtR	4,36	0,080
Zn ₆ CtR	4,82	0,086
PA	6,55	0,118
Zn ₁ PA	5,83	0,105
Zn ₃ PA	6,11	0,110
Zn ₆ PA	6,75	0,121

ექსპერიმენტის შედეგებიდან ჩანს, რომ ჩანაცვლების ხარისხის მატება უფრო ინტენსიური და მაღალია ფილიპსიტში ვიდრე კლინოპტილოლიტში, რაც ფილიპსიტის დაბალსილიციუმუმიანობით და ამავედროულად ცეოლითის კრისტალური მესრის მაკომპენსირებელი კატიონების სიმრავლით არის გამოწვეული. ამავე ცხრილიდან ასევე ნათელია, რომ ჩვენს მიერ სინთეზირებული თუთიის კატიონების შემცველი წვრილდისპერსული ნიმუშების ადსორბციისუნარიანობა იზრდება, ჩანაცვლების ხარისხის ზრდასთან ერთად.

ამგვარად, საქართველოს ბუნებრივი ცეოლითების კლინოპტილოლიტისა და ფილიპსიტის საფუძველზე მიღებულია თუთიის კატიონების მაქსიმალური შემცველობის ნანოცეოლითური მასალები, რომელთა გამოყენებაც შესაძლებელია მყარი ფაზიდან ბაქტერიების (ნაწლავური ჩხირებისა და სტაფილოკოკების) გამოსაყოფად. ასევე მნიშვნელოვანია ამ მასალების გამოყენების შესაძლებლობა ორგანიზმიდან ჭარბი რაოდენობის თუთიის კატიონების გამოსადევნად.

1. В.Г. Цицишвили, Н.М. Долаберидзе, М.В. Алелишвили, Г.П. Цинцаладзе, Н.А. Мирдзвели, М.О. Нижарадзе. Медицинские препараты на основе цеолитов. //Экспериментальная и клиническая медицина, 2010, N4, сс. 50-53.
2. Milan Z, de Las Pozas C. Cruz M. Boris R, Sanchez E, Ilangovan K, Espinosa Y, Luna B. The Removal of Bacteria by Modified Natural Zeolites. //J. Environ. Sci. Health A, 2001, 36(6), pp.1073-1087.
3. Tsitsishvili V., Gvakharia V., Sakvarelidze N., Dolaberidze N., Alelishvili M. Influence of Zeolites on Microorganisms. /Proceedings of the 6th International Conference on the Occurrence, Properties and Utilization of Natural Zeolites, Zeolite`02, Thessaloniki, Greece, 2002, 5-6, №5.
4. ნანული დოლაბერიძე, ვლადიმერ ციციშვილი, მანანა ნიუარაძე, ნატო მირძველი. ვერცხლისშემცველი ანტიბაქტერიული სორბენტების მიღება და მისი ზოგიერთი მახასიათებელი. პ. მელიქიშვილის ფიზიკური და ორგანული ქიმიის ინსტიტუტის შრომების კრებული, 2015, გვ. 41-44.

SUMMARY

NANOSCALE CATION-MODIFIED ZEOLITE MATERIALS

Dolaberidze N.M., Mirdzveli N.A. and Nizharadze M.O.

P. Melikishvili Institute of Physical and Organic Chemistry, Iv. Javakhishvili Tbilisi State University

Based on natural Georgian clinoptilolite and phillipsite, sorbents with different content of zinc cations were produced by the ion-exchange method. It was found that the quality of replacement by zinc ions in phillipsite was higher than in clinoptilolite. This fact makes phillipsite modified with zinc ions the nanomaterial of choice for using in medical practice, as compared to clinoptilolite.

Keywords: clinoptilolite, phillipsite, ion exchange, cation, nanomaterial.

РАСЧЕТ ВОЛНОВЫХ ДВИЖЕНИЙ ЧЕРНОГО МОРЯ В РАЙОНАХ ПОТИ И АНАКЛИИ

Сагинадзе И.С., Пхакадзе М.Д.

Государственный университет Акакия Церетели, Кутаиси

Острые экологические проблемы в городе Потти возникли после переброски основного расхода реки Риони в северном направлении. В результате наводнения в городе прекратились, но сокращение расхода воды в городском канале вызвало уменьшение количества наносов, выносимых рекой в море, что привело к эрозии берега. Аналогичные процессы происходят в прибрежной зоне Анаклии. После постройки ингургской гидроэлектростанции расход наносов в реке Ингури резко сократился, что вызвало эрозию морского берега в районе Анаклии (рис. 1).



Рис. 1. Берег моря в Анаклии в настоящее время

Знание волновых режимов моря необходимо для исследования прибрежных течений и транспорта наносов в прибрежной зоне, а также для расчета волновых нагрузок, действующих на гидротехнические сооружения [1].

Рассмотрим волновые движения воды в прибрежной зоне Черного моря в районах Потти и Анаклии с учетом реальной батиметрии морского дна.

Нелинейные одномерные уравнения движения воды в прибрежной зоне имеют вид [1]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + g \frac{\partial \zeta}{\partial x} &= - \frac{gu|u|}{c_n^2 h + \zeta}, \\ \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{\partial(Hu)}{\partial x} &= 0, \end{aligned} \quad (1)$$

где ось x совмещена с поверхностью невозмущенного состояния моря и направлена к берегу; u – осредненная по вертикали скорость течения воды; ζ – подъем воды от невозмущенного уровня; $H = h + \zeta$ – высота поверхности воды от дна моря; h – глубина невозмущенного моря; $C_n = g/f$ – коэффициент Шези; f – коэффициент трения.

Будем считать, что при волновом движении моря скорость u малая величина, и в уравнениях (1) членами второго порядка малости можно пренебречь, тогда из (1) получим:

$$\begin{aligned}\frac{\partial u}{\partial t} + g \frac{\partial \zeta}{\partial x} &= 0 \\ \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{\partial(Hu)}{\partial x} &= 0,\end{aligned}\quad (2)$$

Глубина h не зависит от времени t , $h = h(x)$. Умножая первое уравнение системы (2) на h , возьмем производное первого уравнения по пространственной координате x , а второго по t , затем, после вычитания из второго уравнения первого, получим:

$$\frac{\partial^2 \zeta}{\partial t^2} - g \frac{\partial h}{\partial x} \frac{\partial \zeta}{\partial x} - gh \frac{\partial^2 \zeta}{\partial x^2} = 0 \quad (3)$$

Решение системы (3) ищем в виде:

$$\zeta = \tilde{\zeta}(x) \cos \omega t, \quad (4)$$

где $\tilde{\zeta}(x)$ – амплитудное значение возвышения от свободной поверхности моря (далее в тексте знак тильда будет опущен); ω – круговая частота волны, равная $\omega = 2\pi/T$; T – период волны. После подстановки (4) в (3) и преобразования, получим:

$$\frac{\partial^2 \zeta}{\partial t^2} + p(x) \frac{\partial \zeta}{\partial x} + q(x) \zeta = 0, \quad (5)$$

где

$$p(x) = \frac{\dot{h}(x)}{h(x)}; \quad q(x) = \frac{\omega^2}{gh(x)}. \quad (6)$$

В результате получили обыкновенное (жесткое) дифференциальное уравнение второго порядка с переменными коэффициентами. Сформируем краевую задачу для уравнения (5) следующим образом $y \equiv \zeta$:

$$\begin{aligned}y'' + p(x)y' + q(x)y &= f(x), \\ y(a) = y_a, \quad y(b) &= y_b\end{aligned}\quad (7)$$

где y_a и y_b – граничные условия на отрезке интегрирования $[a, b]$; В нашем случае $f(x) = 0$

Уравнения (7) решаются конечно-разностным методом (неявная схема), заменяя дифференциальные операторы отношением конечных разностей, с использованием формул численного дифференцирования. Для этого введем конечно-разностную сетку с шагом Δ : $x_i = a + i\Delta$, $i = 0, \dots, n$. Шаблон неявной схемы показан на рис. 2.

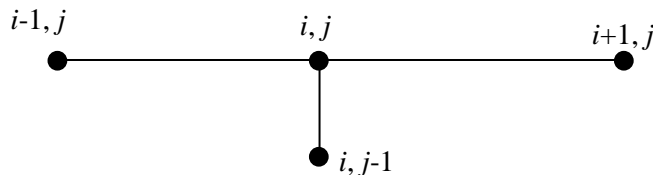


Рис. 2. Шаблон неявной двухслойной разностной схемы

Поскольку уравнение (7) описывает поведение функции $y(x)$ внутри расчетной области $x \in (a, b)$, то производные 1-го и 2-го порядков можно аппроксимировать с помощью отношения центральных разностей со 2-го порядка аппроксимаций (неявная схема):

$$y'_i = \frac{y_{i+1} - y_{i-1}}{2\Delta} + O(\Delta^2), \quad i = 1 \dots n-1 \quad (8)$$

$$y''_i = \frac{y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}}{2\Delta} + O(\Delta^2), \quad i = 1 \dots n-1 \quad (9)$$

$$[p(x_i), q(x_i), f(x_i)] \equiv [p_i, q_i, f_i], \quad i = 1 \dots n-1 \quad (10)$$

Подставляя (8)-(10) в уравнения (7), получим следующую конечно-разностную схему:

$$\frac{y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}}{\Delta^2} + \frac{p_i(y_{i+1} + y_{i-1})}{2\Delta} + q_i y_i = f_i + O(\Delta^2), \quad i = 1 \dots n-1 \quad (11)$$

$$y_0 = y_a, \quad i = 0; \quad y_n = y_b, \quad i = n.$$

Уравнение (11) после преобразования можно представить в виде трехдиагональной матрицы:

$$a_i y_{i-1} + b_i y_i + c_i y_{i+1} = d_i, \quad i = 1 \dots n-1, \quad (12)$$

где

$$a_i = \frac{1}{\Delta^2} - \frac{p_i}{2\Delta}; \quad b_i = -\frac{2}{\Delta} + q_i; \quad c_i = \frac{1}{\Delta^2} + \frac{p_i}{2\Delta}; \quad d_i = f_i = 0$$

При $i=1$ первое слагаемое в левой части уравнения (12) известно и равно: $a_1 y_0 = a_1 y_a$; При $i=n-1$ последнее слагаемое в левой части уравнения (12) также известно и равно: $c_{n-1} y_n = c_{n-1} y_b$; Поэтому система уравнений (12) приобретает следующий вид:

$$a_1 = 0,$$

$$\begin{cases} b_1 y_1 + c_1 y_2 = d_1^*, \quad d_1^* = d_1 - a_1 y_a, \quad i = 1, \\ \text{-----} \\ a_i y_{i-1} + b_i y_i + c_i y_{i+1} = d_i, \quad i = 2, \dots, n-2, \\ \text{-----} \\ a_{n-1} y_{n-2} + b_{n-1} y_{n-1} = d_{n-1}^{**}, \quad d_{n-1}^{**} = d_{n-1} - c_{n-1} y_b, \quad i = n-1, \end{cases} \quad (13)$$

$$c_{n-1} = 0$$

Здесь коэффициенты a_i и c_{n-1} полагаются равными нулю только после вычисления правых частей d_1^* и d_{n-1}^{**} .

Система алгебраических линейных уравнений (13) имеет трехдиагональную матрицу и $a_1 = c_{n-1} = 0$. Уравнения (13) решаем методом прогонки использованием компьютерной программы “Mathcad” [2].

Будем считать, что глубина моря h меняется по формуле $h(x) = a \cdot (L-x)^\beta$, где L длина рассматриваемого отрезка моря, а α и β параметры, которые определяют глубины рассматриваемых частей дна. Для Поти $\alpha = 0,05$ и $\beta = 3/4$, для Анаклии $\alpha = 0,08$ и $\beta = 0,75$.

Результаты численного решения показаны на рис. 3 – 6.

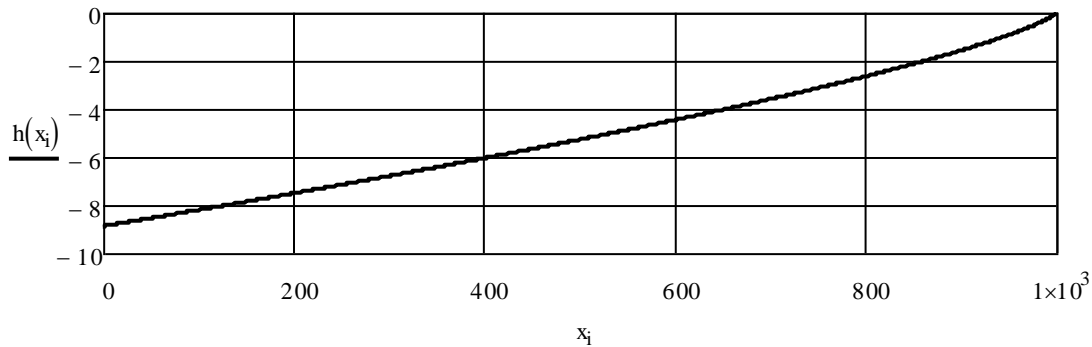


Рис. 3. Профиль дна в районе Поти

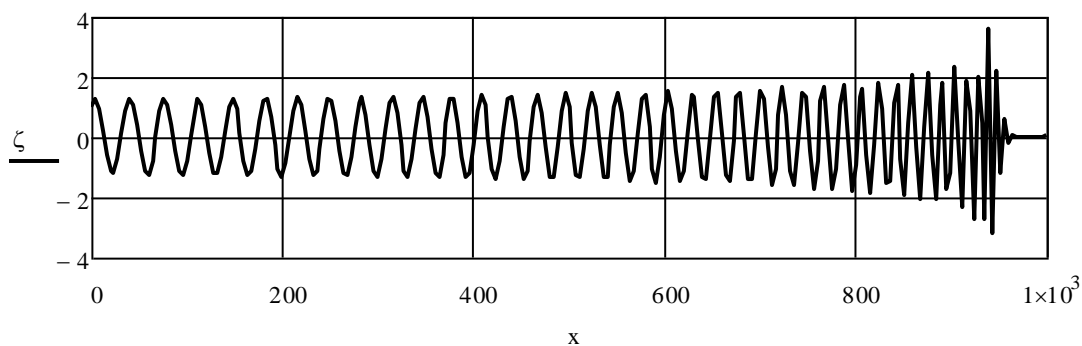


Рис. 4. Распространение волновых движений моря в районе Поти

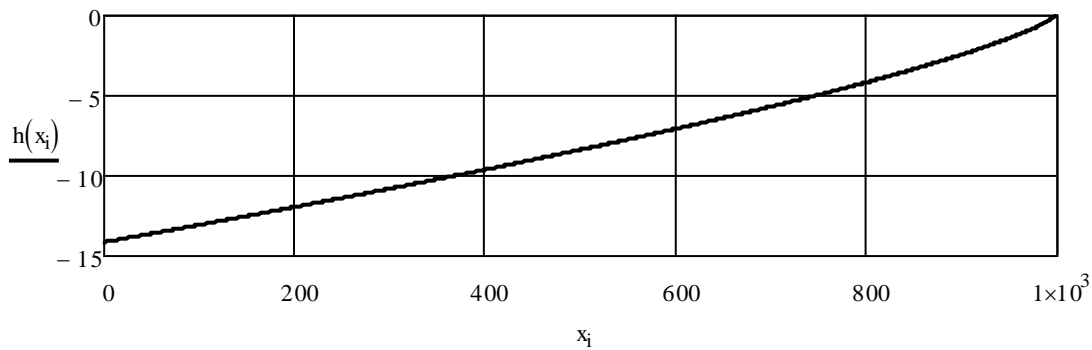


Рис. 5. Профиль дна моря в районе Анаклии

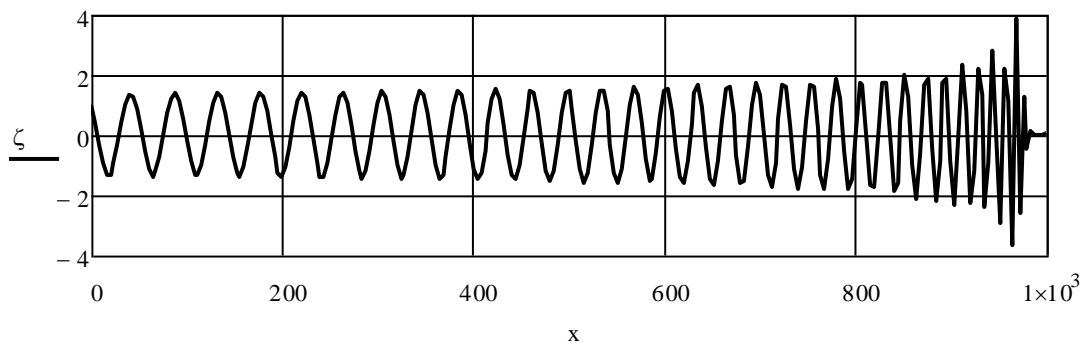


Рис. 6. Распространение волновых движений моря в районе Анаклии

Из рис. 3 и 5 видно, что уклон дна и, соответственно, глубина воды в Анаклийском регионе больше, чем в Потийском, что отражается на волновых движениях моря. Из рис. 4 и 6 видно, что при приближении волн к берегу высоты волн растут и вблизи берега разрушаются.

Максимальное значение высоты волн для Потийского региона составляет около 3,5 метра, а для Анаклии около 3,9 метра.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вольцингер Н.Е., Клеванный К. А., Пелиновский Е. Н. Длинноволновая динамика прибрежной зоны. –Ленинград, Гидрометеоздат, 1989, 272с.
2. Поршнева С. В., Беленкова И. В. Численные методы на базе Mathcad. -Санкт Петербург, 2005, 450с.

Работа выполнена в рамках гранта № AR/22/3-109/14, финансируемого Грузинским национальным научным фондом им. Ш.Руставели

SUMMARY

CALCULATION OF WAVE MOTIONS OF THE BLACK SEA IN THE AREAS OF POTI AND ANAKLIA

Saghinadze I.S. and Pkhakadze M.D.

Akaki Tsereteli State University, Kutaisi

The paper deals with the two-dimensional mathematical model of wave motion of the Black Sea in Poti and Anaklia regions. The differential equations of wave motion of the sea which are solved by the finite difference method (the implicit scheme) were derived. For the numerical solution of the system of equations, the computer program Mathcad was used. As a result of the solution, the graphs of wave fields of the sea in Poti and Anaklia regions were obtained.

Keywords: coastal current, wave, velocity, sea, depth.

სისტემური მიდგომა და მოდელირება ზოგად ეპოლოგიაში

ანდრეაძე შ.ნ., ანდრეაძე ნ.შ., ანდრეაძე ლ.შ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

სისტემური მიდგომა – სისტემების, როგორც კვლევის ობიექტების შემეცნების მეთოდოლოგიის მიმართულებაა, ხოლო **სისტემა** – გარკვეული მთლიანობისა და ერთობის წარმომქმნელი ურთიერთდაკავშირებული ელემენტთა სიმრავლეა.

სისტემის შედგენილობა, სტრუქტურა და თვისებები **სისტემური ანალიზით** შეისწავლება. იგი სისტემური მიდგომის საფუძველია და რთულ სამეცნიერო თუ პრაქტიკულ პრობლემათა გადაწყვეტისათვის მეთოდოლოგიურ საშუალებათა ერთობლიობას წარმოადგენს. ამ ერთობლიობაში იგულისხმება დაწყებული მარტივი ლოგიკური აღწერიდან და დამთავრებული რთულ მათემატიკურ მეთოდთა კომპლექსებით [1-3].

სისტემური ანალიზის ტექნიკურ საყრდენად თანამედროვე კომპიუტერული ტექნოლოგიები და ინფორმაციული სისტემები ეგმები ითვლება, მათემატიკური პროგრამირების, თამაშების თეორიისა და თანამედროვე გამოყენებითი მათემატიკური უზრუნველყოფის ჩათვლით.

ეპოლოგიაში **ძირითადი სისტემური პრინციპებია:** მთლიანობა, სტრუქტურულობა, სისტემისა და გარემოს ურთიერთდამოკიდებულება, იერარქიულობა, თითოეული სისტემის აღწერის სიმრავლე.

მთლიანობა – სისტემის განზოგადოებული მახასიათებელია, რომლის თვისებები არ დაიყვანება სისტემის ელემენტთა თვისებების ჯამამდე და არ გამოიყვანება ამ თვისებებიდან (ორგანიზმთა მთლიანობა უფრო სრული იქნება პოპულაციებში, პოპულაციისა – ბიოცენოზში და ა.შ. და თითოეული სისტემის თვისებები არ დაიყვანება წინამორბედის თვისებებამდე).

სტრუქტურულობა – სტრუქტურისა და სტრუქტურული ელემენტების ურთიერთდამოკიდებულების, სტრუქტურით გამოწვეული სისტემის ქცევის განპირობებულობის დადგენა (ბიოცენოზის სტრუქტურა, ტროფიკული ეკოსისტემის სტრუქტურა და ა.შ.).

სისტემისა და გარემოს ურთიერთდამოკიდებულება გამოისახება მათი ურთიერთქმედების შედეგად სისტემის თვისებების ფორმირებითა და გამოვლინებით (ბიოცენოზისა და ბიოტოპის, პოპულაციების ბიოცენოზში და ა.შ.).

იერარქიულობა – სისტემის თითოეული კომპონენტი განიხილება, როგორც დამოუკიდებელი სისტემა, ხოლო თვით შესასწავლი სისტემა – უფრო ფართო სისტემის შემადგენლად (ბიოლოგიური ორგანიზაციის დონეები გლობალურ სისტემამდე – ბიოსფერომდე).

ეკოსისტემები რთული, თვითრეგულირებადი და მიზანმიმართული სისტემებია, რთული იერარქიული სტრუქტურით, რომელიც ითხოვს თითოეული სისტემის ახსნის (აღწერის) სიმრავლეს და, შესაბამისად მრავალი მოდელის შექმნას.

მოდელი – დამხმარე ობიექტია, რომელიც იმყოფება შესასწავლ ორიგინალთან გარკვეულ ობიექტურ შესაბამისობაში და შეუძლია შეცვალოს იგი (ორიგინალი) შემეცნების გარკვეულ ეტაპზე. მაგალითად, ეკოსისტემაში ენერგეტიკული ნაკადების შესახებ წარმოდგენების შესაქმნელად აუცილებელია ამ ნაკადების მოძრაობა გამოვსახოთ ენერჯის პირამიდის სახით. ამ შემთხვევაში პირამიდა შუალედური (დამხმარე) ობიექტია.

მოდელი ორ ძირითად მოთხოვნას უნდა აკმაყოფილებდეს: 1. იგი უნდა გამოსახავდეს ორიგინალის იმ თავისებურებებს, რომლებიც შემეცნების საგნის ხარისხით გამოიკვეთებიან, და 2. მაქსიმალურად უნდა იყოს ორიგინალის ადეკვატური.

მოდელები ორი კლასისაა – **მატერიალური და აბსტრაქტული**. პირველი მათგანი ფიზიკურად ორიგინალის მსგავსია. მათ შეუძლიათ შეინარჩუნონ ორიგინალთან გეომეტრული მსგავსობა (მაკეტები, ტრენაჟორები, ხელოვნური

ორგანოები და ა.შ.), ფიზიკურ პროცესთა მსგავსობა (ფიზიკური მოდელირება), მაგალითად, ჰიდროლოგიური მოდელი – წყლის დინება.

ეკოლოგიური მოდელირებისათვის მეტად გამოსაყენებელია აბსტრაქტული მოდელები, რომლებიც ორიგინალის აღწერა სიტყვიერ ფორმაში ან სიმბოლოებითა და ოპერაციებით, რომლებიც ორიგინალის თავისებურებებს გამოსახავენ. ნსხვაგვარად აბსტრაქტული მოდელების სამ ტიპს: ვერბალურს, სქემატურსა და მათემატიკურს.

ვერბალური მოდელები ტექსტის, ცხრილების, ილუსტრაციების ფორმალური ვარიანტია.

სქემატური მოდელები სხვადასხვა სქემების, ნახატების, გრაფიკების, ფოტოგრაფიების სახით მუშავდება (ტროფიკული ჯაჭვები, პირამიდები, ეკოსისტემის სტრუქტურის, დინამიკის, ენერგეტიკის სქემები და ა.შ.).

მათემატიკური მოდელი – ორიგინალის მათემატიკური აღწერაა, რომელიც ასახავს მის მთლიანობას, სტრუქტურას, დინამიკას, ორიგინალის სტრუქტურასა და დინამიკას და ა.შ.

პრაქტიკულად ეს მოდელი არის ფორმულა ან ტოლობათა და უტოლობათა სისტემა. მათემატიკური მოდელი **სტატისტიკური** და **დინამიკური** შეიძლება იყოს. პირველი ასახავს ორიგინალს (ობიექტს) დროში და სივრცეში უძრავადყოფს, მეორე კი მას და დროის განმავლობაში მისი მდგომარეობის შეცვლას.

მოდელირება – მოდელის დამუშავებაა, მისი შესწავლა და მოდელური ინფორმაციის გავრცობა ორიგინალზე.

მოდელირების პროცესი, ოთხი ეტაპისაგან შედგება: თვისებრივი ანალიზი, მათემატიკური რეალიზაცია, ვერიფიკაცია და მოდელის შესწავლა.

მოდელირების პირველი ეტაპი – თვისებრივი ანალიზი ნებისმიერი მოდელირების საფუძველია. მასზე დაყრდნობით ყალიბდება კონკრეტული ამოცანის არსი და აირჩევა მოდელის სახე, რომელიც ზემოთ აღნიშნულ მოთხოვნებს აკმაყოფილებს.

მოდელირების მეორე ეტაპი – მოდელის ლოგიკური სტრუქტურის მათემატიკური რეალიზაციაა. მათემატიკურ საშუალებათა მიხედვით ანსხვაგვარად რეალიზაციის ანალიზურ, კომპიუტერულ (იმიტაციური და თვითორგანიზებადი) მოდელებს.

