

საქართველოს
საინჟინრო
სიახლანი

GEORGIAN
ENGINEERING
NEWS

No.3 (vol. 83), 2017

საქართველოს საინჟინრო სიახლენი GEORGIAN ENGINEERING NEWS, No. 3, 2017

საერთაშორისო საინჟინრო აკადემია
საქართველოს საინჟინრო აკადემია

მთავარი რედაქტორი: მინდია სალუქვაძე
მთავარი რედაქტორის მოადგილე: ზურაბ ველიჯანაშვილი

სარედაქციო კოლეგია

პ. ბიელიკი (სლოვაკეთი), ი. გორგიძე (საქართველო), ბ. გუსევი (რუსეთი), ნ. ედილბერტო (პერუ), ი. ემრი (სლოვაკეთი), ა. ვასილევი (უკრაინა), ლ. ივანოვი (რუსეთი), ა. კაბულოვი (უზბეკეთი), ბ. კატალინიჩი (ავსტრია), ვ. კეკელიძე (რუსეთი), პ. კერვალიშვილი (საქართველო), კ. კოჟოგოლოვი (ყირგიზეთი), ს. მინასიანი (სომხეთი), ო. ნამიჩეიშვილი (საქართველო), პ. ნიკიტენკო (ბელარუსია), დ. ნოვიკოვი (რუსეთი), ა. პაშაევი (აზერბაიჯანი), რ. ჯინევიჩიუსი (ლიტვა), ი. ჟორდანია (საქართველო), ბ. ჟუმაგულოვი (ყაზახეთი), ლ. საიდმუროდოვი (ტაჯიკეთი), ა. ფრანგიშვილი (საქართველო), რ. შრაფტი (გერმანია), დ. ჩომახიძე (საქართველო), გ. ჯავახაძე (საქართველო), ა. ჯანახმადოვი (აზერბაიჯანი)

სარედაქციო საბჭო

დ. გორგიძე, ა. დოლიძე, ქ. მახაშვილი, ლ. ქობელაშვილი

International Engineering Academy Georgian Engineering Academy

Editor-in-Chief: Mindia Salukvadze
Deputy Editor-in-Chief: Zurab Velijanashvili
EDITORIAL BOARD

N. Edilberto (Peru), D. Chomakhidze (Georgia), G. Javakhadze (Georgia), A. Janahmadov (Azerbaijan), P. Bielik (Slovakia), I. Gorgidze (Georgia), B. Gusev (Russia), I. Emri (Slovenia), L. Ivanov (Russia), A. Kabulov (Uzbekistan), K. Kozhogulov (Kyrgyz Republic), B. Katalinich (Austria), P. Kervalishvili (Georgia), V. Kekelidze (Russia), S. Minasyan (Armenia), R. Ginevičius (Lithuania), O. Namicheishvili (Georgia), P. Nikitenko (Belarus), D. Novikov (Russia), A. Prangishvili (Georgia), A. Pashayev (Azerbaijan), L. Saidmurodov (Tajikistan), R. Shraft (Germany), A. Vasiliev (Ukraine), I. Zhordania (Georgia), B. Zhumagulov (Kazakhstan).

EDITORIAL STAFF:

D.Gorgidze, A.Dolidze, L.Kobelashvili and K.Makhashvili

Georgian Engineering News (GEN)LTD

Address: TECHINFORMI, St. Kostava 47, Tbilisi 0179

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

ТЕРМОУПРУГОЕ РАВНОВЕСИЕ ТРАНСТРОПНОГО ЭЛЛИПТИЧЕСКОГО ЦИЛИНДРА <i>Горгидзе Д.А., Гулуа Н.Г., Кварцхава Л.Г.</i>	5
ЭЛЕКТРОУПРУГОЕ РАВНОВЕСИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПАНЕЛИ <i>Горгидзе Д.А., Кварцхава Л.Г., Гулуа Н.Г.</i>	10
მონაცემების სტატისტიკური დამუშავებისა და ანალიზის ზოგადი მეთოდი ნაწილი II <i>ბუაძე ტ.გ.</i>	14
ОБ ОПТИМАЛЬНОМ РЕШЕНИИ ЛИНЕЙНЫХ ЗАДАЧ БУЛЕВОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ <i>Местиашвили К.В., Мтврალიшвили Т.И., Местиашвили В.К.</i>	24
CODE SCHEME BASED ON THE RINGS OF GAUSSIAN INTEGERS AND CONTINUOUS PHASE MODULATION <i>Shavgulidze S.A. and Asanidze A.V.</i>	28
ПРИМЕНЕНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ РАЗНОГО ТИПА ДЛЯ АППРОКСИМАЦИИ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ ОРТОПЕДИЧЕСКОЙ ОБУВНОЙ КОЛОДКИ <i>Шаламберидзе М.М., Сохадзе З.П., Ломтадзе Н.З.</i>	35
ელექტრომომარაგების ქსელის ელემენტების პარამეტრების გავლენა აბგვის მაღალი რიბის ჰარმონიკების წარმოქმნაზე <i>ჭუნაშვილი ბ.მ., ბეჟანიშვილი ჯ.გ., პეტროსიანი ა.მ., გამრეკელაშვილი თ.გ.</i>	43
RADIATION OF ENERGY: QUANTUM PROCESSES <i>Kadagishvili L.G.</i>	48
OPTIMIZATION OF TELECOMMUNICATION TRANSPORT NETWORKS USING THE BRANCH AND BOUND METHODS <i>Lomsadze S.I. and Shamanadze O.K.</i>	51
აჭარის სტიქიურ-გეოლოგიური მოვლენების მოკლე მიმოხილვა <i>ლორია მ.დ.</i>	56
საქართველოს მდინარეების ჰიდროენერგეტიკული რესურსების ხელახალი შეფასების მიზნით ენერჯეტიკის შესახებ <i>ლომიძე ი.ბ., ხელიძე გ.კ., ფიფია ბ.ჯ.</i>	61
ეკოლოგიური წყლის ხარჯი და მისი განმსაზღვრელი ძირითადი ფაქტორები <i>ლომიძე ი.ბ., ხელიძე გ.კ., ჩოხელი ხ.ო., მარდალაშვილი მ.რ.</i>	65
ბიოლოგიური ნარჩენები, როგორც მნიშვნელოვანი საკვები რესურსი <i>ანდლუაძე შ.ნ., ბაზლაძე ი.გ., კოლოვა ს.მ.</i>	68
СПЕКТРЫ ОПТИЧЕСКОГО ПОГЛОЩЕНИЯ АРСЕНИДА ИНДИЯ, ОБЛУЧЕННОГО ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ЭЛЕКТРОНАМИ <i>Кекелидзе Н.П., Садрадзе К.Г., Квирквелия Б.В.</i>	71
КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЗМОВ РАССЕЯНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ В МОНОКРИСТАЛЛАХ АРСЕНИДА ИНДИЯ <i>Кекелидзе Н.П., Садрадзе К.Г., Квирквелия Б.В.</i>	75
MATHEMATICAL-CHEMICAL INVESTIGATION OF HYDROGEN HALIDES <i>Gverdtseteli M.I., Kvernadze M.S. and Kizikurashvili V.M.</i>	82

MATHEMATICAL-CHEMICAL INVESTIGATION OF ARSENIC (III) HALIDES <i>Sidamonidze N.N., Koiava N.A., Rtskhiladze N.I. and Gverdtsiteli M.I.</i>	84
2-პ-ნიტროფენილინდოლის ზოგიერთი ნაწარმის მათემატიკურ-ქიმიური ბამოკვლევა <i>ჩიკვაძე ი.შ., ხიტური გ.შ., სამსონია შ.ა., გვერდწითელი მ.ი.</i>	86
NEW NONTOXIC MACROCYCLIC AZOMETHINES <i>Chelidze N.T., Ochkhikidze N.T., Matitaishvili T.R., Didebulidze K.A. and Elizbarashvili E.N.</i>	88
ბიოდეტრაფიკადაი ამინომჟავური პოლიმეტერამიდის საფუძველზე წარმოების ბადამტანი მიკრობასუსშელების ფორმირების პროცესის სისტემატური კვლევა <i>სინაურიძე ნ.ო., ქანთარია თემჯ., ქანთარია თენჯ., ბაძგარაძე ს.ა., კუციავა ნ.ა., ტულუში დ.ს., ქაცარავა რ.დ.</i>	92
АНТИБАКТЕРИАЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ СОПОЧНЫХ И ИЛОВЫХ ПЕЛОИДОВ ГРУЗИИ <i>Девдариани Н.Г., Джинчарадзе Д.Г., Закалашвили Т.Т., Бокучава Н.В.</i>	104
ეკოლოგიურად სუფთა ხილ-კენკრიდან პოლიფენოლების კონცენტრირების ინოვაციური ტექნოლოგიით დამზადებული ხილ-კენკრის წვენები <i>ეპელაშვილი ნ.ე.</i>	107
ნატურალური ვიტამინური საკვები დანამატის ტექნოლოგია <i>კინწურაშვილი ნ.ჯ., ერგემლიძე თ.დ., ქარჩავა მ.ს., ბერულავა ი.ო.</i>	111
ნატურალური მინერალური საკვები დანამატის ტექნოლოგია <i>კინწურაშვილი ნ.ჯ., ერგემლიძე თ.დ., ქარჩავა მ.ს., ბერულავა ი.ო.</i>	115
ПАТОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ В БОЛЬНОМ РАСТЕНИИ <i>Канчавели Ш.С.</i>	118
ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ И БИОХИМИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ В БОЛЬНОМ РАСТЕНИИ <i>Канчавели Ш.С.</i>	123
<i>რიმბო (ზაური) ბურბენიძის ხსენება</i>	127
<i>ღავით დემეტრაძის ხსენება</i>	128

**ТЕРМОУПРУГОЕ РАВНОВЕСИЕ ТРАНСТРОПНОГО
ЭЛЛИПТИЧЕСКОГО ЦИЛИНДРА**

Горгидзе Д.А., Гулуа Н.Г., Кварцхава Л.Г.

Грузинский технический университет

Введение

Связь механических процессов с тепловыми проявляется в термоупругих эффектах вследствие деформации происходит изменение теплопроводности, а, следовательно, изменение температурного поля. К тому же при деформировании тела выделяется теплота. Из-за изменения температурного поля происходит температурная деформация, а при ее стеснении возникают температурные напряжения.

Граничной задачей об упругом равновесии сплошного эллипса занимались многие исследователи. Этим вопросам посвящены многочисленные работы Н. Хомасуридзе и Н. Зиракашвили [1].

В настоящей работе, используя некоторые результаты из вышеуказанных работ Н. Хомасуридзе решается задача о термоупругом равновесии эллиптического цилиндра.

Заметим, что коэффициенты Ламе [2] цилиндрико-эллиптической системы координат ζ, α, θ

$$x = ach\theta \cdot \cos \alpha, y = ash\theta \cdot \sin \alpha, z = \zeta,$$

и

$$h_\theta = h_\alpha = h = \sqrt{\left(\frac{\partial x}{\partial \theta}\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial \theta}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{\partial x}{\partial \alpha}\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial \alpha}\right)^2} = a\sqrt{ch^2\theta - \cos^2 \alpha} = \frac{a}{\sqrt{2}}\sqrt{ch2\theta - \cos 2\alpha},$$

$$h_z = 1,$$

где –декартовы координаты.

Основная часть

В цилиндрико-эллиптической системе координат ζ, α, θ находится термоупругое равновесие транстропного (трансверсально- изотропного) эллиптического координатного параллелепипеда $\Omega = \{\theta_1 < \theta < \theta_2, \alpha_1 < \alpha < \alpha_2, \zeta_1 < \zeta < \zeta_2\}$, с плоскостью изотропии $\zeta = const$. На тело воздействуют стационарное температурное поле и поверхностные возмущения (заданы напряжения или смещения, или их сочетание).

Если массовых сил нет и температурное поле не зависит от времени, тогда уравнения равновесия однородного транстропного тела в цилиндрико-эллиптической системе координат могут быть написаны в виде [3].

$$\begin{aligned}
 & \frac{\partial \sigma_\alpha}{\partial \alpha} + \frac{\partial \tau_{\theta \alpha}}{\partial \theta} + \frac{a(ch2\theta - \cos 2\alpha)}{\sqrt{2}\sqrt{ch2\theta - \cos 2\alpha}} \frac{\partial \tau_{\alpha z}}{\partial \alpha} + \frac{\sin 2\alpha}{ch2\theta - \cos 2\alpha} \sigma_\alpha + \\
 & + \frac{2sh2\theta}{ch2\theta - \cos 2\alpha} \tau_{\theta \alpha} - \frac{\sin 2\alpha}{(ch2\theta - \cos 2\alpha)} \sigma_\theta = 0, \\
 & \frac{\partial \sigma_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial \tau_{\theta \alpha}}{\partial \alpha} + \frac{a\sqrt{ch2\theta - \cos 2\alpha}}{\sqrt{2}} \frac{\partial \tau_{\theta z}}{\partial \alpha} + \\
 & + \frac{sh2\theta}{ch2\theta - \cos 2\alpha} \sigma_\theta + \frac{2sh2\theta}{ch2\theta - \cos 2\alpha} \tau_{\theta \alpha} - (ch2\theta - \cos 2\alpha) sh2\theta \cdot \tau_{z\alpha} = 0, \\
 & \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\sqrt{2}}{a\sqrt{ch2\theta - \cos 2\alpha}} \frac{\partial \tau_{z\alpha}}{\partial \alpha} + \frac{\sqrt{2}}{a\sqrt{ch2\theta - \cos 2\alpha}} \frac{\partial \tau_{\theta z}}{\partial \theta} + \frac{\sin 2\alpha}{ch2\theta - \cos 2\alpha} \sigma_\alpha + \\
 & + \frac{\sqrt{2}sh2\theta}{a\sqrt{(ch2\theta - \cos 2\alpha)}^3} \tau_{\theta z} - \frac{\sqrt{2} \sin 2\alpha}{a\sqrt{(ch2\theta - \cos 2\alpha)}^3} \tau_{\theta \alpha} = 0,
 \end{aligned} \tag{1}$$

где $\sigma_\theta, \sigma_\alpha, \sigma_z$ – нормальные напряжения; $\tau_{\theta\zeta} = \tau_{\zeta\theta}, \tau_{\theta z} = \tau_{z\theta}, \tau_{\alpha z} = \tau_{z\alpha}$ – касательные напряжения.

Закон Гука (физический закон), который предполагает самую простую, линейную зависимость между компонентами напряжения и соответствующими им компонентами деформации, записывается так:

$$\begin{aligned}
 \sigma_\theta &= c_1 \varepsilon_{\theta\theta} + (c_1 - 2c_5) \varepsilon_{\alpha\alpha} + c_3 \varepsilon_{zz} - k_{10} T = c_1 \frac{\partial(hu)}{\partial \theta} + (c_1 - 2c_5) \frac{\partial(hv)}{\partial \alpha} + c_3 \frac{\partial w}{\partial z} - k_{10} T, \\
 \sigma_\alpha &= (c_1 - 2c_5) \varepsilon_{\theta\theta} + c_1 \varepsilon_{\alpha\alpha} + c_3 \varepsilon_{zz} - k_{10} T = (c_1 - 2c_5) \frac{\partial(hu)}{\partial \theta} + c_1 \frac{\partial(hv)}{\partial \alpha} + c_3 \frac{\partial w}{\partial z} - k_{10} T, \\
 \sigma_\zeta &= c_3 (\varepsilon_{\theta\theta} + \varepsilon_{\alpha\alpha}) + c_2 \varepsilon_{zz} - k_{10} T = c_3 \left(\frac{\partial(hu)}{\partial \theta} + \frac{\partial(hv)}{\partial \alpha} \right) + c_2 \frac{\partial w}{\partial z} - k_{10} T, \\
 \tau_{\theta\alpha} &= \tau_{\alpha\theta} = c_5 \varepsilon_{\rho\alpha} = c_5 \left(\frac{\partial}{\partial \theta} \left(\frac{v}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial \alpha} \left(\frac{u}{h} \right) \right), \\
 \tau_{\theta z} &= \tau_{z\theta} = c_4 \varepsilon_{\rho\theta} = c_4 \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{1}{h} \frac{\partial w}{\partial \theta} \right), \\
 \tau_{\alpha z} &= \tau_{z\alpha} = c_4 \varepsilon_{z\alpha} = c_4 \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{1}{h} \frac{\partial w}{\partial \alpha} \right).
 \end{aligned} \tag{2}$$

где u, v, w – компоненты вектора смещения \vec{U} вдоль координатных линии θ, α, ζ ; $\varepsilon_\theta, \varepsilon_\alpha, \varepsilon_\zeta, \varepsilon_{\theta\alpha} = \varepsilon_{\alpha\theta}, \varepsilon_{\theta\zeta} = \varepsilon_{\zeta\theta}, \varepsilon_{\alpha\zeta} = \varepsilon_{\zeta\alpha}$ – деформации; c_i ($i = \overline{1,5}$) – упругие характеристики; $k_{10} = [2(c_1 - c_5)k_1 + c_3k_2]$, $k_{20} = [2c_3k_1 + c_2k_2]$, а k_1 и k_2 – коэффициенты линейного теплового расширения в плоскости изотропии и вдоль ζ . Здесь и везде далее для удобства записи выражении предполагается, что $h = \frac{a}{\sqrt{2}} \sqrt{ch2\theta - \cos 2\alpha}$ – коэффициент Ламе; T – температура в упругом теле подчиняющаяся уравнению

$$\Delta_2 T + \lambda_0 \frac{\partial^2 T}{\partial \zeta^2} = 0 \quad (3)$$

и соответствующим граничным условиям,

$$\text{при } \theta = \theta_i: \frac{\partial T}{\partial \theta} = 0 \quad \text{или} \quad T = 0; \quad (4)$$

$$\text{при } \alpha = \alpha_i: \frac{\partial T}{\partial \alpha} = 0 \quad \text{или} \quad T = 0;$$

$$\text{при } \zeta = \zeta_i: T = T_i(\theta, \alpha) \quad \text{или} \quad \frac{\partial T}{\partial \zeta} = \tilde{T}_i(\theta, \alpha) \quad \text{или} \quad \frac{\partial T}{\partial \zeta} + \eta_i T = \tilde{T}_i(\theta, \alpha). \quad (5)$$

Здесь $i = 0, 1$, η_i – заданные постоянные; λ_1 и λ_2 – коэффициенты теплопроводности в

плоскости изотропии и вдоль оси z . $\Delta_2 = \frac{a^2(ch2\theta - \cos 2\alpha)}{2} \left(\frac{\partial^2}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2}{\partial \alpha^2} \right)$;

С учетом формул (2) и (3) уравнения равновесия перепишем в следующем виде

$$\begin{aligned} a) \quad & \frac{\partial K}{\partial \theta} - \frac{\partial B}{\partial \alpha} + \frac{a\sqrt{ch2\theta - \cos 2\alpha}}{\sqrt{2}} \frac{\partial \tau_{\theta z}}{\partial z} = 0, \\ b) \quad & \frac{\partial B}{\partial \theta} + \frac{\partial K}{\partial \alpha} + \frac{a\sqrt{ch2\theta - \cos 2\alpha}}{\sqrt{2}} \frac{\partial \tau_{\alpha z}}{\partial z} = 0, \\ c) \quad & \frac{2}{a(ch2\theta - \cos 2\alpha)} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\frac{a\sqrt{ch2\theta - \cos 2\alpha}}{\sqrt{2}} \tau_{\alpha z} \right) - \frac{2}{a(ch2\theta - \cos 2\alpha)} \frac{\partial}{\partial \alpha} \left(\frac{a\sqrt{ch2\theta - \cos 2\alpha}}{\sqrt{2}} \tau_{\theta z} \right) - \\ & - \frac{c_4}{c_5} \frac{\partial B}{\partial z} = 0, \\ d) \quad & \frac{c_3}{c_1} \frac{\partial K}{\partial z} + \frac{c_1 c_2 - c^2}{c_1} \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} + \frac{2}{a(ch2\theta - \cos 2\alpha)} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\frac{a\sqrt{ch2\theta - \cos 2\alpha}}{\sqrt{2}} \tau_{\alpha z} \right) + \\ & + \frac{2}{a(ch2\theta - \cos 2\alpha)} \frac{\partial}{\partial \alpha} \left(\frac{a\sqrt{ch2\theta - \cos 2\alpha}}{\sqrt{2}} \tau_{\theta z} \right) = \frac{c_2 k_{20} - c_3 k_{10}}{c_1} \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}, \end{aligned} \quad (6)$$

где

$$\begin{aligned} a) \quad & K = c_1 \left(\frac{\partial(hu)}{\partial \theta} + \frac{\partial(hv)}{\partial \alpha} \right) + c_3 \frac{\partial w}{\partial z} - k_{10} T; \quad h = \frac{a\sqrt{ch2\theta - \cos 2\alpha}}{\sqrt{2}}, \\ b) \quad & B = \frac{c_5}{h^2} \left(\frac{\partial(hv)}{\partial \theta} + \frac{\partial(hu)}{\partial \alpha} \right). \end{aligned} \quad (7)$$

Рассмотрим термоупругое равновесие криволинейного координатного параллелепипеда $\Pi = \{(\theta, \alpha, \zeta) \in R: \theta_0 < \theta < \theta_1, \alpha_0 \leq \alpha < \alpha_1, \zeta_0 < \zeta < \zeta_1\}$ со следующими граничными условиями:

$$\begin{aligned} \text{при } \theta = \theta_i: \quad & a) \quad \frac{\partial T}{\partial \theta} = 0, u=0, B=0, \tau_{\theta z} = 0; \\ & b) \quad T = 0, K=0, v=0, w = 0; \end{aligned} \quad (8)$$

при $\alpha = \alpha_i$: a) $\frac{\partial T}{\partial \alpha} = 0, v=0, B=0, \tau_{\alpha z} = 0$;
 b) $T = 0, K=0, u=0, w = 0$;

при $\zeta = \zeta_i$ a) $\sigma_\zeta = F_{i1}(\theta, \alpha), h\tau_{\zeta\theta} = F_{i2}(\theta, \alpha), h\tau_{\alpha z} = F_{i3}(\theta, \alpha)$;
 b) $w=f_{i1}(\theta, \alpha), hu=f_{i2}(\theta, \alpha), hv = f_{i3}(\theta, \alpha)$;
 c) $w=f_{i1}(\theta, \alpha), h\tau_{\zeta\theta} = F_{i2}(\theta, \alpha), h\tau_{\alpha z} = F_{i3}(\theta, \alpha)$;
 d) $\sigma_\zeta = F_{i1}(\theta, \alpha), hu=f_{i2}(\theta, \alpha), hv = f_{i3}(\theta, \alpha)$;

при $\zeta = \zeta_i$: a) $T = t_i(\theta, \alpha)$, b) $\frac{\partial T}{\partial \zeta} = t_i(\theta, \alpha)$, c) $\frac{\partial T}{\partial \zeta} + \Upsilon_i T = t_i(\theta, \alpha)$,

Здесь $i = 0,1$, причем $\zeta_0 = 0$; Υ_i - заданные постоянные. Граничные функции $f_{i1}(\theta, \alpha), f_{i2}(\theta, \alpha), f_{i3}(\theta, \alpha)$ вместе со своими первыми и вторыми производными разлагаются в абсолютно и равномерно сходящийся ряд Фурье, а функции $F_{i1}(\theta, \alpha), F_{i2}(\theta, \alpha), F_{i3}(\theta, \alpha)$ вместе со своим первым разлагаются в равномерно и абсолютно сходящиеся ряды по собственным функциям, соответствующим задач Штурма-Лювилла. Кроме этого, эти функции таковы, что на ребрах криволинейного координатного параллелепипеда выполняются условия согласования.