ანალიზური მოდელი თეორიული კონცეფციების აგებაა მკაცრი მათემატიკური აპარატის გამოყენებით, რაც ხშირად ზოგადი ფუნქციონალური დამოკიდებულების გამოყვანის შესაძლებლობას იძლევა.

იმიტაციური მოდელები ასახავს მკვლევარის წარმოდგენებს ეკოსისტემაში არსებულ ურთიერთკავშირისა და მათი რეალიზაციის გზების შესახებ.

თვითორგანიზებადი მოდელები რეგრესიულ განტოლებათა კლასს გვაძლევენ.

მოდელირების მესამე ეტაპი მიზნად ისახავს შესაბამისობის დადგენას (ვერიფიკაციას) მოდელსა და ორიგინალს შორის. ამისათვის საჭიროა შედარდეს მოდელირებით მიღებული შედეგები ემპირიული კვლევის შედეგებს.

მოდელირების მეოთხე ეტაპი – მოდელის შესწავლაა, მოდელთან ექსპერიმენტირება, მოდელური ინფორმაციის ეკოლოგიური ინტერპრეტაცია.

გ. დ. ფედოროვისა და ტ. გ. გილმანოვის მიერ შემოთავაზებულ იქნა ეკოსისტემების მათემატიკური მოდელების **პოპულაციური, ბიოცენოტიკური და ეკოსისტემური დონეებზე** დაყოფა. პირველი მათგანი (პოპულაციური მოდელები) ცალკეულ პოპულაციათა თავისებურებებს, მათ თვისებებს, შიდა კანონზომიერებებს ასახავს. იძლევიან პოპულაციათა რიცხოვნობისა და სასაკობრივი შედეგნილობის დადგენის საშუალებას სიკვდილიანობასა და შობადობასთან დამოკიდებულებაში და ა.შ. **ბიოცენოტიკური მოდელები** განიხილებიან, როგორც განტოლებათა სისტემები, რომლებიც ასახავენ ბიოცენოზის დინამიკას, როგორც შემადგენელ პოპულაციათა სიმკვრივის ფუნქციას. **ეკოსისტემური მოდელებიც** განტოლებათა სისტემებია, რომელთა არგუმენტების რიცხვში შეტანილია მისი, როგორც შიდა ცვალებადი მდგომარეობის, ისე გარე ზემოქმედების ფაქტორები და ეკოსისტემების ერთიანი თვისებები.

ეკოლოგიაში სისტემურმა მიდგომამ განაპირობა მთლიანი მიმართულების ფორმირება, რომელიც მის დამოუკიდებელ დარგად იქცა. მას სისტემურ ეკოლოგიას უწოდებენ.

ყოველივე ზემოთ ნათქვამი საშუალებას გვაძლევს დავასკვნათ, რომ სისტემური მიდგომა – ობიექტის, როგორც სისტემის, შემცვლების მეთოდოლოგიის მიმართულებაა, ხოლო სისტემა ურთიერთდაკავშირებულ ელემენტთა სიმრავლეა, რომლებიც გარკვეულ მთლიანობას, ერთიანობას წარმოქმნიან. სისტემური ანალიზი სისტემური მიდგომის საფუძველია და მეთოდოლოგიურ საშუალებათა კრებულს წარმოადგენს. ამ სიმრავლეში დაწყებული ლოგიკური აღწერით, დასრულებული რთული მათემატიკური განტოლებებით მთელი კომპლექსია მოცემული. სისტემური ანალიზის ტექნიკური საფუძველი თანამედროვე კომპიუტერული ტექნოლოგიები და საინფორმაციო სისტემებია, თავისი მათემატიკური უზრუნველყოფის ჩათვლით.

ლიტერატურა

1. შ. ანდღულაძე, ა. ცინცაძე, ა. ჭანკოტაძე და სხვ. ეკოლოგიური ობიექტების მოდელირება ალგორითმთა კლექტორებით. //საქართველოს ქიმიური ჟურნალი, ტ.9, №2, 2009, გვ. 183-185.
2. შ. ანდღულაძე, ა. ცინცაძე, ნ. ანდღულაძე. ეკოლოგიური პროცესების მათემატიკური მოდელირების ალგორითმული უზრუნველყოფა. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, შრომები №4(482), თბილისი, 2011, გვ. 9-42.
3. Коробкин В.И., Передельский Л.В. Экология. -РОСТОВ-на-ДОНУ, ФЕНИКС, 2008, 602 с.

SUMMARY

SYSTEMS APPROACH AND MODELING IN GENERAL ECOLOGY

Andguladze Sh.N., Andguladze N.Sh. and Andguladze L.Sh.

Georgian Technical University

The paper deals with the formation of a systems approach to general ecology and some of its guidelines applied in ecology, such as integrity, structural properties, the system-environment dependence, hierarchy, multiple description of each system. The paper highlights the systems analysis, a set of methods as the grounds for the systems approach.

Keywords:ecology, modeling, systems approach.

ბიოსფეროს ცოცხალი ნივთიერება და მისი ფიზიკურ-ქიმიური მართიანობა

ანდრეაძე შ.ნ., ანდრეაძე ნ.შ., ანდრეაძე ლ.შ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ბიოსფეროს ცოცხალი ნივთიერების ბიოგეოქიმიური სპეციფიკა ვ.ი. ვერნადსკის მიხედვით შემდგენაირად შეიძლება განიმარტოს:

დედამიწის ზედაპირზე არ არსებობს მუდმივად მოქმედ ქიმიურ ძალაზე მეტი ძალა, რადგან სასრული შედეგების მიხედვით იგი უფრო მძლავრია, ვიდრე ერთიანობაში აღებული ყველა ორგანიზმი.

სადღეისოდ აღწერილია ~ 300 ათასი მცენარეთა და 1,5 მლნ ცხოველთა სახეობა. მათ შორის 93% ხმელეთის, ხოლო 7% - წყლის სახეობებითაა წარმოდგენილი. ხმელეთის სახეობათა ჯამური ბიომასა 99,2%-ით მწვანე მცენარეებითაა ($2,4 \cdot 10^{12}$ ტ) წარმოქმნილი და მხოლოდ 0,8%-ით ცხოველებითა და მიკროორგანიზმებით ($0,2 \cdot 10^{11}$ ტ). ოკეანეში პირიქით, მცენარეები ბიომასის 6,3%-ს ($0,2 \cdot 10^9$ ტ), ხოლო ცხოველები და მიკროორგანიზმები – ბიომასის 93,7%-ს ($0,3 \cdot 10^{10}$ ტ) შეადგენენ. იმის მიუხედავად, რომ მსოფლიო ოკეანე დედამიწის ზედაპირის 70%-ზე მეტს იკავებს, მასში ყველა ცოცხალი ორგანიზმის ბიომასის 0,13%-ია.

დადგენილია, რომ მცენარეები ყველა აღრიცხული სახეობის ~ 21%-ს შეადგენენ. მაგრამ მათი წილი ბიომასის 99%-ზე მეტია, მაშინ როდესაც ცხოველებზე 1%-ზე ნაკლები მოდის. ცხოველთა შორის 96% უხერხემლოა, ხოლო ხერხემლიანი 4%. მათ შორის ძუძუმწოვარია ~ 10%. აღნიშნული თანაფარდობების მიხედვით გამომდინარეობს ბიოსფეროს ფუნდამენტური კანონზომიერება:

ბიოსფეროში რაოდენობრივად ჭარბობენ ფორმები, რომლებსაც განვითარების დაბალი ხარისხი აქვთ ანუ ევოლუციის პროცესში მორფოფიზიოლოგიური პროგრესის შედარებით დაბალ ხარისხებს მიაღწიეს [1-4].

ცოცხალი ნივთიერება გარკვეული თვისებებით ხასიათდება. მათ შორის მთავარია:

- მისწრაფება სრულად შეავსონ მათი გარემომცველი სივრცე. ნ.ფ. რეიმერსი ამ მისწრაფებას „სიცოცხლის წნევა“ უწოდებდა. სიცოცხლის წნევა განპირობებულია ინტენსიური გამრავლების უნარითა და ორგანიზმთა სხეულის ან მათ მიერ წარმოქმნილი გაერთიანებების ზედაპირის ინტენსიური ზრდით. მაგალითად, ზოგიერთ უმარტივესი ფორმის ორგანიზმს შეუძლია აითვისოს დედამიწა რამდენიმე საათის ან დღის განმავლობაში, რომ არა მათი პოტენციალური შესაძლებლობების შემზღუდავი ფაქტორები;

- სივრცეში ნებისმიერი მიმართულებით გადაადგილების შესაძლებლობა, მაგალითად, წყლის დინების, სიმძიმის ძალის, ქარის საწინააღმდეგოდ და ა.შ.

- სპეციფიკურ ქიმიურ ნაერთთა არსებობა, რომლებიც მდგრადია სიცოცხლის დროს და სწრაფად იშლება სიკვდილის შემდეგ (ფერმენტები, ცილები და ა.შ.);

- ფორმების, ზომების, შედგენილობების განსაკუთრებული ნაირსახეობა და არსებობის პირობებისადმი ადაპტირების მაღალი უნარი. ხშირ შემთხვევაში ადაპტირების უნარი მნიშვნელოვნად აჭარბებს არაცოცხალ ნივთიერებაში ცვლილებათა დიაპაზონს. ასე მაგალითად, ზოგიერთი ორგანიზმი აბსოლუტურ ნულთან (-273°C) მიახლოებულ ტემპერატურებზეც კი არსებობს, სხვები $+250^{\circ}\text{C}$ -ზე არც თუ იშვიათობაა, რიგი მიკროორგანიზმები ატომური რეაქტორის გამაცივებელ წყლებში, უჟანგბადო სივრცეში და ა.შ.;

- რეაქციათა მიმდინარეობის ფენომენალურად მაღალი სიჩქარე. რეაქციები ცოცხალ ნივთიერებაში რამოდენიმე რიგით უფრო სწრაფად მიმდინარეობენ, ვიდრე პლანეტის არაცოცხალ ბუნებაში. მეტად სამაგალითოა ნიადაგმჭამელების ქცევა – პლანეტის ნიადაგის ერთმეტრიანი ფენა წვიმის ჭიების (პლანეტის წვიმის ჭიების მასა 10-ჯერ აღემატება კაცობრიობის მთელ მასას) ორგანიზმებში გადის სულ რაღაც 150-200 წელიწადში. კვების ფილტრაციული ტიპის ორგანიზმები შენაწონებისაგან მთელ ოკეანეს ყოველ ოთხ წელიწადში ასუფთავებენ, ხოლო ნიჩაბფეხა კიბორჩხალა – ეპიშურა ერთ წელიწადში ბაიკალის წყალს ფილტრავს;

- ცოცხალი ნივთიერების განახლების მაღალი სიჩქარე. ბიოსფეროსათვის განახლება საშუალოდ 8 წელიწადში ხდება: ხმელეთზე 14 წელიწადში, ხოლო ოკეანეში – 33 დღე. აქედან გამომდინარე, სიცოცხლის არსებობის მთელი ისტორიის განმავლობაში ცოცხალი ნივთიერების საერთო მასა, რომელმაც გაიარა ბიოსფერო, დაახლოებით 12-ჯერ აღემატება დედამიწის მასას.

პირობითობის გარკვეული ხარისხით დაცვით, ცოცხალი ნივთიერების ფუნქციები ბიოსფეროში შეიძლება შემდეგნაირად გამოისახოს (ა.გ. ლაპოს მიხედვით): ენერგეტიკული, აირადი, ჟანგვა-აღდგენითი, კონცენტრაციული, დესტრუქციული, სატრანსპორტო, გარემოწარმოქმნელი და გამბნევი.

ცოცხალი ნივთიერება, მისი მრავალფეროვნების მიუხედავად, ფიზიკურ-ქიმიურად ერთიანია, ერთი და იგივე ევოლუციური ფესვები აქვს. ბუნებაში არ არსებობს ისეთი სახეობა, რომელიც კონკრეტულ ფიზიკურ თუ ქიმიურ ზემოქმედებაზე სხვა სახეობათა ორგანიზმებისაგან თვისობრივად განსხვავებული ქცევით რეაგირებს. არსებობს მხოლოდ რაოდენობრივი განსხვავება. მაგალითად, ყველა სახის ცხოველი შთანთქავს γ -გამოსხივებას და განსხვავება მხოლოდ იმაშია, რომ შთანთქმული დოზა ერთი სახეობის ცხოველებისათვის ნაკლები, ხოლო მეორე სახეობისთვის მეტი სიდიდით განისაზღვრება. ასეთივე ვითარებაა სხვადასხვა სახეობათა ორგანიზმების შედარების დროსაც. მაგალითად, ძაღლისათვის, ისევე როგორც ადამიანისათვის, γ -გამოსხივების შთანთქმული დოზა 250-400 გრ (გრ - გრეი; 1 გრ = 1 μ /კგ) ტოლია, ფრინველებისთვის 800-2000 გრ, ხოლო მცენარეებისათვის 1000-150000 გრ.

ცოცხალი ნივთიერების ფიზიკურ-ქიმიური ერთიანობის კანონიდან გამომდინარეობს:

- არ არსებობს ფიზიკური ან ქიმიური აგენტი (აბიოტური ფაქტორი), რომელიც ერთი ორგანიზმისთვის იყოს დამღუპველი, ხოლო მეორეთათვის აბსოლუტურად უვნებელი. განსხვავება მხოლოდ რაოდენობრივია – რიგი ორგანიზმები უფრო მგრძობიარენი არიან, სხვები – ნაკლებად, ერთნი სწრაფად ეგუებიან ზემოქმედებას, მეორენი მეტ დროს საჭიროებენ;

- მოცემული გეოლოგიური პერიოდისათვის ბიოსფეროს ცოცხალი ნივთიერების რაოდენობა მუდმივია (კონსტანტაა). მართლაც, ვინაიდან ცოცხალი ნივთიერება მზესა და დედამიწას შორის შუამავალია, ცოცხალი ნივთიერების რაოდენობის მერყეობა პლანეტის ენერგეტიკული მდგომარეობის არამუდმივობას, ცვალებადობას გამოიწვევდა. დედამიწაზე სიცოცხლის ევოლუციისას ამგვარი მოვლენა მომხდარა, მაგრამ იშვიათად;

- ბიოსფეროში საერთო სახეობრივი ნაირფეროვნება (ანტროპოგენური შემოჭრების არ არსებობისას) მუდმივი სიდიდე (კონსტანტაა). ფაქტია, რომ ახლადშობილ სახეობათა საშუალო რაოდენობა მომკვდარ სახეობათა საშუალო რაოდენობის ტოლია. სახეობათა დაღუპვის პროცესი, პლანეტაზე სიცოცხლის პირობების ცვლის გამო, გარდაუვალია. ერთი სახეობის დაღუპვას ათამდე სხვა სახეობის სიკვდილი მოჰყვება. მათ ადგილზე, ეკოლოგიური დუბლირების წესის თანახმად, სხვა სახეობები მოდიან, მეტად რეკონსუმენტებთა შორის. ამიტომაც, რომ ორგანიზმების

მასობრივი სიკვდილიანობის ყველა გეოლოგიურ პერიოდში მკვეთრად ინტენსიურ სახეობათა წარმოქმნა ფიქსირდებოდა.

ამრიგად, ბიოსფეროს მთლიანობის (ერთიანობის) კანონის ფორმულირება შეიძლება შემდეგნაირად:

ბიოსფეროს კომპონენტთა შორის ატომთა ბიოგენური დენი მათ ერთიან მატერიალურ სისტემაში აკავშირებს, რომელშიც ერთი რგოლის შეცვლაც კი ყველა დანარჩენის შეუღლებულ ცვლილებას იწვევს.

ლიტერატურა

1. Воронский В.А. Прикладная Экология. -Ростов-на-Дону, Феникс, 1996, 512 с.
2. Реймерс Н.Ф. Экология. -Москва, Россия Молодая, 1994, 367 с.
3. Николайкин Н.И., Николайкина Н.Е., Мелехова О.П. -Москва, Дрофа, 2006, 622 с.
4. Стапановских А.С. Прикладная Экология. -Москва, Юнити-дана, 2005, 751 с.

SUMMARY

LIVING MATERIAL OF THE BIOSPHERE AND A LIVING BEING AS THE UNITY OF ITS PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

Andguladze Sh.N., Andguladze N.Sh. and Andguladze L.Sh.

Georgian Technical University

The paper deals with the biogeochemical specific features of the living material, which, regardless of its diversity, is a single unit in terms of its physical and chemical properties having the same origin. The authors state that all the species react in about the same way to the specific physical or chemical influence, the quantitative aspect of their response being the sole difference. On the grounds of the aforesaid, they formulate the law of the integrity (unity) of the biosphere.

Keywords: biosphere, living being, biomass, gene.

СПЕЦИФИЧНОСТЬ ДЕЙСТВИЯ И СТРОЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

Бердзенишвили И.Г.

Грузинский технический университет

Поверхностно-активные вещества (ПАВ) широко применяются в различных отраслях промышленности и в быту. Посредством ПАВ возможно значительно изменять свойства поверхностных межфазных слоев и влиять на процессы, происходящие на границе раздела фаз. Рассматривая промышленное применение, следует отметить, что введением ПАВ можно понизить прочность материала и интенсифицировать такие важные процессы, как дробление и измельчение, увеличить пластичность керамических композиций и бетонных смесей, обеспечить хорошую адгезию между наполнителем и связующим, усилить действие гербицидов, улучшить смачивание поверхностей при тушении пожаров, в частности, во время *горения торфяных болот*, придать особые свойства краскам и т.д. Все указанные столь широкие области применения ПАВ связаны, прежде всего, с их способностью снижать поверхностное натяжение на границе раздела фаз и изменять смачиваемость водой твердых тел [1-3].

Отметим, что процессы гидрофилизации поверхности с помощью ПАВ необходимы и в процессе флотации, который используется для обогащения природных материалов при добыче нефти, крашении тканей, на различных стадиях переработки натуральных и синтетических волокон и др. ПАВ играют важную роль и в биологических процессах [1,2].

Специфичность действия ПАВ обусловлена большой молекулярной массой и амфифильностью (дифильностью) молекул этих веществ [1-3]. Молекулы таких соединений состоят из длинного углеводородного «хвоста», обеспечивающего растворимость в неполярных средах и полярной «головки». Углеводородные «хвосты» весьма разнообразны: длинные цепи более, чем из десяти CH_2 -групп, структуры с двойными связями или большими многокольцевыми фрагментами. Углеводородные радикалы гидрофобны, а связанные с ними полярные группы ($-\text{COOH}$, $-\text{CH}_2\text{OH}$, $-\text{NH}_2$, $-\text{SO}_3\text{H}$, $-\text{SO}_3\text{Na}$ и др.) гидрофильны. Благодаря такому строению, молекулы ПАВ адсорбируются на межфазных границах, понижают поверхностное натяжение и препятствуют слианию частиц (рис. 1).

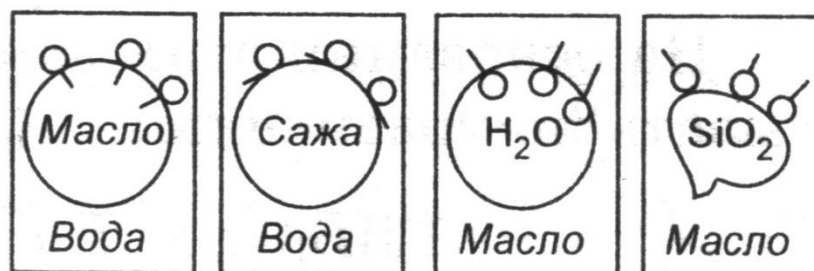


Рис.1. Ориентация молекул ПАВ на различных частицах дисперсной фазы: гидрофильная группа погружена в воду, а гидрофобный радикал изолирован от воды

Как видно из рис. 1, амфифильные молекулы выполняют функцию своеобразных «мостиков», приводящих во взаимодействие «игнорирующие» друг друга фазы. ПАВ являются основой детергентов – синтетических моющих препаратов, обладающих универсальной поверхностной активностью и способностью отмыкать загрязнения с различных поверхностей.

Объектом нашего внимания являются шампуни – средства для ухода за волосами, кожей головы, иногда и тела. Одним из самых распространенных компонентов многих продаваемых детергентов является дешевый лаурилсульфат натрия и подобные ему вещества (лаурилсульфат аммония), обеспечивающий эффективное смачивание, пенообразование и очищение [4,5]. Лаурилсульфат натрия представляет собой смесь алкилсульфатов, содержащую

от 55 до 85% додецилсульфата натрия, имеющего формулу $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}\text{OSO}_3\text{Na}$ (молярная масса 288,38 г/моль) – анионного сурфактанта, являющегося амфифильным соединением.

Капли жира или частицы жирной грязи гидрофобны и, когда они суспендированы в воде, поверхность раздела притягивает амфифильные молекулы додецилсульфата натрия. Последние в свою очередь «самоорганизуются» на поверхности частиц грязи и делают их растворимыми в воде. Углеводородные «хвосты» присоединяются к грязной жирной фазе, а полярная, хорошо гидратирующая сульфатная часть, обращается к воде (полярные головки торчат наружу), что способствует отрыву грязевых частиц и дает возможность при незначительном содействии эффективно удалять жир с волос (рис. 2).

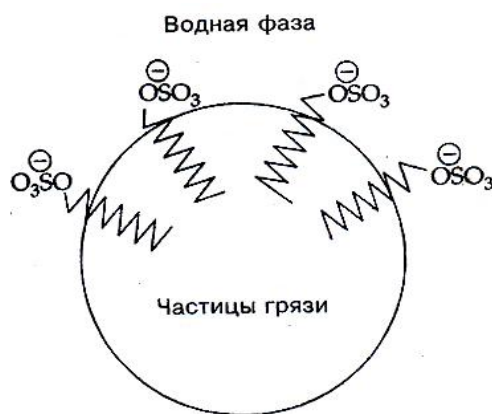


Рис. 2. Сурфактант, приводящий частицу грязи в растворимое состояние

Таким образом, молекулы сурфактанта адсорбируются в поверхностном слое загрязнения, образуют взвесь частиц грязи в пене, придают этим частицам высокую агрегативную устойчивость и препятствуют повторному прилипанию грязи к волосам.

В заключение отметим, что важной количественной характеристикой ПАВ является гидрофильно-липофильный баланс (ГЛБ), отражающий непосредственно состояние ПАВ в водной среде и их пригодность для решения той или иной задачи. Чем выше число, характеризующее ГЛБ, тем больше баланс сдвинут в сторону гидрофильности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гашенко Э.О. Физическая и коллоидная химия. - Белгород, Кооперативное образование, 2009, 199 с.
2. Калибачук В.А., Грищенко Л.И., Галинская В.И., Гождинский С.М. и др. Медицинская химия. - Киев, Медицина, 2008, 399 с.
3. Гельфман М.И., Ковалевич О.В., Юстратов В.П. Коллоидная химия. 4-е изд., стер. - Санкт-Петербург, Лань, 2008, 336 с.
4. Дрибноход Ю. Словарь-справочник. Косметика. Косметология. - Санкт-Петербург, Весь, 2002, 413 с.
5. <http://www.xumuk.ru/spravochnik/1531.html>

SUMMARY

SPECIFICITY OF THE ACTION AND STRUCTURE OF SURFACE-ACTIVE SUBSTANCES

Berdzenishvili I.G.

Georgian Technical University

It is shown that the specificity of action of surface-active substances (SAS) is determined by the amphiphilic structure of their molecules. The valuable properties of SAS result from their ability of forming the surface-adsorbed layers at interphase interfaces. The action of anionic surfactant sodium dodecylsulfate bringing dirt particles into a soluble state is discussed.

Keywords: surface-active substances, amphiphilic structure, surface tension, sodium dodecyl sulfate.

ბანუშტოეპელი ალკანების მათემატიკურ-ქიმიური შესწავლა კვაზი-ანბ-
მატრიცების მეთოდის ფარგლებში

ქარჩხაძე მ.გ., ფირცხელიანი ნ.ა., გვერდწითელი მ.ი.

ივ. ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი
სოხუმის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

თანაზიარობის მატრიცა და მისი მრავალრიცხოვანი მოდიფიკაციები ფართოდ გამოიყენება მათემატიკურ ქიმიაში მოლეკულებისა და მათი გარდაქმნების აღსაწერად [1-2].

ერთ-ერთ ასეთ მატრიცას წარმოადგენს ანბ-მატრიცა, რომლის დიაგონალური ელემენტებია მოლეკულაში შემავალი ქიმიური ელემენტების რიგობრივი ნომრები, არადიაგონალური ელემენტებია ქიმიური ბმების ჯერადობები [3]. ნებისმიერი ABC სამატომიანი მოლეკულისათვის ანბ-მატრიცას გააჩნია სახე:

$$\begin{vmatrix} Z_A & \Delta_{AB} & \Delta_{AC} \\ \Delta_{AB} & Z_B & \Delta_{BC} \\ \Delta_{AB} & \Delta_{BC} & Z_B \end{vmatrix} \quad (1)$$

სადაც: Z_A, Z_B და Z_C წარმოადგენენ A, B და C ქიმიური ელემენტების ატომურ ნომრებს; Δ_{AB}, Δ_{AC} და Δ_{BC} – ქიმიური ბმების ჯერადობებია A და B, A და C და B და C ატომებს შორის.

დიდი მოლეკულებისათვის, გამოთვლების გამარტივების მიზნით (ზოგჯერ ქიმიურად ოპტიმიზაციის მოსახრებით), ანბ-მატრიცა მოდერნიზებულია კვაზი-ანბ-მატრიცად (ანბ). ფორმალურად ანბ-მატრიცა (1) მატრიცის მსგავსია, ოღონდ ამ შემთხვევაში Z_A, Z_B და Z_C დიაგონალური ელემენტები წარმოადგენს ქიმიური ელემენტების ატომური ნომრების ჯამს მოლეკულის სტრუქტურულ ფრაგმენტებში, არადიაგონალური ელემენტებია ბმების ჯერადობები ამ ფრაგმენტებს შორის. ამგვარად, კვაზი-ანბ-მატრიცა იგება გარკვეული სტრუქტურული მოდელის საფუძველზე.

ანბ-მატრიცების მეთოდის ფარგლებში ჩატარებულია განუშტოებელი (სწორ-ჯაჭვიანი ალკანების მათემატიკურ-ქიმიური გამოკვლევა (ეთანიდან დეკანის ჩათვლით). ამ ნაერთებისათვის შემუშავებულია უმარტივესი მოდელი:

$$A - B \quad (2)$$

სადაც: $A \equiv CH_3; B \equiv CH_3, C_2H_5, C_3H_7 \dots$

შესაბამისი ანბ-მატრიცა მეორე რანგისაა და გააჩნია სახე:

$$\begin{vmatrix} Z_A & 1 \\ 1 & Z_B \end{vmatrix} \quad (3)$$

ცხრილში მოყვანილია $lg(\Delta_{ანბ}), S_{298}^0$ და I_1 (იონიზაციის პირველი პოტენციალი) მნიშვნელობები C_2H_6 -დან $C_{10}H_{22}$ -ის ჩათვლით [4,5].

$\lg(\Delta_{\text{ანბ}})$, S_{298}^0 და I_1 ალკანებისათვის

ალკანი	$\lg(\Delta_{\text{ანბ}})$	S_{298}^0 , კე	I_1 , მმ
C_2H_6	1,90	54,85	11,76
C_3H_8	2,18	64,51	11,21
C_4H_{10}	2,35	74,12	10,80
C_5H_{12}	2,47	83,40	10,80
C_6H_{14}	2,57	92,83	10,43
C_7H_{16}	2,64	102,27	10,35
C_8H_{18}	2,71	111,15	10,24
C_9H_{20}	2,77	120, 86	(10,22)
$C_{10}H_{22}$	2,82	130,17	10,19

კომპიუტერზე, უმცირესი კვადრატების მეთოდის გამოყენებით, აგებულია ორი კორელაციური განტოლება:

$$S_{298}^0 = 125,01 \cdot \lg(\Delta_{\text{ანბ}}) - 225,35 \quad (4)$$

$$I_1 = -1,78 \cdot \lg(\Delta_{\text{ანბ}}) + 15,06 \quad (5)$$

კორელაციის r კოეფიციენტი (4) კორელაციური განტოლების შემთხვევაში უდრის 0,995. ამგვარად, ჯაფეს კრიტერიუმით [6], ადგილი აქვს ბრწყინვალე კორელაციას. (5) კორელაციური განტოლების შემთხვევაში $r=0,987$. ამგვარად, ადგილი აქვს დამაკმაყოფილებელ კორელაციას.

ფრჩხილებში მოყვანილი I_1 -ს მნიშვნელობა C_9H_{20} -სათვის გამოთვლილია თეორიულად, (5) განტოლების საფუძველზე.

ამგვარად, $\lg(\Delta_{\text{ანბ}})$ წარმოადგენს ეფექტურ ტოპოლოგიურ ინდექსს ამ ტიპის ნაერთებისათვის.

ლიტერატურა

1. გ. ლევიშვილი, ლ. ასათიანი. მოლეკულური დისკრიპტორები ელემენტორგანულ ნაერთთა ქიმიაში. -თბილისი, თსუ გამომცემლობა, 1998.
2. M. Gverdtsiteli, G. Gamziani, I. Gverdtsiteli. The Contiguity Matrices of Molecular Graphs and their Modifications. -Tbilisi, Tbilisi Univ. Press, 1996.
3. Н.Н. Сидамонидзе, К.Т. Купатадзе, М.И. Гвердцители. Теоретическое исследование корреляции „структура-свойства” в рамках методов ПНС-, квази-ПНС и ЭП-матриц. // Прикладная физика, №6, 2009, сс. 36-39.
4. Д. Сталл, Э. Вестрам, Г. Зинке. Химическая термодинамика органических соединений. -Москва, ИЛ., 1971.
5. И. Травин. Электронное строение и структура органических молекул. -Москва, Химия, 1989.
6. მ. გვერდწითელი. ფიზიკური ორგანული ქიმიის რჩეული თავები. თბილისი, თსუ გამომცემლობა, 1982.

SUMMARY

MATHEMATIC-CHEMICAL INVESTIGATION OF STRAIGHT-CHAINED ALKANES WITHIN THE SCOPE OF THE QUASI-ANB-MATRICES METHOD

Karchkhadze M.G., Pirtskheliani N.A. and Gverdtsiteli M.I.

Iv. Javakhishvili Tbilisi State University

Sokhumi State University

Mathematic-chemical investigation of straight-chained alkanes was carried out within the scope of the quasi-ANB-matrices method. Two correlation equations of a structure-properties type were derived. One correlation is excellent, another – satisfactory.

Keywords: straight-chained alkanes, quasi-ANB-matrices, correlation equation.

თავისუფალი ამინომჟავური პროფილის განსაზღვრა მაღალეფექტური თხევადი ქრომატოგრაფიის გამოყენებით

შათირიშვილი შ.ი., ბერიშვილი ლ.ა., შათირიშვილი ი.შ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ცნობილია, რომ თავისუფალი ამინომჟავების პროფილი მნიშვნელოვანწილად განსაზღვრავენ ღვინის გემოსა და ფერს [1,2], ამიტომ ღვინოებში ამინომჟავური პროფილის განსაზღვრას, უფროდაუფრო დიდი მნიშვნელობა ენიჭება.

ჩვენს შემთხვევაში, ინტერესს იმსახურებს ამინომჟავების შედგენილობის ცვლილების გაზომვა, ღვინის დაძველების საწყის ეტაპზე და თბოდამუშავების სხვადასხვა პირობებში, დროის ხანგრძლივობასა და ტემპერატურაზე დამოკიდებულებით. ვინაიდან მოსალოდნელი იყო ამინომჟავების საკმაოდ დაბალი შემცველობა, ამიტომ აუცილებელი გახდა წინასწარ დერივატიზაციის ჩატარება, ფლუორესცენციით დეტექტირებისას აღმოჩენის ზღვარის ასამაღლებლად. ტრადიციული რეაგენტი OPA (ორთოფტალის დიალდეჰიდი-2-მერკაპტოეთანოლი) მეტად მოსახერხებელია დერივატიზაციის ჩასატარებლად, მაგრამ ის არ რეაგირებს პროლინთან და ჰიდროქსოპროლინთან. ამიტომ გამოყენებულ იქნა OPA-თან რეაქციის კომბინირებული პროცედურა 3-მერკაპტოპროპიონის მჟავისა მერკაპტოეთანოლის ნაცვლად და 5-ფტორინმეთილ ქლოროფორმიატის (FMOC-Cl) დამატება შესაბამისად პირველადი და მეორეული ამინომჟავების განსაზღვრის მიზნით.

ობიექტები და კვლევის მეთოდები

საანალიზოდ გამოყენებულ იქნა ღვინოების „კახეთის“ და „რქაწითელის“ როგორც დამუშავების სხვადასხვა სტადიის ნიმუშები, ისე მზა ღვინოები. სულ ათი ნიმუში. ნიმუშები იფილტრებოდა 0,45 μ ფორიანობის მილიპორის ფილტრში და ხდებოდა მისი 5-ჯერადი განზავება 0,1N HCl ხსნარით.

გაზომვებს ვატარებდით მაღალეფექტური თხევადი ქრომატოგრაფიის მეთოდით (მეთქმ) ხელსაწყოზე „ბიოტრონიკ LC 6001“, მასთან მიერთებული ტალღის სიგრძის პროგრამირების უნარის მქონე ფლუორესცენციული დეტექტორით. ქრომატოგრაფიული სვეტის ზომები იყო 2,1X200მმ, რომელიც შევსებული იყო სორბენტ C₁₈ 5 μ ზომის ნაწილაკებით. გამოყენებული იყო აგრეთვე 2,1X15 მმ ზომის დამცავი წინასვეტი.

მოძრავი ფაზა: პროგრამირდებოდა როგორც მოძრავი ფაზის თვისებათა ცვლილება, ისე მისი ხარჯი. ორმაგმა პროგრამირებამ (თვისებები და ხარჯი) საშუალება მოგვცა ანალიზისათვის მისაღებ დროში მიგველო შედეგები დაყოფის კარგი პარამეტრებით.

ელუენტი A: 0,018% ტრიეთილამინის შემცველი 20mM ნატრიუმის აცეტატის ბუფერული ხსნარი (pH 7,2 მიიღწეოდა ძმარმჟავას 2N ხსნარით).

ელუენტი B: 40% აცეტონიტრილისა და 40% მეთანოლის შემცველი 20%-იანი 100mM ნატრიუმის აცეტატის ბუფერული ხსნარი (pH 9,1 მყარდებოდა 2% ძმარმჟავას ხსნარით). გრადიენტული რეჟიმი მოცემულია ცხრ. 1-ში.

ცხრილი 1. გრადიენტული რეჟიმის ცვლილების ხასიათი

დრო(წთ)	0,0	2,0	6,5	17,0	18,5	24,0	25,0
ელუენტი A	100	93	77	40	0	0	0
ელუენტი B	0	7	23	60	100	100	100
ნაკადი მლ/წთ	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45

წარმოებულების მიღება: მიკროშემრევში შეგვყავდა 5 მკლ ბორატის ბუფერი (pH 10,4) და 1 მკლ რეაგენტი OPA. ვანჯღრევდით 7-10-ჯერ, რის შემდეგაც შეგვყავდა 1 მკლ FMOC-Cl. კვლავ ვანჯღრევდით 3-4-ჯერ, რის შემდეგაც ნარევის 5მკლ შეგვყავდა ინჟექტორში. დეტექტირებას ვახდენდით ფლუორესცენციის ტალღის სიგრძის ცვლილების ფარგლებში 340ნმ/450 ნმ პირველადი ამინომჟავებისათვის და 237ნმ/340ნმ მეორეული ამინომჟავებისათვის. მეორე ოპერაციის აუცილებლობა ნაკარნახევი იყო პროლინის განმეორებითი განსაზღვრისათვის.

დეტექტირების საზღვრები ლიზინისათვის შეადგენდა 6,3 პიკომოლ/მკლ, ჰიდროქსიპროლინისთვის 6,2, პროლინისთვის 122, დანარჩენი ამინომჟავებისათვის კი საშუალოდ 1,3 პიკომოლ/მკლ. სხვადასხვა ამინომჟავებისათვის გაზომვის სიზუსტე სამ პარალელურ გაზომვას შორის მერყეობდა და შეადგენდა 12%-დან პროლინისათვის, 25%-მდე არგინინისათვის. გაზომვებს ვატარებდით ისეთი ძირითადი ამინომჟავებისათვის, როგორცაა ტრიონინი, ჰისტიდინი+გლუტამინი, ალანინი, არგინინი, მეთიონინი და პროლინი. შედეგები მოყვანილია ცხრ. 2-ში.

ცხრილი 2. ამინომჟავური შდგენილობის ცვლილება ღვინომასალებში „რქაწითელი“ და „კახეთი“ მეთქის მონაცემების მიხედვით

კომპონენტები ღვინომასალა და თბოლამუშავების პირობები	Trio	HiS+GLU	ALN	ARG	MeT	PrO	საერთო შემცველობა
„რქაწითელი“							
40°C 5დღე-ღამე	22,3	40,1	79,3	90,6	60,1	1001	1421
40°C 15დღე-ღამე	26,2	43,3	83,4	93,7	63,8	1022	1433
50°C 15დღე-ღამე	27,5	51,3	85,3	95,6	64,9	1034	1437
50°C 25დღე-ღამე	29,1	44,6	87,7	99,3	70,0	1041	1459
„რქაწითელი“ 2 წლის	44,7	60,5	95,2	123,5	85,4	1570	2101
„კახეთი“							
40°C 5დღე-ღამე	33,2	50,1	90,1	104,1	62,1	1113	1579
40°C 15დღე-ღამე	35,1	53,4	93,4	107,2	64,5	1145	1623
50°C 15დღე-ღამე	36,2	55,5	95,7	110,1	66,8	1163	1644
50°C 25დღე-ღამე	38,3	59,1	98,3	115,2	69,7	1178	1675
„კახეთი“ 2წლის	49,6	70,3	124,7	154,1	90,1	1685	2309

ცხრ. 2-ში ასევე მოცემულია როგორც ძირითადი ამინომჟავების გაზომვის შედეგები, ისე საკვლევი ნიმუშებში მათი საერთო შემცველობა. ჩანს ამინომჟავების კონცენტრაციის ცვლილების გარკვეული კანონზომიერება, რომელიც გამოიხატება მათი კონცენტრაციების ზრდაში დაძველების დროისა და ტემპერატურაზე დამოკიდებულებით.

ექსპერიმენტების შედეგად დადგინდა, რომ ექვსი ძირითადი ამინომჟავა წარმოადგენს ამინომჟავების საერთო შემცველობის 89-95%. ნაჩვენებია, რომ თბოდამუშავება საშუალებას იძლევა თავისუფალი ამინომჟავების შემცველობით, საკმაოდ სწრაფად მიუახლოვდეთ კლასიკური მეთოდით მიღებულ ღვინოებს.

ლიტერატურა

1. И.Ш. Шатиришвили. Хроматография грузинских вин. –Тбилиси, Ганатлеба, 1981, 71с.
2. A.M.P. Vanconcelos, H.J.C. Neves. //J. High Rezolution chromatogr. 1990, 13, 494 p.

SUMMARY

DETERMINATION OF THE FREE AMINO-ACID PROFILE BY MEANS OF HIGH PERFORMANCE LIQUID CHROMATOGRAPHY

Shatirishvili Sh.I., Berishvili L.A. and Shatirishvili I.Sh.

Georgian Technical University

The paper deals with the changes in the free amino-acid profile in the wines “Rkatsiteli” and “Kakheti” in relation to the duration of thermal heating and temperature variation. Main amino-acids, such as threonine, istidine+glutamine, alanine, arginine, methionine and proline, were determined.

Keywords: liquid chromatography, derivatization, amino-acids, detector.

ოქსიდაციის პრევენცია „ცოლიკოზში“-ს ჯიშის მუცლისაგან ღვინომასალების წარმოებისას

ჭკუასელი ლ.მ., გელიაშვილი ზ.ე., ხომასურიძე მ.ბ., მესხიძე მ.ზ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ცოლიკოური ადგილობრივი სტანდარტული ვაზის ჯიშია. იგი ფართოდაა გავრცელებული დასავლეთ საქართველოს მევენახეობის რაიონებში და მისგან ამზადებენ მაღალხარისხოვან სუფრის თეთრ მშრალ და ბუნებრივად ნახევრადტკბილ ღვინოებს. ღვინო ხასიათდება გამოკვეთილი ჯიშური არომატით, სინაზით, ჰარმონიულობით, მინდვრის ყვავილების და ხილის არომატით.

ღვინის ჟანგბადით გამდიდრება ტექნოლოგიური პროცესის სხვადასხვა ეტაპზე სხვადასხვა დოზით ხდება. 20 °C-ზე ღვინის ჰაერთან შეხებისას ღვინოს აქვს უნარი შთანთქოს 6მლ/ლ-ზე (8,6მგ/ლ) O₂-ი. წითელ ღვინოს მეტი ჟანგბადის შთანთქმის უნარი აქვს ვიდრე თეთრს.

ზომიერი რაოდენობით ჟანგბადი დადებით ზეგავლენას ახდენს ღვინოზე, სძენს მას კომპლექსურობას, ხოლო ჟანგბადის სიჭარბე საბოლოოდ აუარესებს ღვინის ხარისხს. ოქსიდაციისას ღვინოში იზრდება აცეტალდეჰიდის, ფენილაცეტალდეჰიდის, 3-(მეთილთიო)პროპიონალდეჰიდის, 1,1,6-ტრიმეთილ-1,2 დეჰიდრონაფტალენის და 4,5-დიმეთილ-3-ჰიდროქსი-2(5H)-ფურანონის შემცველობა, შედეგად ღვინოში ყალიბდება გადამწიფებული დაჟანგული ხილის, ცხოველური, ნავთის და მინერალური ტონები. ოქსიდაციისას არასასურველი არომატების წარმოქმნასთან ერთად ღვინო კარგავს დამახასიათებელ ჯიშურ არომატს [1].

თეთრი ღვინო ნაკლებ ფენოლურ ნაერთებს შეიცავს, ვიდრე წითელი, მაგრამ ოქსიდაციისას ღვინოში არსებული ფენოლური მჟავების განსაკუთრებით კი ჰიდროქსიდარიჩინის მჟავის, კატეხინებისა და ქვერცეტინის დაჟანგვა იწვევს ღვინის გაყავისფრებას. გაყავისფრებისაკენ მეტი მიდრეკილება ახასიათებთ იმ ღვინოებს, რომლებიც დამზადებულია ყურძნის კანთან ხანგძლივი კონტაქტით და ნაქაჩი ფრაქციებისაგან. ოქსიდაციისას ყავისფერი შეფერილობის ფორმირებაზე ზეგავლენას ახდენს ღვინოში ფენოლების, რკინისა და გოგირდის დიოქსიდის შემცველობა. [2]

ღვინის ოქსიდაციისაგან დაცვის უნარით ხასიათდება ღვინის შემადგენელი ნაერთი - გლუტათიონი, თუ თავისუფალი გლუტათიონის კონცენტრაციაა 30-100 მგ/ლ. ღვინოში მის შემცველობაზე ზეგავლენას ახდენს ყურძნის გადამუშავების პროცესი [3,4].

გოგირდის დიოქსიდის გამოყენება ღვინის ოქსიდაციისაგან დაცვის უნივერსალური მეთოდია. მეღვინე ტექნოლოგმა ოქსიდაციის პრევენციისათვის მუდმივად უნდა აკონტროლოს ჟანგბადის დონე ღვინოში, გამოიყენოს ენოლოგიურ პრაქტიკაში ნებადართული ანტიოქსიდანტები (ასკორბინის მჟავა და სხვა). გოგირდის დიოქსიდის გამოყენებით, 20 მგ/ლ-ზე თავისუფალი SO₂-ის დოზის შემთხვევაში შესაძლებელია ოქსიდაზური ფერმენტების ინჰიბაცია. ოქსიდაზური ფერმენტების ინჰიბაციას განსაკუთრებით დიდი მნიშვნელობა ენიჭება კეთილშობილი სიდამპლით დაავადებული ყურძნის შემთხვევაში. ბოტრიტისის ბაქტერიები განსაკუთრებით დიდი რაოდენობით ახდენენ ყურძნის კანზე ლაკაზების აკუმულირებას. ყურძნის გადამუშავების შემდეგ ტკბილსა და ღვინოში მოხვედრილი ოქსიდაზური ფერმენტების აქტივობით იჟანგება ფენოლური ნაერთები: რეზვერატროლი, ანტოციანინები და ტანინები; ბენზილ ალკოჰოლი - ბენზალდეჰიდამდე და ღვინოში მწარე ნუშის ტონი ვითარდება; გასათვალისწინებელია, რომ დაავადებული ყურძნიდან მიღებული ტკბილი შეიცავს ძმარმჟავა ბაქტერიებს, შესაბამისად, არასულფიტურებულ ტკბილში მაღალია ღვინის დაძმარების რისკი. დაავადებული ყურძნიდან ღვინოში გადადის *Candida stellata*,

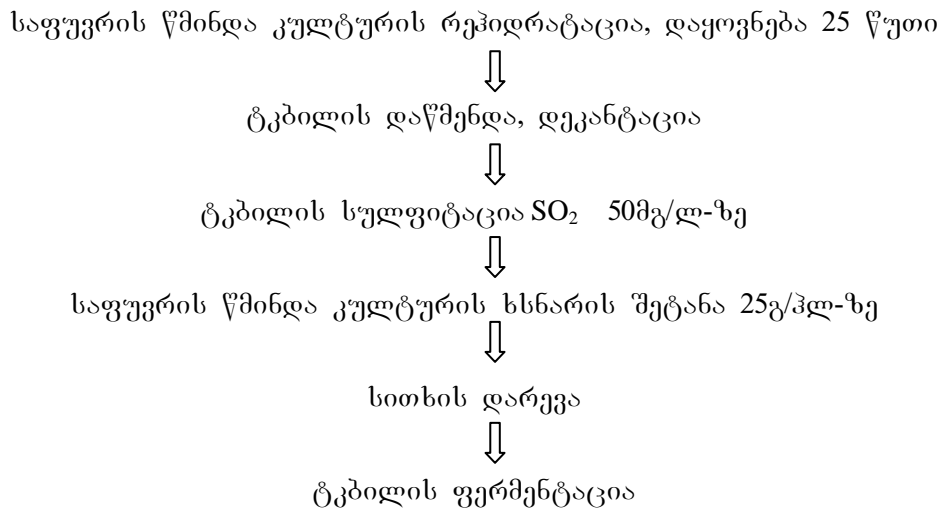
რომელიც ავითარებს როგორც სასიამოვნო გარგრის არომატს, ასევე ხელს უწყობს ეთილაცეტატის წარმოქმნას.

ჟანგბადის ჭარბი შემცველობა, მაღალი ტემპერატურა და არეში ცხოველქმედი ოქსიდაზური აქტივობის ფერმენტები ქმნიან მთელი რიგი მიკრობიოლოგიური დაავადებების და ოქსიდაზური კასის განვითარების რისკს [5].

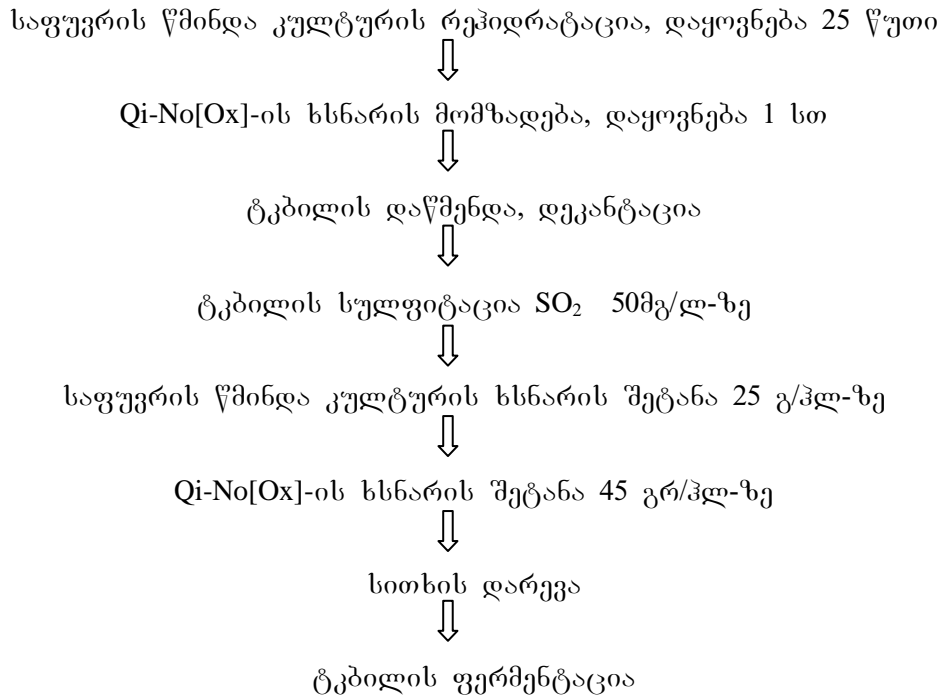
ექსპერიმენტისას გამოყენებული ყურძნის ჯიში „ცოლიკოური“ დასავლეთ საქართველოს მევენახეობის ზონებშია კულტივირებული, და არსებული კლიმატური პირობები ხშირ შემთხვევაში ხელს უწყობს ვენახში კეთილშობილური სიდამპლის დაავადების განვითარებას. ჩვენს მიერ ჩატარებული კვლევის მიზანია „ცოლიკოური“-ს ჯიშის ყურძნისაგან დამზადებული ღვინომასალის ოქსიდაციისაგან პრევენციის ოპტიმალური ტექნოლოგიური სქემის შემუშავება. კვლევა განვახორციელეთ ღვინის საწარმო „ტიფლისკი ვინნი პოგრები“ 2015 წლის როველის მიმდინარეობისას. ექსპერიმენტისას შერჩეულ ყურძენს ჰქონდა ბოტრიტისის ნიშნები, თუმცა დაავადება ღრმად არ გახლდათ განვითარებული. დასახული მიზნის მისაღწევად საწარმოში მიღებული ყურძენი დაიყო 8 თანაბარ ნაწილად. გადამუშავებისას ყურძენს გაეცალა კლერტი და კვლევისათვის გამოყენებული იქნა თვითნადენი და პრესის პირველი ფრაქცია. საკვლევი ნიმუშები ფერმენტირებული იქნა კულტურული საფუვრით - PREMIUM® BLANC 12 V - SACCHAROMYCES CEREVISIAE - Vason Group- 25 გ/ჰლ-ზე დოზით. აღკოპოლურ დუღილამდე განხორციელდა ტკბილის დაწმენდა 8-12 °C-ზე, ცალკეულ ნიმუშებში, კვლევის მიზნიდან გამომდინარე, დაწმენდისას გამოყენებულ იქნა ენოლოგიურ პრაქტიკაში ნებადართული სხვადასხვა მასალები.

ნიმუში 1. საკონტროლო ნიმუშის დამზადებისას არ განხორციელებულა სულფიტაცია და ტკბილის დაწმენდა. ფერმენტაცია - ველური მიკროფლორით.