Чтобы для решения граничных задач применить метод разделения переменных, целесообразно вышеприведенные граничные условия (11) представить в следующем виде

при $\zeta = \zeta_i$ a) $\sigma_\zeta = F_{i1}(\theta, \alpha), \Gamma_1(h\tau_{\zeta\theta}, h\tau_{\alpha z}) = \tilde{F}_{i2}(\theta, \alpha), \Gamma_2(h\tau_{\alpha z}, h\tau_{\zeta\theta}) = \tilde{F}_{i3}(\theta, \alpha)$;
 b) $w=f_{i1}(\theta, \alpha), \Gamma_1(hu, hv) = \tilde{f}_{i2}(\theta, \alpha), \Gamma_2(hv, hu) = \tilde{f}_{i3}(\theta, \alpha)$;
 c) $w=f_{i1}(\theta, \alpha), \Gamma_1(h\tau_{\zeta\theta}, h\tau_{\alpha z}) = \tilde{F}_{i2}(\theta, \alpha), \Gamma_2(h\tau_{\alpha z}, h\tau_{\zeta\theta}) = \tilde{F}_{i3}(\theta, \alpha)$;
 d) $\sigma_\zeta = F_{i1}(\theta, \alpha), \Gamma_1(hu, hv) = \tilde{f}_{i2}(\theta, \alpha), \Gamma_2(hv, hu) = \tilde{f}_{i3}(\theta, \alpha)$;

где $\Gamma_1(\eta_1, \eta_2) = \frac{1}{h^2} \left(\frac{\partial \eta_1}{\partial \zeta} + \frac{\partial \eta_2}{\partial \alpha} \right), \Gamma_2(\eta_2, \eta_1) = \frac{1}{h^2} \left(\frac{\partial \eta_2}{\partial \zeta} - \frac{\partial \eta_1}{\partial \alpha} \right)$.

В настоящей работе строится регулярное решение для граничных задач (3), (6, 7), (9), (10, 11) или (3), (6, 7), (9), (11,12). В связи с этим дадим определение регулярного решения.

Определенное функциями u, v, w решение системы (6, 7) будем называть регулярным, если функции u, v, w трижды непрерывно дифференцируемы в области $\bar{\Pi}$, где Π - область с границами $\theta = \theta_i$ и $\alpha = \alpha_i$, а на поверхности $\zeta = \zeta_i$ могут быть представлены вместе со своими первыми и вторыми производными абсолютно и равномерно сходящимися рядами Фурье по собственным функциям задачи

$$\Delta_2 \psi_{mn} + p^2 \psi_{mn} = 0,$$

при $\theta = \theta_i$: a) $\psi_{mn} = 0$ или b) $\frac{\partial \psi_{mn}}{\partial \theta} = 0$,

при $\alpha = \alpha_i$: a) $\psi_{mn} = 0$ или b) $\frac{\partial \psi_{mn}}{\partial \alpha} = 0$,

т.е. $(u, v, w) \in C_0^3(\Pi)$.

Теорема. Для рассматриваемого класса граничных задач термоупругости в эллиптической системе координат, точные решения в классе регулярных функции представляются в виде

$$\begin{aligned} hu &= \frac{\partial}{\partial \zeta} \left(\psi_3 + \frac{1}{2c_4} \psi_2 \right) + \frac{1}{c_5} \frac{\partial \psi_1}{\partial \alpha}, \\ hv &= \frac{\partial}{\partial \alpha} \left(\psi_3 + \frac{1}{2c_4} \psi_2 \right) - \frac{1}{c_5} \frac{\partial \psi_1}{\partial \zeta}, \\ hw &= -\frac{\partial}{\partial z} \left(\psi_3 + \frac{1}{2c_4} \psi_2 \right) + \frac{1}{c_4} \frac{\partial \psi_2}{\partial z} \end{aligned}$$

где ψ_1, ψ_2, ψ_3 решения следующих уравнений

$$\begin{aligned} a) \quad & \frac{c_4}{c_5} \frac{\partial^2 \psi_1}{\partial^2 z} + \Delta_2 \psi_1 = 0, \\ b) \quad & \frac{\partial^2 \psi_3}{\partial^2 z} + \nu_1 \Delta_2 \psi_3 + \nu_2 \Delta_2 \psi_2 = \nu_4 T, \\ c) \quad & \frac{\partial^2 \psi_2}{\partial^2 z} + \nu_1 \Delta_2 \psi_2 + \nu_3 \Delta_2 \psi_2 = \nu_5 T, \end{aligned}$$

здесь

$$\begin{aligned} \nu_1 &= \frac{c_1 c_2 - c_3 (c_3 + 2c_4)^2}{2c_2 c_4}, \nu_2 = \frac{c_1 c_2 - c_3 (c_3 + 2c_4)^2}{4c_2 c_4}, \nu_3 = \frac{c_1 c_2 - c_3^2}{c_2}, \nu_4 = \frac{c_2 k_{10} - (c_3 + 2c_4) k_{20}}{2c_2 c_4}, \\ \nu_5 &= \frac{c_2 k_{10} - c_3 k_{20}}{c_2}. \end{aligned}$$

В заключение заметим, что полученные точные решения позволяют для транстропных тел, ограниченных координатными поверхностями цилиндро-эллиптической системы координат, решать некоторые конкретные граничные задачи теории термоупругости. В ближайшее время одним из авторов будут опубликованы соответствующие работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. N. Khomasuridze. Thermoelastic equilibrium of bodies in generalized cylindrical coordinates. // Mathematical Journal, 1998, v.5, № 6.
2. А. Ф. Бермант. Отображения. Криволинейные координаты. Преобразования. Формулы Грина. -Москва: ТОС. Изд. Физ.-мат. литературы, 1958.
3. В.Г. Рекач. Руководство к решению задач по теории упругости. -Москва: Высшая школа, 1966.

SUMMARY

THERMOELASTIC EQUILIBRIUM OF A TRANSTROPIC ELLIPTIC CYLINDER

Gorgidze D.A., Gulua N.G. and Kvartskhava L.G.

Georgian Technical University

Connection of mechanical processes with thermal ones manifested in thermoelastic effects is discussed. In the result of deformation, changes in heat conductivity and hence in the temperature field take place. In addition, during deformation, heat is released. Due to the change in the temperature field, temperature deformation takes place, and there emerges temperature stress. The exact solutions obtained allow solving some particular boundary value problems of the theory of thermoelasticity for transtropic bodies bounded by the coordinate surfaces of a cylinder-elliptic coordinate system.

Keywords: thermoelastic equilibrium, transtropic body, elliptic cylinder, exact solutions.

ЭЛЕКТРОУПРУГОЕ РАВНОВЕСИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПАНЕЛИ

Горгидзе Д.А., Кварцхава Л.Г., Гулуа Н.Г.

Грузинский технический университет

В круговой цилиндрической системе координат r, α, z рассмотрим электроупругое равновесие тела ограниченного координатными поверхностями, которое занимает область $\Pi = \{(r, \alpha, z) \in R : 0 \leq r_0 \leq r < r_1, 0 \leq \alpha \leq \alpha_1, 0 \leq z \leq z_1\}$. Криволинейный параллелепипед – трансропное (трансверсально-изотропное) тело с плоскостью изотропии $z = const$. В дальнейшем такое тело будем называть цилиндрической панелью. Слово панель подчеркивает то обстоятельство, что на цилиндрической поверхности задаются неоднородные условия, т.е.

при $r = r_i : \delta_1 \sigma_z + \gamma_1 u = f_{i1}, \delta_2 \tau_{r\alpha} + \gamma_2 v = f_{i2}, \delta_3 \tau_{rz} + \gamma_3 w = f_{i3}; \quad (1)$

а на боковых гранях заданы условия симметричного или антисимметричного продолжения, т.е. на боковых гранях имеем следующие условия

при $\alpha = 0, \alpha_1 : \delta_1 \sigma_\alpha + \gamma_1 v = 0, \delta_1 w + \gamma_1 \tau_{\alpha z} = 0, \delta_1 u + \gamma_1 \tau_{\alpha r} = 0; \quad (2)$

при $z = 0, z_1 : \delta_1 \sigma_z + \gamma_1 w = 0, \delta_1 u + \gamma_1 \tau_{zr} = 0, \delta_1 v + \gamma_1 \tau_{z\alpha} = 0; \quad (3)$

В равенствах (1), (2), (3) $i = 0$ или 1 , причем в (2) и (3) $\delta_p = 1, \gamma_p = 0$, или $\delta_p = 0, \gamma_p = 1, p = 1, 2, 3$, а в (1) $\delta_p \gamma_p = 0, \delta_p + \gamma_p = 1, p = 1, 2$.

Уравнения равновесия и электростатики можно записать в виде [1]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \tau_{r\alpha}}{\partial \alpha} + \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial z} + \frac{\sigma_r - \sigma_\alpha}{r} &= 0, \\ \frac{\partial \tau_{ar}}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \sigma_\alpha}{\partial \alpha} + \frac{\partial \tau_{\alpha z}}{\partial z} + \frac{2}{r} \tau_{ar} &= 0, \\ \frac{\partial \tau_{zr}}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \tau_{z\alpha}}{\partial \alpha} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{1}{r} \tau_{zr} &= 0; \\ \frac{\partial D_r}{\partial r} + \frac{1}{r} D_r + \frac{1}{r} \frac{\partial D_\alpha}{\partial \alpha} + \frac{\partial D_z}{\partial z} &= 0, \end{aligned} \quad (4)$$

где: $\sigma_r, \sigma_\alpha, \sigma_z$ - нормальные, а $\tau_r, \tau_\alpha, \tau_z$ - касательные напряжения; D_r, D_α, D_z - компоненты вектора электрической индукции D вдоль касательных к координатных линий. Уравнения состояния пьезоэлектрической среды имеют следующий вид [1]:

$$\begin{aligned} \sigma_r &= c_1 \varepsilon_{rr} + (c_1 - 2c_5) \varepsilon_{\alpha\alpha} + c_3 \varepsilon_{zz} - e_1 E_z = c_1 \frac{\partial u}{\partial r} + (c_1 - 2c_5) \left(\frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial \alpha} + \frac{1}{r} u \right) + c_3 \frac{\partial w}{\partial z} + e_1 \frac{\partial \phi}{\partial z}, \\ \sigma_\alpha &= (c_1 - 2c_5) \varepsilon_{rr} + c_1 \varepsilon_{\alpha\alpha} + c_3 \varepsilon_{zz} - e_1 E_z = (c_1 - 2c_5) \frac{\partial u}{\partial r} + c_1 \left(\frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial \alpha} + \frac{1}{r} u \right) + c_3 \frac{\partial w}{\partial z} + e_1 \frac{\partial \phi}{\partial z}, \\ \sigma_z &= c_3 (\varepsilon_{rr} + \varepsilon_{\alpha\alpha}) + c_2 \varepsilon_{zz} - e_2 E_z = c_3 \left(\frac{\partial u}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial \alpha} + \frac{1}{r} u \right) + c_2 \frac{\partial w}{\partial z} + e_2 \frac{\partial \phi}{\partial z}, \\ \tau_{\alpha z} &= c_4 \varepsilon_{\alpha z} - e_3 E_\alpha = c_4 \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial \alpha} \right) + e_3 \frac{1}{r} \frac{\partial \phi}{\partial \alpha}, \\ \tau_{rz} &= c_4 \varepsilon_{rz} - e_3 E_r = c_4 \left(\frac{\partial w}{\partial r} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) + e_3 \frac{\partial \phi}{\partial r}, \\ \tau_{r\alpha} &= c_5 \varepsilon_{r\alpha} = c_4 \left(\frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial \alpha} + \frac{\partial v}{\partial r} - \frac{1}{r} u \right). \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned}
 D_r &= e_3 \varepsilon_{rz} + \mathfrak{A}_1 E_r = e_3 \left(\frac{\partial w}{\partial r} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) - \mathfrak{A}_1 \frac{\partial \phi}{\partial r}; \\
 D_\alpha &= e_3 \varepsilon_{\alpha z} + \mathfrak{A}_1 E_\alpha = e_3 \left(\frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial \alpha} + \frac{\partial v}{\partial z} \right) - \mathfrak{A}_1 \frac{1}{r} \frac{\partial \phi}{\partial \alpha}; \\
 D_z &= e_1 (\varepsilon_{rr} + \varepsilon_{\alpha\alpha}) + e_2 \varepsilon_{zz} + \mathfrak{A}_3 E_z = e_1 \left(\frac{\partial u}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial \alpha} + \frac{1}{r} u \right) + e_2 \frac{\partial w}{\partial z} - \mathfrak{A}_3 \frac{\partial \phi}{\partial z}. \quad (6) \\
 \vec{E} &= -\text{grad}\phi = -\frac{\partial \phi}{\partial r} \vec{i} - \frac{1}{r} \frac{\partial \phi}{\partial \alpha} \vec{j} - \frac{\partial \phi}{\partial z} \vec{k}; \\
 E_r &= -\frac{\partial \phi}{\partial r}, \quad E_\alpha = -\frac{1}{r} \frac{\partial \phi}{\partial \alpha}, \quad E_z = -\frac{\partial \phi}{\partial z}.
 \end{aligned}$$

где $\varepsilon_r, \varepsilon_\alpha, \varepsilon_z$ - компоненты тензора деформации; E_α, E_r, E_z - компоненты вектора напряженности электрического поля; $\vec{E} = -\text{grad}\phi$, где ϕ - электростатический потенциал; c_i ($i=1,2,\dots,5$) - упругие характеристики; e_i - пьезоэлектрические постоянные; $\mathfrak{A}_1, \mathfrak{A}_2$ - диэлектрические постоянные.

Если упругие характеристики тела c_i ($i=1,2,\dots,5$) удовлетворяют условиям,

$$c_1 c_2 - (c_3 + 2c_4^2) = 0, \quad (7)$$

при этом компоненты электроупругого поля не зависят от координаты α и $u = u(r, z)$, $v \equiv 0$, $w = w(r, z)$, $B_z \equiv 0$, $K \equiv 0$, $\tau_{r\alpha} \equiv 0$, $\tau_{\alpha z} \equiv 0$, $D_\alpha \equiv 0$, тогда (4,5,6) можно переписать в следующем виде [2,3]:

$$\begin{aligned}
 \sigma_r &= c_1 \frac{\partial u}{\partial r} + (c_1 - 2c_5) \frac{1}{r} u + c_3 \frac{\partial w}{\partial z} + e_1 \frac{\partial \phi}{\partial r}, \\
 \sigma_\alpha &= (c_1 - 2c_5) \frac{\partial u}{\partial r} + c_1 \frac{1}{r} u + c_3 \frac{\partial w}{\partial z} + e_1 \frac{\partial \phi}{\partial z}, \quad (8) \\
 \sigma_z &= c_3 \left(\frac{\partial u}{\partial r} + \frac{1}{r} u \right) + c_2 \frac{\partial w}{\partial z} + e_2 \frac{\partial \phi}{\partial z}, \\
 \tau_{rz} &= c_4 \left(\frac{\partial w}{\partial r} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) + e_3 \frac{\partial \phi}{\partial r}, \\
 D_r &= e_3 \left(\frac{\partial w}{\partial r} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) - \mathfrak{A}_1 \frac{\partial \phi}{\partial r}; \\
 D_z &= e_1 \left(\frac{\partial u}{\partial r} + \frac{1}{r} u \right) + e_2 \frac{\partial w}{\partial z} - \mathfrak{A}_3 \frac{\partial \phi}{\partial z}. \quad (9)
 \end{aligned}$$

$$\frac{\partial D_r}{\partial r} + \frac{1}{r} D_r + \frac{\partial D_z}{\partial z} = 0. \quad (10)$$

$$\frac{c_3}{c_1} \frac{\partial K}{\partial z} + \frac{c_1 c_2 - c_3^2}{c_1} \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} + \frac{1}{\tau} \frac{\partial(r\tau_{zr})}{\partial r} = -\frac{c_1 c_2 - c_3 e_1}{c_1} \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2},$$

$$r \frac{\partial K}{\partial r} + \frac{\partial(r\tau_{rz})}{\partial z} = 0, \tag{11}$$

$$\frac{(r\tau_{z\alpha})}{\partial r} - \frac{c_4}{c_5} \frac{\partial(rB_z)}{\partial z} = 0.$$

$$K = c_1 \left(\frac{\partial u}{\partial r} + \frac{1}{r} u \right) + c_3 \frac{\partial w}{\partial z} + e_1 \frac{\partial \phi}{\partial z} \tag{12}$$

Таким образом в области $\Pi = \{(r, \alpha, z) \in R : r_0 \leq r < r_1, 0 \leq \alpha \leq \alpha_1, 0 \leq z \leq z_1\}$ имеем осесимметричное напряженно-деформированное состояние со следующими граничными условиями:

при $r = r_i$: $\sigma_z = f_{i1}, \tau_{r\alpha} = f_{i2}, \tau_{rz} = f_{i2};$
 при $\alpha = 0, \alpha_1$: $\nu = 0, \tau_{\alpha z} = 0, \tau_{\alpha r} = 0;$
 при $z = 0, z_1$: $w = 0, \tau_{rz} = 0, \tau_{z\alpha} = 0;$ (13)

Обозначим через ψ_1, ψ_2 და ϕ функции, удовлетворяющие уравнениям

$$\Delta_2 \psi_2 + a_1 \frac{\partial^2 \psi_2}{\partial z^2} - a_2 \frac{\partial^2 \psi_1}{\partial z^2} - a_3 \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0,$$

$$\Delta_2 \psi_1 + a_1 \frac{\partial^2 \psi_1}{\partial z^2} - a_4 \frac{\partial^2 \psi_2}{\partial z^2} - a_5 \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0,$$

$$\Delta_2 \phi + a_6 \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} - a_7 \frac{\partial^2 \psi_2}{\partial z^2} - a_8 \frac{\partial^2 \psi_1}{\partial z^2} = 0,$$

где $a_i (i = \overline{1,6})$ комбинации упругих пьезоэлектрических и диэлектрических постоянных.

Компоненты упругого поля, выраженные через эти функции, имеют следующий вид[3]

$$u = \frac{\partial}{\partial r} \left(\psi_2 + \frac{1}{2c_4} \psi_1 \right) + \frac{1}{c_5} \frac{1}{r} \frac{\partial \psi_0}{\partial \alpha},$$

$$v = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \alpha} \left(\psi_2 + \frac{1}{2c_4} \psi_1 \right) - \frac{1}{c_5} \frac{\partial \psi_0}{\partial r},$$

$$w = -\frac{\partial}{\partial z} \left(\psi_2 + \frac{1}{2c_4} \psi_1 \right) + \frac{1}{c_4} \frac{\partial \psi_1}{\partial z} - \frac{e_3}{c_4} \frac{\partial \psi_0}{\partial r},$$

Для нашего случая функции ψ_1, ψ_2 и ϕ имеют следующий вид

$$\psi_1 = \sum_{\bar{m}=0}^{\infty} \left[A_{1\bar{m}} e^{s_1(r-r_1)} + A_{2\bar{m}} e^{s_2(r_0-r)} \right] \sin(mz),$$

$$\psi_2 = \sum_{\bar{m}=0}^{\infty} \left[A_{3\bar{m}} e^{s_1(r-r_1)} + A_{4\bar{m}} e^{s_2(r_0-r)} \right] \sin(mz),$$

$$\phi = \sum_{\bar{m}=0}^{\infty} \left[A_{5\bar{m}} e^{s_1(r-r_1)} + A_{6\bar{m}} e^{s_2(r_0-r)} \right] \sin(mz),$$

где $m = \frac{\pi \bar{m}}{z_1} \gamma$, $\bar{m} = 0, 1, 2, \dots$ $A_i = A_i(s, m)$ - некоторые постоянные. Имея эти формулы,

при $r = r_i$ составим выражения для σ_z , $\tau_{r\alpha}$, τ_{rz} и приравняем их к функциям f_{i1} , f_{i2} , f_{i3} , разложенным с учетом (13) в ряд Фурье. В результате для определения постоянных получим бесконечную алгебраическую систему с квазидиагональной матрицей Λ с диагональными блоками Λ_p . Непосредственной проверкой убеждаемся, что $\det \Lambda_p \neq 0$ ($\det \Lambda_p \neq 0$, когда $p \rightarrow \infty$).

ЛИТЕРАТУРА

1. В.Т. Гринченко, А.Ф. Улитко, Н.А. Шульга. Электроупругость. – Киев, Наукова думка, 1989.
2. N. Khomasuridze. Thermoelastic equilibrium of bodies in generalized cylindrical coordinates. //Mathematical Journal, 1998, v.5, № 6.
3. Д.А. Горгидзе. Общие решения уравнений электроупругости в цилиндрической системе координат. //Georgian Engineering News, 1997, № 2.

SUMMARY

ELECTROELASTIC EQUILIBRIUM OF A CYLINDRICAL PANEL

Gorgidze D.A., Kvartskhava L.G. and Gulua N.G.