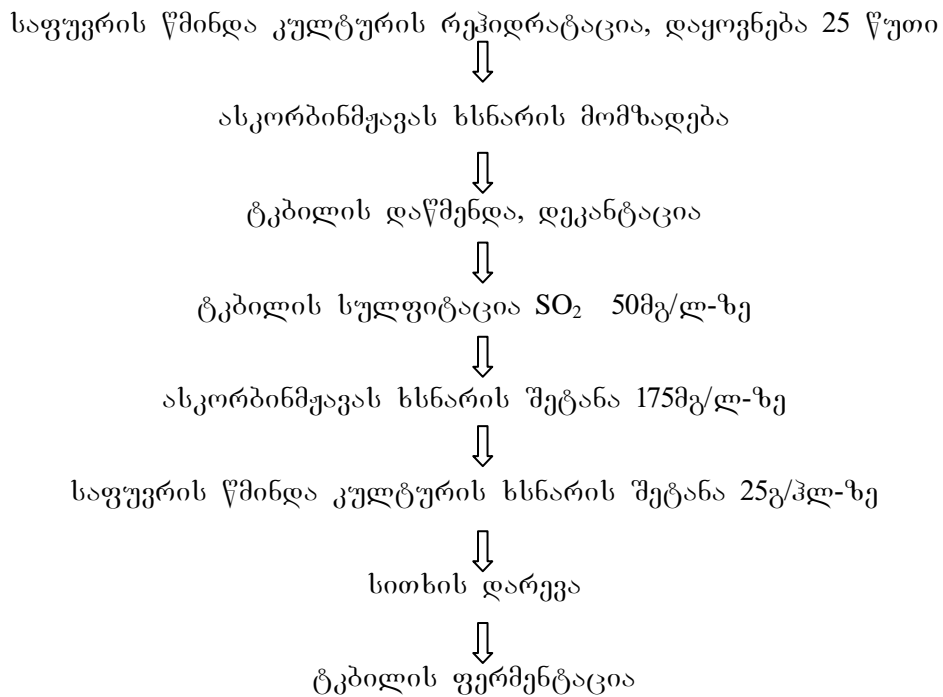
დიაგრამა 1. ნიმუში 2-ს მომზადების ტექნოლოგიური ოპერაციები



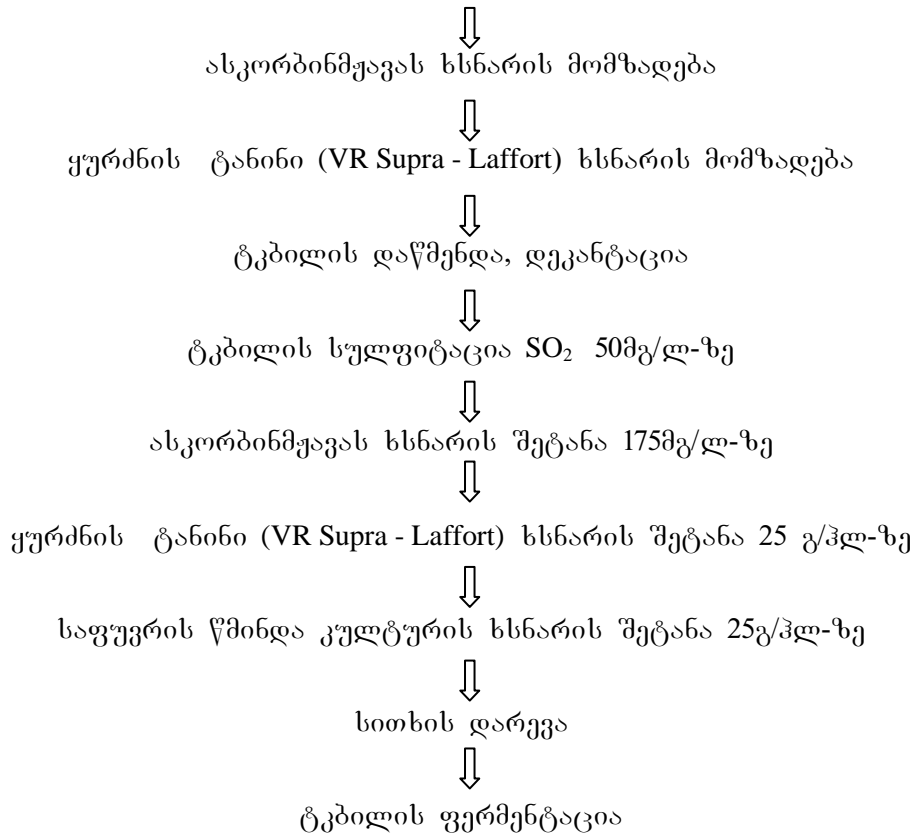
დიაგრამა 2. ნიმუში 3-ს მომზადების ტექნოლოგიური ოპერაციები



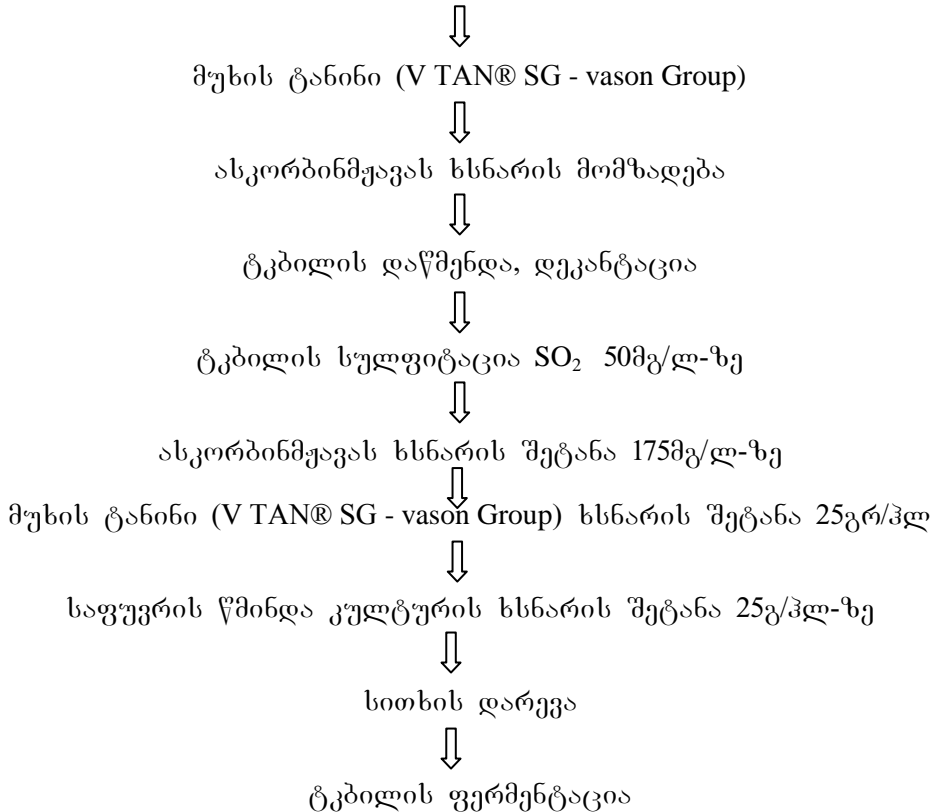
დიაგრამა 3. ნიმუში 4-ს მომზადების ტექნოლოგიური ოპერაციები



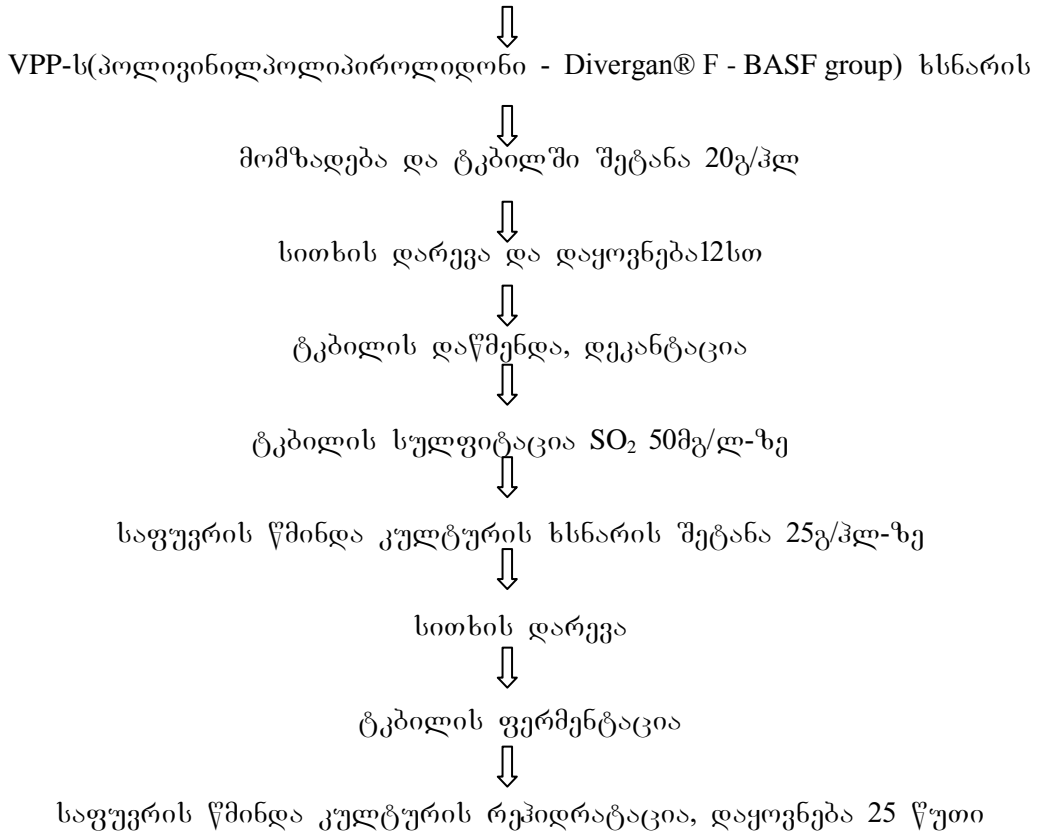
დიაგრამა 4. ნიმუში 5-ს მომზადების ტექნოლოგიური ოპერაციები
საფუერის წმინდა კულტურის რეჰიდრატაცია, დაყოვნება 25 წუთი



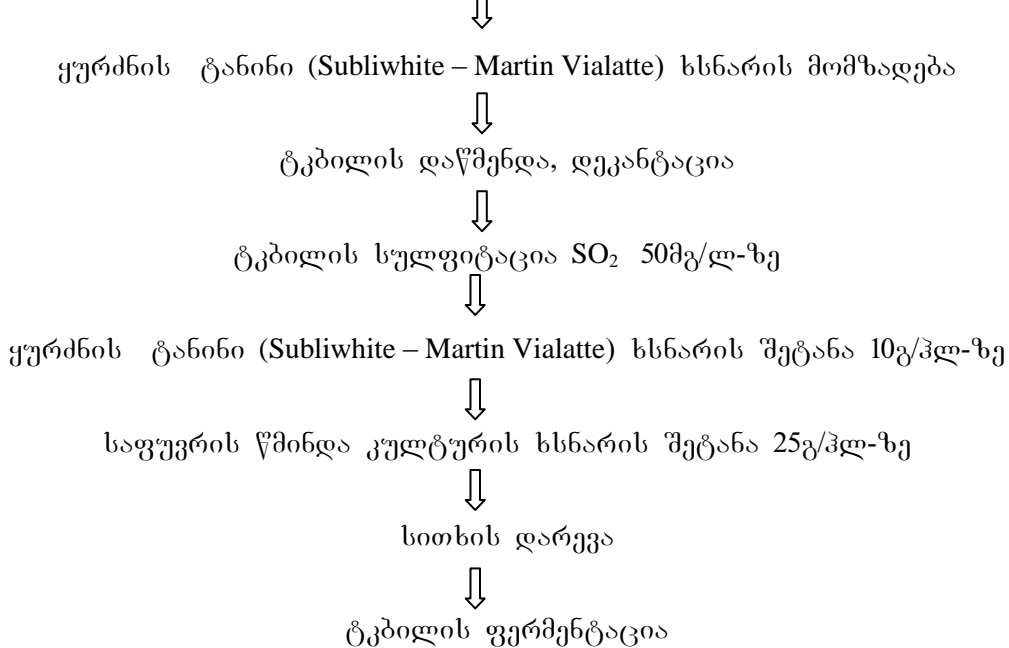
დიაგრამა 5. ნიმუში 6-ს მომზადების ტექნოლოგიური ოპერაციები
საფუერის წმინდა კულტურის რეჰიდრატაცია, დაყოვნება 25 წუთი



დიაგრამა 6. ნიმუში 7-ს მომზადების ტექნოლოგიური ოპერაციები
საფუერის წმინდა კულტურის რეჰიდრატაცია, დაყოვნება 25 წუთი



დიაგრამა 7. ნიმუში 8-ს მომზადების ტექნოლოგიური ოპერაციები
საფუერის წმინდა კულტურის რეჰიდრატაცია, დაყოვნება 25 წუთი



ფერმენტაციის შემდგომ ღვინომასალები მოისნა ლექიდან. გადადება განხორცილდა სამჯერადად 3 კვირის, 6 კვირის და 3 თვის შემდეგ.

უკანასკნელ წლებში ენოლოგიურ პრაქტიკაში ფერის განმსაზღვრელი პარამეტრების კვლევა ღირებულ ანალიტიკური მეთოდია ღვინის ტექნოლოგიური პროცესის მონიტორინგის პროცესში. ღვინის ფერი პროდუქციის ხარისხის განმსაზღვრელი ერთ-

ერთი ძირითადი ატრიბუტია. ფერის პარამეტრების კვლევა ტექნოლოგიური პროცესის სხვადასხვა ეტაპზე საშუალებას იძლევა სწორედ დაიგეგმოს და შეფასდეს ტექნოლოგიური პროცესის მართებულობა. ღვინის ფერის ანალიზის ტრადიციული განხორციელებები ფერის სიმკვრივე, რომელსაც ზოგიერთ შემთხვევაში ფერის ინტენსივობას უწოდებენ და ფერის ტონების განსაზღვრა. ფერის ინტენსივობის მონაცემის განსაზღვრისას დგინდება შეფერილობის განმსაზღვრელი ნაერთების საერთო შემცველობა. ფერის ინტენსივობის განსაზღვრა თეთრ ღვინოებში ხორციელდება 420 ნმ ტალღის სიგრძეზე, ხოლო წითლის 520, 610 და 420 ნმ ტალღის სიგრძეებზე (ცხრილი).

ფერის ინტენსივობის, ფერის ტონის და საერთო ფენოლების შემცველობა ღვინომასალებში

	ნიმუში/გამოყენებული მასალა	მწარმოებელი	ფერის ინტენსივობა	ფერის ტონი	საერთო ფენოლების შემცველობა გ/ლ-ზე
1	„ცოლიკოური“ საკონტროლო ნიმუში	შპს ტიფლისსკი ვინნი პოგრები	0,152	0,166	0,507
2	„ცოლიკოური“ ნიმუში II	შპს ტიფლისსკი ვინნი პოგრები	0,219	0,274	0,730
3	„ცოლიკოური“ ნიმუში III	შპს ტიფლისსკი ვინნი პოგრები	0,138	0,181	0,460
4	„ცოლიკოური“ ნიმუში IV	შპს ტიფლისსკი ვინნი პოგრები	0,203	0,261	0,677
5	„ცოლიკოური“ ნიმუში V	შპს ტიფლისსკი ვინნი პოგრები	0,319	0,367	1,064
6	„ცოლიკოური“ ნიმუში VI	შპს ტიფლისსკი ვინნი პოგრები	0,291	0,385	0,970
7	„ცოლიკოური“ ნიმუში VII	შპს ტიფლისსკი ვინნი პოგრები	0,186	0,264	0,620
8	„ცოლიკოური“ ნიმუში VIII	შპს ტიფლისსკი ვინნი პოგრები	0,216	0,272	0,720

ღვინის ფერის განმსაზღვრელი პარამეტრი - ფერის ტონი, გვიჩვენებს თანაფარდობას ყვითელ და წითელ ფერს შორის, ყვითელი პიკმენტების წითელ პიკმენტებთან შეფარდებას. ღვინის ყვითელი ფერი განპირობებულია ღვინოში ტანინების შემცველობით (პროანტოციანიდინების ტიპის ფლავანოიდების პოლიმერებით და არაფლავანოიდური ფენოლებით) და ფოტომეტრის საშუალებით მისი განსაზღვრა შესაძლებელია ღვინის განზავების გარეშე [6].

ფერის ინტენსივობა, და საერთო ფენოლები განისაზღვრა კოლორიმეტრული მეთოდით. გამოყენებული იქნა ავსტალიური წარმოების ფოტომეტრი HI 83742, სინათლის წყარო-ვოლფრამის ნათურა, საკვლევი და საკონტროლო ნიმუშებში მოცემული პარამეტრები განისაზღვრა ფოტომეტრის გამოყენების რეკომენდირებული მეთოდიკის შესაბამისად [7]. რეკომენდაციების თანახმად ღვინის ტემპერატურა შეადგენდა 25°C-ს.

ფერის ინტენსივობა წითელ საკვლევი და საანალიზო ღვინომასალებში განისაზღვრა აპარატის მწარმოებლის მიერ დადგენილი მეთოდიკით 420 ნმ, 520 ნმ და 610 ნმ ტალღის სიგრძეებზე. ენოლოგიურ პრაქტიკაში ვალიდირებული მეთოდები [6,7] გულისხმობს ფერის ინტენსივობის კალკულაციას შემდეგი სახით: ფერის ინტენსივობა = E(420) + E(520) + E(610).

420 ნმ ტალღის სიგრძე არის ყვითელი-ნარინჯისფერი პიკმენტების იდენტიფიკაციისათვის. 520 ნმ - წითელი პიკმენტებისათვის ხოლო 610 ნმ მოლურჯო შეფერილობის პიკმენტებისათვის. ზემოთ ასახული ფორმულის გამოყენებით, შედეგების შეჯამებას, კალკულაციას გამოყენებული აპარატი ახორციელებს ავტომატურად, გაზომვის სიზუსტე 25°C -ზე: ±0,03 ±4%.

მოცემული ინსტრუქციის შესაბამისად გაზომვამდე განხორციელდა ღვინის განზავება ასევე აპარატის მწარმოებლის მიერ შემოთავაზებული ხსნარებით, რომელიც შესყიდვისას თან ახლავს ფოტომეტრს: HI83742-0 Wine solvent-1 და HI83742-3 Wine solvent-3-ს. ფერის ტონის განსაზღვრისათვის ასევე გამოყენებული იქნა ფოტომეტრის თანდართულ ინსტრუქციაში მითითებული მეთოდიკა. მოცემული ინსტრუქციის შესაბამისად გაზომვამდე განხორციელდა ღვინის განზავება აპარატის მწარმოებლის მიერ შემოთავაზებული ხსნარით: HI83742-0 Wine solvent-1. გაზომვის

სიზუსტე 25°C-ზე: $\pm 0,01 \pm 4\%$. ენოლოგიურ პრაქტიკაში ვალიდირებული მეთოდები [6,7] გულისხმობს ფერის ინტენსივობის კალკულაციას შემდეგი სახით: ფერის ტონი=E(420):E(520).

ზემოთ ასახული ფორმულის გამოყენებით, შედეგების შეჯამებას, კალკულაციას გამოყენებული აპარატი ახორციელებს ავტომატურად.

საერთო ფენოლების განსაზღვრა (ფოლინ ჩოკალტეუს რეაქტივით) განხორციელდა ფოტომეტრის თანდართული მეთოდის შესაბამისად, 610 ნმ ტალღის სიგრძეზე. სიზუსტე 25°C-ზე: $\pm 0,10$ გ/ლ $\pm 5\%$. საერთო ფენოლები ისაზღვრება გალის მუავაზე გადაანგარიშებით გ/ლ-ზე.

ღვინის განზავება განხორციელდა შემდეგი ხსნარებით: HI83742-0 Acid reagent; Hi 83742 B-0 Folin & chokalteus reagent; HI 83742C-0 Carbonate buffer.

ამრიგად, შეიძლება დავასკვნათ, რომ 1. ოქსიდაციის პრევენციის და დაჯანგული ღვინის ფიზიკურ-ქიმიური პარამეტრების გაუმჯობესების მიზნით ჩატარებული კვლევის შედეგებმა აჩვენა, რომ ფერის ინტენსივობის მხრივ ღვინის დამხმარე პრეპარატებით Qi-No[Ox] („ცოლიკოური“ ნიმუში III) და PVPP-თი („ცოლიკოური“ ნიმუში VII) დამუშავებული ღვინომასალები ყველაზე კარგად პასუხობენ კვლევის მიერ დასახულ მიზანს, რადგან ღვინის ოქსიდაციისათვის დამახასიათებელი ფერის ინტენსივობა ამ ნიმუშებში საგრძნობლად მცირეა სხვა ნიმუშებთან მიმართებაში. 2. საკვლევი ნიმუში 5-ში გამოყენებული ღვინის დამხმარე მასალა ყურძნის ტანინი (VR Supra - Laffort)-ის გამოყენებამ აჩვენა, რომ საერთო ფენოლების შემცველობა სხვა ნიმუშებში გამოყენებულ ტანინებთან შედარებით 94 გ/ლ-დან 344 გ/ლ ერთეულამდე გაიზარდა, რაც ასევე აისახა ამ ნიმუშის ფერის ინტენსივობასა და ფერის ტონზე. გამომდინარე აქედან მისი გამოყენება კლასიკური თეთრი მშრალი ღვინის დასამუშავებლად მიზანშეწონილი ვერ იქნება.

ლიტერატურა

1. PA Kilmartin, H Zou, AL Waterhouse. A cyclic voltammetry method suitable for characterizing antioxidant properties of wine and wine phenolics. //Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2001, 49 (4), pp.1957-1965.
2. Sahar Razmkhab, Azahara Lopez-Toledano, José M. Ortega , Manuel Mayen , Julieta Merida , and Manuel Medina. Adsorption of Phenolic Compounds and Browning Products in White Wines by Yeasts and their Cell Walls. //J. Agric. Food Chem., 2002, 50 (25), pp. 7432-7437.
3. Maggu, M., Winz, R., Kilmartin, P. A., Trought, M. C. T., Nicolau, L. Quantitative Survey of 3-alkyl-2-methoxypyrazines and first confirmation of 3-ethyl-2-methoxypyrazine in South African Sauvignon blanc wines. //J. Agric. Food Chem., 2007, 55, pp. 10281-10288.
4. María Jesús Cejudo-Bastante†, María Soledad Pérez-Coello†, and Isidro Hermosín-Gutiérrez. Identification of New Derivatives of 2-S-Glutathionylcaftaric Acid in Aged White Wines by HPLC-DAD-ESI-MS. //J. Agric. Food Chem., 2010, 58 (21), pp.11483-11492.
5. John Hudelson Wine Faults: Causes, Effects, Cures. Wine application Guild. San Francisco, 2011, 79 p.
6. Pérez-Caballero, V., F. Ayala, J.R. Echávarri, and A.I. Negueruela. Proposal for a new standard OIV method for determination of chromatic characteristics of wine. //Am. J. Enol. Vitic., 2003.54:59-62.
7. Instruction Manual HI 83742 COLOR & PHENOLS ISM for wine analysis. Australia, pp. 14. http://www.hannainst.com.au/learn_more/c:HI+83742

SUMMARY

PREVENTION OF OXIDATION DURING PRODUCTION OF WINE MATERIALS FROM TSOLIKAURI GRAPE CULTIVAR

Chkuaseli L.M., Geliashvili Z.E., Khomasuridze M.B. and Meskhidze M.Z.

Georgian Technical University

Oxidation causes various flaws and faults in wine. Moderate amounts of oxygen have a beneficial effect on wine, gives it complexity, whereas the excess of oxygen eventually deteriorates the quality of wine. White wine contains less amounts of phenolic compounds than red one, but the oxidation of phenolic acids, especially of hydroxycinnamic acid, catechols and quercetin, changes the color of wine into brown. For preventing the oxidation of wine, they must continuously control the content of oxygen in wine and use antioxidants allowed in oenology (ascorbic acid, sulfur dioxide, etc.). In the result of experimental investigation, the advantages of treatment of white wine with auxiliary materials Qi-No[Ox] and PVPP for prevention of oxidation were revealed. Application of antioxidant tannin preparation (VR Supra-Laffort) had an adverse impact on the wine color intensity and tone, the content of total phenols considerably increased as well.

Keywords: wine, oxidation, prevention, phenolic compounds, antioxidant.

ქართული ყურძნის წიპწის ფენოლური ნაერთების ექსტრაქციების მეთოდების დამუშავება სამკურნალო-პროფილაქტიკური დანიშნულების პროდუქციის საწარმოებლად

ლობჯანიძე გ.ა., ნამჩევაძე ც.ვ.

აკ. წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, ქუთაისი

დაავადებების პროფილაქტიკისა და მკურნალობისათვის ვიტამინური და სხვა მცენარეული პრეპარატების მწვავე დეფიციტის გამო გადაუდებელ ამოცანას წარმოადგენს განვითარდეს ნედლეულის ბაზა რესპუბლიკის ფარმაცევტულ მრეწველობისათვის, აგრეთვე დამუშავდეს ნედლეულის კომპლექსური გადამუშავების რაციონალური ტექნოლოგიები შესატყვისი ფარმაკოპროდუქციის წარმოებისათვის.

დადასტურებულია, რომ მრავალი დაავადების წარმოშობის ერთ-ერთი ძირითადი ფაქტორი ორგანიზმის ანტიოქსიდანტური ბალანსის დარღვევაა, რასაც მივყავართ ანტიოქსიდანტების გამოყენების აუცილებლობამდე. ამ მხრივ უპირატესობა ენიჭებათ ნატურალურ ანტიოქსიდანტებს. ცნობილია ასევე ყურძნის პოლიფენოლების მაღალი ანტიოქსიდანტური აქტიურობა. ყურძენში ფენოლური ნაერთები თავიანთი მნიშვნელობით, ნახშირწყლებისა და ორგანული მჟავების შემდეგ, წარმოადგენს უმნიშვნელოვანეს შემადგენელ ნივთიერებებს. ყურძნის მარცვალში აღნიშნული ნაერთები ნაწილდება შემდეგი თანაფარდობით: რბილობში - 10 %; წიპწაში - 60-70 %; ყურძნის კანში - 28-35 %. ყურძნის ფენოლური ნაერთებიდან ყველაზე გავრცელებულია **კატექინები** (კატექინი, ეპიკატექინი) და **პროციანიდინები**. სხვადასხვა ჯიშის ყურძნის წიპწაში ფენოლური ნაერთების შემცველობა სხვადასხვაა და მათი მნიშვნელობა იცვლება ფართო დიაპაზონში: მონომერები - 0,5 - 4,5 მგ/გ; დიმერები - 0,2 - 2,4 მგ/გ; გალატების დიმერები - 0,05 - 1,1 მგ/გ; ტრიმერები - 0,05 - 0,7 მგ/გ.

ყურძნის ფენოლური ნაერთები შთანთქმევენ თავისუფალ რადიკალებს და თავიდან აცილებენ ჯაჭვური რეაქციის წარმოქმნას. პოლიფენოლების მნიშვნელოვანი თავისებურებაა ასევე მათი ხსნადობა წყალში და ცხიმებში. ცნობილია, რომ ყურძნის წიპწიდან მიღებული ეპიკატექინგალატი და სხვადასხვა პროციანიდინები წარმოადგენენ სუპეროქსიდური რადიკალებისა და ჰიდროქსიდური რადიკალების სორბენტებს წყალხსნარებში.

კარდიოლოგიური დაავადებები დაკავშირებულია ცხიმების მეტაბოლიზმზე დაბალი სიმკვრივის ლიპოპროტეიდების დაჟანგვის გამო. ყურძნის წიპწის პოლიფენოლები ამცირებენ გულსისხლძარღვთა დაავადებების რისკს, ვინაიდან ინგიბირებენ ლიპოპროტეიდების დაჟანგვის პროცესს.

აღსანიშნავია პროციანიდინების ჭრილობის შემახორცებელი თვისებები.

დადასტურებულია, რომ ყურძნის წიპწის ანტოციანიდინები ხელს უშლიან კიბოს უჯრედების ზრდას. ყურძნის წიპწიდან მიღებული ნატურალური ნივთიერების - **რეზერვატროლის** შესწავლამ აჩვენა, რომ ის ხელს უშლის ახლადწარმონაქმნების განვითარებას, კიბოს უჯრედების პროგრესირებას.

ყურძნის წიპწიდან ბიოლოგიურად აქტიური პროდუქტების წარმოებისას მიზანშეწონილია თხევად ფაზაში ხსნადი ჯამური პოლიფენოლების ექსტრაქცია. ერთი და იგივე მცენარეული ნედლეულის ანტიოქსიდანტური აქტიურობა შესაძლებელია მნიშვნელოვნად განსხვავდებოდეს გეოგრაფიული პირობებისა და ექსტრაქციის დამზადების ტექნოლოგიური მიდგომების მიხედვით.

მცენარეული ნედლეულის ექსტრაქციის ჩვეულებრივი მეთოდები სისტემაში „მყარი სხეული-სითხე“ ითვალისწინებს 2-ფაზა სისტემას: „**ნედლეული – ექსტრაგენტი**“. ამასთან, მცენარეული ნედლეულიდან ანტოციანიდინების ექსტრაქციისათვის იყენებენ, როგორც წესი, 40 %-იან ეთანოლს, შემჟავებულს 1-2 %-იანი მარილმჟავით ან ლიმონმჟავით. ჩვენს მიერ ექსტრაქცია ჩატარდა სამფაზა სისტემაში: „**ნედლეული-ჰიდროფილური ექსტრაგენტი - ჰიდროფობური ექსტრაგენტი**“. ჰიდროფობური ექსტრაგენტის დამატება ერთის მხრივ ხელს უწყობს წყალში უხსნადი ფენოლური ნაერთების გამოყოფას, ხოლო მეორეს მხრივ, ინტენსიური მექანიკური აქტივაციის პირობებში მნიშვნელოვნად დააჩქარებს ექსტრაქციის პროცესს. საქართველო

მდიდარია მინერალური სამკურნალო-პროფილაქტიკური დანიშნულების წყლებით. მათ შორის, სხვადასხვა მინერალიზაციის ჰიდროკარბონატული (HCO_3) ნატრიუმიანი (Na), საშუალო მინერალიზაციის (5-15 გ/ლ) ბორმუხიანი მინერალური წყლებით (ბორჯომი-უწერის ტიპის წყლები), რომელთა $\text{pH} = 3,5-6,5$. სწორედ მათი საშუალებით ვღებულობდით სხვადასხვა კონცენტრაციის ეთანოლს, რაც გამოირიცხავს ექსტრაგენტის მარილმუხაგათი ან ლიმონმუხაგათი შემუხაგების აუცილებლობას [1-3].

ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებები უმეტესწილად იმყოფება გარსში ბიოპოლიმერული კომპლექსების სახით, რომლებიც ექსტრაქციის არსებული ტექნოლოგიებით ნაკლებად გადადიან ბიოლოგიურად მისაწვდომ ფორმებში. მცენარეული ნედლეულიდან ექსტრაქციის გზით ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებების მაქსიმალურად გამოწვლილვის მიზნით აუცილებელია არა მარტო უჯრედის გარსის დარღვევა, არამედ მისი მნიშვნელოვანი ნაწილის განთავისუფლება უჯრედშიგა ბიოპოლიმერული სტრუქტურისაგან. ჩვენს მიერ ექსპერიმენტულად დადასტურებულია, რომ მცენარეული ნედლეულის დაქუცმაცება მიკრონულ ზომებამდე იძლევა ექსტრაქციის პროცესის მნიშვნელოვანი ინტენსიფიკაციის შესაძლებლობას ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებების გამოსავლიანობის იმავდროული საგრძნობი გაზრდით.

მცენარეული ნედლეულის ულტრა და ნანოდისპერგირება მიმდინარეობს სხვადასხვა ტექნოლოგიების გამოყენებით – მაღალსიჩქარიანი გრიგალისებური დაქუცმაცებით ვიბროცენტრიდანული და პლანეტარული წისკილებით. ექსპერიმენტების შედეგები მოწმობენ, რომ ამ სახით დაქუცმაცებული ნედლეულიდან რამდენჯერმე იზრდება ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებების გამოსავლიანობა და ექსტრაქციის ინტენსიურობა.

ამრიგად, ექსტრაქციას ექვემდებარება წინასწარ ნანოდისპერგირებული ქართული თეთრი და წითელი ჯიშის ყურძნის წიპწა. ექსტრაქციისათვის გამოვიყენეთ ჰიდროფილური გამსხნელი (სხვადასხვა კონცენტრაციის ეთანოლი მუხაგე სასმელ მინერალურ წყალში) და ჰიდროფობური გამსხნელი (მაგალითად, აცეტონი). ეთანოლის ოპტიმალური კონცენტრაცია, მინერალური წყლის ოპტიმალური pH და გამსხნელების თანაფარდობა დადგინდება ექსპერიმენტულად. საქართველოში ვიტამინების მრეწველობისათვის არსებობს ნედლეული ყურძნის წიპწის სახით, რომელიც შესაძლებელია გამოყენებული იყოს ანტიოქსიდანტური, ანტირადიანტული აქტიურობის პრეპარატების წარმოებისათვის.

ლიტერატურა

1. გ. ლობჯანიძე, ვ. ხვედელიძე. ყურძნის კანის ჰიდროთერმული დამუხაგების მართვა. ქუთაისის ნ. მუსხელიშვილის სახელობის სახელმწიფო ტექნიკური უნივერსიტეტის სამეცნიერო შრომები N1(17), ქუთაისი, ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2006, გვ. 93-94.
2. გ. ლობჯანიძე, ვ. ხვედელიძე. მ. ბუჩინიშვილი. ყურძნის კანის თბოფიზიკური მახასიათებლები. //Georgian Engineering News, 2006, N1, გვ. 287-288.
3. ვ. ხვედელიძე. კომპიუტერის მხედველობითი სინდრომი: ახალი სამკურნალო-პროფილაქტიკური პრეპარატის შემუხაგება. //ნოვაცია, 2009, N5, გვ. 74-81.

SUMMARY

DEVELOPMENT OF THE METHODS OF EXTRACTION OF PHENOLIC COMPOUNDS FROM THE SEEDS OF GEORGIAN GRAPES FOR THE PRODUCTS FOR THERAPEUTIC AND PROPHYLACTIC PURPOSES

Lobzhanidze G.A. and Namchevadze T.V.
Akaki Tsereteli State University, Kutaisi

It is well known that one of the basic factors causing many diseases is the imbalance between oxidants and antioxidants in the organism. Hence it is essential to use antioxidants, natural antioxidants being preferable without doubt. The high antioxidant activity of grape polyphenols is well known. The outcomes of our investigation allow producing the nonalcoholic concentrates with grape polyphenols of nutritive-prophylactic purpose, which will contain no less than 200 mg/ml of the active substance in the diluted, bioavailable state. For comparison, it should be noted that the concentration of polyphenols in red wines is no more than 20 mg/ml.

Keywords: grape seeds, antioxidants, phenolic compounds, nanodispersion, extraction.

სწრაფი გაყინვის უზრუნველყოფის კინემატიკური ხილის მიკროფლორაზე

გურიელიძე მ.ა., ჟღენტი მ.ს., გულუა ლ.კ., თურმანიძე თ.გ.

საქართველოს აგრარული უნივერსიტეტი

გაყინული კენკრის მიკროფლორა დამოკიდებულია მათ ქიმიურ შედგენილობაზე, დამუშავების მეთოდებზე, გაყინვის და შენახვის ტემპერატურაზე. რამდენადაც ხილი მდიდარია ნახშირწყლებით და მჟავებით, მათზე ძირითადად ვითარდება საფუერები და ობის სოკოები. ზოგიერთი სოკო ნაყოფებზე ვითარდება ბუნებრივ პირობებში, როგორც სხვადასხვა დაავადების გამომწვევეები. მრავალი სოკო ნაყოფებს აზიანებს მხოლოდ შენახვის პირობებში. გადამწიფებული და მექანიკურად დაზიანებული ნაყოფები შეიცავენ დიდი რაოდენობით საფუერებს და ობის სოკოებს. ხილის მიკროფლორა მხოლოდ ამ ჯგუფის მიკროორგანიზმებით არ შემოიფარგლება. ხილს, განსაკუთრებით კენკროვანს, კონტაქტი აქვს ნიადაგთან, რომელიც უხვად არის დასახლებული ბაქტერიებით, ხილზე იღეკება ჰაერიდან მტვერი. ამიტომ მაღალხარისხიანი ნაყოფებიც კი, რომელთაც მექანიკური დაზიანება არ გააჩნიათ, გარდა საფუერებისა და ობის სოკოებისა, შეიცავენ დიდი რაოდენობით სხვადასხვა არასპოროვან, აერობულ და ანაერობულ სპორწარმომქმნელ ბაქტერიებს [1,2].

ხილის სწრაფი გაყინვის დროს მიკროორგანიზმების რაოდენობა მცირდება, თუმცა დადგენილია, რომ ზოგიერთი ბაქტერია სიცოცხლისუნარიანობას ინარჩუნებს -20°C -დან -45°C -მდე ტემპერატურის დროს. ამასთან, გაყინულ პროდუქტზე თითქმის არასდროს არ აღინიშნება პათოგენური მიკროორგანიზმების განვითარება. გაყინვა სხვადასხვა სახის მიკროორგანიზმებზე სხვადასხვაგვარ გავლენას ახდენს. დაბალი ტემპერატურისადმი უფრო მეტად მდგრადები ობის სოკოები და საფუერებია, ხოლო მგრძობიარენი-არასპოროვანი ბაქტერიები, მაგრამ ყველა მიკროორგანიზმის სრული განადგურება ნაყოფების გაყინვისას პრაქტიკულად არ ხდება. მიკროორგანიზმების განადგურებაზე გავლენას ახდენს არა მხოლოდ გაყინვის ტემპერატურა, არამედ გაყინვის დრო და არის მჟავიანობა. ყველაზე უკეთ მიკროორგანიზმები გადარჩებიან სუსტ ტუტე ან ნეიტრალურ არეში. ნელი გაყინვა იწვევს მიკროორგანიზმების აქტიურ დაღუპვას, ვიდრე სწრაფი. რამდენადაც ამ დროს ნაყოფებში წარმოიქმნებიან ყინულის მსხვილი კრისტალები, რომლებიც აზიანებენ მიკროორგანიზმების პროტოპლაზმას და უჯრედის გარსს.

კვლევების შედეგად მეცნიერები მივიდნენ დასკვნამდე, რომ ხილის შენახვისას ეპიფიტური მიკროფლორის განვითარების დათრგუნვისათვის გაყინვის ტემპერატურა უნდა იყოს არა ნაკლებ -18°C -სა [3].

ჩვენი კვლევის მიზანს წარმოადგენდა შეგვესწავლა ზოგიერთი კენკროვანი კულტურის: მარწყვის, ჟოლოსა და მაყელის პერსპექტიული ჯიშების მიკროფლორა როგორც საწყის, ისე გაყინულ ნიმუშებში. სწრაფი გაყინვის მეთოდის გავლენა არაპათოგენურ და პათოგენურ მიკროფლორაზე.

გამოკვლეულია მარწყვის ოთხი ჯიში: წითელი ოცნება, კამაროსა, ვიქტორია, კასანდრა, ჟოლოს სამი ჯიში: ნოვა, კილარნი და ტულეიშანი, ასევე მაყელის ველური და კულტურული ფორმა. გაყინვა წარმოებდა -40°C -ზე, ხოლო შენახვა -20°C -ზე.

კენკროვანი ხილიდან მიკროორგანიზმების გამოსაყოფად გამოყენებულ იქნა თანმიმდევრული განზავების მეთოდი. გამოსაკვლევი მასალის 10 გრ შეტანილ იქნა 90 მლ სტერილურ წყალში. მომზადებულ იქნა განზავებები $1:10$, $1:10^2$, $1:10^3$, $1:10^4$. თითოეული განზავებიდან თითო წვეთი გადატანილ იქნა პეტრის ჯამებზე [4].

მეზოფილურ აერობული და ფაკულტატურ ანაერობული ბაქტერიების (მაფანმრ) გამოსაყოფად გამოყენებული იქნა ხორც-პეპტონიანი აგარი და TSA-აგარი, საფუერებისა და ობის სოკოებისათვის - საბუროს აგარი, სტაფილოკოკებისათვის - მანიტ-მარილის აგარი. ენტერობაქტერიების გამოსავლენად სხვადასხვა ეტაპზე გამოყენებული იქნა დამაგროვებელი არეები: ნაწლავის ჩხირისათვის ლაქტოზიანი ბულიონი, სალმონელისათვის - პეპტონის წყალი; საიდენტიფიკაციო არეები:

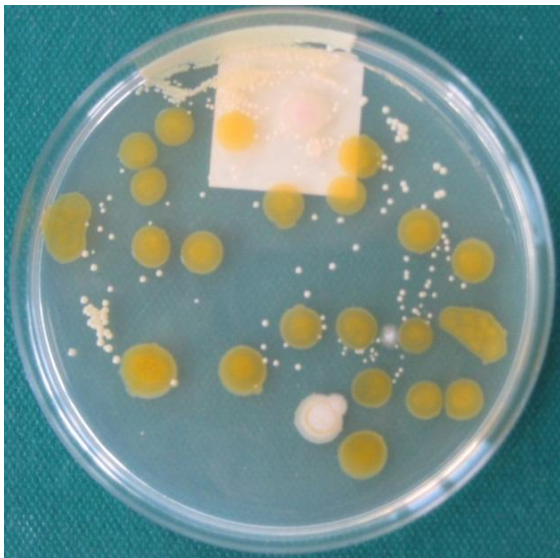
სალმონელა-შიგელას აგარი (SS-აგარი), ენდო აგარი, კლიგლერის აგარი, სამშაქრიანი აგარი.

კვლევის შედეგად შესწავლილ იქნა სამივე კულტურის (მარწყვი, ჟოლო, მაცვალი) ახლადმოკრეფილი ნაყოფების მიკროფლორა, რომლის შედეგები წარმოდგენილია ცხრ.1-ში.

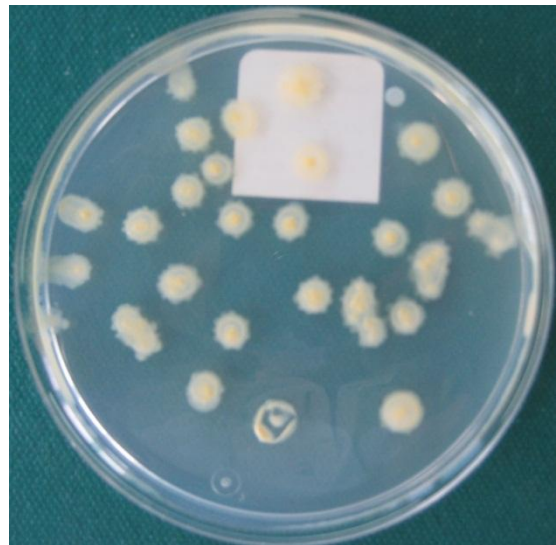
ცხრილი 1. მარწყვის საწყის ნიმუშებში მაფანმრ ბაქტერიების, საფუერების, ობის სოკოების და სტაფილოკოკის რაოდენობა

№	ნიმუშები	მიკროორგანიზმების რაოდენობა, კწე/გრ				
		მაფანმრ	საფუერები	ობის სოკოები	<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Staphylococcus epidermidis</i>
1	წითელი ოცნება	76×10^4	58×10^4	0	2×10^3	4×10^3
2	კამაროსა	48×10^4	62×10^4	0	2×10^3	4×10^2
3	ვიქტორია	14×10^5	15×10^5	0	6×10^4	0
4	კასანდრა	12×10^5	88×10^4	0	2×10^3	0

განსაკუთრებით დიდი რაოდენობით მაფანმრ და საფუერები გამოვლინდა მარწყვის ჯიშში ვიქტორია (ნახ.1 და 2). ნაწლავის ჩხირის ჯგუფის ბაქტერიებიდან მარწყვის ოთხივე ნიმუშში გამოვლინდა: *E.coli*, ჯიშში წითელი ოცნება გამოვლინდა *Shigella flexneri*, ხოლო ჯიშში ვიქტორია - *Salmonella*, ჯიშში კასანდრა კი - *Enterobacter aerogenes*.



ნახ.1. მარწყვის ჯიშში ვიქტორია, მაფანმრ



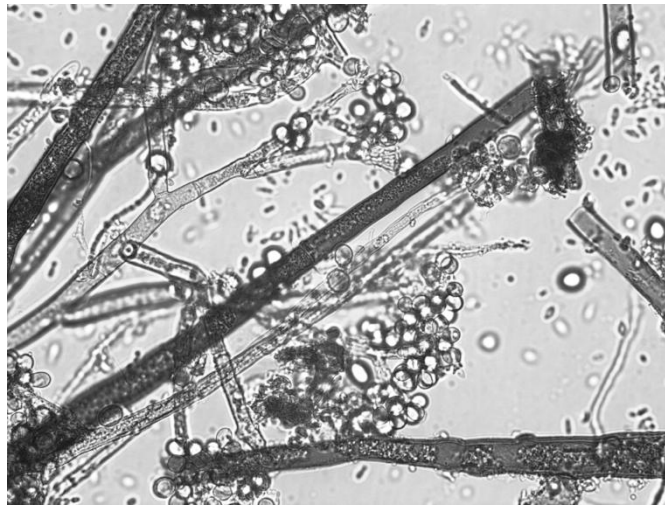
ნახ.2. მარწყვის ჯიშში ვიქტორია, საფუერები

ასევე შესწავლილ იქნა ჟოლოს ჯიშების საწყის ნიმუშების მიკროფლორა. ანალოგიური სახის გამოკვლევები ჩატარდა მაცვლის როგორც კულტურულ, ისე ველურ ფორმებში. როგორც მიღებული შედეგებიდან ჩანს, მაცვლის კულტურულ ფორმაში გამოვლინდა ენტერობაქტერიები და საფუერების შედარებით მცირე რაოდენობა (ცხრ. 2).

ცხრილი 2. ჟოლოს და მაცვლის საწყის ნიმუშებში მაფანმრ ბაქტერიების, საფუერების, ობის სოკოების რაოდენობა

№	ნიმუშები	მიკროორგანიზმების რაოდენობა, კწე/გრ		
		მაფანმრ	საფუერები	ობის სოკოები
1	ჟოლო ნოვა	4×10^4	0	12×10^2
2	ჟოლო კილარნეი	34×10^3	0	18×10^2
3	ჟოლო ტუდეიმანი	11×10^3	0	14×10^2
4	მაყელის კულტურული ფორმა	26×10^3	35	4×10^2
5	მაყელის გელური ფორმა	30×10^3	40	7×10^3

ჟოლოს ახლადმოკრეფილ ნიმუშებში გამოვლინდა ნაცრისფერი სიღამპლის გამომწვევი ფიტობათოგენური სოკო *Botritis cinerea* (ნახ.3).



ნახ.3. *Botritis cinerea*

შესწავლილ იქნა გაყინული კენკროვანი კულტურების მიკროფლორა სწრაფი გაყინვის შემდეგ. როგორც მიღებული შედეგებიდან ჩანს, სწრაფი გაყინვის შემდეგ მნიშვნელოვნად მცირდება მიკროორგანიზმების რაოდენობა (ცხრ. 3).

ცხრილი 3. მიკროორგანიზმების რაოდენობა გაყინულ კენკროვან კულტურებში

№	ნიმუშები	მიკროორგანიზმების რაოდენობა, კწე/გრ		
		მაფანმრ	საფუერები	ობის სოკოები
1	წითელი ოცნება	8×10^2	0	0
4	კამაროსა	48×10^2	8×10^2	0
7	კასანდრა	6×10^2	2×10^2	0
8	ვიქტორია	71×10^3	0	0
9	ნოვა	40	0	40
10	კილარნეი	$1,1 \times 10^2$	0	50
	ტუდეიმანი	3×10^2	0	30
11	მაყვალ კულტურული	5×10^2	15	20
12	მაყვალ გელური	3×10^3	5	8

გაყინული ნიმუშებიდან *E.coli* გამოვლინდა მხოლოდ მარწყვის ერთ ჯიშში- წითელი ოცნება. ხოლო ჯიშში კამაროსა გამოვლინდა *Staphylococcus epidermidis* (2×10^2 კწე/გრ). ენტერობაქტერიები გაყინული მაყელის ფორმებში არ გამოვლინდა.

შესწავლილ იქნა მარწყვის ჯიშების მიკროფლორა (ბაქტერიები, საფუერები, ობის სოკოები) გაყინული სახით შენახვიდან 2 თვის შემდეგ.

მარწყვის საწყის ნიმუშებთან შედარებით, როგორც ზემოთ იქნა აღნიშნული გაყინვის შემთხვევაში მიკროორგანიზმების რაოდენობა მნიშვნელოვნად მცირდება (ცხრ. 3). გაყინვიდან 2 თვის შენახვის შემდეგ ნიმუშებში საფუერების, ობის სოკოების და სტაფილოკოკების არსებობა აღარ ფიქსირდება (ცხრ. 4).

ცხრილი 4. მარწყვის ჯიშების მიკროფლორა გაყინვიდან 2 თვის შემდეგ

	ნიმუშები	მიკროორგანიზმების რაოდენობა, კწე/გრ			
		მაფანმრ	საფუერები	ობის სოკოები	<i>Staphylococcus aureus</i>
1	წითელი ოცნება	7,1×10 ²	0	0	0
2	კამაროსა	2,3×10 ²	0	0	0
3	კასანდრა	3×10 ²	0	0	0
	ვიქტორია	5×10 ²	0	0	0

ამრიგად, ნიმუშების სწრაფი გაყინვით და შემდგომ შენახვით, -18°C ტემპურატურაზე, ნაყოფებში ითრგუნება როგორც საფუერების, ობის სოკოების და პათოგენური ბაქტერიების (ენტერობაქტერიები, სტაფილოკოკები), ასევე ფიტოპათოგენური სოკოებისგან ითარება.

ლიტერატურა

1. Kikoku Y, Tagashira N, Nakano H. Heat resistance of fungi isolated from frozen blueberries. *J Food Prot.* 2008, 71(10):2030-5. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18939748>
2. Margaret Barth, Thomas R. Hankinson, Hong Zhuang, and Frederick Breidt, Microbiological Spoilage of Fruits and Vegetables, *Food Microbiology and Food Safety*, Springer Science+Business Media, LLC 2009, pp.135-183.
3. Microorganisms in Foods 6: Microbial Ecology of Food Commodities, Kluwar Academic/Plenum Publishers, 2005, pp. 326-345.
4. Практикум по микробиологии. Под редакцией А.И. Нетрусова, -Москва, 2005, сс.93-107.

SUMMARY

THE IMPACT OF QUICK FREEZING ON THE MICROFLORA OF BERRIES

Gurielidze M.A., Zhgenti M.S., Gulua L.K. and Turmanidze T.V.

Agricultural University of Georgia

The results of microbiological investigation of promising berry crops such as strawberries, raspberries and blackberries are discussed. Fresh berries, the berries after quick freezing and frozen berries after 2-month storage were studied. In the berries stored at – 18°C, just as the growth of yeasts, molds and pathogenic bacteria (enterobacteria, staphylococcus etc.), so of phytopathogenic fungi is inhibited, while the number of mesophilic, aerobic and facultative bacteria is reduced considerably.

Keywords: berries, quick freezing, microflora.

ზობიერთი კურკოვანი კულტურის ნაყოფების სუნთქვის ინტენსივობა შენახვის პროცესში

ქლენტი მ.ს., გულუა ლ.კ., თურმანიძე თ.გ.