Georgian Technical University

The article deals with the electroelastic equilibrium of a cylindrical panel in the cylindrical coordinate system. For determination of the constants, an infinite algebraic system with a quasi-diagonal matrix is derived. By direct verification we see that the determinant of the system is different from zero.

Keywords: cylindrical panel, electroelastic equilibrium, infinite algebraic system, quasi-diagonal matrix..

მონაცემების სტატისტიკური დამუშავებისა და ანალიზის ზოგადი მეთოდი
ნაწილი II

ბუაძე ტ.გ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ნაშრომში განხილულია სტატისტიკურ მონაცემთა დამუშავების, ანალიზისა და პროგნოზირების ზოგად სტატისტიკურ მეთოდი სტუდენტთა ტესტირების ელექტრონული ბაზიდან შემთხვევით შერჩეული აკადემიური ჯგუფების მაგალითზე.

შემოთავაზებული ზოგადი სტატისტიკური მეთოდი სასწავლო-აკადემიური პროცესის ძირითადი მახასიათებელი ფაქტორებისა და კომპონენტების ალბათური განაწილებების პროგნოზირებისა და მათ შორის კორელაციური დამოკიდებულებების დადგენის საშუალებას იძლევა.

1. საკვლევი ობიექტის ალბათურ განაწილებათა უცნობი პარამეტრების შეფასება სტატისტიკური კვლევების უპირველესი ამოცანაა.

წარმოვიდგინოთ, რომ პოპულაცია წარმოადგენს $F(x, \theta)$ განაწილების მქონე ξ შემთხვევითი სიდიდის შესაძლო მნიშვნელობების სიმრავლეს, რომლიდანაც წარმოებს n მოცულობიანი შემთხვევითი შერჩევა $\zeta = (\xi_1, \dots, \xi_n)$, განაწილება შეიცავს უცნობ θ პარამეტრს, ამასთან ξ_1, \dots, ξ_n წარმოადგენს ξ შემთხვევით სიდიდეზე n -ჯერ ჩატარებული ურთიერთდამოუკიდებელი დაკვირვებების („გაზომვების“) შედეგებს. კონკრეტული რეალიზაცია სტატისტიკური რიცხვითი მონაცემების სახით აღინიშნება x_1, x_2, \dots, x_n -ით.

ზოგადი თეორიული აზრით, θ უცნობი პარამეტრის შეფასების ამოცანა მდგომარეობს იმაში, რომ n მოცულობიანი $\zeta = (\xi_1, \dots, \xi_n)$ შერჩევის გამოყენებით „ვაგებთ“ შერჩევით R^n სივრცეზე განსაზღვრულ რაღაც ფუნქციას (სტატისტიკას) $h(\zeta) = h(\xi_1, \dots, \xi_n)$ მნიშვნელობებით Θ სიმრავლიდან, რომლითაც ვაფასებთ θ პარამეტრს და ჩავწერთ:

$$\theta \approx h(\zeta) \tag{1}$$

შემოვიტანოთ დანაკარგების ფუნქციის ცნება. ესაა რაღაც ფუნქცია $L(\alpha, \theta)$, $\alpha \in \Theta$, $\theta \in \Theta$ რომლითაც ახასიათებენ შეცდომის, გადახრის სიდიდეს, თუ θ პარამეტრის ჭკმმარიტ მნიშვნელობად მივიღებთ α მნიშვნელობას.

თუ $\hat{\theta}$ წარმოადგენს θ პარამეტრის შეფასებას, მაშინ სიდიდე

$$\bar{L}(\hat{\theta}, \theta) = ML(\hat{\theta}, \theta)$$

წარმოადგენს (1) ფორმულის გამოყენებით მიღებულ საშუალო დანაკარგს. დავაუსტოთ, რომ შემდგომ ყოველთვის იგულისხმება, რომ $\hat{\theta}_n = \hat{\theta}^n(\xi_1, \dots, \xi_n)$ და თუ $\hat{\theta}_1$ და $\hat{\theta}_2$ ორი შეფასებაა θ პარამეტრისთვის, და $\bar{L}(\hat{\theta}_1, \theta) < \bar{L}(\hat{\theta}_2, \theta)$, მაშინ θ პარამეტრისთვის $\hat{\theta}_1$ შეფასება ითვლება უფრო კარგ შეფასებად, ვიდრე θ_2 შეფასება (მოცემული დანაკარგების $L(\alpha, \theta)$ ფუნქციის მიმართ).

საზოგადოდ, გამოსახულება

$$\delta^2 = M |\hat{\theta}_n - \theta|^2$$

წარმოადგენს θ უცნობი პარამეტრისათვის აგებული $\hat{\theta}_n$ შეფასების საშუალო კვადრატულ გადახრას. თუ θ ერთგანზომილებიანი ვექტორია, მაშინ δ^2 წარმოადგენს $\hat{\theta}$ შეფასების დისპერსიას.

θ უცნობი პარამეტრის $\hat{\theta}^n(\xi_1, \dots, \xi_n)$ შეფასება წაუნაცვლებელია (გადაუადგილებადი), თუ სრულდება პირობა:

$$M \hat{\theta}_n = \theta$$

θ უცნობი პარამეტრის შეფასებათა მიმდევრობები $\hat{\theta}_1(\xi_1, \dots, \xi_n), \hat{\theta}_2(\xi_1, \dots, \xi_n), \dots, \hat{\theta}_n(\xi_1, \dots, \xi_n)$ სადაც ξ_1, \dots, ξ_n დამოუკიდებელი, ერთნაირად განაწილებული შემთხვევითი სიდიდეებია, წარმოადგენენ ძალდებულ შეფასებებს, თუ:

$$P \left\{ \lim_{n \rightarrow \infty} \hat{\theta}_n = \theta \right\} = 1,$$

ანუ ნებისმიერი $\varepsilon > 0$ რიცხვისათვის სრულდება თანაფარდობა:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P \left\{ \left| \hat{\theta}_n - \theta \right| < \varepsilon \right\} = 1.$$

θ პარამეტრის წაუნაცვლებელი და ძალდებული $\hat{\theta}_n$ შეფასებები მათემატიკურ სტატისტიკაში „კარგი“ შეფასებებია.

2. ჩვენ მოვიპოვეთ სტატისტიკური მონაცემები „აღბათობის თეორიასა და მათემატიკურ სტატისტიკაში“ სტუ-ს ინფორმატიკის ფაკულტეტის სტუდენტთა ტესტირების ელექტრონულ ბაზაში II კურსის სტუდენტთა აკადემიური ჯგუფებიდან შემთხვევითი ამოკრეფის მეთოდით შერჩეული ჯგუფებისათვის. შერჩევის დიდი მოცულობის გამო შევარჩიეთ ოპტიმალურ ვარიანტად ორი - ერთი ქართულენოვანი და მეორე ინგლისურენოვანი ჯგუფის ბაზა. თუმცა სტატისტიკაში ერთ-ერთი უმთავრესი საკითხია დასმული საკვლევი ამოცანიდან გამომდინარე, პოპულაციის ოპტიმალური მოცულობის დადგენა დასკვნების საიმედოობისა და მნიშვნელოვნების დონის გათვალისწინებით. ეს თემა ფართოდ შესასწავლი თემაა და შემდგომი კვლევების მიზანია.

ამ ეტაპზე პოპულაციის განმსაზღვრელი შესასწავლი მახასიათებელი არის სტუდენტთა აკადემიური მოსწრება, რომელიც შესაბამისი რეიტინგული საბოლოო ქულით განისაზღვრება სემესტრში თითოეული სტუდენტისათვის. იგი შედგება რამოდენიმე კომპონენტისაგან:

ა) სტუდენტთა ყოველკვირეული ატესტაციების შედეგები (დასწრება აქტიურობის მიხედვით); ბ) I ტესტირების შედეგები გ) II ტესტირების შედეგები; დ) დასკვნითი გამოცდების შედეგები; ე) დამატებითი გამოცდების შედეგები და განისაზღვრება მრავალი ფაქტორის ზემოქმედებით როგორცაა: ადამიანური, შრომითი, მატერიალური რესურსების ურთიერთკავშირი, აკადემიური პერსონალის კვალიფიკაცია, სტუდენტების სასკოლო მომზადების დონე მათემატიკაში პერსონალისა და სტუდენტების დაინტერესების პირობები, სასწავლო პროცესების წარმართვის მატერიალური ბაზა, სოციალური გარემო და სხვა. სტატისტიკური მონაცემების საფუძველზე, ჩამოთვლილ კომპონენტებს შორის კორელაციური კავშირების, კორელაციური დამოკიდებულების სიძლიერის დადგენა, რეგრესიის წირების აგება, დადგენა იმისა, თუ რამდენად ადეკვატურად ასახავს მიღებული ქულები სტუდენტის რეალური ცოდნის დონეს, აკადემიური თავისუფლების ხარისხის სტატისტიკური კვლევების საგანი შეიძლება გახდეს.

კვლევას ვაწარმოებთ [1] ნაშრომში წარმოდგენილი კვლევის ზოგადი სტატისტიკური მეთოდით.

I ეტაპი: მონაცემთა აღწერა

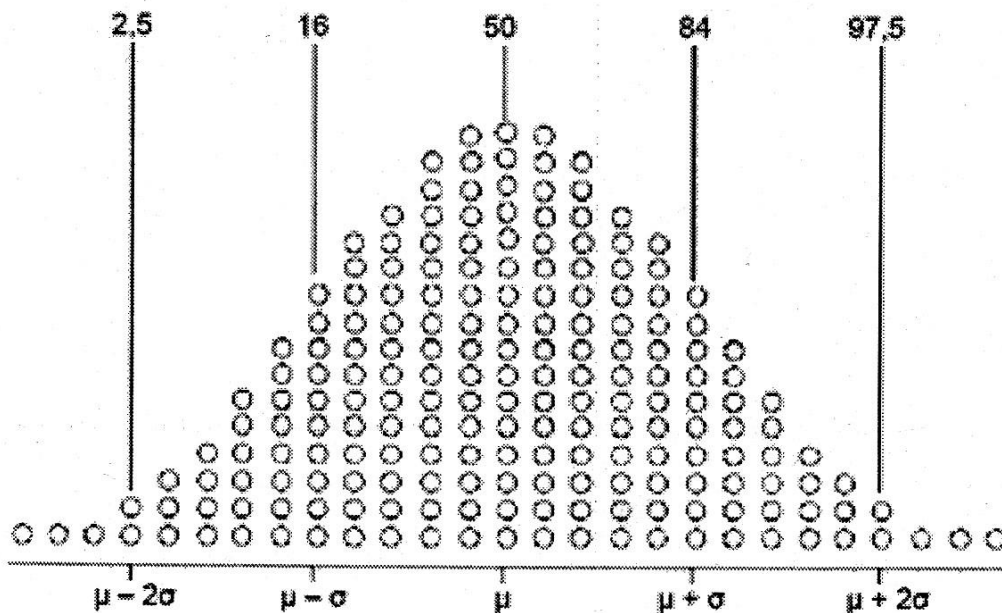
1. მონაცემთა ჯგუფების აღწერა განაწილების პარამეტრების დათვლით.

2. მონაცემთა სხვადასხვა ჯგუფების შედარება განაწილების პარამეტრების გათვალისწინებით.

ვთქვათ, ქართულენოვან ჯგუფებში სტუდენტთა პოპულაციის აკადემიური მოსწრების ქულების მოდელირებას ვახდენთ X შემთხვევითი სიდიდით, ინგლისურენოვანი ჯგუფების პოპულაციისათვის კი Y შემთხვევითი სიდიდით. X და Y-ის განაწილების უცნობი პარამეტრები უნდა „შევაფასოთ“ სტატისტიკური მონაცემების გამოყენებით [1,2].

შესასწავლი ნიშან-თვისების, კერძოდ, სტუდენტთა ქულების (X და Y) ალბათური განაწილების (კერძოდ, ამ შემთხვევაში ნორმალურობის) საჩვენებლად, ავაგოთ მოპოვებული სტატისტიკური მონაცემების სიხშირეთა ან ფარდობით სიხშირეთა განაწილების ჰისტოგრამა. ჩვენ შემთხვევაში ამ ჰისტოგრამებს აქვს სახე (ნახ. 1 და 2) [2].

ქართულენოვანი X ჯგუფისათვის და ინგლისურენოვანი Y ჯგუფისათვის. შევადგინეთ შემდეგი გათვლებისათვის საჭირო ცხრილები (ცხრ. 1 და 2). ამასთან, განაწილების ნორმალურობის შესამოწმებლად განვიხილეთ საშუალოდან გადახრების „სტანდარტულ“ ინტერვალებში მონაცემთა სიხშირეების პროცენტული განაწილება (პროცენტილები) [M-S; M+S]-ში 68,3%; [M-2S; M+2S]-ში – 95,5%, [M-3S; M+3S]- ში – 99,7%.



ნახ. 1. შეთანხმება პროცენტილებსა და საშუალო მნიშვნელობიდან სტანდარტული გადახრის რიცხვებს შორის

განაწილების პარამეტრების გამოთვლის ალგორითმი

ცხრილი 1. საშუალო მნიშვნელობისა და სტანდარტული გადახრის გამოთვლა X ჯგუფის სტუდენტთა პოპულაციისათვის

	X	(X-M)	(X-M) ²	(X-M) ³	(X-M) ⁴
1	71	0.620689655	0.385255648	0.239124195	0.148421914
2	93	22.62068966	511.6956005	11574.90738	261832.3875
3	76	5.620689655	31.5921522	177.5696831	998.0640806
4	87	16.62068966	276.2473246	4591.42105	76312.58436
5	57	-13.37931034	179.0059453	-2394.976096	32043.12845
6	64	-6.379310345	40.69560048	-259.6098651	1656.131898
7	61	-9.379310345	87.97146254	-825.1116487	7738.978222
8	18	-52.37931034	2743.592152	-143707.4648	7527297.898
9	51	-19.37931034	375.5576694	-7278.048628	141043.5631
10	100	29.62068966	877.3852556	25988.75637	769804.8868
11	48	-22.37931034	500.8335315	-11208.30903	250834.2263
12	73	2.620689655	6.868014269	17.99893395	47.16962
13	68	-2.379310345	5.661117717	-13.46955595	32.04825381
14	60	-10.37931034	107.7300832	-1118.163967	11605.77083
15	60	-10.37931034	107.7300832	-1118.163967	11605.77083
16	97	26.62068966	708.6611177	18865.04769	502200.5798
17	66	-4.379310345	19.1783591	-83.98798639	367.8094576
18	77	6.620689655	43.83353151	290.2082086	1921.378485
19	62	-8.379310345	70.21284185	-588.3351921	4929.843161
20	85	14.62068966	213.764566	3125.385379	45695.28967
21	82	11.62068966	135.0404281	1569.262905	18235.91721
22	95	24.62068966	606.1783591	14924.52925	367452.203
23	66	-4.379310345	19.1783591	-83.98798639	367.8094576
24	58	-12.37931034	153.2473246	-1897.096191	23484.7425
25	100	29.62068966	877.3852556	25988.75637	769804.8868
26	95	24.62068966	606.1783591	14924.52925	367452.203
27	61	-9.379310345	87.97146254	-825.1116487	7738.978222
28	56	-14.37931034	206.764566	-2973.131863	42751.58575
29	54	-16.37931034	268.2818074	-4394.270983	71975.12817

1. მონაცემთა ჯამი $\sum x = 2041$

2. მონაცემთა მოცულობა $N=29$

3. არითმეტიკული საშუალო ფორმულით $M_1 = \frac{\sum x}{n} = 70.3793103$.

4. შესწორებული სტანდარტული გადახრა (შესწორებული საშუალო კვადრატული გადახრა)

$$S_1 = \sqrt{\frac{\sum (X - M)^2}{n - 1}} = 18.7738682 \text{ 2.}$$

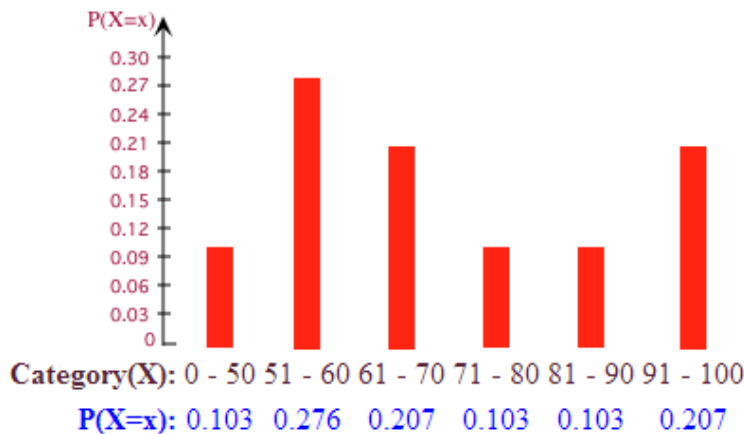
5. სტანდარტული გადახრის ცდომილება $m_1 = \frac{S}{\sqrt{n}} = 3.486219809$.

6. მოდალური ინტერვალის მიხედვით მოდა $M_o=61$ და მედიანა $Me=66$.

7. ასიმეტრიის კოეფიციენტი $A_s = \frac{\frac{1}{n} \sum (X - M)^3}{S^3} = 0.295636$.

8. შერჩევითი ექსცესის კოეფიციენტი $E_x = \frac{\frac{1}{n} \sum (X - M)^4}{S^4} = 3.141428115$.

სტუდენტთა X ჯგუფისათვის ქულების სიხშირეთა ჰისტოგრამას აქვს შემდეგი სახე:



ნახ. 2. X ქულათა ფარდობით სიხშირეების განაწილება

კრიტიკულ ინტერვალებში მონაცემთა პრიცენტული რაოდენობა X ჯგუფის პოპულაციისთვის

[M-S; M+S]; [51,60544212 ; 89,15317857] 69%
 [M-2S; M+2S]; [32,8315739 ; 107,9270468] 97%
 [M-3S; M+3S]; [14,05770567; 126,700915] 100%

განაწილების მრუდის სახე დაახლოებით ნორმალურია, ასიმეტრიულია მოდის მარცხნივ, შესაბამისი ემპირიული რიცხვითი მახასიათებლები გამოვთვალეთ ცხრ. 1-ის მიხედვით.

- სტუდენტთა X ჯგუფის ნორმალური პოპულაციის უცნობი მათემატიკური ლოდინისათვის სტატისტიკური მონაცემების მიხედვით მივიღეთ გადაუადგილებელი (ჩაუნაცვლებადი) წერტილოვანი, „კარგი“ სტატისტიკური შეფასება, რომელიც ტოლი აღმოჩნდა 70.379. ე.ი. სტუდენტთა საშუალო რეიტინგული ქულა შეფასდა 70 ქულით $M(x) \approx 70$.

- ამ პოპულაციის უცნობი სტანდარტული σ_1 გადახრისათვის, სტატისტიკური მონაცემების მიხედვით მივიღეთ წერტილოვანი, „კარგი“ სტატისტიკური შეფასება, რომელიც შესწორებული ემპირიული სტანდარტული გადახრის ტოლია:

S=18.77386822. ლიტერატურაში სტანდარტული გადახრის შეცდომის გათვალისწინებით, პოპულაციის თეორიული განაწილების უცნობი სტანდარტული გადახრისათვის მივიღეთ შემდეგი შეფასება:

$$m_1 = \frac{S}{\sqrt{n}} = 3.486219809$$

ცხრილი 2. საშუალო მნიშვნელობისა და სტანდარტული გადახრის გამოთვლა Y ჯგუფის პოპულაციისათვის

N	X	(Y-M)	(Y-M) ²	(Y-M) ³	(Y-M) ⁴
1	75	4.290322581	18.40686785	78.97140076	338.8127839
2	64	-6.709677419	45.01977107	-302.0681414	2026.779787
3	69	-1.709677419	2.922996878	-4.99738176	8.54391075
4	64	-6.709677419	45.01977107	-302.0681414	2026.779787
5	88	17.29032258	298.9552549	5169.032795	89374.24446
6	61	-9.709677419	94.27783559	-915.4073714	8888.310283
7	32	-38.70967742	1498.439126	-58004.0952	2245319.814
8	100	29.29032258	857.9229969	25128.84133	736031.8686
9	81	10.29032258	105.8907388	1089.649861	11212.84857
10	65	-5.709677419	32.60041623	-186.1378604	1062.787139
11	61	-9.709677419	94.27783559	-915.4073714	8888.310283
12	75	4.290322581	18.40686785	78.97140076	338.8127839
13	63	-7.709677419	59.43912591	-458.2564869	3533.009689
14	83	12.29032258	151.0520291	1856.478165	22816.71551
15	80	9.290322581	86.31009365	801.848612	7449.432266
16	59	-11.70967742	137.1165453	-1605.590514	18800.94699
17	60	-10.70967742	114.6971904	-1228.36991	13155.44549
18	96	25.29032258	639.6004162	16175.70085	409088.6924
19	88	17.29032258	298.9552549	5169.032795	89374.24446
20	73	2.290322581	5.245577523	12.01406465	27.51608355
21	68	-2.709677419	7.342351717	-19.89540465	53.91012874
22	67	-3.709677419	13.76170656	-51.05149206	189.3845673
23	87	16.29032258	265.3746098	4323.037998	70423.68352
24	53	-17.70967742	313.6326743	-5554.33349	98365.45439
25	55	-15.70967742	246.7939646	-3877.053573	60907.26097
26	57	-13.70967742	187.9552549	-2576.805915	35327.17786
27	92	21.29032258	453.2778356	9650.431338	205460.7962
28	66	-4.709677419	22.18106139	-104.465644	491.9994846
29	68	-2.709677419	7.342351717	-19.89540465	53.91012874
30	63	-7.709677419	59.43912591	-458.2564869	3533.009689
31	79	8.290322581	68.72944849	569.7892988	4723.73709

სტუდენტთა Y ჯგუფისათვის იგივე მეთოდით ჩატარებული სტატისტიკური ანალიზი გამოიყურება შემდეგნაირად:

1. მონაცემთა ჯამი $\sum x = 2192$
2. მონაცემთა მოცულობა $N=31$
3. არითმეტიკული საშუალო $M_2 = 70.70968$
4. სტანდარტული გადახრა (შესწორებული საშუალო კვადრატული გადახრა)

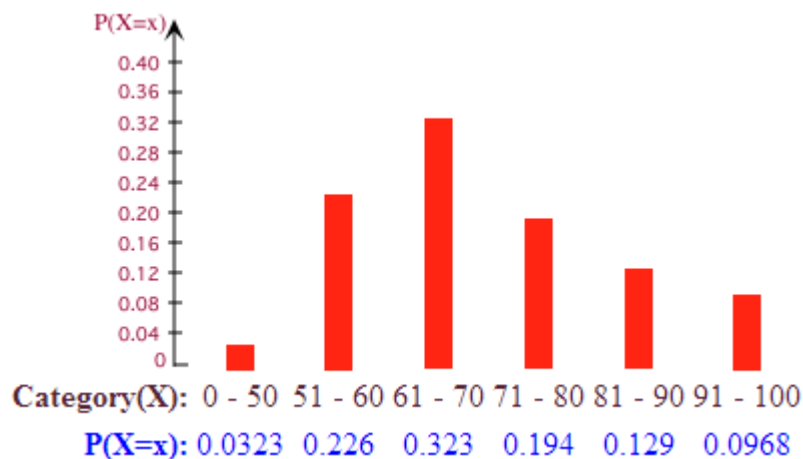
$$S_2 = \sqrt{\frac{\sum (Y - M)^2}{n - 1}} = 14.4342037$$

5. სტანდარტული გადახრის ცდომილება $m_2 = \frac{S}{\sqrt{n}} = \frac{8,54}{5,47} = 2.5924595166$. მოდალური ინტერვალის მიხედვით, მოდა $Mo=75$ და მედიანა $Me=68$.