საქართველოს აგრარული უნივერსიტეტი

ატამი, ქლიავი და ნექტარინი განეკუთვნება კლიმაქტერიქსულ ნაყოფებს. მათ ახასიათებთ სუნთქვის ინტენსივობის მომატება. პიკის მიღწევის შემდეგ დგება სამომხმარებლო სიმწიფის ფაზა გარკვეული პერიოდის განმავლობაში, შემდეგ კი იწყება ნაყოფის დამწიფების პროცესი. შენახვის ხანგრძლივობა დამოკიდებულია სუნთქვის მაქსიმუმის მიღწევის პერიოდზე. შენახვისუნარიანობა დაკავშირებულია შენახვის დროს ნაყოფების მიერ ე.წ. გამოყოფილი CO₂-ის რაოდენობაზე. შენახვისუნარიანი ჯიშებისათვის სახეობის მიხედვით ეს მაჩვენებელი დაბალია.

კვლევის მიზანს წარმოადგენდა შეგვესწავლა კურკოვანი კულტურების ატმის, ქლიავის და ნექტარინის სხვადასხვა ჯიშების სუნთქვის ინტენსივობა ვარიანტების მიხედვით შენახვის დროს. დაგვედგინა ცალკეული ჯიშის დანაკარგები შენახვის პროცესში.

კვლევის ობიექტს წარმოადგენდა ატმის ჯიშები: ხიდისთაური ყვითელი საგვიანო, ფაიმტაიმი და წედისური. ქლიავის: სტენლი, იტალიური უნგრულა და აჟანის უნგრულა და ნექტარინის: მორსიანი-60, მაქსი-7 და კალდეზი-2000. კვლევის პროცესში ცალკეული კულტურის ჯიშებზე დაკვირვება წარმოებდა ნაყოფებზე, რომელიც ინახებოდა 0,5°C ტემპერატურის პირობებში. ფარდობითი ტენიანობა 85-90%. დაკვირვება წარმოებდა ყოველი 5 დღის ინტერვალით.

სუნთქვის ინტენსივობის დინამიკის შესწავლისას გამოვლინდა, რომ ჯიშები განსხვავდებიან როგორც სუნთქვის ინტენსივობით, ისე კლიმაქტერიქსის პიკის დადგომის თვალსაზრისითაც [1-3].

მიღებული შედეგებიდან ჩანს, რომ ატმის ჯიშებიდან შენახვის წინ სუნთქვის ინტენსივობის ყველაზე დაბალი მაჩვენებლით ხასიათდება ჯიში ხიდისთაური ყვითელი საგვიანო 5,3 CO₂ მლ/კგსთ, შემდეგ მოდის ფაიმტაიმი 6,4 CO₂ მლ/კგსთ და ბოლო წედისური 7,8 CO₂ მლ/კგსთ.

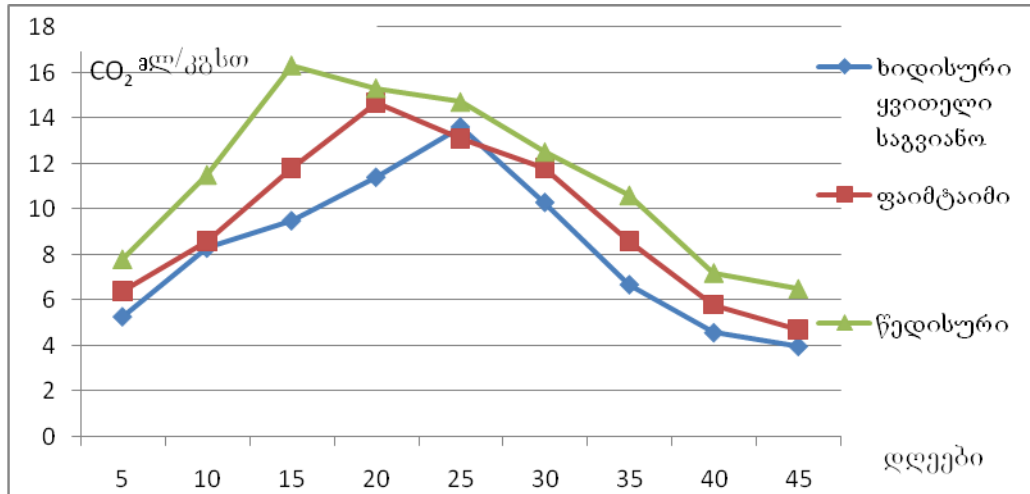
კლიმაქტერიქსის პიკი ხიდისთაური ყვითელი საგვიანოს შემთხვევაში დგება 25 დღის შემდეგ, ჯიში ფაიმტაიმის შემთხვევაში სუნთქვის ინტენსივობის მაქსიმუმი ფიქსირდება 20 დღის ხოლო წედისურის შემთხვევაში 15 დღის შემდეგ. (ცხრ. 1).

ცხრილი 1. ატმის ჯიშებში სუნთქვის ინტენსივობის ცვლილება შენახვის პროცესში (CO₂ მლ/კგსთ)

დღეები ჯიშები	5	10	15	20	25	30	35	40	45
ხიდის თაური ყვითელი საგვიანო	5,3	8,3	9,5	11,4	13,6	10,3	6,7	4,6	4,0
ფაიმტაიმი	6,4	8,6	11,8	14,7	13,1	12,4	8,6	5,8	4,7
წედისური	7,8	11,5	16,3	15,3	14,7	12,5	10,6	7,2	6,5

ჯიშების ურთიერთშედარებამ დაგვანახა (ცხრ. 1), რომ ატმის ჯიში ხიდისთაური ყვითელი საგვიანოს ნაყოფები სხვა ჯიშებთან შედარებით ხასიათდებიან სუნთქვის უფრო დაბალი ინტენსივობით და მაქსიმუმი განისაზღვრა 13,6 CO₂ მლ/კგსთ.

დანარჩენი ჯიშებისთვის ეს მაჩვენებელია – ფაიმტაიმი 14,7 CO₂ მლ/კგსთ და წედისური 15,3 CO₂ მლ/კგსთ.



ნახ.1. ატმის ჯიშებში სუნთქვის ინტენსივობის დინამიკა შენახვის პროცესში (CO₂ მლ/კგსთ)

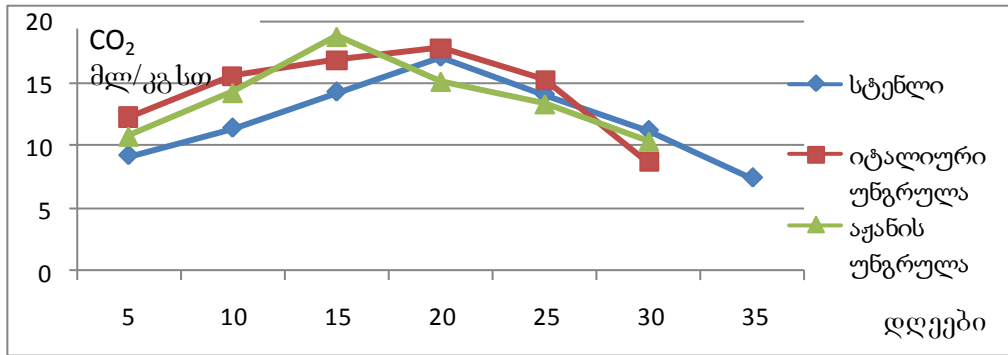
ჩატარებული ქიმიური გამოკვლევებით და ექსპერიმენტის შედეგად მიღებული მონაცემებით ნათლად ჩანს, რომ შედარებით კარგი შენახვისუნარიანობით გამოირჩევა ატმის ჯიშში ხიდისთაური ყვითელი საგვიანო. შემდეგ მოდის ფეიმტაიმი და ბოლოს ჯიშში წედისური.

ანალოგიურად შესწავლილია ქლიავის ჯიშები. ყველაზე დაბალი სუნთქვის ინტენსივობით ხასიათდება ჯიშში სტენლი, ყველაზე უფრო მაღალი ინტენსივობით აჟანის უნგრულა, ხოლო ჯიშ იტალიურ უნგრულას შუალედური ადგილი უკავია. (ცხრ. 2).

ცხრილი 2. ქლიავის ჯიშებში სუნთქვის ინტენსივობის ცვლილება შენახვის პროცესში (CO₂ მლ/კგსთ)

დღეები \ ჯიშები	5	10	15	20	25	30	35
სტენლი	9,2	11,4	14,3	17,1	15,4	11,2	7,4
იტალიური უნგრულა	10,8	13,8	16,5	17,8	15,8	12,1	0
აჟანის უნგრულა	12,3	14,3	18,8	16,5	13,4	10,4	0

როგორც მიღებული შედეგებიდან ირკვევა ქლიავის ჯიშებიდან ყველაზე დაბალი სუნთქვის ინტენსივობით ხასიათდება ჯიშში სტენლი, რომლის კლიმაქტერიქსის პიკი დგება შენახვიდან 20 დღის შემდეგ, როცა გამოყოფილი CO₂-ის რაოდენობა 17,1 მლ/კგსთ-ის ტოლია. აჟანის უნგრულას შემთხვევაში კლიმაქტერიქსის პიკი განისაზღვრა 15 დღით, როცა გამოყოფილმა CO₂-მა შეადგინა 18,8 მლ/კგსთ. შესაბამისად უფრო შენახვისუნარიანია ჯიშები - სტენლი და იტალიური უნგრულა, ვიდრე აჟანის უნგრულა.



ნახ.2. კლიავის ჯიშების სუნთქვის ინტენსივობის დინამიკა შენახვის პროცესში (CO₂მლ/კგ სთ)

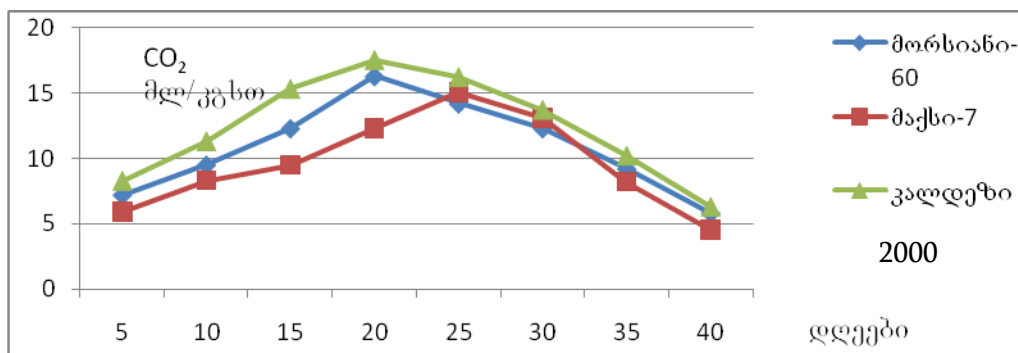
ქიმიური კვლევების საფუძველზე გამოვლენილია ასევე ნექტარინის შენახვის-უნარიანი ჯიშები.

ნექტარინის ჯიშებში ყველაზე დაბალი სუნთქვის ინტენსივობით ხასიათდება ჯიში მაქსი-7, შემდეგ მოდის მორსიანი-60, ხოლო ყველაზე დაბალი სუნთქვის ინტენსივობა ახასიათებს ჯიშ კალდეზი-2000-ს.

ცხრილი 3. ნექტარინის ჯიშებში სუნთქვის ინტენსივობის ცვლილება შენახვის პროცესში (CO₂ მლ/კგ სთ)

დღეები \ ჯიშები	5	10	15	20	25	30	35	40
მორსიანი-60	7,2	9,5	12,3	16,3	14,2	12,3	9,2	5,8
მაქსი-7	5,9	8,3	9,4	12,3	15,1	13,1	8,2	4,5
კალდეზი-2000	8,3	11,3	15,3	17,5	16,2	13,7	10,2	6,3

როგორც მიღებული შედეგებიდან ჩანს, ნექტარინის შესწავლილი ჯიშებიდან კლიმაქტერიქსის პიკის მაქსიმუმი სხვა ჯიშებთან შედარებით უფრო გვიან დგება. ჯიში მაქსი-7-ის შემთხვევაში 25 დღის შემდეგ, ხოლო დანარჩენ ჯიშებში სუნთქვის ინტენსივობის მაქსიმუმი დაფიქსირდა 20 დღის შემდეგ. (ნახ.3)



ნახ. 3. ნექტარინის ჯიშების სუნთქვის ინტენსივობის დინამიკა შენახვის პროცესში (CO₂ მლ/კგ სთ)

შესწავლილია შენახვის დროს ცალკეული სახეობის ჯიშების მასაში ბუნებრივი კლება და ფიტოპათოლოგიური სახის დანაკარგები. (ცხრ. 4.)

ცხრილი 4. საერთო დანაკარგები ატმის, ქლიავის და ნექტარინის ჯიშების შენახვის ბოლოს დაუშუშავებელ ნიმუშებში (ტემპერატურა 0,5°C, ფარდობითი ტენიანობა 85-90%)

კულტურა	ჯიში	მასაში კლება%	ფიტოპათოლოგიური დანაკარგი%	სულ დანაკარგი %	შენახვა (დღეები)
ატამი	ხიდისთაური. ყვ.საგვიანო	2,9	3,5	6,4	45
	ფაიმტაიმი	3,8	5,3	9,1	
	წედისური	4,3	7,2	11,5	
ქლიავი	სტენლი	4,7	5,0	9,7	45
	იტალიური უნგრულა	5,2	6,0	11,2	
	აჟანის უნგრულა	6,0	6,8	12,8	
ნექტარინი	მორსიანი-60	4,3	7,0	11,3	45
	მაქსი-7	3,0	4,3	7,3	
	კალდეზი-2000	5,6	7,8	13,4	

ჩატარებული გამოკვლევებით გამოვლენილია შენახვისუნარიანი ჯიშები. ატმის ჯიშებიდან საერთო დანაკარგების დაბალი მაჩვენებელი ახასიათებს ჯიშ ხიდისთაური ყვითელი საგვიანოს 6,4%, მაშინ როცა წედისურის შემთხვევაში ეს მაჩვენებელი 11,5%-ის ტოლია.

ქლიავის ჯიშების შედარებამ ამ თვალსაზრისით დაგვანახა, რომ კარგი შენახვისუნარიანობით ხასიათდება ჯიში სტენლი, საერთო დანაკარგი 9,7%, შემდეგ მოდის იტალიური უნგრულა 11,2%. ყველაზე დაბალი შენახვისუნარიანობით ხასიათდება ჯიში აჟანის უნგრულა.

შენახვის დროს ყველაზე ნაკლები დანაკარგები აქვს ნექტარინის ჯიშ მაქსი-7-ს 7,3%, ყველაზე მაღალი კალდეზი 2000-ს 13,4% შენახვიდან 45 დღის შემდეგ.

ჩატარებული გამოკვლევების საფუძველზე შეიძლება ითქვას, რომ კარგი შენახვისუნარიანობით გამოირჩევა და დაბალი სუნთქვის ინტენსივობა ახასიათებს ატმის ჯიშ ხიდისთაურ ყვითელ საგვიანოს, შემდეგ მოდის ჯიში ფაიმტაიმი. ყველაზე დაბალი მაჩვენებლით ამ თვალსაზრისით ხასიათდება ჯიში წედისური.

გამოვლენილია ქლიავის შენახვისუნარიანი ჯიში სტენლი, რომელსაც შენახვიდან 45 დღის შემდეგ კარგად აქვს შენარჩუნებული ხარისხობრივი მაჩვენებლები და მინიმალური დანაკარგები შენახვის პროცესში.

ასევე ჩატარებულმა დაკვირვებებმა და გამოკვლევებმა დაგვარწმუნა, რომ კარგი შენახვისუნარიანობით გამოირჩევა ნექტარინის ჯიში მაქსი-7. შედარებით უფრო ნაკლებით ჯიშები - მორსიანი-60 და კალდეზი-2000.

ლიტერატურა

1. Щербец Б. А., Соколова С.А., Черных О.В. Сбор и хранение плодов персика. Садоводства и виноградарство. 1991, №11, сс. 2-4.
2. კვალაიშვილი ვ., მელანაშვილი ნ., შაფათავა ზ. ატმის ჰიბრიდების შენახვის ტექნოლოგია, /ახალგაზრდა მეცნიერ-მუშაკთა და ასპირანტთა რესპუბლიკური სამეცნიერო კონფერენციის თეზისები. თბილისი 1991.
3. შაფათავა ზ., ბასილიცა ი. ვაშლისა და ფეიხოს ნაყოფის სუნთქვის ინტენსივობა შენახვის ტემპერატურასთან დამოკიდებულებაში, საქართველოს სოფლის მეურნეობის მეცნიერებათა აკადემია, ჟურნალი მოამბე, 2003 ტ. 11, გვ. 86-88.

SUMMARY

RESPIRATION INTENSITY OF SOME STONE FRUITS DURING STORAGE

Zhgenti M.S., Gulua L.K. and Turmanidze T.V.

Agricultural University of Georgia

The dynamics of respiration intensity of promising peach, plum and nectarine cultivars, growing in Georgia, during storage was investigated. The cultivars withstanding long storage were identified, the loss during storage was assessed.

Keywords: stone fruit, storage, respiration intensity, climacterix.

ზობიერთი ოქსიდაზური ფერმენტის ცვლილება კურკოვანო ხილის შენახვის პროცესში

გარუნაგა მ.გ., გულუა ლ.კ., ჟღენტი მ.ს., თურმანიძე თ.ვ.

საქართველოს აგრარული უნივერსიტეტი

საქართველოში გავრცელებულ ხეხილოვან კულტურათა შორის კურკოვან კულტურებს ატამს, ქლიავს და ნექტარინს თავისი კვებითი და გემური თვისებების გამო განსაკუთრებული ადგილი უკავიათ. ნაყოფები გამოირჩევიან საუკეთესო გემური თვისებებით, სასიამოვნო არომატით და მიმზიდველი გარეგანი სახით. ამასთან წარმოადგენენ ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებების მნიშვნელოვან ბუნებრივ წყაროს.

ნაყოფის ნედლად შენახვის ხანგრძლივობა ძირითადად დამოკიდებულია სუნთქვის პროცესზე, მაგრამ ოქსიდაზური ფერმენტების, კერძოდ, პეროქსიდაზას და ო-დიფენოლოქსიდაზას აქტივობა მნიშვნელოვნად განაპირობებს ნაყოფის ფიზიოლოგიურ მდგომარეობას შენახვის პროცესში.

კვლევის მიზანს წარმოადგენდა შეგვესწავლა კურკოვან ხილში ოქსიდაზური ფერმენტების პეროქსიდაზას და ო-დიფენოლოქსიდაზას აქტივობა შენახვის წინ და მისი ცვლილება შენახვის პროცესში. დაგვედგინა კალციუმის ქლორიდის და ევკალიპტის ექსტრაქტის კომბინირებული ხსნარის გავლენა ოქსიდაზური ფერმენტის აქტივობაზე.

კვლევის ობიექტს წარმოადგენდა კურკოვანი კულტურები: ატამი, ნექტარინი და ქლიავი. შენახვის წინ ნიმუშები დამუშავებული იყო კალციუმის ქლორიდის და ევკალიპტის ხსნარების 2%-იანი კომბინირებული ხსნარით. შესადარებლად აღებული იყო საკონტოლო ნიმუშები. საცდელი ნიმუშები ინახებოდა 0-1°C-ს ტემპერატურაზე 85-90% ფარდობითი ტენიანობის პირობებში.

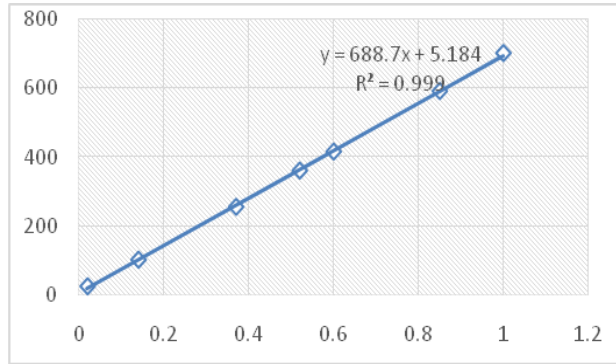
პეროქსიდაზას აქტივობას ვსაზღვრავდით გალის მუავას დაჟანგვით, წყალბადის ზეჟანგის თანაობისას 1 წუთიანი ექსტინციის სხვაობით. გაზომვები მიმდინარეობდა სპექტროფოტომეტრზე (CF- 2100), 385 ნმ ტალღის სიგრძეზე. ცდები ჩატარდა აღნიშნული ფერმენტით გვარაკოლის დაჟანგვაზეც. საკონტოლო ცდებში ფერმენტული პრეპარატის ნაცვლად გამოვიყენეთ გამოხდილი წყალი [1,2].

ფენოლოქსიდაზას შემთხვევაში აქტივობა განვსაზღვრეთ წინასწარ გასუფთავებული პიროკატეხინით (თავდახურულ ჭურჭელში გაცხელებით აღუღებამდე, აქროლებით, გაციებით და გამოკრისტალებით) დამზადებული სუბსტრატის დაჟანგვით 1 წუთიანი ექსტინციის სხვაობით. გაზომვები მიმდინარეობდა სპექტროფოტომეტრზე (CF-2100), 430 ნმ ტალღის სიგრძეზე. ორივე ფერმენტის შემთხვევაში ხვედრითი აქტივობა გამოანგარიშებული იქნა ექსტინციის სხვაობის ანუ ექსტინციის კოეფიციენტის გაყოფით ამავე კულტურების ცილოვანი სუპერნატანტის 1მლ-ში არსებულ ცილაზე მგ-ში [3].

ცილის საერთო რაოდენობა განისაზღვრა 595 ნმ ტალღის სიგრძეზე (ცხრ.1). აგებულ იქნა საკალიბრო მრუდი (ნახ.1).

ცხრილი 1. ცილის საერთო რაოდენობის განსაზღვრა

ცილის დედა ხსნარი, მკლ	წყალი, მკლ	ცილა, მკგ/მლ	ოპტიკური სიმკვრივე, 595 ნმ
10	990	10	0,1732
25	975	25	0,3920
35	965	35	0,5236
40	960	40	0,6074
60	940	60	1,8953
70	930	70	1,2053



ნახ.1. ცილის საერთო რაოდენობის საკალიბრო მრუდი

მიღებული შედეგებიდან ჩანს, ატმის ქლიავის და ნექტარინის შესწავლილი ჯიშები განსხვავებიან მუანგველ-აღმდგენელი ფერმენტების პეროქსიდაზას და ო-დიფენოლოქსიდაზას აქტივობით. ამავე დროს 2% კომბინირებული ნაზავით დამუშავებულ ნიმუშებში შენახვის პროცესში შემცირებულია ფერმენტების აქტივობა დაუმუშავებელ ნაყოფებთან შედარებით. (ცხრ. 2 და 3).

ცხრილი 2. ფერმენტ ო-დიფენოლოქსიდაზას ხვედრითი აქტივობა საცდელ შენახულ ნიმუშებში

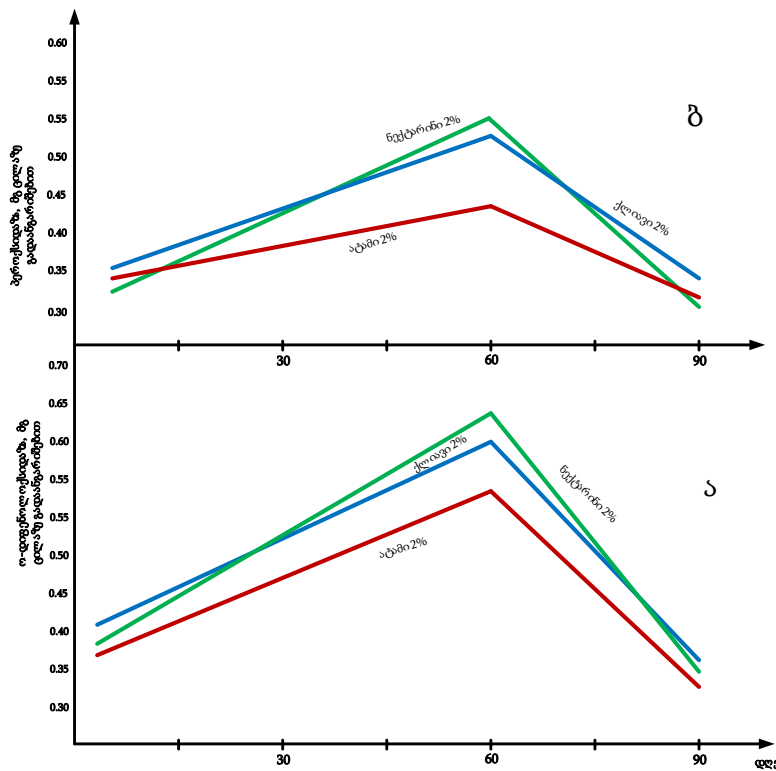
ნიმუშები		საწყისი	25 დღე	40 დღე	50 დღე	60 დღე	70 დღე
ქლიავი	კონტროლი	0,35	0,46	0,55	0,65	-	-
	2% ნაზავი	0,37	0,37	0,39	0,48	0,44	0,42
ატამი	კონტროლი	0,37	0,48	0,74	0,32	-	-
	2% ნაზავი	0,37	0,43	0,50	0,54	0,59	0,40
ნექტარინი	კონტროლი	0,42	0,55	0,72	0,40	-	-
	2% ნაზავი	0,40	0,43	0,43	0,45	0,47	0,39

კვლევის შედეგებმა აჩვენა, რომ შენახვიდან მე-60-ე დღეს კურკოვან ნაყოფებში ხდება ო-დიფენოლოქსიდაზას ხვედრითი აქტივობის მატება. შემდეგ მართალია მისი ხვედრითი აქტივობა მცირდება, მაგრამ 60-დან 90 დღემდე მაინც ინარჩუნებს შედარებით მაღალ ხვედრით აქტივობას. ანალოგიური კანონზომიერება ფიქსირდება ფერმენტ პეროქსიდაზას ხვედრითი აქტივობის თვალსაზრისით. (ცხრ. 2)

ცხრილი 3. ფერმენტ პეროქსიდაზას ხვედრითი აქტივობა საცდელ ნიმუშებში

ნიმუშები		საწყისი	25 დღე	40 დღე	50 დღე	60 დღე	70 დღე
ქლიავი	კონტროლი	0,30	0,58	0,72	0,38	-	-
	2% ნაზავი	0,31	0,31	0,35	0,35	0,35	0,32
ატამი	კონტროლი	0,40	0,58	0,72	0,38	-	-
	2% ნაზავი	0,34	0,36	0,37	0,39	0,42	0,35
ნექტარინი	კონტროლი	0,32	0,46	0,72	0,30	-	-
	2% ნაზავი	0,32	0,38	0,47	0,53	0,56	0,47

ამ კულტურებიდან თავისი მაღალი ხვედრითი აქტივობით გამოირჩევა ნექტარინი. მართალია ატმის ხვედრითი აქტივობა პირველ სამოც დღემდე მატულობს, მაგრამ 60 დღის შემდეგ მისი აქტივობა მკვეთრად მცირდება სხვა კულტურებთან შედარებით. შესაძლებელია ამ დროს მოსალოდნელი კრეზოლური აქტივობა არ არის განპირობებული ადღგენილი Cu^{2+} იონების არსებობით. რადგანაც ზოგიერთი მკვლევარის აზრით ო-დიფენოლოქსიდაზური აქტივობა განისაზღვრება დაჟანგული სპილენძის Cu^{2+} იონებით. აქედან გამომდინარე ექსპერიმენტის მსვლელობისას შეგნებულად არ იქნა გამოყენებული დიეთილდითიოკარბატი. რადგანაც ო-დიფენოლოქსიდაზა ამ უკანასკნელით განიცდის ინჰიბირებას. კერძოდ, ო-დიფენოლოქსიდაზა პროსტეტულ ჯგუფში შეიცავს სპილენძის იონს და სპილენძის იონი წარმოქმნის ქიმიურ ნაერთს დიეთილდითიოკარბონატთან. ეს უკანასკნელი ახდენს ფერმენტის აქტიური ჯგუფის ბლოკირებას, რის გამოც თვით ფერმენტი კარგავს აქტივობას. კვლევების საფუძველზე შეიძლება ვიმსჯელოთ, რომ ო-დიფენოლოქსიდაზას მოქმედების ადღგენითი პროცესები შესუსტებულია, რის გამოც წარმოიქმნება ქინონების სიტარბე. ექსპერიმენტში გამოყენებული კალციუმის ქლორიდის და ევკალიპტის ექსტრაქტის სხვადასხვა კონცენტრაციის ხსნარიდან ყურადღებას იქცევს 2%-იანი ხსნარით დამუშავებული ნიმუშები. გარეგნულად ისინი იყო კარგი შესახედაობის, არ იყო გამომშრალი, დამჭკნარი და სხვა. ჟანგვა-ადღგენითი ფერმენტების აქტივობის ცვლილება მოცემულია ნახ.2-ზე.