7. შერჩევითი ასიმეტრიის კოეფიციენტი $A_s = \frac{\frac{1}{n} * \sum (Y - M)^3}{S^3} = -0.069511822$

8. შერჩევითი ექსცესის კოეფიციენტი $E_x = \frac{\frac{1}{n} * \sum (Y - M)^4}{S^4} = 3.083480592$

სტუდენტთა ჯგუფისათვის ქულათა სიხშირეთა განაწილების ჰისტოგრამას აქვს შემდეგი სახე:



ნახ. 3. Y ქულათა ფარდობით სიხშირეების განაწილება

[M-S; M+S]; [56,27547372; 85,14388112] 71%
 [M-2S; M+2S]; [41,84127001; 99,57808483] 94%
 [M-3S; X+3S]; [27,40706631; 114,0122885] 100%

• სტუდენტთა Y ჯგუფის ნორმალური პოპულაციის უცნობი მათემატიკური ლოდინისათვის სტატისტიკური მონაცემების მიხედვით მივიღეთ გადაუადგილებელი (ჩაუნაცვლებადი) წერტილოვანი, „კარგი“ სტატისტიკური შეფასება, რომელიც ტოლია 70,71, ე.ი. საშუალო ქულა შეფასდა 71-ით, $M(Y) \approx 71$. ამ პოპულაციის უცნობი

სტანდარტული გადახრის შეფასებაა $S=14.4342037$. სტანდარტული გადახრის შეცდომის გათვალისწინებით, პოპულაციის თეორიული განაწილების უცნობი სტანდარტული გადახრისათვის მიღებულია შემდეგი შეფასება:

$$m_2 = \frac{S}{\sqrt{n}} = \frac{8,54}{5,47} = 2.592459516$$

II ეტაპი: ნდობის ინტერვალების აგება პოპულაციის უცნობი მათემატიკური ლოდინისათვის.

X ჯგუფის სტუდენტთა ქულების მათემატიკური ლოდინის (თეორიული საშუალოს) შეფასებისათვის პრაქტიკული და თეორიული მოსაზრებიდან გამომდინარე, ცხადია ზემოთ განხილული შეფასებები დამაკმაყოფილებელი აღბათ ვერ იქნება, ამიტომ მიზანშეწონილია ავაგოთ შეფასების ნდობის ინტერვალი. ამ ეტაპზე არ იქნება საკამათო თუ სანდოობის დონედ მივიღებთ 90%-ს. ანუ სანდოობის აღბათობა $p=0,9$, მნიშვნელოვნობის დონე $\alpha = 1 - p = 0,1$ ხოლო $\frac{\alpha}{2} = 0,05$.

რადგან სტუდენტთა პოპულაციის განსაზღვრელი X შემთხვევითი სიდიდე ნორმალურადაა განაწილებული, ემპირიული საშუალო მივიღეთ $M=70,37931034$.

დაახლოებით 70, პოპულაციის სტანდარტული გადახრა უცნობია, მაგრამ ზოგიერთი ავტორის მიხედვით მის მნიშვნელობად ავიღებთ $m = 18,77386822$

$Z_{0,005} = 1,65$ ამიტომ 90% ნდობის ინტერვალს X პოპულაციის უცნობი მათემატიკური ლოდინისათვის აქვს სახე:

$$\left(70 - 1,65 \cdot \frac{18,77}{\sqrt{29}}; 70 + 1,65 \cdot \frac{18,77}{\sqrt{29}} \right)$$

ანალოგიური მეთოდით მოიძებნება ნდობის ინტერვალი Y პოპულაციის უცნობი მათემატიკური ლოდინისათვის.

$$\left(71 - 1,65 \cdot \frac{14,43}{\sqrt{31}}; 71 + 1,65 \cdot \frac{14,43}{\sqrt{31}} \right)$$

III. სტიუდენტის კრიტერიუმის გათვლა

ამრიგად, ჩვენ დავუშვით, რომ შემთხვევითი შერჩევის პრინციპით მოპოვებული მონაცემები სტუდენტთა ორივე ჯგუფისათვის ნორმალური განაწილების შესატყვისია, ძირითად დაკვირვებათა რაოდენობა 29 და 31-ია. $n \geq 29$ ცნობილია, რომ ასეთ შემთხვევაში საქმე გვაქვს ნორმალურ და მიახლოებით ნორმალურ განაწილებებთან.

საინტერესო ამოცანაა სტუდენტთა ამ ორი ჯგუფის შედარება. სახეზეა ორი – X და Y ჯგუფის შემთხვევითი ამორჩევა, ანუ შემთხვევითი დაკვირვება ერთი და იმავე დღეებში და ერთი და იმავე პირობებში. მიღებულია სტატისტიკური მონაცემები ორი ჯგუფისათვის. ვიყენებთ სტიუდენტის კრიტერიუმს სხვადასხვა მოცულობის ორი სტატისტიკური შერჩევისათვის და შევაფასოთ მიღებული შედეგი.

განსხვავებულ მოცულობიანი შერჩევების შემთხვევაში სტიუდენტის კრიტერიუმს აქვს სახე:

$$t = \frac{M_1 - M_2}{\sqrt{\frac{S^2}{n_1} + \frac{S^2}{n_2}}} \quad (2)$$

სადაც S^2 დისპერსიის გაერთიანებული შეფასებაა ორი შერჩევისათვის:

$$S^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 - (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \quad (3)$$

გამოთვლების შედეგად ვღებულობთ:

$$S^2 = \frac{(29 - 1)18,77^2 - (31 - 1)14,34^2}{29 + 31 - 2} = 63,73$$

$$t = \frac{-0,33}{\sqrt{2,2 + 2,1}} = \frac{-0,33}{\sqrt{4,3}} = -0,16$$

IV ეტაპი. ორი ჯგუფის საშუალოთა შედარება სტიუდენტის კრიტერიუმის გამოყენებით

საინტერესოა პასუხი კითხვაზე, რამდენად დიდ გავლენას ახდენს მითითებულ საგანში სტიუდენტთა აკადემიური მოსწრების საშუალო დონეზე ინგლისური ენის უფრო ღრმად ცოდნა. ანუ ამ ფაქტს მიჟვავართ აკადემიური დონის ამადლებისაკენ?

გავიხილოთ ნულოვანი H_0 ჰიპოთეზა: ჯგუფების აკადემიური მოსწრების დონე არაა დამოკიდებული ენის ცოდნაზე და ალტერნატიული ჰიპოთეზა H_1 : ინგლისური ენის ღრმად ცოდნა იწვევს ალბათობის თეორისა და მათემატიკურ სტატისტიკაში აკადემიური დონის ამადლებას.

შენიშვნა: როგორც წესი, ნულოვან ჰიპოთეზას ვაყალიბებთ ისე, რომ ის განიხილებოდეს როგორც ალტერნატიული ვარიანტი საკვლევი მეცნიერული იდეისა, რასაც ალტერნატიულ H_1 ჰიპოთეზას ვუწოდებთ.

შედეგების ინტერპრეტაცია

კრიტერიუმის შეფასების ზოგადი პრინციპი გამომდინარეობს სტიუდენტის T (t) კრიტერიუმის მიხედვით მიღებული სახიდან. რაც უფრო ახლოსაა კრიტერიუმის წილადის მრიცხველში მოთავსებული საშუალოთა სხვაობა (გამოთვლილი დაკვირვებების სტატისტიკური მონაცემების მიხედვით), მით უფრო მცირეა, ანუ მით უფრო დიდია ნულოვანი ჰიპოთეზის მიღების ალბათობა და პირიქით, რაც უფრო დიდია t -ს მიღებული მნიშვნელობა, მით უფრო დიდია საფუძველი ნულოვანი ჰიპოთეზის უარყოფისა და თქმა იმ ფაქტისა, რომ განსხვავება საშუალოებს შორის სტატისტიკურად მნიშვნელოვანია. სტატისტიკაში ცნობილია, რომ I და II გვარი შეცდომების დაშვება. t კრიტერიუმის ის კრიტიკული მნიშვნელობა, რომლიდანაც დაწყებული ნულოვან ჰიპოთეზას ვუარყოფთ, განიხილება როგორც კრიტიკული მნიშვნელობა და აღინიშნება t_{α} -თი, სადაც α კრიტერიუმის მნიშვნელოვნების დონეა, ის ნულოვანი ჰიპოთეზის შეცდომით უარყოფის ალბათობაა და ჩვენთვის ცნობილი სტატისტიკური მოსაზრებებიდან გამომდინარე, არ უნდა აღემატებოდეს დასაშვებ გარკვეულ საზღვრებს, დაუშვათ, 5%-ს, ანუ ჩავეწერთ: $\alpha=0,05$.

თავისუფლების ხარისხი $\gamma = n_1 + n_2 - 2 = 29 + 31 - 2 = 58$ და წარმოადგენს შემთხვევითი შერჩევის იმ მიღებულ მოცულობის სიდიდეს, რომელიც კრიტიკულ მნიშვნელობაზე მოქმედებს. (მის გამოსათვლელად სხვა ფორმულებიც არსებობს).

ჩვენს გათვლებში მნიშვნელობის დონეა $\alpha=0,05$, თავისუფლების ხარისხი $\gamma=58$. ვისარგებლებთ სტატისტიკური სტიუდენტის განაწილების კრიტიკული წერტილების საპოვნელი ცხრილით [3]. მოცემული α -თვის თავისუფლების ხარისხის 58-ის შესაბამისი მნიშვნელობა არ მოიძებნება, ამიტომ ავიღებთ უახლოეს მნიშვნელობას $\gamma=60$ და ამიტომ შესაბამისი კრიტიკული $t_{\alpha} = t_{0,05}$ -ის მნიშვნელობაა 2,00. ე.ი. კრიტიკული წერტილი $t_{\alpha} = t_{0,05} = 2,00$, რაც იმას ნიშნავს, რომ თუ (2) და (3) ფორმულებით გამოთვლილი t -ს ყველა მნიშვნელობა $t > 2,00$, მაშინ ნულოვანი

ჰიპოთეზა H_0 უნდა უარყოთ და ვიტყვი, რომ აკადემიურ ჯგუფებს შორის განსხვავება სტატისტიკურად მნიშვნელოვანია, მაგრამ ჩვენს შემთხვევაში $t = -0,16$. რეალურად სტატისტიკურ მონაცემებზე დაყრდნობით, $t = -0,16 < 2,00$ (ცხრილით სარგებლობა ორმხრივია, ერთნაირია დადებითი და უარყოფითი t -სათვის [3]), რაც უკვე იმას ნიშნავს, რომ სინამდვილეში შემთხვევით შერჩეული ორი X და Y ჯგუფისათვის სტატისტიკური მონაცემების მიხედვით გამოთვლილი t კრიტერიუმის შესაბამისად ჰიპოთეზის H_0 : აკადემიური მოსწრების საშუალო დონე არაა ინგლისური ენის დრმა ცოდნაზე დამოკიდებული, უარყოფის საფუძველი გვაქვს. ე.ი. დასკვნა: საფუძველი არ გვაქვია დებულების: X და Y ჯგუფების აკადემიური მოსწრების საშუალო ქულებს შორის მითითებულ საგანში განსხვავება არაა - უარყოფის საფუძველი არ გვაქვს.

ლიტერატურა

1. ბუაძე ტ. ლაბორატორიული მონაცემების სტატისტიკური დამუშავებისა და ანალიზის ზოგადი მეთოდი. ნაწილი I. //Georgian Engineering News. N4 (vol.80), 2016. გვ. 43-52.
2. Прангишвили А. И., Цихелашвили З. И., Буадзе Т.Г. Единая методика анализа нестационарности процесса водопотребления с применением параметрических и непараметрических критериев математической статистики. //Georgian Engineering News, N1, 2009, сс. 80-85.
3. В. Е. Гмурман. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике. -М.. Высшая школа. 1975, с. 333.

SUMMARY

GENERAL METHOD OF STATISTICAL DATA PROCESSING AND ANALYSIS

Buadze T.G.

Georgian Technical University

The article deals with a general statistical method of processing, analysis and prediction of statistical data by the example of academic groups randomly selected from electronic base of students' testing. The offered general statistical method allows predicting the probability distribution of basic characteristic factors and components of the teaching-academic process and establishing the correlation dependence between them.

Keywords: statistical data, Gaussian distribution, arithmetic mean, corrected standard deviation, confidential interval, Student's criterion.

ОБ ОПТИМАЛЬНОМ РЕШЕНИИ ЛИНЕЙНЫХ ЗАДАЧ БУЛЕВОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Мestiaшвили К.В., Мtvრალაშვილი Т.И., Мestiaшვილი В.К.

Грузинский технический университет

Введение

В теории оптимизации задачами псевдобулевой оптимизации называются задачи оптимизации вещественных функций, определенных на множестве булевых переменных.

Формальная постановка задачи псевдобулевой оптимизации выглядит следующим образом:

$$F(x) \rightarrow \text{ext} ,$$

где $F: S \rightarrow R$. $S \subset B_2^n$ - некоторая подобласть пространства булевых переменных, определяемая заданной системой ограничений.

Одномерная задача о рюкзаке

Под этим обычно понимается следующая задача целочисленного линейного программирования (ЛП) с матрицей, имеющей одну строку:

$$Z = \sum_{j=1}^n c_j x_j \rightarrow \max , \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^n a_j x_j \leq b , \quad x_j \in \{0,1\} ; \quad j = 1, 2, \dots, n . \quad (2)$$

Предположим, что все коэффициенты a_j ($j = 1, 2, \dots, n$) целые, $a_j \geq 0$ и что b целое и неотрицательное; коэффициенты c_j ($j = 1, 2, \dots, n$) могут быть любыми вещественными.

Для простоты изложения будем считать, что

$$c_1 \geq c_2 \geq \dots \geq c_n . \quad (3)$$

Ряд практических задач (задача о рюкзаке одномерная и многомерная, задача из криптографии [1], формирование оптимального кредитного портфеля банка, некоторые задачи экономики [2] (теория игр), задачи из теории графов [3] и др.) приводят к задачам вида (1)-(2).

Для определения оптимального решения вышеуказанной задачи (1)-(2) рассмотрим следующий метод:

Определим начальное приближение $X^0 = (x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0)$ следующим образом:

Положим $b_1 = b$,

$$x_k^0 = \begin{cases} 1, & \text{если } b_k \geq a_k, \\ 0, & \text{если } b_k < a_k, \end{cases} \quad (4)$$

$$k = 1, 2, \dots, n-1, n$$

$$b_{k+1} = b_k - a_k x_k^0 ,$$

Для нулевого приближения X^0 примем $X^0 = (x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0)^T$. Соответственно,

$$Z^0 = Z(X^0) = \sum_{j=1}^n c_j x_j^0 . \quad (5)$$

Замечание 1. Ни один компонент вектора X^0 нельзя увеличить на единицу, иначе получим недопустимый вектор.

Замечание 2. Если хотя-бы один компонент вектора X^0 уменьшить на единицу, то получим или недопустимый вектор, или допустимый, но с меньшим значением функции цели Z .

Из этих замечаний вытекает, что для получения оптимального решения задачи (1)-(2) варированию подлежит первая ненулевая компонента вектора X^0 .

Итерационный процесс для решения задачи (1)-(2) предложим в следующем виде:

Пусть X^{k-1} известно ($k \geq 1$). Для улучшения X^{k-1} определим \tilde{X}^{k-1} следующим образом:

$$\tilde{X}^{k-1} = (x_1^{k-1}, x_2^{k-1}, \dots, x_{k-1}^{k-1}, \tilde{x}_k^{k-1}, x_{k+1}, x_{k+2}, \dots, x_n)^T, \quad (6)$$

где $\tilde{x}_k^{k-1} = 1 - x_k^{k-1}$; $x_1^{k-1}, x_2^{k-1}, \dots, x_{k-1}^{k-1}$ первые $k-1$ компоненты вектора X^{k-1} , а $x_{k+1}, x_{k+2}, \dots, x_n$ искомые неизвестные, для определения которых решаем следующую задачу ЛП:

$$a_{k+1}x_{k+1} + a_{k+2}x_{k+2} + \dots + a_n x_n \leq b_{k+1}, b_{k+1} = b_k - a_k \tilde{x}_k^{k-1} \quad (7)$$

$$\tilde{Z}^{k-1} = c_1 x_1^{k-1} + c_2 x_2^{k-1} + \dots + c_{k-1} x_{k-1}^{k-1} + c_k \tilde{x}_k^{k-1} + c_{k+1} x_{k+1} + c_{k+2} x_{k+2} + \dots + c_n x_n \rightarrow \max \quad (8)$$

Задачу (7)-(8) решаем следуя формулам из (4).

Если $Z(\tilde{X}^{k-1}) > Z(X^{k-1})$, то полученный вектор \tilde{X}^{k-1} считаем улучшением X^{k-1} , примем $X^k = \tilde{X}^{k-1}$ (иначе $X^k = X^{k-1}$) и для оптимизации X^k переходим к вектору \tilde{X}^k и т.д.

Из способа построения векторов X^1, X^2, \dots, X^n видно, что полученный в результате этого итерационного процесса вектор X^n является оптимальным.

Доказательство проводится методом математической индукции.

Замечание 3. Вышеизложенный метод применим и для любых значений чисел a_i, c_i ($i = 1, 2, \dots, n$) и $b \geq 0$.

Многомерная задача о рюкзаке

Рассмотрим задачу о многомерном рюкзаке, которая является прямым расширением предыдущей задачи и которая может быть записана в матричной форме:

$$Z = \sum_{j=1}^n c_j x_j \rightarrow \max, \quad (9)$$

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq b_2 \quad (10)$$

.....

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \leq b_m$$

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

Здесь A - матрица порядка $m \times n$, с неотрицательными целыми коэффициентами, X - вектор размерности n , B - вектор с целыми положительными компонентами размерности m .

Эти матрицы встречаются при постановке таких задач, как определение воздушного флота, требуемого для реализации данного множества полетов с минимальной стоимостью (см. [2]), задачи из теории графов и др.

Алгоритм решения многомерной задачи:

Определим начальное приближение $X^0 = (x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0)$ следующим образом.

Положим $B^1 \equiv B$.

$$x_k^0 = \begin{cases} 1, & \text{если } b_k^0 \geq \min_i a_{ik}, \\ 0, & \text{если } b_k^0 < \min_i a_{ik} \end{cases} \quad (11)$$

$$k = 1, 2, \dots, n$$

$$B^{k+1} = B^k - A \cdot X^k$$

Таким образом X^0 определен. Соответственно примем

$$Z^0 = \sum_{j=1}^n c_j x_j^0 \quad (12)$$

Для решения задачи (9)-(10) предложим следующий итерационный процесс:

Пусть $X^{k-1} = (x_1^{k-1}, x_2^{k-1}, \dots, x_n^{k-1})$ определен ($k \geq 1$).

Для улучшения X^{k-1} определим \tilde{X}^{k-1} следующим образом:

$$\tilde{X}^{k-1} = (x_1^{k-1}, x_2^{k-1}, \dots, x_{k-1}^{k-1}, x_k^{k-1}, x_{k+1}, x_{k+2}, \dots, x_n) \quad (13)$$

$$x_k^{k-1} = 1 - x_k^{k-1} \quad (14)$$

где, $x_1^{k-1}, x_2^{k-1}, \dots, x_{k-1}^{k-1}, x_k^{k-1}$ первые $(k-1)$ компоненты вектора X^{k-1} , а $x_{k+1}, x_{k+2}, \dots, x_n$ - искомые неизвестные, для определения которых решаем следующую задачу ЛП:

$$a_{1,k+1} \cdot x_{k+1} + a_{1,k+2} \cdot x_{k+2} + \dots + a_{1,n} \cdot x_n \leq b_k - a_{1,k} \cdot x_k$$

$$a_{2,k+1} \cdot x_{k+1} + a_{2,k+2} \cdot x_{k+2} + \dots + a_{2,n} \cdot x_n \leq b_k - a_{2,k} \cdot x_k$$

.....

$$a_{m,k+1} \cdot x_{k+1} + a_{m,k+2} \cdot x_{k+2} + \dots + a_{m,n} \cdot x_n \leq b_k - a_{m,k} \cdot x_k, \quad (15)$$

$$\tilde{Z}^{k-1} = c_1 \cdot x_1^{k-1} + \dots + c_{k-1} \cdot x_{k-1}^{k-1} + c_k \cdot \tilde{x}_k^{k-1} + c_{k+1} \cdot x_{k+1} + c_{k+2} \cdot x_{k+2} + \dots + c_n \cdot x_n \rightarrow \max \quad (16)$$

Задачу (15)-(16) решаем, следуя (11).

Если $\tilde{Z}(X^{k-1}) > Z(X^{k-1})$, то полученный вектор \tilde{X}^{k-1} считаем улучшением X^{k-1} , и примем $X^k = \tilde{X}^{k-1}$ (иначе $X^k = X^{k-1}$) и для оптимизации X^k переходим к вектору \tilde{X}^k и т.д.

Замечание 4. Вышеизложенный метод применим и для любых значений чисел a_{ij} ($i = 1, 2, \dots, m$), ($j = 1, 2, \dots, n$), $b_i \geq 0$ ($i = 1, 2, \dots, m$), и c_i ($i = 1, 2, \dots, n$).

В заключение отметим, что из способа построения векторов X^1, X^2, \dots, X^n видно, что полученный в результате этого итерационного процесса вектор X^n является оптимальным. Доказательство проводится методом математической индукции.

В качестве примера были рассмотрены задачи из [1,5].

Результаты численных экспериментов подтверждают высокую эффективность предложенного подхода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мину М. Математическое программирование. - М., Наука, 1990, 295 с.
2. Попов В.Б. Эволюционные стратегии формирования оптимального кредитного портфеля финансовых предприятий. Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского, 2011, т.24(63), №1, сс. 164-181.
3. Марчук Г.И. Методы вычислительной математики. - М., Наука, 1990, 608 с.
4. К. Мestiaшвили, Р. Сванидзе, М. Джохадзе. Эффективный метод вычисления энергетического спектра линейных сигналов. Тбилиси, 2007, Международная научная конференция „Информационные технологии в управлении”, т II, сс. 387-389.
5. Э. А. Мухачева, Г. Ш. Рубинштейн. Математическое программирование. - Новосибирск, Наука, 1977, 320 с.

SUMMARY

ON THE OPTIMAL SOLUTION TO LINEAR PROBLEMS OF BOOLEAN PROGRAMMING

Mestiashvili K.V., Mtvralashvili T.I. and Mestiashvili V.K.

Georgian Technical University

For optimal solution of the Boolean programming problem in both one- and multi-dimensional cases, there is offered an iteration method that is easily realized and more effective than the known ones. Moreover, the method does not require the compilation of tables.

Keywords: linear programming, Boolean variables, iteration process, objective function.

**CODE SCHEME BASED ON THE RINGS OF GAUSSIAN INTEGERS
AND CONTINUOUS PHASE MODULATION****Shavgulidze S.A. and Asanidze A.V.****Georgian Technical University**

Abstract. The $\frac{1}{2}$ rate channel encoder over the ring of integers modulo 4 combined with a 4-ary continuous phase modulation scheme (CPM) is considered. We are designing a serial interleaved concatenated channel code scheme, with inner CPM and outer non-binary convolutional encoder. Hard decoding techniques based on the Viterbi algorithm are investigated. We present the simulation results over additive white Gaussian noise channel and the Rician fading channel. The results can be easily generalized for the codes over Gaussian integers.

Keywords: convolutional codes, continuous phase modulation, concatenated codes, Viterbi decoder.

1. Introduction

The radio frequency spectrum is a limited natural resource. Therefore, digital satellite communication, digital radio links and digital land mobile radio schemes should use as narrow a bandwidth as possible. For many applications, power is also a limited resource. Therefore, it is advantageous to have a modulation method that is both power and bandwidth efficient. Another requirement for many applications is a constant amplitude. Continuous phase modulation (CPM) can be considered as an efficient constant amplitude modulation scheme with memory that simultaneously has a narrow main lobe, low spectral side lobes and good power efficiency.

In work [1], it is suggested that CPM could be decomposed into two parts: a continuous phase encoder (CPE) with memory and a memoryless modulator (MM). Such decomposition has two advantages [2]. Firstly, the “encoding” operation can be studied independently of modulation. The second advantage is that the isolation of the MM would allow the cascade of the MM, the wave form channel (e.g. additive white Gaussian noise (AWGN)) and the demodulator to be modeled as a discrete memoryless channel.

In [2,3], B. Rimoldi derived a generic decomposition model of a M -level CPFSK, comprising a continuous-phase encoder (CPE) and a memoryless modulator (MM). He showed that the CPE is a linear time-invariant encoder and the MM is another time-invariant device. It is of interest to combine optimally a convolutional coder with the CPE.

Gaussian integers are a subset of complex numbers such that the real and imaginary parts are integers. Block codes over Gaussian integers were first studied by K. Huber [4] and J. Rifa [5]. K. Huber also introduced the Mannheim distance as a performance measure for codes over Gaussian integers. Codes over Gaussian integers can be used for coding over two-dimensional signal spaces, e.g. using QAM signals. Similar code constructions were later considered in [6].

In this paper, a $\frac{1}{2}$ rate channel encoder (CE) over the ring of Gaussian integers combined with a 4-ary CPM scheme is considered. More specifically, a 2 raised cosine (2RC) scheme with a modulation index of $h=\frac{1}{4}$ is considered. The study concentrates on designing an effective serial interleaved concatenated channel code scheme, where the inner encoder is the extended CE and the outer encoder is another convolutional encoder. Hard decoding techniques based on the Viterbi algorithm are investigated. The design of each component is described in Section 2. Section 3 discusses the simulations executed and the results obtained. The construction can be easily applied to Gaussian integers. The conclusion is given in Section 4.

2. System Design

The structure of the coding scheme is shown in Fig. 1. The outer encoder is a quaternary convolutional encoder over the ring of integers modulo 4, while the inner encoder is the extended CE. No mapper is required between the two encoders, as both of them operate over the same algebra structure. Both the inner and outer quaternary decoders perform hard decision decoding based on the Viterbi algorithm. The 10X10 block interleaver/deinterleaver is used.

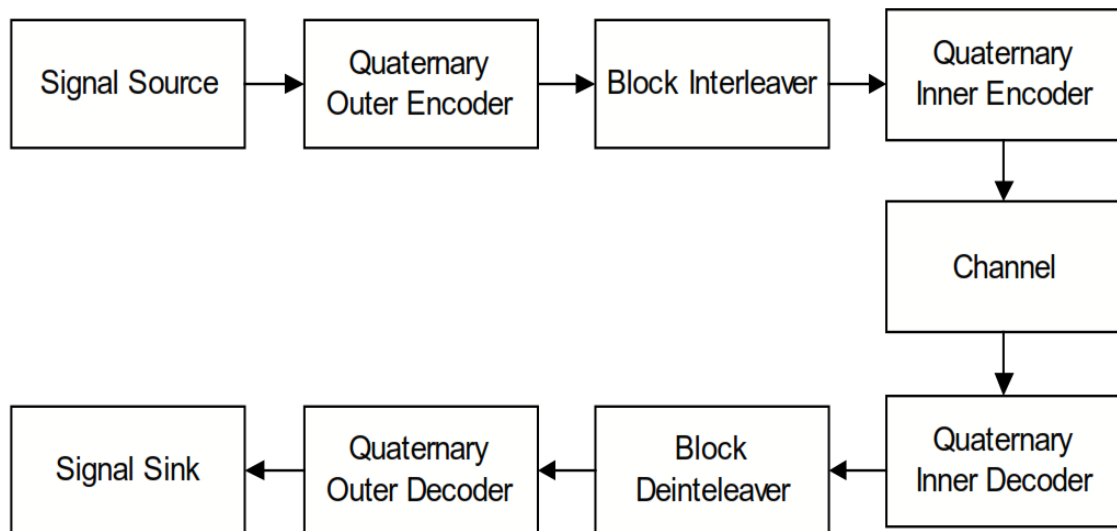


Fig. 1. Block diagram of the serial interleaved concatenate decoding system

Figure 2 shows the design of the extended CE. With the aim of evaluation of the system, a 2RC (partial-response) scheme with $h = \frac{1}{4}$ ($M=4$) was implemented using the base band decomposed CPM model. The CPE has two memory (delay) cells. One cell stores the previous transmitted symbol, while the other memory cell stores the sum (mod 4) of all previously transmitted symbols. The channel encoder (CE) is a quaternary convolutional encoder over the ring of integers modulo 4. It has 3 memory cells (memory cells D1 and 1D2 in Fig. 2 for the m part of the CPE). The total number of states generated by the extended CE will be M^v , where M is the alphabet size of the input symbol and v (3 in this case) is the constraint length of the extended CE. Hence, the coded quaternary scheme will need to process $4^3=64$ states for each received channel symbol. As there are 4 branches/waveforms emanating from and arriving at each state and each “analog” waveform is made of 8 samples, the total of $8 \times 4 \times 64=2048$ waveform samples would require processing for the extended CE at each iteration of the Viterbi algorithm.

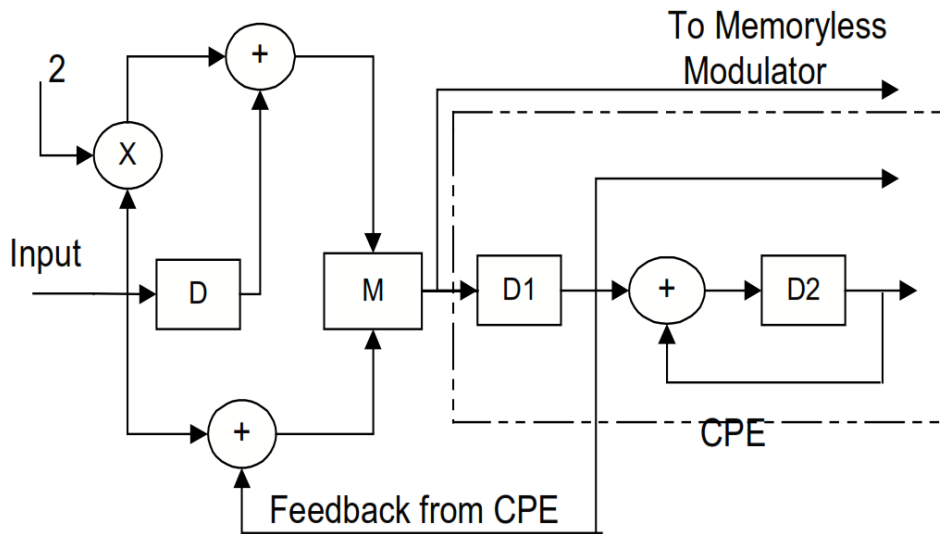


Fig. 2. The $\frac{1}{2}$ rate extended CE with feedback from the CPE. D denotes the memory cell, and M denotes the multiplexer. Additions are all modulo 4. D1 and D2 are the memory cells of the CPE

The raised-cosine (RC) phase function is implemented using two finite impulse response (FIR) digital filters, namely FIR filter A and FIR filter B as shown in Fig. 3. In this study, each output waveform is made of eight samples.

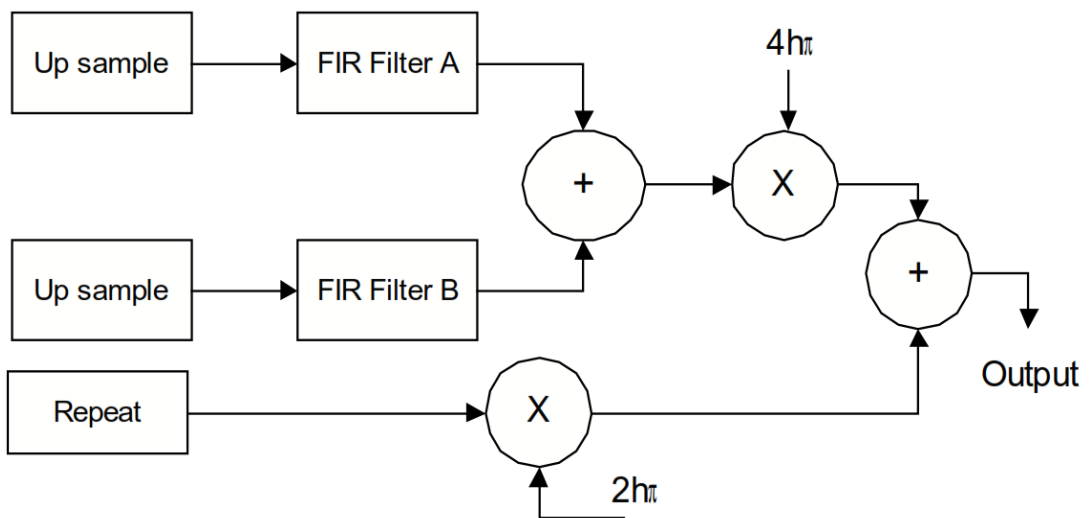


Fig. 3. Block diagram of the memoryless modulator. The Up Sample and Repeat blocks increase the samples of the input signals by a factor of 8; h denotes the modulation index

The outer encoder is a quaternary design as shown in Fig. 4. It has the constraint length of 3 and a generator polynomial of $(6.17)_{10}$.

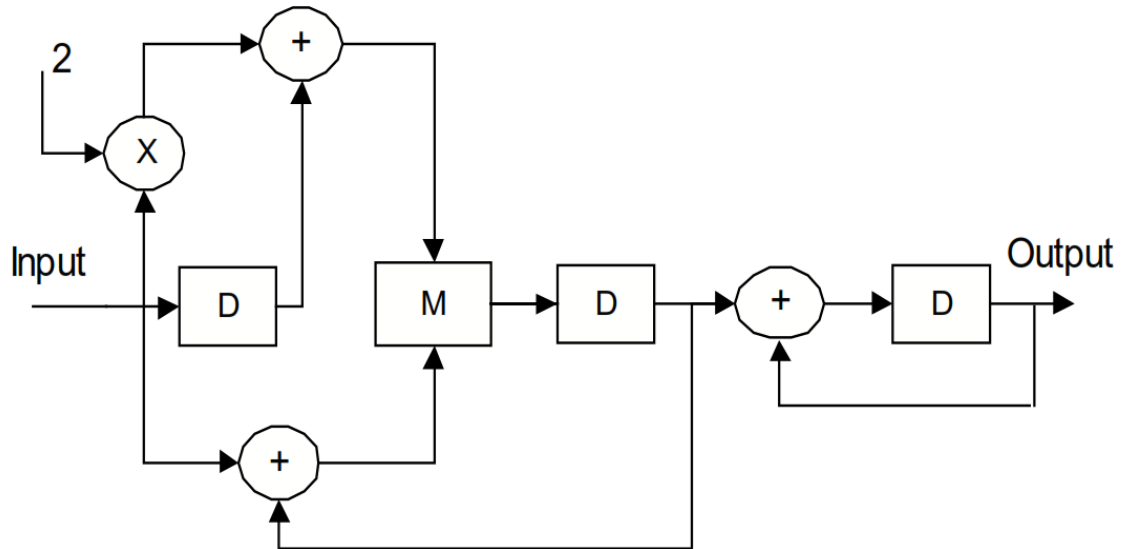


Fig. 4. The $\frac{1}{2}$ rate quaternary outer encoder. Additions are all modulo 4. D and M denote the memory cells and multiplexer, respectively

A general overview of the Viterbi decoder is shown in Fig. 5. The Viterbi algorithm was used to facilitate maximum-likelihood decoding of the convolutional code. It works by assigning probabilities (or metrics) to the states and branches in the receiver trellis. These probabilities aim to match the path made by the received symbols in the receiver trellis to the path made by the transmitted symbols in the transmitter trellis. In the trellis, all the branches connecting the states correspond to waveforms (from a finite set of 11 waveforms) that in turn correspond to a given transmitted symbol.

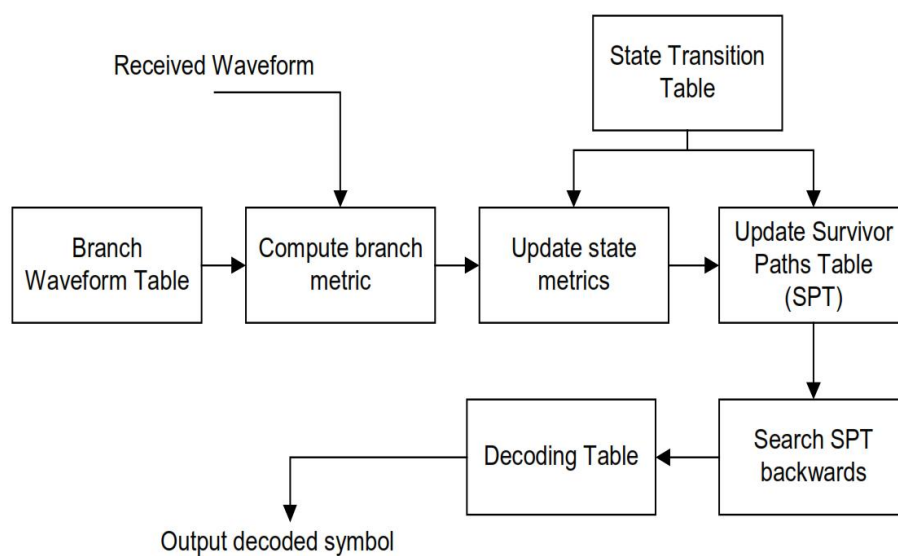


Fig. 5. High-level diagram of the Viterbi decoder

When a waveform (corrupted by additive noise or fading) is received, the Euclidean metrics) serve as a probability that the given waveform/symbol was actually sent. However, these branch metrics are not used in isolation. They are used in conjunction with the probabilities (state metrics) associated with the states of the trellis that each of the branches departs from. In this way, the Euclidean distance between the entire received sequence and the most likely path through the trellis can be calculated on a symbol-by-symbol basis. To implement the demodulator, three tables are required. They were generated using the decomposed CPM modulator and are used by the demodulator to decode the transmitted symbol sequence. The three tables are:

a) State Transition Table – which takes the current state and the symbol as its inputs, and the next state as outputs.

b) Waveform Table – which takes the current state and the symbol as its inputs, and the output waveform as outputs.

c) Decoding Table – which takes the current state and the previous state as its inputs, and the transmitted symbol as outputs.

In this design, we assume there are no parallel transitions between states. The advantage of the use of these tables is that the Viterbi demodulator does not need to be redesigned for each new scheme to accommodate more or less states or a different symbol alphabet size.

3. Simulations and Results

The entire code scheme (encoders, extended CE, Viterbi hard decision decoders) was built in software and tested using Monte-Carlo-based simulations. The results obtained were in terms of the bit error rate (BER) as a function of the signal-to-noise ratio (SNR). The simulations were executed in two types of channels, namely, the additive white Gaussian noise (AWGN) channel and the Rician fading channel. For the simulations in the Rician fading channel, the channel was designed with a Rician parameter (K) of 10. This parameter is defined as K - power of the dominant path/power of the scattered path. When $K=0$, the channel is a Rayleigh fading channel, and, when K is infinite, the channel is Gaussian. The fades have a high probability of being very deep when $K=0$ to being very shallow when $K=32$ (approaching Gaussian) [7]. In all the simulations, it was assumed the normalized bandwidth of $BT_s=1.2$, where B is the bandwidth, and T_s is the symbol duration. For the quaternary 2RC scheme, this bandwidth contains approximately 99.97% of the total power. The scheme has 64 states and the overall code rate of $1/4$ (both the inner and outer encoders have the code rate of $1/2$).

The results of the simulations are shown graphically in Fig. 6. ABER of 2.8×10^{-4} at 0.6d BSNR is obtainable in the AWGN channel. The scheme clearly shows the superior error correcting capability as compared to other modulation schemes like QPSK.

The results can be easily generalized for Gaussian integers [8]. We consider the set \mathcal{G}_{5^2} , which contains 25 elements. With maximum minimal distance partitioning, we obtain 5 subsets with 5 elements, where each subset has minimum the squared Euclidean distance $\delta = 5$. Note that, according to the construction presented in [9], there exists a complex residue ring with 25 elements

$$\mathcal{G}_{25} = \{z \bmod (4 + 3i), z \in \mathbb{Z}_{25}\}$$

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

Each subset can be used for signal-code construction presented in this paper. The simulation results show 0.1 dB gain compared to the above-described scheme.

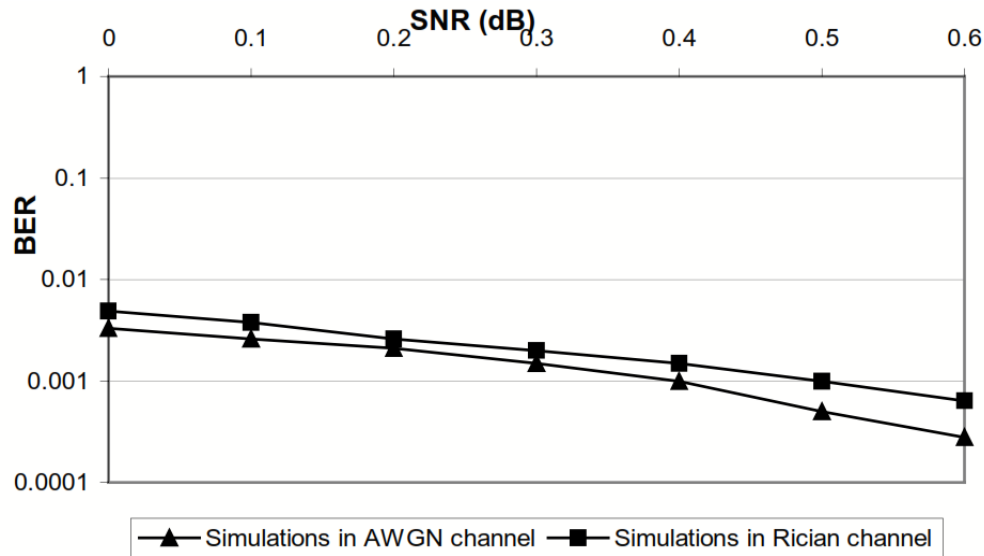


Fig. 6. BER as a function of SNR

4. Conclusion

A serial concatenated interleaved code scheme was studied. The scheme consists of the cascade of an outer encoder, an interleaver permuting the outer code word bits and an inner encoder whose input words are the permuted outer code words. The scheme was tested using Monte-Carlo-based simulations over AWGN and Rician channels. The scheme clearly shows good error correcting capabilities as compared to the schemes employing QPSK modulation. The results can be easily generalized for Gaussian integers. The main potential of application of these schemes is the improvement of already established standards, for example, GSM and cellular digital packet data.