ნახ.2. კენკროვანი კულტურების ნაყოფებში ო-დიფენოლოქსიდაზას და პეროქსიდაზას ხვედრითი ატივობის ცვლილება ექსპოზიციისგან დამოკიდებულებით

როგორც მიღებული შედეგებიდან ჩანს, კურკოვან ნაყოფებში პეროქსიდაზას აქტივობის შესწავლისას გამოვლინდა რომ, მისი აქტივობა ო-დიფენოლოქსიდაზას აქტივობასთან შედარებით დაბალია. ამ თვალსაზრისით კულტურების შედარებით მაღალი აქტივობით გამოირჩევა ნექტარინი და ქლიავი.

შესწავლილი კურკოვანი კულტურების ნაყოფების 2% კომბინირებული ხსნარით წინასწარი დამუშავების შედეგად უჯრედები ძირითადად კარგად ინარჩუნებენ

თავიანთ სტრუქტურას. ამავე დროს შენელებულია ჟანგვა-აღდგენითი ფერმენტების პეროქსიდაზას და ო-დიფენოლოქსიდაზას ხვედრითი აქტივობა დაუმუშავებელ ნაყოფებთან შედარებით.

ჩატარებული კვლევის შედეგად შეგვიძლია გავაკეთოთ შემდეგი დასკვნები:

კურკოვანი კულტურების ნაყოფების შენახვისუნარიანობის გაზრდის მიზნით რეკომენდირებულია კალციუმის ქლორიდისა და ევკალიპტის ექსტრაქტის 2%-იანი ნაზავით ნაყოფების წინასწარი დამუშავება. ო-დიფენოლოქსიდაზასა და პეროქსიდაზას დაბალი ხვედრითი აქტივობა მიუთითებს იმაზე, რომ ამ ნაყოფებში ეს ფერმენტები წარმოდგენილია სხვადასხვა იზოფორმების (იზოფერმენტების) სახით. პეროქსიდაზას მოქმედების დროს უჯრედში არ ხდება ატფ-ს დაგროვება, ამიტომ ვთვლით, რომ ის არ მიეკუთვნება ტერმინალურ ფერმენტს.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чупахина Г.Н. Физиологические и биохимические методы анализа растений. -Калинград, изд-во КГУ, 2000, 59 с.
2. Луковникова Г.А., Иконникова М.И. Методы биохимического исследования растений. -Л.: Агропромиздат, 1987, 456 с.
3. Королюк М.А., Иванов Л.И. и др. Метод определения активности каталазы. // Лаб. дело, 1988, №1 сс. 16-18.

SUMMARY

CHANGES IN SOME OXIDATIVE ENZYMES IN STONE FRUITS DURING STORAGE

Garuchava M.V., Gulua L.K., Zhgenti M.S. and Turmanidze T.V.

Agricultural University of Georgia

The activity of oxidative enzymes peroxidase and o-diphenoxidase in peaches, plums and nectarines was studied. The dynamics of changes in these enzymes during storage of fresh fruit is discussed.

Keywords: peroxidase, o-diphenoxidase, enzyme activity, stone fruit, storage.

**ПРОТИВООПУХОЛЕВАЯ АКТИВНОСТЬ КОМПЛЕКСОВ МЕДИ Cu^{2+}
С КЛОТРИМАЗОЛОМ КАК СЛЕДСТВИЕ ФОРМИРОВАНИЯ СПЕЦИФИЧЕСКОЙ
ПЕНТАКООРДИНАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ**

**Чигогидзе Н.Ш., Цивцивадзе Т.И., Надирадзе И.Ш., Квдиашвили Р.Ш.,
Петриашвили Ж.Д., Джапаридзе Р.Дж.**

**Научный центр биологически активных веществ
Грузинского технического университета**

Структура имидазола является основой многих биологически активных веществ, необходимых для живых систем и организмов. Кроме того, для нормального функционирования живых организмов требуется присутствие специфических металлов, называемых микроэлементами: ванадий, хром, марганец, железо, кобальт, никель, медь, цинк, молибден и др. Ионы микроэлементов в биологических системах образуют координационные соединения, где лигандами выступают азотистые гетероциклы, в частности, структура имидазола и её производные. Способность к образованию комплексов с переходными металлами заложена в структуре гетероциклических соединений из-за наличия в их составе донорных атомов азота. Такие соединения участвуют в стабилизации множества биологических структур, известны различные комплексы белков с ионами металлов; течение ферментных реакций также зависит от ионов металлов; работа рибосом и регуляция структур нуклеиновых кислот определяется природой металла и окружающими условиями.

Среди лекарственных препаратов – производных имидазола, наше внимание привлекли метронидазол и клотримазол [1]. Метронидазол относится к антипротозойным средствам широкого спектра действия в отношении простейших. Его широко применяют для лечения острого и хронического трихомониаза; назначают также при лямблиозе и амебиазе, кожном лейшманиозе; как антибактериальное средство используют при анаэробных инфекциях. В последние годы метронидазол стали использовать для лечения гастродуоденальных язв, ассоциированных с *Helicobacter pylori*.

Препарат нарушает дезинтоксикацию алкоголя (оказывает угнетающее влияние на фермент ацетальдегидрогеназу), повышает уровень ацетальдегида в крови и сенсibiliзирует организм к действию алкогольных напитков. Аналогичный эффект наблюдается у препарата тетурам. Поэтому метронидазол можно применять для лечения больных алкоголизмом.

Наше внимание он привлёк ещё и потому, что метронидазол используют для повышения чувствительности опухолей к лучевой терапии.

Клотримазол был первым синтетическим имидазолиновым антифунгальным препаратом, широко вошедшим в медицинскую практику с 1970 года. Вслед за ним появился ряд других противогрибковых производных имидазола и триазола. Клотримазол активен в отношении патогенных дерматофитов, дрожжевых грибов, возбудителей разноцветного лишая и эритразмы, оказывает также антибактериальное действие на стафилококки и стрептококки.

Метронидазол и клотримазол, благодаря наличию донорного атома азота, могут выступать в качестве активных лигандов в реакциях комплексообразования с $3d$ -металлами. Поскольку в каждом из этих лекарственных средств сочетаются различные виды биологической активности (противомикробная, антипротозойная, противогрибковая и т.д.), то у них есть нечто общее, что не только способствует проявлению этих видов биологической активности, но и появлению совершенно новых фармакологических свойств и видов биологической активности.

Таким образом, на наш взгляд, являются реакции комплексообразования и формирование специфических пространственных структур вновь образующихся комплексов.

С помощью реакции комплексообразования возможно не только взаимное усиление биологических активностей, но и появление совершенно новой противоопухолевой активности у комплексного соединения меди с клотримазолом, которая превосходит аналогичную даже у препарата цис-платина. При этом полученные координационные соединения клотримазола с ионами металлов Cu^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+} и Zn^{2+} показывают возросшую цитотоксическую

активность по сравнению со свободным лигандом и уже имеющимся известным противоопухолевым препаратом цисплатин.

Как известно, механизм противоопухолевого действия цисплатина связан со способностью к бифункциональному алкилированию нитей ДНК, ведущему к длительному подавлению биосинтеза нуклеиновых кислот и гибели клетки. При приёме внутрь цисплатин неэффективен, поэтому его назначают внутривенно.

Ещё в 1974 году [2], на заре становления бионеорганической химии одним из нас была обнаружена специфическая комплексообразующая способность метронидазола с ионами меди (II). Структура соединения $[CuCl \cdot (MN)_2 \cdot (H_2O)]^+ Cl^-$ является ионной и построена из дискретных комплексных катионов $[CuCl \cdot (MN)_2 \cdot (H_2O)]^+$ и анионов Cl^- , что подтверждается данными молярной электропроводности. В дальнейшем методом рентгеноструктурного анализа был выявлен совершенно новый тип координации метронидазола с ионами меди (II). Вокруг атомов меди образуется тригонально-бипирамидальная координация из двух атомов азота, двух монодентатных молекул метронидазола, атомов молекул воды и мостикового атома хлора. Впервые было доказано, что координационное число меди в комплексе с метронидазолом равно 5.

В последствии это позволило нам объяснить механизм лигандной патологии, проявляемый данным лекарственным препаратом в организме [3].

Образую „ложный” лиганд, метронидазол координирует с атомами меди медьсодержащих ферментов и белков организма, блокирует их и вызывает различные патологические нарушения в организме (нарушение дезинтоксикации алкоголя в организме в качестве примера).

Это позволило в 2009 году [3] выдвинуть концепцию взаимно-индуцированного соответствия лиганда и металлосоодержащих макромолекул организма, что, на наш взгляд, играет основную роль в возникновении лигандной патологии. При комплексообразовании в организме между биолигандами и металлосоодержащими белками происходит взаимная подстройка гибких структур, а не только их механическое совмещение как объектов с комплементарной конфигурацией типа „ключа” и „замка”. Иначе говоря, происходит одновременное изменение конформации и лиганда и макромолекулы, что в итоге даёт идеальную подгонку обеих молекул одна к другой.

В настоящий момент мы получили подтверждение американских коллег нашей концепции о роли формирования специфической пентакоординационной структуры комплексов ионов меди (II) с клотримазолом, которая приводит к многократному усилению цитотоксических свойств препарата [4]. Мы считаем, что ДНК опухолевых клеток представляют собой реальную мишень для подобных комплексов. Многие биологические реакции сопровождаются конформационными изменениями молекул ДНК. ДНК с разным составом азотистых оснований различно взаимодействуют с тяжёлыми ионами металлов. У четырёх нуклеотидов – аденина, тимина, гуанина и цитозина – имеется десять различных возможных мест внедрения ионов металлов в соответствии с их расположением. Ионы $3d$ -элементов имеют преимущественные места связывания и вызывают разные эффекты за счёт того, что они могут связываться как с фосфатными группами, так и с гетероциклическими основаниями [5]. Причём каждый ион металла первого переходного ряда характеризуется разными значениями относительного сродства к этим двум участкам.

Специфичность заложена не в самом взаимодействии ион металла – нуклеотид, а в природе конформации места связывания. Последняя, в свою очередь, зависит от природы соседних последовательностей ДНК, от ионной силы и значения pH . Структурные изменения такого рода объясняют механизм переноса биологической информации, содержащейся в молекулах ДНК. Можно регулировать взаимное превращение двойной спирали, одиночной спирали и хаотического клубка путём выбора ионов двухвалентных металлов и количества других электролитов. Идея, что ионы металлов не разбросаны беспорядочно вдоль молекулы ДНК, впервые была высказана Кирби [6], который полагал, что металлы могут служить связками между нуклеиновыми кислотами и белками в дезокси- и рибонуклеопротеинах.

Пуриновые

Аденин Ade
(6-аминопурин)

Пиримидиновые

Гуанин Gua
(2-амино-6-оксопурин)

Тимин Thy
(5-метил-2,4-диоксопиримидин)

цитозин Cyt
(4-амино-2оксопиримидин)

Рис. 1. Нуклеиновые основания (в лактамной форме)

Тимин

Аденин

Цитозин

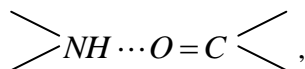
Гуанин

Рис. 2. Образование водородных связей между парами комплементарных нуклеиновых оснований

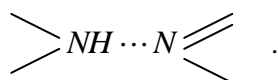
Гидрокси- и аминопроизводные гетероциклических соединений способны к лактим-лактамной и амина-иминной таутомерии. Однако, при физиологических условиях нуклеиновые основания существуют только в лактамной и иминной формах (рис. 1).

Нуклеозиды устойчивы к гидролизу в слабощелочной среде, но расщепляются в кислой. При этом, пуриновые нуклеозиды гидролизуются легче, чем пиримидиновые. Между пуриновым основанием одной цепи и пиримидиновым основанием другой цепи ДНК возникают водородные связи. Эти основания составляют комплементарные пары. Аденин и тимин составляют одну комплементарную пару. Другую пару комплементарных оснований составляют гуанин и цитозин (рис. 2).

Водородные связи образуются между аминогруппой одного основания и карбонильной группы другого



а также между амидным и имидным атомами азота



Комплементарность цепей составляет химическую основу важнейшей функции молекулы ДНК – хранения и передачи наследственных признаков. Залогом безошибочной передачи генетической информации является сохранность нуклеотидной последовательности. Однако, под воздействием различных факторов нуклеотидная последовательность ДНК может подвергаться разным видам мутаций, которые, накапливаясь, и приводят к возникновению опухолей.

С химической точки зрения рассмотрим некоторые из них.

Тимин

Гуанин

I. Тимин в лактамной форме: комплементарная пара с гуанином не образуется

II. Тимин в лактимной форме образует комплементарную пару с гуанином

Рис. 3. Пример возникновения мутации в результате сдвига таутомерного равновесия

Наиболее распространённым видом мутации является замена какой-либо пары оснований на другую. Часто причиной такой замены может являться сдвиг таутомерного равновесия. Например, тимин в лактамной форме не образует водородные связи с гуанином (рис. 3), а в лактимной форме образует необычную пару тимин-гуанин (рис. 3). Замена физиологических пар оснований передаётся при транскрипции („переписывании”) генетического кода с ДНК на РНК и приводит в итоге к изменению аминокислотной последовательности в синтезируемом белке. При накоплении мутаций возрастает и количество ошибок в биосинтезе белка.

Другой причиной возникновения мутаций служит воздействие различных видов излучений.

Одной из главных причин возникновения мутаций служит воздействие химических факторов. Различные химические соединения, называемые мутагенными или канцерогенными веществами, приводят к возникновению опухолевых новообразований. Рассмотрим пример химической мутации под воздействием нитритов (рис. 4).

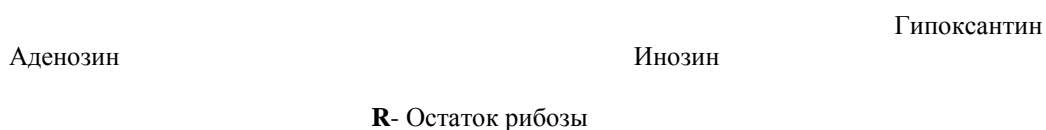


Рис.4. Пример возникновения мутации под воздействием химических факторов(мутагенных или канцерогенных веществ)

Если на аденозин подействовать азотистой кислотой, то в результате реакции дезаминирования аминогруппа превратится в гидроксильную, вследствие чего из аденозина получается другой нуклеотид – инозин, содержащий гипоксантин. Это приводит к замене в ДНК комплементарной пары оснований, так как адениновый нуклеотид комплементарен тиминовому, а инозин может образовывать комплементарную пару только с цитидиновым нуклеозидом.

Вместе с тем, нуклеотиды имеют большое значение не только как строительный материал для молекул нуклеиновых кислот. Особенно важны они в роли коферментов, необходимых для проявления ферментативной активности в биохимических процессах.

Вышеизложенное позволяет нам сделать вывод, что в результате комплексообразования ионы меди (II) вызывают конформационные изменения, приводящие к появлению совершенно новой противоопухолевой активности у комплексного соединения с клотримазолом с формированием специфической пентакоординационной структуры [7].

ЛИТЕРАТУРА

1. Машковский М.Д. Лекарственные средства., 15-е изд. – М., ООО „Издательство Новая Волна”, 2005, 1200с.
2. Чигогидзе Н.Ш., Цивцивадзе Т.И., Джавахишвили З.О. Координационные соединения кобальта (II), никеля (II) с никотином и меди (II) с метронидазолом./XIX Республиканская научно-техническая конференция проф.-преп. состава ГПИ и работников производства. Тезисы докладов. - Тбилиси, 1975, сс. 313-314.
3. Чигогидзе Нодар. Синтез и исследование физико-химических и биологических свойств биокоординационных соединений некоторых биогенных и токсичных элементов с никотином и

მეტრონიდაზოლ. Докторская диссертация по химии. Грузинский технический университет. Тбилиси, Грузия, 2009, 151с.

4. Soledad Betanzos-Lara, Celedonio Gómez-Ruiz, Lidia R. Barrón-Sosa, Isabel Gracia-Mora, Marcos Flores-Álamo, Noráh Barbara-Behrens. Cytotoxic copper (II), cobalt (II), zinc (II), and nickel (II) coordination compounds of clotrimazole.//J. Inorg. Biochem., 2012, 114, pp. 82-93.

5. Сысоев И., Гривар Ж., Гийе Э. Исследование взаимодействия ионов металлов с ДНК. Специфическое поведение повторяющихся последовательностей ДНК. - Тбилиси, 1978, Институт физики АН ГССР, 72с.

6. Kirby K.// Biochem. J., 1958, 70, p. 260.

7. წიგწივაძე თ., ჩიგოგიძე ნ., კლდიაშვილი რ., სხილაძე რ., სულაქველიძე გ. მეტრონიდაზოლის სტრუქტურულ თავისებურებათა გამოკვლევა და 5-კოორდინაციული სპილენძის კომპლექსთა ბიოაქტიურობის კონცეფცია. თბილისი, 2013, 72 გვ.

SUMMARY

ANTICARCINOGENIC ACTIVITY OF THE COMPLEXES OF Cu²⁺ IONS WITH CLOTRIMAZOLE AS A RESULT OF FORMATION OF THE SPECIFIC COORDINATE STRUCTURE

Chigogidze N.Sh., Tsvitsivadze T.I., Nadiradze I.Sh., Kldiashvili R.S., Petriashvili J.D. and Japaridze R.J. Scientific Center of Biologically Active Substances, Georgian Technical University

Coordinate compounds of bivalent copper with clotrimazole were synthesized, and their composition, structure and biological activity were studied. Preparation clotrimazole (bioligand) belongs to imidazole derivatives (heterocyclic compounds) which combine different kinds of biological activity: antimicrobial, antiprotozoal, antifungal etc. It is shown that, by the reaction of complex formation with 3d-metals, both mutual enhancement of these activities and the emergence of an essentially new anticarcinogenic activity of a complex compound of copper with clotrimazole, better than that of cisplatin, are possible. Possible mechanisms of the anticarcinogenic effect of such complexes are discussed. The concept of the role of the formation of the specific pentacoordinate structure of the complexes of Cu²⁺ with imidazole derivatives in the enhancement of cytotoxic activity of these preparations, we proposed, is confirmed.

Keywords: tumor, cell, inhibitor, chemotherapy, imidazole derivatives.

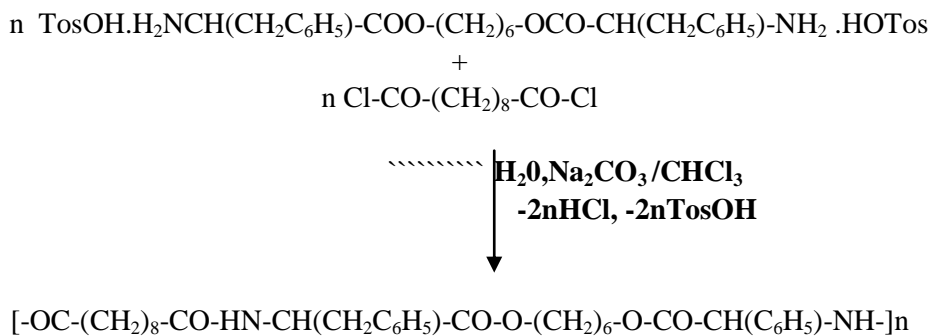
‘1 კანის კიბოს მკურნალობა ბიოდეგრადირებად პოლიმერში დეკონინგულა
5-ფტორუბრაცილით: შიზღუფული კლინიკური კვლევის შედეგები

კუბლაშვილი ნ.გ., კუციავა ნ.ა., ქაცარავა რ.დ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ბიოსამედიცინო დანიშნულების ბიოდეგრადირებადი პოლიმერების ქიმია [1], განვითარების თანამედროვე ეტაპზე, საშუალებას იძლევა შეიქმნას თერაპიული დანიშნულების ბიოკომპოზიტური პრეპარატები, რომლებიც პერსპექტულია წამლების ლოკალური მიწოდებისათვის. განსაკუთრებით ეფექტურია ლოკალური მიწოდების სისტემები სიმსივნური დაავადებების შემთხვევაში, მით უმეტეს, თუ სიმსივნური წარმონაქმნი ლოკალიზებულია ზედაპირზე, მაგალითად, კანის კიბო. ამ პროგრესული მიდგომის არსი მდგომარეობს იმაში, რომ ბიოდეგრადირებად პოლიმერულ მატრიქსში ჩართული (დეპონირებული) წამალი გამოთავისუფლდება დანიშნულების ადგილზე განუწყვეტლივ და კონტროლორებადი სინქარით.

ლოკალური მიწოდებისთვის ჩვენს მიერ შექმნილი პოლიმერული ბიოკომპოზიტური პრეპარატი „ფტოროკოლი“ წარმოადგენს ელასტიკურ ფირს, რომელშიც დეპონირებულია ფართოდ გავრცელებული ციტოსტატიკური პრეპარატი 5-ფტორურაცილი (5-FU). პრეპარატის შესაქმნელად მატრიქსის სახით გამოვიყენეთ ბიოდეგრადირებადი პოლიესტერამიდი. აღნიშნული მატრიქსი შედგება ამინომჟეა ფენილალანი-ნის, სებაცილის მჟავისა და 1,6-ჰექსანდიოლისაგან. რომელიც რეგისტრირებულია საქართველოს შრომის, ჯანმრთელობისა და სოციალური დაცვის სამინისტროს სამედიცინო საქმიანობის სახელმწიფო რეგულირების სააგენტოში (სამკურნალო საშუალებების სარეგისტრაციო მოწმობა 003999, 24 XI 2010). დარეგისტრირებული პოლიესტერამიდი შედის ჭრილობის საფარ აეროზოლურ პრეპარატ „კოლადერმის“ შემადგენლობაში, რომელსაც აწარმოებს ფარმაცევტული კომპანია „ნეოფარმი“. ბიოდეგრადირებადი პოლიესტერამიდის სინთეზი ჩავატარეთ შემდეგი სქემის მიხედვით:



TosOH = პარა-ტოლუოლსულფომჟეა

თავდაპირველად ბიოკომპოზიტს ვიღებდით ორი შემადგენლობით: 1) პოლიმერი + 5-FU და 2) პოლიმერი + 5-FU + ფერმენტი (პროტეაზა) ტრიფსინი. ბიოკომპოზიტურ პრეპარატებს მზადდებოდა მშრალი, ელასტიკური ფირების სახით ქლოროფორმის ხსნარიდან გლუვ, ჰიდროფობურ ზედაპირზე დასხმისა და გამხსნელის

აორთქლების მეთოდით [2]. შევნიშნავთ, რომ ფერმენტის (ტრიფსინის) დამატებისას პოლიმერ/5-FU-ის გამჭვირვალე ხსნარში, წარმოიქმნება სუსპენზია (ფერმენტი არ იხსნება ქლოროფორმში), რაც იცავს მას ღრმა ინაქტივაციისგან და მიღებულ პოლიმერულ ბიოკომპოზიტში იგი ინარჩუნებს აქტივობას. ამაზე მეტყველებს ჩვენს მიერ შესწავლილი [2] ბიოკომპოზიტური ფირებიდან აქტიური საწყისის (5-ფტორურაცილის) გამოყოფის კინეტიკა 0,2 ფოსფატის ბუფერში pH-ით 7,4: ნაჩვენებია, რომ ტრიფსინი, რომელიც იწვევს პოლიმერის ეროზიას, გარკვეულწილად აჩქარებს ფირებიდან 5-ფტორურაცილის გამოყოფას. შემდგომში დავადგინეთ, რომ პრეპარატის უფრო მოხერხებულ ფორმას წარმოადგენს თხიერი პრეპარატი - პოლიმერის ეთანოლის ხსნარში სუსპენზირებული 5-FU (უკანასკნელი არა იხსნება ეთანოლში): ასეთი სუსპენზიის კანის ზედაპირზე შეფრქვევის შემდეგ, იგი თანაბრად ეფინება დაზიანებულ ადგილს და ეთანოლის (სწრაფი) აორთქლების შემდეგ წარმოქმნის სასურველ ელასტიკურ პოლიესტერამიდის ფირს მასში დეპონირებული 5-FU-ით, რომელიც მჭიდროდ ეკვრის ჭრილობის ზედაპირს და არ საჭიროებს დამატებით ფიქსაციას. ერთადერთი ნაკლი თხიერი პრეპარატისა არის ის, რომ მასში ფერმენტის (ტრიფსინის) შეყვანა შეუძლებელია, ვინაიდან იგი ძალზე სწრაფად ინაქტივირდება ეთანოლში. ამგვარად, ეთანოლის სუსპენზიის გამოყენებისას საქმე გვქონდა უფერმენტო ბიოკომპოზიტთან. შევაფასეთ რა pros and cons, ასევე გავითვალისწინეთ, რომ ფერმენტიანი ფირებიდან ფოსფატის ბუფერში გამოსული 5-FU-ის რაოდენობა მაქსიმუმ 20%-ით აღემატებოდა უფერმენტო ფირიდან გამოსული პრეპარატის რაოდენობას, უპირატესობა მივანიჭეთ ხმარებაში უფრო მოხერხებულ თხიერ პრეპარატს.