This project was implemented by financial support of Shota Rustaveli National Science 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. J.L. Massey. The how and why of channel coding./Proc. Int. Zurich Seminar, Mar.1984, pp. F11(67)-F17(73).
2. B. Rimoldi. A decomposed approach to CPM//IEEE Trans. Inform. Theory, Mar. 1988, vol. 34, pp. 260-270.
3. B. Rimoldi. Design of coded CPFSK modulation system for bandwidth and energy efficiency.//IEEE Trans. Commun., Sept. 1989, vol. 37, pp. 897-905. .
4. K. Huber. Codes over Gaussian integers.//IEEE Trans. Inform. Theory, January 1994, vol. 40, pp. 207-216.
5. J. Rifa. Groups of complex integers used as QAM signals,//IEEE Trans. Inform. Theory, September 1995, vol. 41, No. 5, pp.. 1512-1517.
6. Xue-dong Dong, Cheong Boon Soh, E. Gunawan, Li-Zhong Tang. Groups of algebraic integers used for coding QAM signals.//IEEE Trans. Inform. Theory, May 1998. Vol. 44, pp. 1848-1860.
7. Mobile Radio Communications, R. Steele, Ed. – London, Pentech Press, 1994.

8. G.Z. Tsiklauri, S.A. Shavgulidze, A.V. Asnadze, J. Freudenberger. Generalized concatenated codes based on signal constellations over Gaussian Integers.//Georgian Engineering News, 2016, No. 1, pp. 5-13.

9. J. Freudenberger, F. Ghaboussi, S. Shavgulidze. Set partitioning and multilevel coding for codes over Gaussian integer rings./9th International ITG Conference on Systems, Communications and Coding (SCC), Jan. 2013. 5 p.

РЕЗЮМЕ

КОДОВАЯ СХЕМА НА БАЗЕ ГАУССОВЫХ ЦЕЛЫХ ЧИСЕЛ НАД КОЛЬЦОМ И МОДУЛЯЦИИ С НЕПРЕРЫВНОЙ ФАЗОЙ

Шавгулидзе С.А., Асанидзе А.В.

Грузинский технический университет

Рассматривается кодер канала над кольцом гауссовых целых чисел со скоростью $\frac{1}{2}$, который объединяется с 4-ичной схемой модуляции с непрерывной фазой (МНП). Мы строим серийную каскадную схему с перемежением, где на внутренней ступени используется МНП, а на внешней ступени - недвоичный сверточный код. Применяется алгоритм декодирования Витерби с "жесткими" решениями. Мы представляем результаты декодирования в каналах с аддитивным белым гауссовым шумом и в каналах с Райсовыми замираниями, Результаты могут быть легко обобщены для кодов над гауссовыми целыми числами.

Ключевые слова: сверточные коды, модуляция с непрерывной фазой, каскадные коды, декодер Витерби.

**ПРИМЕНЕНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ РАЗНОГО ТИПА
ДЛЯ АППРОКСИМАЦИИ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ ОРТОПЕДИЧЕСКОЙ
ОБУВНОЙ КОЛОДКИ**

Шаламберидзе М.М., Сохадзе З.П., Ломтадзе Н.З.

Государственный университет им. Акакия Церетели, Кутаиси

В обувной промышленности большое внимание уделяется вопросам проектирования колодок ортопедической обуви. Известно, что обувные колодки с геометрической точки зрения имеют сложные формы и их описание с помощью математических методов исследования представляет собой довольно длительный и трудоемкий процесс. Техническая сторона проектирования внутренней формы обуви (колодки) довольно разнообразна. В процессе проектирования колодок необходимо учитывать антропометрические данные и формы стопы. В зависимости от биомеханических свойств стопы необходимо преобразовать полученные параметры и на их основе определить поверхностные кривые колодок.

Разработка нового алгоритма, описывающего геометрическую поверхность колодки, и его применение на практике является одной из главных и насущных проблем в обувной промышленности. Алгоритмы внутренней формы обуви рассмотрены в научных трудах ряда исследователей [1-4]. Для разработки алгоритмов и описания поперечно-вертикальных и продольно-горизонтальных сечений колодок использовались следующие методы исследования: радиус графический, биквадратный сплайн, бикубический интерполярный сплайн и др. Перечисленные методы довольно сложные и требуют слишком много времени в процессе проектирования обувной колодки, а также характеризуются определенными погрешностями.

Группа авторов статьи, приняла решение описать геометрические формы ортопедической обувной колодки с помощью решений различных типов дифференциальных уравнений первого порядка [5]. В этом случае работа над вопросом займет сравнительно короткое время, а полученные результаты будут гораздо более точными. Описание геометрических форм колодок является особенно актуальным, когда речь заходит о проектировании ортопедической обуви для пациентов с деформированными и патологическими стопами.

Как известно, система дифференциальных уравнений

$$\begin{cases} \frac{dx}{dy} = P(x, y) \\ \frac{dy}{dt} = Q(x, y) \end{cases} \quad (1)$$

где функции $P(x, y)$ и $Q(x, y)$ непрерывно дифференцируемые на плоскости XOY ; их называют динамической системой, а плоскость – фазовой плоскостью. Решения системы (1) могут быть трех видов: постоянные, периодические и непериодические.

Геометрическая картина постоянного решения называется состоянием равновесия. Периодическому решению соответствует замкнутая кривая, а непериодическому решению – открытая кривая. Эти кривые называются фазовыми. Обозначим их – L . Направление L фазовой линии - это направление движения $(x(t), y(t))$ фазовой точки на L к росту t переменной. Наша цель - изучить геометрическую картину деления фазовой плоскости соответствующими фазовыми кривыми решений динамической системы (1). Рассмотрим случай, когда система (1) линейна и однородна, т. е. имеет вид:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = ax + by \\ \frac{dy}{dt} = cx + dy \end{cases} \quad (2)$$

Если выполняется условие $ad - cb \neq 0$, то система (2) имеет единственное равновесное состояние: $x = y = 0$. Геометрическая картина фазовых линий определяется решениями соответствующего характеристического уравнения системы (2), называемого собственными значениями системы (2). Характеристическое уравнение имеет следующий вид:

$$\begin{vmatrix} a - \lambda & b \\ c & d - \lambda \end{vmatrix} = 0$$

$$\lambda^2 - (a + d)\lambda + ad - cb = 0 \quad (3)$$

Если решения (3) действительны и при этом $(\lambda_1 \cdot \lambda_2 > 0)$, то фазовые кривые имеют вид, представленный на рис. 1. Решения системы (1) неустойчивы, значит в бесконечности они не приближаются друг к другу.

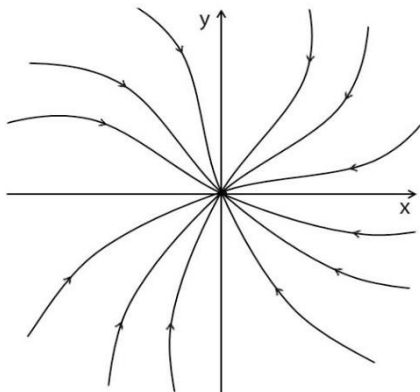


Рис. 1.

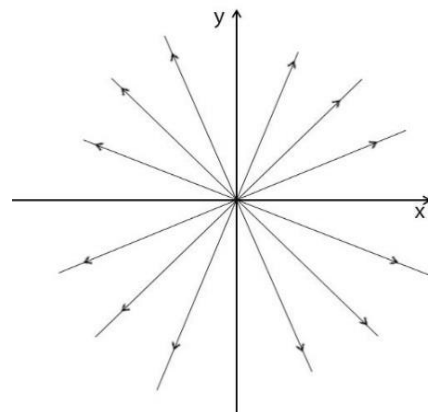


Рис. 2

Если система (2) имеет вид:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = ax \\ \frac{dy}{dt} = ay \end{cases} \quad (4)$$

то фазовые кривые имеют вид, представленный на рис. 2 и решения системы (2) неустойчивы.

Если $\lambda_1 = \lambda_2$ а ранг матрицы $\begin{vmatrix} a - \lambda_1 & b \\ c & d - \lambda_2 \end{vmatrix}$ равен 1, фазовые кривые имеет вид, представленный на рис. 3, и решения системы неустойчивы.

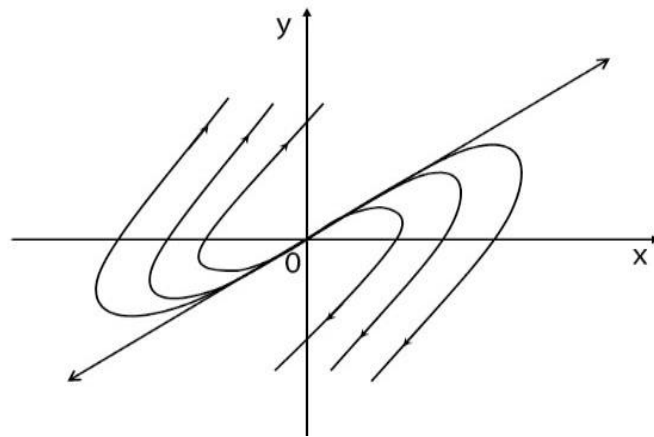


Рис. 3

Если решения уравнений (3) действительны и при этом $(\lambda_1 \cdot \lambda_2 < 0)$, тогда фазовые кривые имеют вид, представленный на рис. 4.

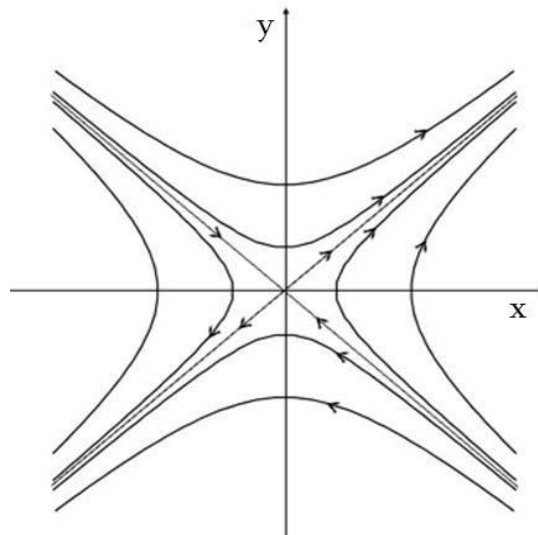


Рис. 4

В этом случае решения асимметрично устойчивы, значит в бесконечности они приближаются друг к другу.

Если основы характеристических уравнений комплексные, значит $\lambda_{1,2} = \alpha \pm i\beta$. Если $\alpha \neq 0$, фазовые кривые имеют вид, представленный на рис. 5.

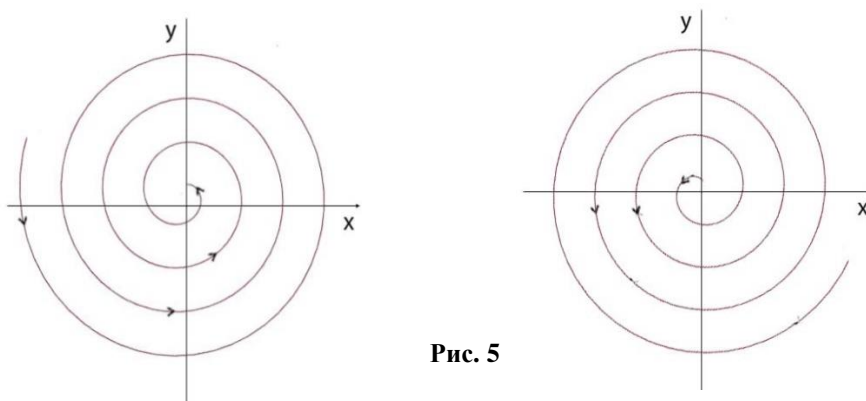


Рис. 5

Если $d = 0$, фазовые кривые имеют вид, представленный на рис. 6

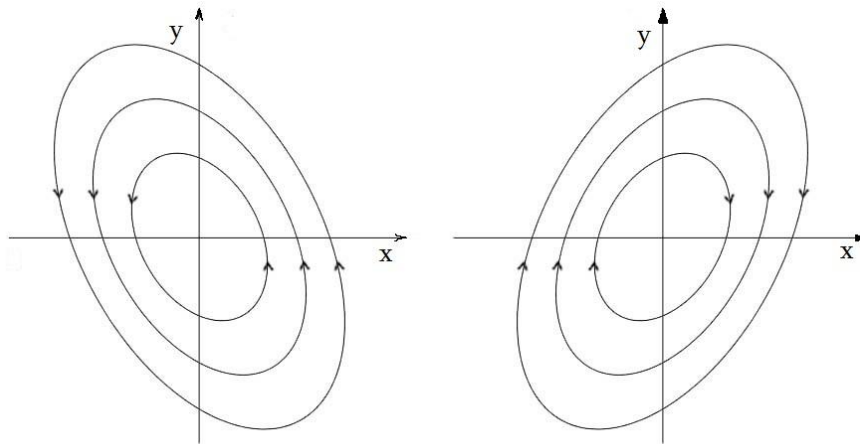


Рис. 6

Целью нашего исследования является случай, когда система (1) линейна и однородна, т.е. когда имеем систему (2), при этом ее собственные значения положительны $\lambda_1 > 0$ $\lambda_2 > 0$ или $\lambda_1 = \lambda_2$, путем изменения коэффициентов a, b, c, d системы (2) возможно обеспечение данных условий.

Приведем пример 1 и рассмотрим систему:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = x \\ \frac{dy}{dt} = x + 2y \end{cases} \quad (5)$$

Система имеет единственное состояние равновесия, в частности, если $x = y = 0$, характеристическое уравнение имеет следующий вид:

$$\begin{vmatrix} 1 - \lambda & 0 \\ 1 & 2 - \lambda \end{vmatrix} = 0$$

$$(1 - \lambda)(2 - \lambda) = 0 \quad \lambda_1 = 1 \quad \lambda_2 = 2$$

λ_1 и λ_2 действительны, не кратные и имеют одинаковый знак. Для $\lambda_1 = 1$ собственный вектор $\{1; -1\}$, а для $\lambda_2 = 2$ собственный вектор $\{0; 1\}$.

На XOY плоскости построим прямые $x + y = 0$ и $x = 0$, которые направлены к вышеупомянутым векторам. Фазовые прямые касаются к $x + y = 0$ прямому, когда они приближаются к точке $O(0;0)$. Эти прямые имеют вид, представленный на рис. 7.

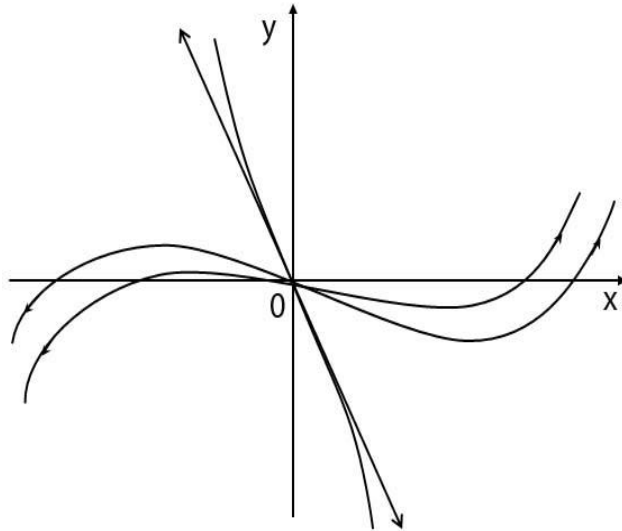


Рис. 7

Приведем пример 2 и рассмотрим систему:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = -x - 4y \\ \frac{dy}{dt} = 2x + 5y \end{cases} \quad (6)$$

Характеристическое уравнение:

$$\begin{vmatrix} \lambda + 1 & -4 \\ -2 & \lambda - 5 \end{vmatrix} = 0$$

$$\lambda^2 - 4\lambda + 3 = 0 \quad \lambda_1 = 1 \quad \lambda_2 = 3$$

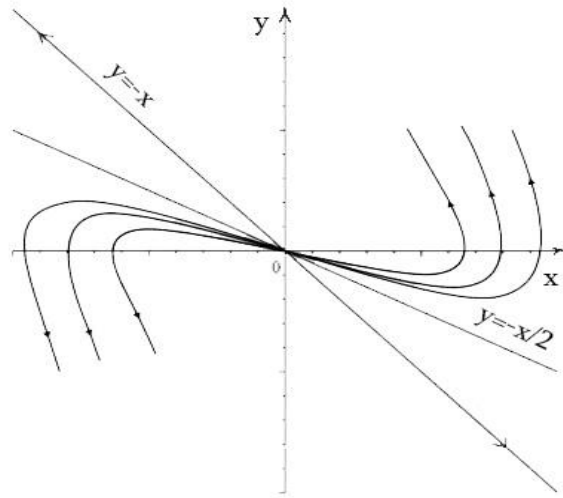
Траекторию решений данной системы определим из уравнения $(2x + 5y)dx + (x + 4y)dy = 0$. Получаем:

$$\frac{dy}{dx} = -\frac{2x + 5y}{x + 4y} \quad (7)$$

Если вставим в это уравнение $y = kx$, найдем те значения k , для которых линии $y = kx$ являются траекториями решения данной системы.

$$K = -\frac{2+5k}{1+4k}, \quad 2k^2 + 3k + 1 = 0 \quad k_1 = -\frac{1}{2}, \quad k_2 = -1$$

Из (7) ясно, что траектории кривых пересекают ось OX под углом, тангенс которого равен 2, а ось OY под углом, тангенс которого равен $-\frac{5}{4}$ (рис. 8):



რის. 8

Приведем пример 3 и рассмотрим систему:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = -x - y \\ \frac{dy}{dt} = x - 3y \end{cases} \quad (8)$$

Характеристическое уравнение имеет вид:

$$\begin{vmatrix} \lambda + 1 & 1 \\ -1 & \lambda + 3 \end{vmatrix} = 0,$$

$$k^2 + 4k + 4 = 0 \quad \text{т.е. } \lambda_1 = \lambda_2 = -2$$

Чтобы найти траекторию решений, рассмотрим уравнение:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{x - 3y}{-x - y} \quad \text{или} \quad \frac{dx}{dy} = \frac{-x - y}{x - 3y}$$

Траектория решений – эта прямая $y = kx, x > 0$ или $x < 0$, которая определяется по уравнению $K = \frac{1 - 3k}{1 - k}$, откуда $k^2 - 2k + 1 = 0$, когда $k = 1$, тогда $y = x$. Если знаем траекторию решений, значит $\lambda_1 > 0, \lambda_2 > 0, \lambda_1 = \lambda_2 = 0$. Для этих случаев кривые приближаются к точке равновесия и следуют траектории решения.

В этом примере точка равновесия - 0, траектория решений – прямая $y = x$, а решения имеют «узловую» форму. Эти траектории имеют вид, представленный на рис. 9.

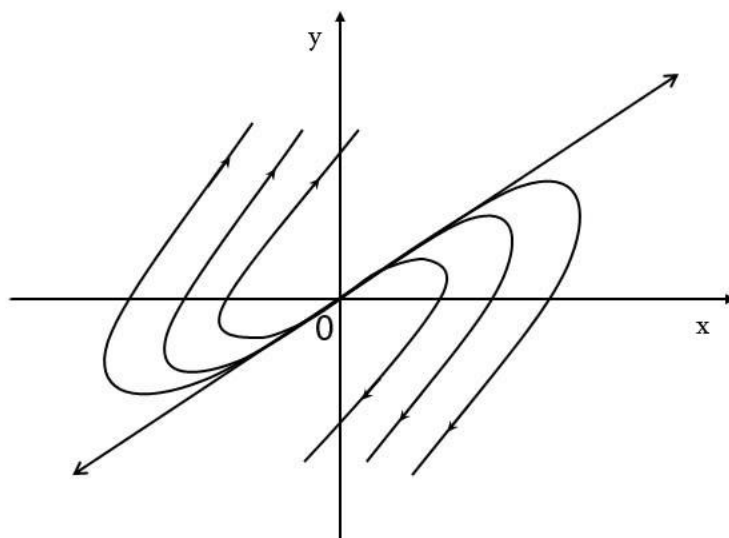


Рис. 9

Рассмотрим дифференциальное уравнение, которое имеет следующий вид:

$$xydx + (a^2 - x^2)dy = 0 \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \frac{x^2}{a^2 - x^2} dx + \frac{dy}{y} &= 0 \quad \int \frac{x}{a^2 - x^2} dx + \int \frac{dx}{y} = c \\ -\frac{1}{2} \ln(a^2 - x^2) + \ln y &= c^2 \\ \frac{y}{\sqrt{a^2 - x^2}} = c \quad \frac{y^2}{a^2 - x^2} &= c^2 \\ \frac{y^2}{c^2} a^2 - x^2 \frac{y^2}{c^2} + x^2 &= a^2 \end{aligned}$$

Из этого следует:

$$\frac{y^2}{c^2 a^2} + \frac{x^2}{a^2} = 1$$

Допустим $c^2 a^2 = b^2$, тогда получим каноническое уравнение семейства эллипсов:

$$\frac{x^2}{c^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad (10)$$

большая ось которого равна $2a$, а малая расположена в интервале $0 < b < a$ (рис. 10).

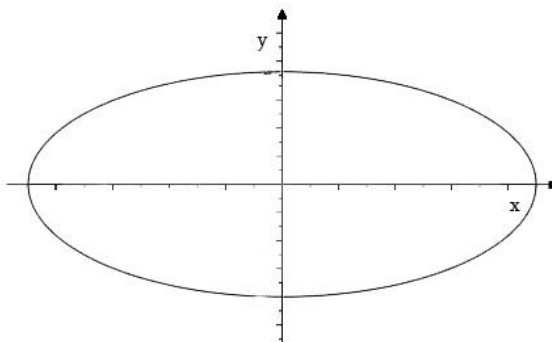


Рис. 10

Таким образом, с помощью интегральных линий решений различных дифференциальных уравнений первого порядка можно с большой точностью описать формы колодок для ортопедической обуви. Это также дает нам возможность в неограниченном количестве менять следы колодок при переходе с одного размера колодки на другому. Последнее особенно актуально в производстве ортопедической обуви, когда речь идет о пациентах с деформированными и патологическими стопами.

Работа выполнена при финансовой поддержке Национального Научного Фонда Грузии им. Шота Руставели, грант FR № 217386

ЛИТЕРАТУРА

1. Фукин В.А. Радиус ографический метод конструирования внутренней формы обуви. -М.: Легкая индустрия, 1980, 58 с.
2. Фукин В.А., Костылева В.В., Лыба В.П. Проектирование обувных колодок. -М.: Легпромбытиздат, 1987, 268 с.
3. Фукин В.А. Теоретические основы проектирования внутренней формы обуви. 2-издание пер. и доп. -М.: МГУДТ, 2000.
4. Киселев С.Ю. Автоматизированное проектирование и изготовление технологической оснастки для производства обуви и протезо-ортопедических изделий. Дисс. д-ра тех. наук. -М.: МГУДТ, 2004, 392 с.
5. А. Самойленко, С. Кривошея, Н. Перестюк. Дифференциальные уравнения. -М.: Высшая школа, 1989, 383 с.

SUMMARY

APPLICATION OF DIFFERENTIAL EQUATIONS OF DIFFERENT TYPES TO THE APPROXIMATION OF THE GEOMETRIC SHAPE OF ORTHOPEDIC SHOE PADS

Shalamberidze M.M., Sokhadze Z.P. and Lomtadze N.Z.

Akaki Tsereteli State University, Kutaisi

The article presents the approximation of the trace of the orthopedic shoe pads through the integral curves of the solutions of the first-order differential equations. These curves allow describing accurately the traces of the pads as well as give an opportunity, in an unlimited number, to change the shapes of the traces of orthopedic pads in the transition from one size to another.

Keywords: orthopedic footwear, shoe pads, differential equations.

ელექტრომომარაგების ქსელის ელემენტების პარამეტრების ბავშვანა ძაბვის მაღალი რიგის ჰარმონიკების წარმოქმნაზე

ჭუნაშვილი ბ.მ., ბეჟანიშვილი ჯ.გ., პეტროსიანი ა.მ., გამრეკელაშვილი თ.გ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ელექტრომომარაგების ქსელში არსებული ძაბვის მაღალი რიგის ჰარმონიკების ჩახშობისა ან მინიმუმამდე შემცირების ამოცანის გადაწყვეტისას, უმთავრეს საკითხს მათი წარმოქმნის მიზეზების სრულყოფილი გამოკვლევა წარმოადგენს [1]. მიღებულია, რომ ჰარმონიკების წარმოქმნის უმთავრეს კერას არახაზოვანი დატვირთვის მქონე ელექტრომიმღებები წარმოადგენს [1,2]. კერძოდ, სპექტრში შემაგალი ჰარმონიკების ამპლიტუდური მნიშვნელობა ძირითადად დამოკიდებულია ელექტრომიმღების დატვირთვის დენის მრუდის ფორმის დამახინჯების ხარისხსა და პარამეტრებზე. ამასთან აღსანიშნავია, რომ ძაბვის ჰარმონიკების ამპლიტუდური მნიშვნელობები დატვირთვის დენთან ერთად, დამოკიდებულია ელექტრომომარაგების ქსელის პარამეტრებსა და ქსელში ჩართული სხვა ჰარმონიკების არ წარმოქმნაში მონაწილე ელექტრომიმღებებზე. კერძოდ, რაც უფრო მძლავრია ელექტრომომარაგების ქსელი, მით მცირეა წარმოქმნილი ჰარმონიკების ამპლიტუდური მნიშვნელობები, რადგან თუ ქსელი მძლავრია, მასდიდი ჰარმონიული გამტარებლობა გააჩნია და მცირეა ძაბვის ვარდნა. ამასთან ერთად, რიგ შემთხვევაში ქსელში ჩართული სხვა მომხმარებლების ჰარმონიული გამტარებლობა იწვევს ელექტრომიმღების დატვირთვის დენის ფორმის გასწორებას. მაშასადამე, ბუნებრივად ხორციელდება მაღალი სიხშირის ჰარმონიკების წარმოქმნის ადგილზე ფილტრაცია. ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, ელექტრომომარაგების ქსელში არსებული ჰარმონიკების ჩახშობის ამოცანის გადაწყვეტისას, აუცილებელია ქსელის ელემენტებისა და სხვა ელექტრომიმღებების მაღალი რიგის ჰარმონიკების წარმოქმნაში (ჩახშობაში) მონაწილეობის გამოკვლევა.

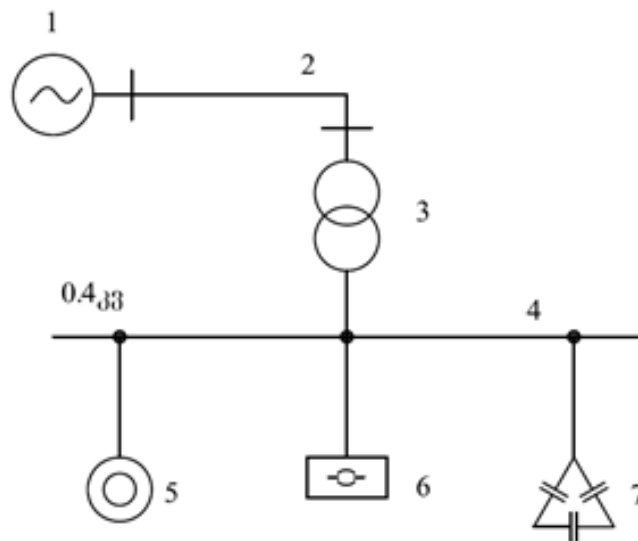
ჩვენი კვლევის მიზანს წარმოადგენდა ელექტრომომარაგების ქსელში არსებული ძაბვის მაღალი სიხშირის ჰარმონიკების წარმოქმნაში ქსელის ელემენტებისა და სხვა მომხმარებლების პარამეტრების ზეგავლენის დადგენა.

ძაბვის არასინუსოიდურობის კოეფიციენტის K_u დადგენისათვის საჭიროა განისაზღვროს ყოველი რიგის ჰარმონიკის ძაბვის მაქსიმალური მნიშვნელობა U_n . შესაბამისად, ამისათვის აუცილებელია შესასწავლი ელექტრომომარაგების ქსელისათვის შედგეს საანგარიშო და შენაცვლების სქემები. შესაბამისად, გამოკვლევა უნდა ჩატარდეს ერთი ან რამოდენიმე რიგის ჰარმონიკის დენის კვების წყაროსათვის. დენის წყაროთა რაოდენობასა და მათ სიხშირეს სპექტრში შემაგალი ჰარმონიკების პარამეტრები განაპირობებს, რაც ქსელში ჩართული ელექტროტექნოლოგიური დანადგარების (ეტდ) დატვირთვის დენების მრუდის ფორმებზეა დამოკიდებული. ქსელის ანგარიშის ჩატარებისათვის აუცილებელია შემდეგი საწყისი მონაცემები: დაზუსტებული საანგარიშო სქემის არქიტექტურა; სქემის ყველა ელემენტის საანგარიშო პარამეტრები; ქსელთან მიერთებული ყველა დატვირთვის პარამეტრები; მკვებავი სისტემიდან მოსალოდნელი მოკლედ შერთვის დენებისა და სიმძლავრის მნიშვნელობები.

მიღებულია, რომ მაშინ, როდესაც არასინუსოიდურობას განაპირობებს 1000 ვოლტამდე ძაბვის ეტდ-ები და მათი ჯამური სიმძლავრე არ აღემატება მთავარ დამწვევ ქვესადგურში დადგმული ძალოვანი ტრანსფორმატორის ნომინალური სიმძლავრის 20%-ს, საანგარიშო სქემა შეიძლება შედგენილ იქნას კვების წყაროს 6-10 კვ ძაბვის

საღტემდე. ხოლო, თუ 1000 ვოლტამდე ძაბვის ეტდ-ბის ჯამური სიმძლავრე აღემატება მკვებავი ტრანსფორმატორის სიმძლავრის 20%-ს, ან ქსელში ჩართულია ჰარმონიკების წარმომქმნის სხვა წყაროც (მათ შორის 6-10კვ ძაბვის ქსელში), მაშინ საანგარიშო სქემა უნდა შედგეს მთელი ქსელისათვის [3,4].

ელექტრომომარაგების სისტემების ქსელის ცალკეულ უბნებში არსებული ძაბვის არასინუსოიდალურობის გამოკვლევისათვის შედგენილია 10/0,4 კვ ძაბვის ქსელის ტიპური სატრანსფორმატორო ქვესადგურის საანგარიშო სქემა (ნახ. 1). სქემის საფუძვლად აღებულია „ელექტრომომარაგების სისტემის ელექტრული დატვირთვების მოდელი“.

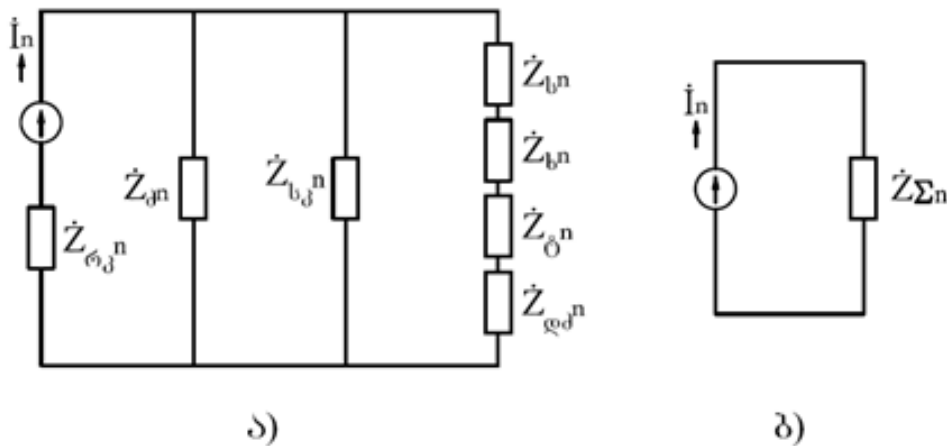


ნახ. 1. 10/0,4 კვ ძაბვის ტიპური სატრანსფორმატორო ქვესადგურის საანგარიშო სქემა

- 1) 10 კვ ძაბვის გამანაწილებელი მოწყობილობა; 2) 10 კვ ძაბვის ელექტროგადამცემი ხაზი; 3) 10/0,4 კვ ძაბვის ძალოვანი ტრანსფორმეტორი; 4) 0,4 კვ ძაბვის გამანაწილებელი მოწყობილობის შემკრები საღტე; 5) ასინქრონული ელექტროამძრავების ჯგუფი; 6) ელექტრორკალური დანადგარების ჯგუფი; 7) რეაქტიული სიმძლავრის საკომპენსაციო მოწყობილობა.

საანგარიშო სქემა (ნახ. 1) მოიცავს ყველა მოქმედების პრინციპზე აგებულ და მუშაობის რეჟიმის მქონე ძირითად სახასიათო ელექტროტექნოლოგიური დანადგართა ჯგუფებს.

ძაბვის მრუდის ფორმის არასინუსოიდალურობის განსაზღვრისათვის, საანგარიშო სქემის საფუძველზე, შევადგინოთ ჩანაცვლების სქემა (ნახ. 2ა), სადაც დატვირთვის დენის დამახინჯების წყაროდ მიღებულია ელექტრორკალური დანადგარების ჯგუფი.



ნახ. 2. 10/0,4 კვ ძაბვის ტიპური სატრანსფორმატორო ქვესადგურის საანგარიშო ჩანაცვლების სქემები
 ა) - საწყისი; ბ) - გარდაქმნილი

ელექტრომომარაგების ქსელის ელემენტებისა და ქსელთან მიერთებული ელექტრომიმღებების პარამეტრების საფუძველზე შედგენილია სქემის ცალკეული ელემენტების ჰარმონიული წინაღობების საანგარიშო გამოსახულებები:

1. 6-10 კვ და მეტი ძაბვის მკვებავი ელექტრომომარაგების სისტემისათვის

$$\dot{Z}_{bn} = U_{\text{ნომ}} n / 3I_{\infty} \quad (1)$$

სადაც $U_{\text{ნომ}}$ და I_{∞} - შესაბამისად, სისტემის ნომინალური ძაბვა და მოსალოდნელი მ.შ. დენის დამყარებული მნიშვნელობებია, კვ და კა;

2. 6-10 კვ ძაბვის ელექტროგადამცემი ხაზისათვის

$$\dot{Z}_{bn} = R_b \sqrt{n} + jX_b \quad (2)$$

სადაც R_b და X_b - შესაბამისად, ელექტროგადამცემი ხაზის აქტიური და რეაქტიული წინაღობებია, ომი;

3. ძალოვანი ტრანსფორმატორისათვის

$$\dot{Z}_{\delta n} = R_{\delta} \sqrt{n} + jX_{\delta} n \quad (3)$$

სადაც R_{δ} და X_{δ} - შესაბამისად, ძალოვანი ტრანსფორმატორის აქტიური და რეაქტიული წინაღობებია, ომი;

4. ასინქრონული ელექტრომომარაგების ჯგუფისათვის

$$\dot{Z}_{\delta n} = \frac{R_{\delta}}{n_{\delta}} K_{fb} \sqrt{n} + \frac{X_{\delta}}{n_{\delta}} K_{fb} n, \quad (4)$$

სადაც R_{δ} , X_{δ} - შესაბამისად, ძრავების საშუალო გამში აქტიური და რეაქტიული წინააღმდეგობებია, ომი; K_{fb} - ძრავების ჩართვის კოეფიციენტი; n_{δ} - ჯგუფში ძრავების რაოდენობა.

5. რეაქტიული სიმძლავრის საკომპენსაციო მოწყობილობებისათვის.

$$\dot{Z}_{სკ} = -j \frac{X_{სკ}}{n}, \quad (5)$$

6. ელექტრორეაქტიული დანადგარებისათვის (ელექტრორეაქტიული შედუღების დანადგარები, ელექტრორეაქტიული ღუმელები)

$$\dot{Z}_{რკ} = R_{რკ} \sqrt{n} + jX_{რკ} n, \quad (6)$$

სადაც $R_{რკ}$ და $X_{რკ}$ - შესაბამისად, ელექტრორეაქტიული დანადგარების აქტიური და რეაქტიული წინაღობებია, ომი. იგი მოიცავს დანადგარების ძალოვანი წრედის ელემენტებს.

7. დაბალი ძაბვის ქსელისათვის

$$\dot{Z}_{დმ} = R_{დმ} \sqrt{n} + jX_{დმ} n, \quad (7)$$

სადაც $R_{დმ}$, $X_{დმ}$ - შესაბამისად, დაბალი ძაბვის ქსელის აქტიური და რეაქტიული საშუალო წინაღობებია, ომი;

შენაცვლების სქემა (ნახ. 2ა) გამარტივდება და მიიღებს სახეს (ნახ. 2ბ). ჯამური საანგარიშო წინააღმდეგობა განისაზღვრება:

$$\dot{Z}_n = \dot{Z}_{რკ} + \frac{(\dot{Z}_{სკ} + \dot{Z}_{ბნ} + \dot{Z}_{ტნ} + \dot{Z}_{დმ}) \frac{\dot{Z}_{დმ} \cdot \dot{Z}_{სკ}}{\dot{Z}_{დმ} + \dot{Z}_{სკ}}}{\dot{Z}_{სკ} + \dot{Z}_{ბნ} + \dot{Z}_{ტნ} + \dot{Z}_{დმ} + \frac{\dot{Z}_{დმ} \cdot \dot{Z}_{სკ}}{\dot{Z}_{დმ} + \dot{Z}_{სკ}}} \quad (8)$$

მაღალი სიხშირის სპექტრში შემავალი ჰარმონიკების ძაბვის მნიშვნელობა სისტემის 0,4 კვ ძაბვის გამანაწილებელი მოწყობილობის სალტეზე ტოლია:

$$U_n = I_n \dot{Z}_{Σn}, \quad (9)$$

გამოსახულების საშუალებით განსაზღვრული სპექტრში შემავალი ყოველი ჰარმონიკის ძაბვების საშუალებით გამოითვლება სალტეზე ძაბვის არასინუსოიდალურობის კოეფიციენტის %-ული მნიშვნელობა,

$$K_U = 1,1 \sqrt{U_3^2 + U_5^2 + U_7^2 + \dots + U_k^2} 100 / U_1, \quad (10)$$

სადაც 1,1 მარაგის კოეფიციენტია და იგი ღუწი რიგის ჰარმონიკებს ითვალისწინებს.

დასკვნა

1. ელექტრომომარაგების ქსელში არსებული ძაბვის მაღალი სიხშირის ჰარმონიკების წარმოქმნაში ქსელის ელემენტებისა და სხვა ჰარმონიკების წარმოქმნაში არმონაწილე მომხმარებლების პარამეტრების ზეგავლენის დადგენისათვის შედგენილია 10/0,4 კვ ძაბვის ქსელის ტიპური სატრანსფორმატორო ქვესადგურის საანგარიშო სქემა;

2. ძაბვის არასინუსოიდალურობის განსაზღვრისათვის, საანგარიშო სქემის საფუძველზე, შევადგინეთ შედგენილია ჩანაცვლების სქემა, სადაც დატვირთვის დენის დამახინჯების წყაროდ მიღებულია ელექტრორკალური დანადგარების ჯგუფი;

3. მოცემულია ელექტრომომარაგების 0,4 კვ ძაბვის გამანაწილებელი მოწყობილობის სალტეზე სპექტრში შემავალი ჰარმონიკების ამპლიტუდური მნიშვნელობისა და ძაბვის არასინუსოიდალურობის კოეფიციენტის %-ული მნიშვნელობის საანგარიშო მათემატიკური გამოსახულებები.

ლიტერატურა

1. Жежеленко И.В. Качество электроэнергии на промышленных предприятиях. И.В. Жежеленко. - М. : Энергоатомиздат, 2005, 261с.
2. Аррилла Дж. Гармоники в электрических системах: пер. с англ. Дж. Аррилла, Д.Брэдли, П.Боджер. -М.: Энергоатомиздат, 1990, 289 с.
3. Вагин Г.Я. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике. Г.Я. Вагин, А.Б. Лоскутов, А.А. Севостьянов. – Н.Новгород : Изд-во НГТУ, 2004, 214 с.
4. Бадер М.П. Электромагнитная совместимость. - М.: УМК МПС, 2002, 638 с.

SUMMARY

THE EFFECT OF THE PARAMETERS OF E-SUPPLY NETWORK ELEMENTS ON THE GENERATION OF HIGH-ORDER HARMONICS OF HIGH VOLTAGE

Chunashvili B.M., Bezhanishvili J.G., Petrosyan A.M. and Gamrekelashvili T.G.

Georgian Technical University

To determine the effect of the parameters of the 10/10.4 kV e-supply network and the consumers connected to it on the generation of high-order harmonics, the design and the replacement scheme of a typical transformer substation were elaborated. The electrostatic equipment was taken as the source of load current distortion. There are given formulae for calculation of the values of amplitudes of harmonics of the high-frequency spectrum and the percentage of the coefficient of nonsinusoidality of the distribution bus load.

Keywords: power supply, e-network, parameters of network elements, harmonics, nonsinusoidality.

RADIATION OF ENERGY: QUANTUM PROCESSES

Kadagishvili L.G.

V. Chavchanidze Institute of Cybernetics, Georgian Technical University
Georgian Engineering Academy

Abstract. Determination of the interaction between two energy levels, considered as the difference between the levels, is discussed from the standpoint of quantum processes. For large quantum numbers, the difference between two neighboring levels gradually decreases, and the spectrum becomes continuous, i.e. for large quantum numbers, the character of the spectrum is similar to that in classical physics. In quantum mechanics, there are physical quantities the accurate measurement of which prevents knowing the values of other physical quantities. The physical quantities characterizing the state are essentially different in different problems. When the wave function is known, the state is determined, and it is possible to determine a complete set of physical quantities. Thus, when the wave function for the system is given, we have a pure state, and, when the system has no wave function, we have a mixed state.

Keywords: energy, radiation, quantum processes.

Energy is a discrete quantity. Hence, as radiation is determined by the difference between two energy levels, the radiation spectrum must be a discrete pair. However, it is obvious that, for large quantum numbers n , the difference between two neighboring levels gradually decreases, and the spectrum acquires a continuous character, i.e., for large quantum numbers, the character of the spectrum is similar to that in classical physics. From this example, it is evident that, for large quantum numbers, the laws of elementary quantum mechanics must coincide with those of classical mechanics. Exactly this is the essence of the Bohr's correspondence principle. This principle played an important role in the development of quantum mechanics, especially in the description of quantum processes, in particular of bioresonance processes. Heisenberg based his micromechanics just on the correspondence principle.

The atomic radiation spectrum must be continuous, as the electron tending to fall on the nucleus must continuously lose energy. However, according to the Bohr's theory, the energy of the electron in the hydrogen atom is expressed in the following form

$$E_n = -\frac{z^2 e^4 \mu}{2n^2 \hbar^2}$$

This energy is a discrete quantity.

For large quantum numbers, the energy varies almost continuously and thus $\frac{\Delta E}{\Delta \tau}$ We can replace it with $\frac{dE}{d\gamma}$ As the total energy is

$$E = \frac{p^2}{2\mu} + v(q)$$

and the full period of movement is

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

for ω , we have $\omega = 2\pi \frac{dE}{d\gamma}$. As, for large quantum numbers, the energy changes almost continuously,

$\frac{\Delta E}{\Delta T}$ can be replaced by $\frac{dE}{d\gamma}$, and the correlation of energy formulae yields

$$\omega_{mn} = (m - n)\omega$$

This formula expresses the mathematical content of the correspondence principle. It shows how we can calculate quantum frequencies for large quantum numbers via classical frequencies.

Einstein showed the dual wave-particle nature of light. According to Einstein, the light can be considered as a flow of particles having zero rest mass (photons). Maurice de Broglie generalized the concept of the dual nature of light for substances. He believed that not only the light, but also any particle had the dual nature: wave and corpuscular.

After de Broglie, Schrödinger took into consideration the dual nature of particles and calculated the total energy

$$E = \frac{p^2}{2\mu} + U(x, y, z)$$

where $U(x, y, z)$ is the potential energy. The electron flow gives the same diffraction pattern as the wave having the wavelength $\lambda = \frac{h}{mv}$.

The potential energy depends on a concrete problem. The function ψ must satisfy a number of conditions: it must be 1) continuous and have the first-order derivatives, 2) finite, 3) and unambiguous. For $\psi_{\text{exp}}(\pm i\alpha)$, the normalization condition should be determined. Due to this fact, quantum mechanics has a statistical nature. The uncertainty rule takes place not only for the momentum and coordination. There are a lot of pairs of uncertain quantities in quantum mechanics. The uncertainty rule could not have had any meaning in classical mechanics, and it expresses the characteristic principle of microworld.