შემდგომში კლინიკური კვლევები ჩავატარეთ ამ პრეპარატის (სუსპენზიის) გამოყენებით. „ფტოროკოლი“ უსაფრთხოების კვლევამ დაადასტურა, რომ პრეპარატს მაქსიმალური დოზით გამოყენების შემთხვევაშიც კი არ ახასიათებს მწვავე ტოქსიკური, კუმულაციური, ადგილობრივ გამაღიზიანებელი და ალერგიული თვისებები [3,4]. აღნიშნულმა გარემოებამ საშუალება მოგვცა გამოგვეყენებინა „ფტოროკოლი“ კანის ონკოპათოლოგიების სამკურნალოდ.

პოლიმერული ბიოკომპოზიტი „ფტოროკოლი“ პაციენტებს მიეწოდებოდა ქიმიოთერაპიული მკურნალობის მიზნით. მკურნალობა ხდებოდა - ლოკალურად და კომბინირებულად (პაციენტები დააყოფილი იყო ორ ჯგუფად, თვითოეულ ჯგუფში 35 პაციენტი). ლოკალური მკურნალობის დროს თხიერი პრეპარატი დაგვქონდა აეროზოლის (სპრეის) სახით კანის დაზიანებულ უბანზე. კომბინირებული მკურნალობის დროს, პრეპარატის აღნიშნულ ლოკალურ აპლიკაციასთან ერთად პაციენტს ვუტარებდით სტანდარტულ (რეგიონალურ) ქიმიოთერაპიას.

პრეპარატის მხოლოდ ლოკალური გამოყენებისას მის აპლიკაციას ვახდენდით კვირაში 3-ჯერ. კომბინირებული მკურნალობისას პრეპარატის აპლიკაციას ვახდენდით კვირაში ერთხელ ან ორჯერ, პაციენტის მდგომარეობის მიხედვით.

პაციენტის მკურნალობის ეფექტის შეფასება ხდებოდა იმუნოფერმენტული კვლევით, კერძოდ სისხლის შრატში სიმსივნური უჯრედების რაოდენობის შეფასებით. გამოკვლევას ვახდენდით კარცინომბრიონალური ანტიგენის განსაზღვრით (CEA).

კვლევებისა და დაკვირვებების შედეგად დადგინდა, რომ კომბინირებული მკურნალობისას (ცხრ. 1) დადებითი ეფექტი (სიმსივნური უჯრედების შემცირება) ვლინდებოდა 20 კვირის შემდეგ, ანუ უფრო უფრო ადრე, ვიდრე ლოკალური მკურნალობის შემთხვევაში, მაგრამ მაღალი იყო პაციენტთა ინტოქსიკაცია (ღებინება). ლოკალური მკურნალობის დროს (ცხრ. 2) მაქსიმალური ეფექტი გამოიხატა 28 კვირის შემდეგ. სანაცვლოდ, პაციენტებს არ აღენიშნებოდათ

ინტოქსიკაციის მოვლენები, რაც პრაქტიკულად გარდუვალია ციტოსტატიკების გამოყენებისას.

ცხრილი 1. კომბინირებული ქიმიო თერაპია (ლოკალური + რეგიონალური)
I- IV-VIII - XII -XVI-XX კვირა

პაციენტი	CAE რიცხობრივი მანკენებელი					
	I კვირა	IV კვირა	VIII კვირა	XII კვირა	XVI კვირა	XX კვირა
1	24,3	17,1	12,4	9,1	5,0	1,0
2	42,6	37,4	30,4	22,4	10,0	3,0
3	39,5	30,5	23,5	15,5	9,5	2,4
4	30,5	24,5	19,6	11,0	5,0	0,0
5	22,5	19,8	18,6	9,8	6,2	2,1
6	26,2	23,3	14,6	9,6	3,2	3,2
7	21,4	17,5	12,5	8,2	6,7	1,3
8	42,4	33,1	26,5	16,4	7,3	3,4
9	33,6	29,5	20,6	18,2	10,0	5,0
10	50,0	42,0	25,0	14,2	8,0	2,4
11	20,7	18,5	10,4	7,8	2,9	2,2
12	36,0	30,3	25,0	20,3	14,8	5,4
13	20,5	19,4	14,5	10,0	8,6	1,0
14	38,0	29,4	21,4	17,2	11,0	5,0
16	35,7	36,8	24,5	16,3	11,7	4,1
17	36,9	32,0	25,3	17,8	9,9	2,4
18	32,2	24,2	15,0	11,0	7,7	1,2
19	16,3	18,4	13,6	9,9	7,1	0
20	59,0	42,3	25,3	20,0	15,1	3,2
21	22,4	22,5	19,5	11,0	7,5	2,1
22	29,9	23,2	18,1	9,2	7,3	1,3
23	38,9	29,5	19,4	11,3	8,8	3,9
24	26,6	22,1	17,7	12,2	9,3	3,3
25	55,0	38,8	29,0	22,1	11,0	4,4
26	30,2	22,6	16,1	10,1	8,4	1,2
27	35,5	30,2	27,1	20,4	15,3	3,7
28	28,0	22,2	20,0	14,5	9,8	2,3
29	47,7	40,4	32,0	22,6	17,2	5,2
30	51,3	44,4	35,0	28,1	15,0	4,2
31	33,0	28,3	17,2	15,9	7,9	1,0
32	31,8	30,2	22,2	19,0	10,2	4,4
33	46,2	42,2	35,1	26,3	14,0	5,1
34	32,3	29,0	24,2	20,1	12,0	2,4
35	42,7	31,6	24,4	13,0	7,2	2,0

ცხრილი 2. ლოკალური ქიმიო თერაპია მკურნალობის I-IV-VIII-XII-XVI-XX-XIV-XVIII კვირა

პაციენტი	CAE რიცხობრივი მაჩვენებელი							
	I კვირა	IV კვირა	VIII კვირა	XII კვირა	XVI კვირა	XX კვირა	XXIV კვირა	XXVIII კვირა
1	50,8	42,3	35,5	28,2	22,4	16,0	10,0	3,0
2	46,6	30,0	24,2	20,2	15,3	12,2	8,4	4,1
3	40,7	34,5	32,0	26,6	22,3	17,2	10,2	3,0
4	13,8	20,4	22,8	19,2	17,3	11,0	8,1	2,3
5	41,6	36,2	38,0	31,4	25,3	20,3	12,2	4,2
6	38,4	33,3	35,1	29,0	28,2	19,4	12,9	2,9
7	38,5	35,7	34,6	28,6	24,3	19,5	15,0	4,8
8	47,8	38,5	39,2	30,3	22,7	18,1	10,0	3,8
9	45,9	40,2	38,5	31,5	27,4	19,5	11,5	4,9
10	32,4	34,7	30,6	23,3	18,6	14,7	11,2	3,4
11	42,0	34,7	38,1	35,7	24,1	18,5	12,4	3,6
12	30,4	34,9	38,4	34,7	22,8	16,9	17,4	2,6
13	28,4	35,9	30,2	29,0	25,2	19,3	11,4	3,0
14	39,0	32,0	27,9	22,4	20,0	15,9	10,0	3,9
15	38,5	35,0	32,2	29,8	25,0	20,7	16,1	5,0
16	52,3	44,1	34,8	30,4	19,5	19,4	12,1	5,1
17	33,3	27,9	31,9	27,0	25,6	18,9	13,5	3,0
18	30,4	29,6	27,8	29,0	19,4	17,6	12,0	3,8
19	29,5	26,5	24,0	22,9	22,3	18,0	12,3	4,0
20	35,2	30,4	30,4	28,0	25,8	18,7	10,4	3,7
21	34,5	30,2	27,6	21,2	19,4	14,3	9,6	1,6
22	39,5	36,5	25,8	23,9	16,9	12,4	10,6	2,1
23	45,5	40,2	36,6	32,9	27,1	19,3	12,2	2,9
24	47,3	40,0	36,7	30,4	22,3	13,7	12,5	3,9
25	43,7	40,1	38,1	35,2	25,5	19,3	14,2	4,0
26	43,4	39,3	34,6	30,1	24,2	19,0	12,3	3,2
27	29,5	28,4	26,5	26,0	17,3	13,3	8,4	2,2
28	45,8	45,8	32,6	26,6	21	16,2	11,0	2,4
29	42,3	39,9	37,7	34,2	28,4	17,5	4,9	4,7
30	40,9	36,8	31,8	26,4	21,1	17,3	10,8	3,9
31	30,1	26,6	25,1	25,0	19,1	14,2	7,2	2,3
32	49,1	36,9	34,5	24,4	18,2	13,2	7,1	4,0
33	42,2	37,4	32,1	27,5	22,1	17,7	11,2	5,0
34	36,6	32,7	26,6	21,8	18,7	23,4	7,8	3,9
35	34,4	29,9	33,1	30,1	22,0	13,2	9,2	2,2

ამრიგად, პოლიმერული ბიოკომპოზიტური პრეპარატ „ფტოროკლით“ კანის ლოკალური და კომბინირებულმა ქიმიო-თერაპიული მკურნალობის შედეგად დადგინდა, რომ მკურნალობის დადებითი ეფექტი პრეპარატის ლოკალური გამოყენების შემთხვევაში მიიღწევა შედარებით გვიან, სანაცვლოდ პაციენტებს არ აღენიშნებათ ინტოქსიკაციის მოვლენები, დამახასიათებელი ციტო სტატიკებისათვის.

ლიტერატურა

1. R. Katsarava, Z. Gomurashvili, (2011). Biodegradable Polymers Composed of Naturally Occurring α -Amino Acids. In: Handbook of Biodegradable Polymers - Isolation, Synthesis, Characterization and Applications;

Lendlein, A.; Sisson, A.,Eds.; Wiley-VCH: Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Germany, Chapter 5, pp.107-131.

2. ნ. კუბლაშვილი, ნ. კუპატაძე, დ. ტულუში, ნ. კუციავა, რ. ქაცარავა. კანის კიბოს მკურნალობა ბიოდეგრადირებად პოლიესტერამიდში დეპონირებული 5-ფთორურაცილით: ბიოკომპოზიტის მიღება და წამლის კონტროლირებადი გამოყოფის შესწავლა. //Georgian Engineering News, 2015, №1, (72), გვ. 114-119.

3. ს. ბაძგარაძე, ნ. ჯოგლიძე, ნ. კუციავა, რ. ქაცარავა. კანის კიბოს მკურნალობა ბიოდეგრადირებად პოლიმერში დეპონირებული 5-ფტორურაცილით: პოლიმერული პრეპარატის უსაფრთხოების შესწავლა. //Georgian Engineering News, 2015, №1, (73), გვ. 120-123.

4. ნ. კუბლაშვილი, ნ.ჯოგლიძე, ნ.კუციავა, რ.ქაცარავა. კანის მკურნალობა პოლიმერში დეპონირებული 5-ფთორურაცილით. პოლიმერული პრეპარატის უსაფრთხოების შესწავლა. // კერამიკა, 2015, 1(33), გვ. 32-35

SUMMARY

TREATMENT OF '1 SKIN CANCERWITH 5-FLUORINE URACYL DEPOSITED ONTO A BIODEGRADABLE POLYMER: THE RESULTS OF LIMITED CLINICAL TESTING

Kublashvili N.G., Kutsiava N.A. and Katsarava R.D.

Georgian Technical University

The paper deals with the preparation 5-fluorine uracyl deposited onto a biodegradable polymer matrix for treatment of skin cancer. The polymeric preparation is given a title Ftorocol. The preparation was used for both local and combined chemotherapy. In the process of testing, the advantages of application of the preparation to local chemotherapy over combined one were confirmed. Toxic manifestations of 5-fluorine uracyl were considerably less in the case of local therapy.

Keywords: 5-fluorine uracyl, biodegradable polymer, skin cancer, treatment.

2015 წლის №4-ში გ.დ. უგრეხელიძის, რ.გ. ბურდიაშვილის, ნ.გ. ვეფხიაშვილის, მ.ლ. ჯავახიშვილის სტატიის „შენიშვნები და ანტიოქსიდანტური აქტივობა სხვადასხვა ვაზის ჯიშის ყურძნის ღიაწიშში“ დასკვნით ნაწილში

არის

ცდისათვის აღებული იყო საკონიაკე სპირტი 52,5 მოც% ალკოჰოლის შემცველობით. სპირტი მოვათავსეთ თანაბარი მოცულობის მქონე შვიდ ჭურჭელში (მინის ბოთლები 0,5 ლ). ექვს ჭურჭელში, თითოეულს დაემატა ზემოთ დასახელებული ვაზის ჯიშების ყურძნის წიპწები ტოლი რაოდენობით 10 – 10 გრ და დაფარვით 3 თვის განმავლობაში, ერთი დავტოვეთ იყო საკონტროლოდ. როგორც საკონტროლო, ისე საცდელი ნიმუშები მოვათავსეთ ერთსადაიმაცე პირობებში. სამი თვის შემდეგ საცდელი ნიმუშები მოცილებული იქნა წიპწებიდან და ჩავატარეთ მათი ანალიზი (შედგები მოტანილია ცხრილში).

მიღებული შედეგების საფუძველზე დადგენილი იქნა:

1. სხვადასხვა ვაზის ჯიშის ყურძნის წიპწაში, როგორც ჯამური ფენოლური ნაერთების შემცველობა, ისე ანტიოქსიდანტობა სრულიად განსხვავებულია;
2. ანალიზებით ირკვევა, რომ ყველა ვაზის ჯიშის ყურძენი არ შეიძლება გამოყენებულ იქნას კახური წესით ღვინის დასაყენებლად (მაგ: ვარდისფერი რქაწითელი).

შედგებიდან გამომდინარე შეიძლება დავასკვნათ, რომ ვაზის სხვადასხვა ჯიშების ყურძნის არა მარტო წიპწების, არამედ მტევნის ყველა მაგარი ნაწილების ფუნდამენტური გამოკვლევა საშუალებას მოგვცემს სწორად განვსაზღვროთ მათი გამოყენების არეალი.

უნდა იყოს

ცდისათვის აღებული იყო საკონიაკე სპირტი 52,5 მოც% ალკოჰოლის შემცველობით. სპირტი მოთავსდა თანაბარი მოცულობის მქონე შვიდ ჭურჭელში (მინის ბოთლები 0,5ლ). ექვს ჭურჭელში, თითოეულში დაემატა ზემოთ დასახელებული ვაზის ჯიშების ყურძნის წიპწები ტოლი რაოდენობით 10 – 10 გრ და დაფარვით იყო 3 თვის განმავლობაში, ერთი დავტოვეთ იყო საკონტროლოდ. როგორც საკონტროლო, ისე საცდელი ნიმუშები მოთავსებული იყო ერთსადაიმაცე პირობებში. სამი თვის შემდეგ საცდელი ნიმუშები მოცილებული იქნა წიპწებიდან და ჩატარდა მათი ანალიზი(შედგები მოტანილია ცხრილში).

მიღებული შედეგების საფუძველზე დადგენილი იქნა:

1. სხვადასხვა ვაზის ჯიშის ყურძნის წიპწაში, როგორც ჯამური ფენოლური ნაერთების შემცველობა, ისე ანტიოქსიდანტობა სრულიად განსხვავებულია;
2. შედეგებიდან გამომდინარე შეიძლება დავასკვნათ, რომ ვაზის სხვადასხვა ჯიშების ყურძნის არა მარტო წიპწების, არამედ მტევნის ყველა მაგარი ნაწილების ფუნდამენტური გამოკვლევა საშუალებას მოგვცემს სწორად განვსაზღვროთ მათი გამოყენების არეალი.



ლერი გვასალია - 80

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის პროფესორს, ტექნიკურ მეცნიერებათა დოქტორს ბატონ ლერი გვასალიას 80 წელი შეუსრულდა.

ლერი გვასალია დაიბადა 1935 წელს ქ. ქუთაისში. 1953 წელს დაამთავრა ქ. ქუთაისის პირველი საშუალო სკოლა და სწავლა გააგრძელა საქართველოს ტექნიკურ ინსტიტუტში. 1958 წელს დაამთავრა საქართველოს ტექნიკური ინსტიტუტის ქიმიური ტექნოლოგიის ფაკულტეტი ინჟინერ-ტექნოლოგის კვალიფიკაციით. თავისი შრომითი საქმიანობა ქ. რუსთავის ქიმიურ კომბინატში დაიწყო: იყო უფროსი მეაპარატე, ცვლის

უფროსი, საამქროს უფროსის მოადგილე.

ლ. გვასალიამ 1968 წელს წარმატებით დაიცვა საკანდიდატო დისერტაცია და მიენიჭა ტექნიკის მეცნიერებათა კანდიდატის სამეცნიერო ხარისხი, ხოლო 1993 წელს კი სადოქტორო დისერტაცია და მიენიჭა ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორის ხარისხი.

1969 წლიდან ბატონი ლერი საქართველოს ტექნიკურ ინსტიტუტში მოღვაწეობს, განვლო გზა ასისტენტიდან ქიმიური ტექნოლოგიების კათედრის გამგემდე.

ლ. გვასალია არის 150-მდე სამეცნიერო ნაშრომის, ხუთი სახელმძღვანელოს და ერთი მონოგრაფიის ავტორი. მონაწილეობდა მრავალ საერთაშორისო სიმპოზიუმებსა და კონფერენციებში. დაჯილდოვებულია ღირსების ორდენით.

ბატონი ლერი დღესაც აქტიურად ეწევა ნაყოფიერ მუშაობას როგორც პედაგოგი და ახალგაზრდა თაობის აღმზრდელი. იგი არის არა ერთი საკანდიდატო და სადოქტორო ნაშრომის სამეცნიერო ხელმძღვანელი. წლების განმავლობაში ხელმძღვანელობდა ქიმიური ფაკულტეტის ხარისხების მიმნიჭებელ საბჭოს.

ჩამოთვლილი წარმატებები შეუძლებელი იქნებოდა ბატონი ლერის ენერგიული შრომისა და საქმისადმი სერიოზული დამოკიდებულების, სიახლისაკენ ლტოლვისა და რაც მთავარია სიყვარულის გარეშე, არ შეიძლება არ გამოვეყოთ ბატონ ლერის პიროვნული თვისებები: თანამშრომლებისა და კოლეგებისადმი პატივისცემა, სურვილი დაეხმაროს ნაცნობ თუ უცნობ ადამიანებს და მუდმივი მზადყოფნა პასუხისმგებლობის თავის თავზე აღებისა. განსაკუთრებით აღსანიშნავია ბატონ ლერის დამოკიდებულება და ურთიერთობა სტუდენტებთან.

ბატონი ლერი მზრუნველი მამა, მოსიყვარულე ბაბუა და საიმედო მეგობარია.

ვუსურვებთ ბატონ ლერის ჯანმრთელობას, დიდხანს სიცოცხლესა და წარმატებულ შემოქმედებით და შრომით საქმიანობას.

*საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
საქართველოს საინჟინრო აკადემია
ჟურნალ Georgian Engineering News-ის რედაქცია*



უსაზღვროდ დიდია პროფესორ ნიკოლოზ ბექაურის ღვაწლი ქიმიური მეცნიერების, ქიმიური ტექნოლოგიის, საქართველოს ნავთობების გადამამუშავების ტექნოლოგიებისა და განათლების განვითარების საქმეში. ამაზე მეტყველებს მის მიერ გამოქვეყნებული სახელმძღვანელოების, მონოგრაფიების, საავტოროების, ორასზე მეტი სტატიის ჩამონათვალი და ათეული წლების მანძილზე აღზრდილი ქიმიკოს-ინჟინერ-ტექნოლოგთა სიმრავლე.

ნ. ბექაურის შრომები ეხება არამარტო ნავთობური საწვავების გაკეთილშობილებას და ოქტანური რიცხვის გაზრდას ალუმინ-სილიკატური თიხა-მიწების კატალიზატორებად გამოყენების საფუძველზე, არამედ ნავთობებიდან სხვა ძვირფასი პროდუქტების - ლუმინოფორების, თეთრი ზეთების და ა.შ. მიღების ტექნოლოგიების შემუშავებას და დანერგვას.

ბატონმა ნიკომ საქართველოს ნორიოს ნავთობიდან მიიღო ქართული ლუმინოფორი „ნორიოლი“, რომელიც გამოიყენება ლითონებისა და პლასტიკური მასების საფუძველზე დამზადებული დეტალების დეფექტოსკოპიაში. მის სახელთანაა დაკავშირებული არასასაქონლო დანიშნულების ნავთ-გაზოილის ფრაქციის კატალიზური გარდაქმნით ლუმინესცენტური სითხის - „შუბეკოლი“-ის მიღება, რომელმაც ყოფილი საბჭოთა კავშირის სახალხო მეურნეობის მიღწევათა გამოფენაზე საპატიო ჯილდო დაიმსახურა ნაკლები ტოქსიკურობის, მიღებისა და მოხმარების წესის სიმარტივისა და სიაფის გამო.

უდავოდ დიდია ამ პრაქტიკოსი მეცნიერის კვლევები ბუნებრივი ნედლეულის გუმბრინის გამოყენებასთან დაკავშირებით. მან რიფორმინგის პროცესში კატალიზატორად პირველმა გამოიყენა გააქტივებული გუმბრინი სანათი ნავთისა და ნავთ-გაზოილის ფრაქციიდან რეაქტიული საწვავის მისაღებად. ბატონი ნიკოს მიერ შესწავლილია ნათელი ფრაქციების გამოსავლიანობის გაზრდის შესაძლებლობა სხვადასხვა მისართის - სოფლის მეურნეობის თხევადი ნარჩენების და მეორადი პროდუქტების თანაობისას ნავთობების ატმოსფერული გამოხდის პროცესში.

მნიშვნელოვანია ბატონ ნიკოს ღვაწლი საქართველოს ნავთობებიდან საქართველოს პოლიტექნიკური ინსტიტუტის საპატივცემულოდ სახელდებული მინერალური თეთრი ზეთების „სპიოლ-1“ და „სპიოლ-2“ მიღებასთან დაკავშირებით. მისი ხელმძღვანელობით განხორციელდა აღნიშნული პროდუქციის მიმღები დანადგარის მონტაჟი ბათუმის ნავთობგადამამუშავებელ ქარხნაში.

ნაყოფიერ სამეცნიერო მოღვაწეობასთან ერთად ბატონი ნიკო ეწეოდა აქტიურ პედაგოგიურ და საზოგადოებრივ საქმიანობას. წლების მანძილზე ხელმძღვანელობდა საქართველოს პოლიტექნიკური ინსტიტუტის ორგანული და ნავთობქიმიური ტექნოლოგიის კათედრას, აქტიურად იყო ჩაბმული ფაკულტეტისა და მშობლიური უმაღლესი სკოლის სამეცნიერო საბჭოს მუშაობაში.

ბატონი ნიკო სიყვარულით და პატივისცემით სარგებლობდა თანამშრომლებს, კოლეგებსა და სტუდენტებს შორის.

ბატონი ნიკოს ხსოვნა, როგორც ამაგდარი აღმზრდელის და ღვაწლმოსილი მეცნიერისა მუდამ იარსებებს მისი აღზრდილების, კოლეგებისა და ახლობლების მეხსიერებაში.

ბატონი ნიკოს ხსოვნას ღირსეულ პატივს მიაგებენ მისი დიდი ოჯახის წევრები: შვილი - მანანა, რომელიც დღემდე ბატონი ნიკოს მიერ დაფუძნებული მიმართულების პედაგოგია, მისი შვილები ირაკლი და ნიკოლოზი და ექვსი შვილიშვილი, ასევე შვილიშვილები - ნიკოლოზი და მიხეილი - უდროოდ, ტრაგიკულად დაღუპული ვაჟის - ვახტანგის შვილები.

ბატონო ნიკო, მდაბლად ვხრით თავს თქვენი ხსოვნის წინაშე.

*საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
ქიმიური ტექნოლოგიის და მეტალურგიის ფაკულტეტი
ჟურნალ Georgian Engineering News-ის რედაქცია*