The basic hypothesis of quantum mechanics can be formulated as follows: physical quantities are described by linear Hermitian operators. The eigenvalues of these operators give the values of physical quantities measured in the experiment. At the same time, there exist the same relationships as among the physical quantities of these operators in classical mechanics.

For stationary states, the Schrödinger equation looks like

$$\hat{H}\psi = E\psi$$

In this case, the total energy E does not change with time. In nonstationary cases when the state changes with time, the wave function depends on time not only in terms of $\exp(i\omega t)$ as in the case of stationary states, but represents a time function.

In quantum mechanics, there exist such physical quantities the exact measurement of which prevents us from knowing the values of other quantities. Thus, characterization of states by coordination and momentum does not make sense in quantum physics, because they do not have simultaneously accurately measured values. It is obvious that in quantum physics the state should be characterized differently, in particular, by the values that can be simultaneously measured. It is also obvious that, in different problems, physical quantities characterizing the states are different. Say, for the particle state, we want to determine the particle energy [1,2]. To this end, we use the appropriate tool for measurement of this quantity and find sought values with a relevant experiment. If we are not going to measure other quantity in this state, then one quantity can be measured with any desired accuracy. Thus, say we measured accurately some characteristic physical quantity of the particle, for example, the energy. Let us denote it by ω . According to the provision on the representation of physical quantities by operators, we infer that the found ω quantity is the eigenvalue of the corresponding \hat{W} operator, i.e.

$$\hat{W}\psi_{\omega} = \omega\psi_{\omega}$$

As a result of solving this equation, we find the wave function $\psi_w(x)$. This function means that the physical quantity taken in this state has the value. There arises the question whether the function $\psi(x)$ enables us to describe the state of the particle, i.e. to calculate the values of those physical quantities that are essential for characterization of the state of the particle. Description of the states by the function $\psi(x)$, by which the values of a group of physical quantities, i.e. a complete set of physical quantities, are determined, is called the quantum description of the state.

Thus, if the function $\psi(x)$ is known, the state in quantum mechanics is determined, and the complete set of physical quantities can be found. We find the function $\psi(x, t)$ from the Schrödinger equation. When the state varies with time, an additional condition is necessary for solving the Schrödinger equation. It is the value of the wave function at the initial moment. In this case, by the initial value (initial state) and solving the Schrödinger equation, we find the state of the particle at the next moment.

Therefore, in quantum physics, the wave function gives maximum information about the state of the particle (or system). If we know the wave function, we have the maximum data on the state of the particle that quantum mechanics can provide. When, for the system, the wave function is given, we have a pure state, and, when the system has no wave function, we have a mixed state.

REFERENCES

1. V.I. Mamasakhlisovi, I.M. Vashakidze, G.A. Jilashvili. Quantum Mechanics. – Tbilisi, Tbilisi University Press, 1978.
2. L.G. Kadagishvili. Conceptuality of the Fields Existing in Nature. //Georgian Engineering News, 2017, No.2, pp. 97-98.

РЕЗЮМЕ

ИЗЛУЧЕНИЕ ЭНЕРГИИ: КВАНТОВЫЕ ПРОЦЕССЫ

Кадагишвили Л.Г.

Институт кибернетики им. В. Чавчанидзе, Грузинский технический университет
Грузинская инженерная академия

Определяется взаимодействие между двумя энергетическими уровнями с точки зрения квантовых процессов. Это взаимодействие рассматривается как разница между двумя уровнями. При больших квантовых числах разница между двумя соседними энергетическими уровнями постепенно уменьшается и спектр становится непрерывным, т.е. при больших квантовых числах характер спектра становится таким же как в классической физике. В квантовой механике существуют физические величины, точное измерение которых мешает определению значений других физических величин. В разных задачах физические величины, характеризующие состояние, будут совершенно разными. Если волновая функция известна, то состояние определено и можно определить полный набор физических величин. Таким образом, если для системы дана волновая функция, мы имеем чистое состояние, если же у системы отсутствует волновая функция, то состояние смешанное.

Ключевые слова: энергия, излучение, квантовые процессы.

OPTIMIZATION OF TELECOMMUNICATION TRANSPORT NETWORKS USING THE BRANCH AND BOUND METHODS

Lomsadze S.I. and Shamanadze O.K.

Georgian Technical University

Abstract. The active use of the Internet and the dynamic development of the telecommunications impose strict requirements on the telecommunication transport networks, which is due to the increasing multiservice traffic in the network. Therefore, integration of the technologies used by telecommunication operators is one of the most important issues of the optimal planning of the telecommunication transport networks. In this work, a mathematical model of the telecommunication transport network is constructed and the optimization problem is solved by using the branch and bound methods.

Keywords: telecommunication transport networks, optimization, multiservice traffic, branch and bound method.

Introduction. The active use of the Internet and the dynamic development of the telecommunications impose strict requirements on the telecommunication transport networks, because they are more sensitive to the given service due to the increasing multiservice traffic (Triple Play Service) in the network. That is why the optimization of the telecommunication transport networks for maintenance of both new and broadband services is a necessary and, at the same time, urgent task.

The classical theory of optimization of the telecommunication networks is based on the concept of load that implies transmission of a certain amount of information between network nodes. The optimization criterion is some function that depends on the value of transmission delay of a data packet. We are considering an optimization model that differs from the classical one in that:

1. It does not involve the use of the load concept.
2. One of the means of optimization is a high capacity of the telecommunication network and not the value of the transmission delay of a data packet.
3. The planning of the telecommunication network is realized not by one but at least two methods, and not one but a few alternative methods are considered.

The first difference is caused by the fact that the use of the concept of load loses relevance with transfer of telecommunication operators to unlimited tariffs, which implies payment of fixed tariffs by subscribers. The second difference is due to that, over the past decade, the capacity of data transmission channels has increased several times. At the same time, the size of transmitted data packets did not change. The third difference is due to the fact that telecom companies offering the consumers various services specify the correlation of the costs of technical solutions with returns, and it is necessary to consider various alternative versions when choosing the design plan.

Experimental. We are considering the problem of optimization of the telecommunication network which is a transport network of a single operator and is based on the classical flow model [1]. The network is described by the acyclic orientation graph $G = (V, E)$ (Fig. 1) [2]. In the graph, the s and t points indicate the transmission and receipt of information, respectively. The edges emerging from point s represent the channels of the transport network operator, they connect the network deployed in the region, the ISP operator, with the consumer connection network. The receipt point is the element with the edges connecting the operator switch channels with the consumer connection network.

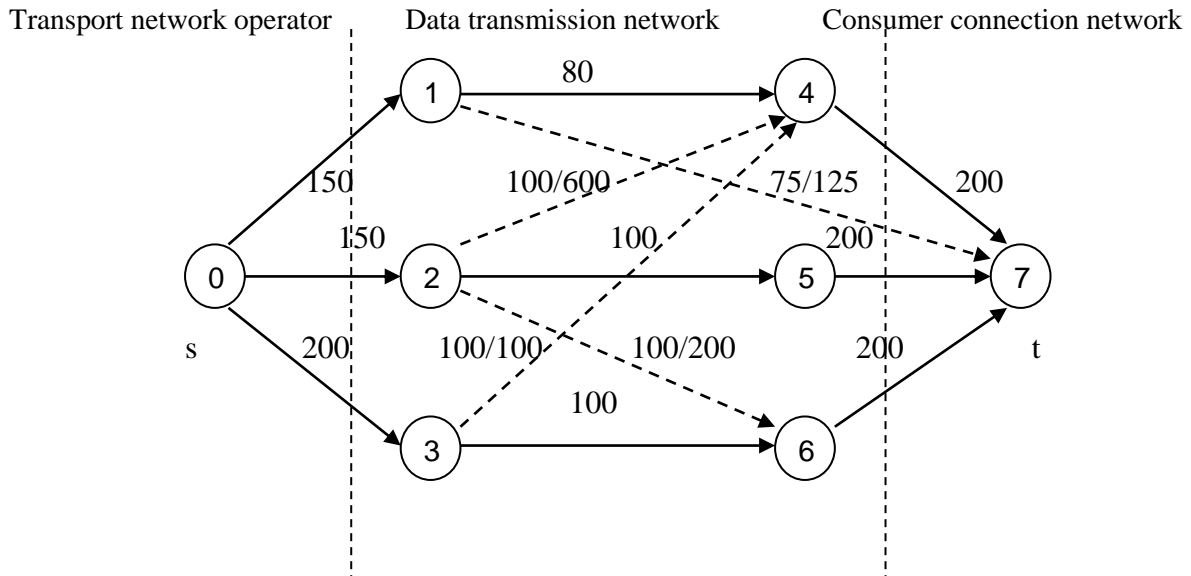


Fig. 1. Acyclic orientation graph $G=(V, E)$

The task of telecommunication transport network optimization can be formulated as follows: to find the optimal values of the minimum cost of the capacity of the network ($Q_1(E^*)$), $\min Q_2(E^*)$) by the orientation graph $G=(V, E)$, the set of edges (here we mean the transmission channels) $E'(E \cap E' = \emptyset)$, the capacity matrices $c(u, v)$ and $c'(u, v)$, and the cost matrix of construction of edges $p(u, v)$.

Results and Discussion. To solve the problem, we used the branch and bound method proposed by A.H. Land and A.G. Doig for solving discrete programming problems [3]. The essence of the method consists in searching through a full set of feasible solutions, partitioning it in smaller subsets, and evaluating these subsets until the best solution was found [4, 5]. The method is flexible and allows obtaining optimal solutions in the desired period of time. The algorithm flowchart is shown in Fig. 2.

To conduct the experiment, we numbered the edges from the E' set from 1 to 4 in the following sequence: (1,7), (2,4), (2,6) and (3,4), where (u, v) indicates the edge from vertex u to vertex v . We built the branch tree shown in Fig. 3 and entered the values of upper and lower estimates of the D_i -subset into the table. The values were obtained by fixing all the edges from the E' set, starting from the root of the tree and ending with the i vertex element. In the fourth column, a set of records obtained for the i element of the tree are given.

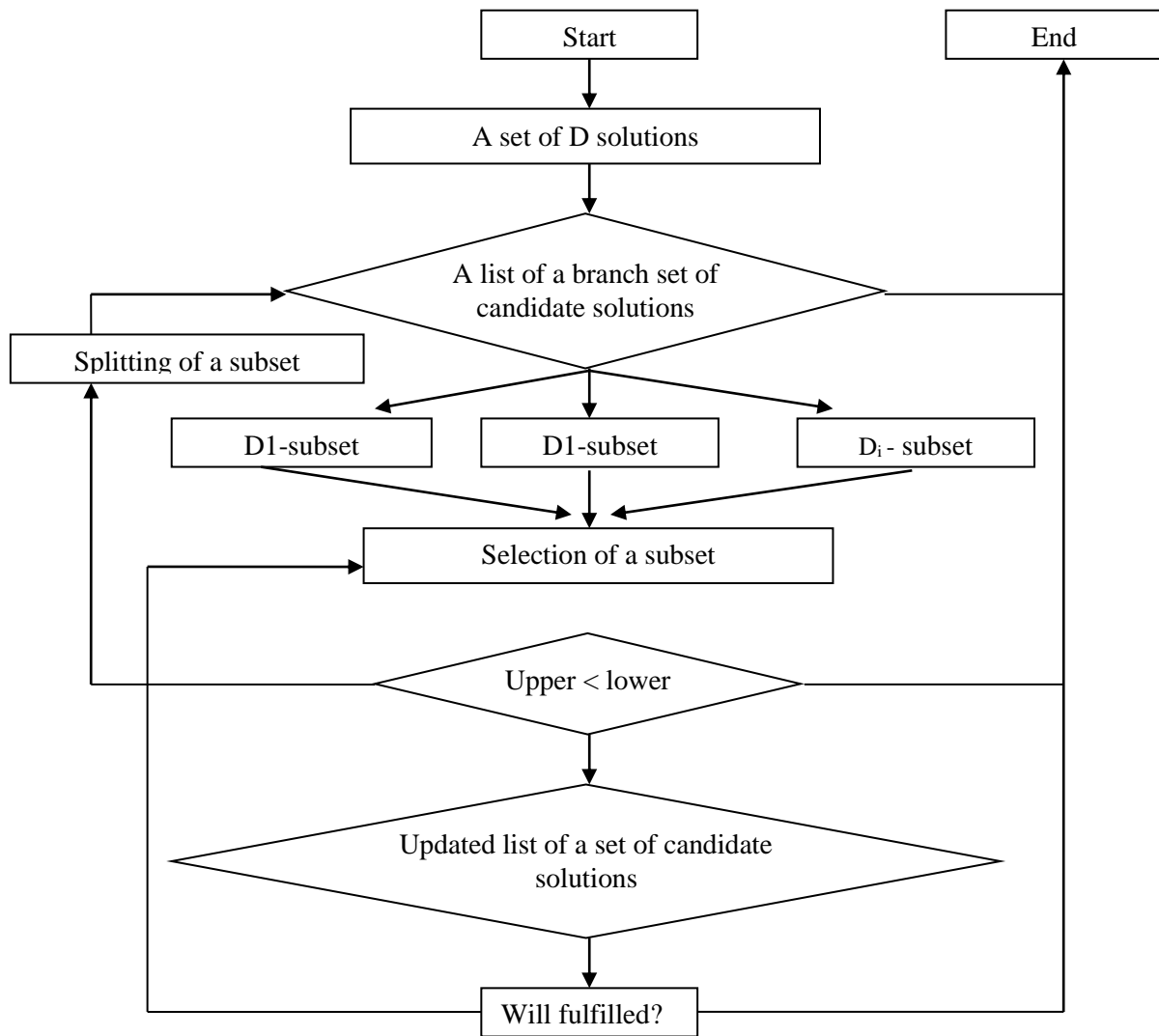


Fig. 2. Branch-and-bound algorithm

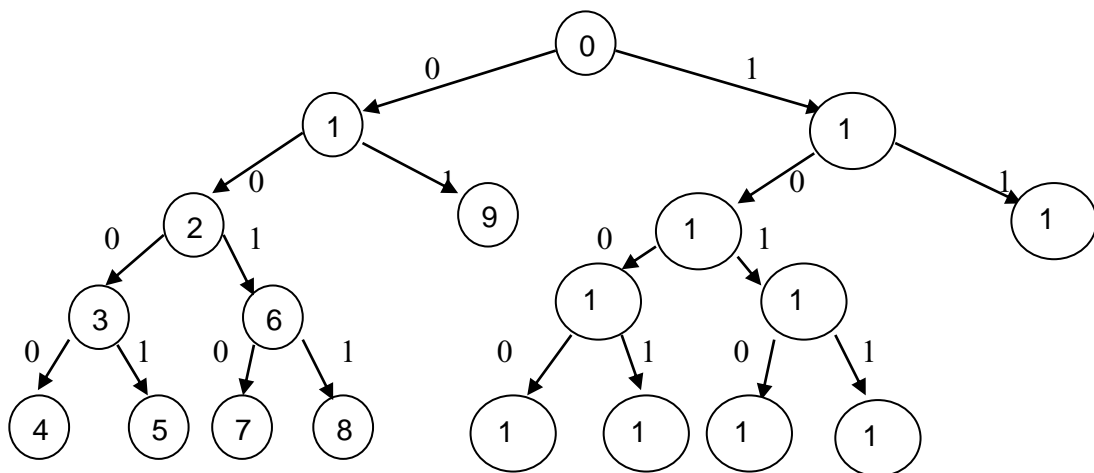


Fig. 3. Branch tree

From the start the tree consists of a single apex (root) number 0. In the course of the algorithm, edges and vortexes are added to the tree (the vortexes are numbered in a sequence). The edges have number 0 or 1, which shows whether the added edge is from the E' set or not.

Passing along the edges of the graph in this way, we construct the D_i set of solutions, which allows us to find the set of optimal solutions $\{\emptyset, \{4\}, \{1,4\}, \{1,3,4\}$, which the estimates (0, -280), (100, -380), (225, -450), (425, -500), respectively, correspond to.

Table

Element No.	Lower estimate D_i	Upper estimate D_i	Set of records
1	(900,-280)	(0,-430)	\emptyset
2	(300,-280)	(0,-430)	\emptyset
3	(100,-280)	(0,-380)	\emptyset
4	(0,-280)	(0,-280)	\emptyset
5	(100,-380)	(100,-380)	(0,-280)
6	(300,-330)	(200,-430)	(0,-280), (100,-380)
7	(200,-330)	(200,-330)	(0,-280), (100,-380)
8	(300,-430)	(300,-430)	(0,-280), (100,-380), (300,-430)
9	(900,-330)	(600,-430)	(0,-280), (100,-380), (300,-430)
10	(1025,-350)	(125,-500)	(0,-280), (100,-380), (300,-430)
11	(425,-350)	(125,-500)	(0,-280), (100,-380), (300,-430)
12	(225,-350)	(125,-450)	(0,-280), (100,-380), (300,-430)
13	(125,-350)	(125,-350)	(0,-280), (100,-380), (300,-430)
14	(225,-450)	(225,-450)	(0,-280), (100,-380), (300,-430)
15	(425,-400)	(325,-500)	(0,-280), (100,-380), (225,-450)
16	(325,-400)	(325,-400)	(0,-280), (100,-380), (225,-450)
17	(425,-500)	(425,-500)	(0,-280), (100,-380), (225,-450)
18	(1025,-400)	(725,-500)	(0,-280), (100,-380), (225,-450), (425,-500)

Conclusion. In the end, as concluding, we should say that we constructed the mathematical model of construction of a telecommunication network in the form of an acyclic orientation graph, which takes into consideration the methods of construction of modern telecommunication transport networks.

Within the framework of construction of the mathematical model of the telecommunication network, we solved the problem of network optimization applying the branch and bound method to the optimization of the transport transport network and found the set of optimal solutions for construction of the transport network based on a concrete example.

REFERENCES

1. Ху, Т. Целочисленное программирование и потоки в сетях. - М., Мир, 1974, 520 с.
2. Захарченко М.В., Ложковський А.Г. Математичны основи оптимизации телекоммуникаційних систем. – Одесса, ОНАЗ им. О.С. Попова, 2010, 240 с.
3. A.H. Land, A.G. Doig. An Automatic Method of Solving Discrete Programming Problems. //Econometrica, 1960, Vol. 28, No. 3, pp. 497-520.
4. Сигал И.Х., Иванова А.П. Введение в прикладное дискретное программирование. Модели и вычислительные алгоритмы. – М., Физматлит, 2007, 304 с.
5. Корбут А.А., Финкельштейн Ю.Ю. Дискретное программирование. - М., Наука, 1969, 368 с.

РЕЗЮМЕ

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕЛЕКОМУНИКАЦИОННЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ВЕТВЕЙ И ГРАНИЦ

Ломсадзе С.И., Шаманадзе О.К.

Грузинский технический университет

Активное использование Интернета и динамичное развитие телекоммуникаций предъявляют строгие требования к телекоммуникационным транспортным сетям, что связано с увеличением мультисервисного трафика в сети. Поэтому интеграция технологий, используемых операторами телекоммуникационных сетей, является одним из наиболее важных вопросов оптимального планирования транспортных сетей. В этой работе строится математическая модель транспортной сети телекоммуникации, и задача оптимизации решается с использованием метода ветвей и границ.

Ключевые слова: телекоммуникационные транспортные сети, оптимизация, мультисервисный трафик, метод ветвей и границ.

აჭარის სტიქიურ-გეოლოგიური მოვლენების მოკლე მიმოხილვა

ლორია მ.დ.

შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, ბათუმი

აჭარას თავისი მდებარეობით სამხრეთიდან ესაზღვრება თურქეთი, ჩრდილო-აღმოსავლეთიდან მესხეთ-ჯავახეთის რეგიონი, ჩრდილოეთიდან გურიის რეგიონი, ხოლო დასავლეთიდან შავი ზღვა. თავისი უნიკალური ფიზიკურ-გეოგრაფიული პირობების გამო საქართველოს რეგიონებს შორის აჭარას გამოირჩეული ადგილი უჭირავს. აჭარის ტერიტორიის ფართობია 2,900 კმ², რაც საქართველოს ტერიტორიის 4,2%-ს შეადგენს.

რელიეფის თვალსაზრისით, აჭარა წარმოადგენს მესხეთის ქედის დასავლეთ ნაწილში შემავალი მთებისა და ხეობების საკმაოდ რთულ სისტემას, რომელსაც განედური მიმართულებით შუაზე კვეთს რეგიონის მთავარი მდინარე - აჭარისწყალი. სანაპირო ზონა მოიცავს დაბლობ რაიონებსა და მთის ფერდობებს 100-200 მ სიმაღლემდე. უფრო აღმოსავლეთით 200-1000 მ სიმაღლეთა შუალედში გორაკ-ბორცვიანი რელიეფი იცვლება მთიანი ზონით. მთებს აჭარის ტერიტორიის 80% უჭირავს, მთისწინეთს - 15%, დაბლობებით კი დაკავებულია რეგიონის ტერიტორიის მხოლოდ 5%. რელიეფის ელემენტებიდან გასული საუკუნის მანძილზე ყველაზე შესამჩნევი ცვლილება განიცადა ზღვის სანაპირო ზოლმა, რომელმაც ზღვის დონის 20სმ-ით აწევს, ბათუმის პორტის მშენებლობის, მდ. ჭოროხის მყარი ჩამონადენის შემცირებისა და შტორმული მოვლენების გაძლიერების შედეგად 150 კმ-მდე ტერიტორია დაუთმო ზღვას.

რელიეფის სხვადასხვაობის შესაბამისად მრავალფეროვანია აჭარის ჰავაც. აჭარა მდიდარია ტყეებით, რომლებითაც დაფარულია რეგიონის ტერიტორიის 66%.

აჭარის რეგიონი სტიქიურ-გეოლოგიური პროცესების განვითარების მასშტაბებით და ნეგატიური შედეგებით, ქვეყნის ერთ-ერთ ურთულეს მხარეს წარმოადგენს. სტიქიის გააქტიურების განსაკუთრებული ექსტრემუმი აღინიშნება: 1967-68; 1974-75; 1982; 1985; 1987-89, 1991-92, 1995-96, 1998, 2000-02, 2004-05, 2008 წლებში. ამ პერიოდში სტიქიამ შეიწირა 170-ზე მეტი ადამიანის სიცოცხლე. 10 ათასამდე მოსახლე გადაყვანილი იქნა უსაფრთხო ტერიტორიებზე, ხოლო ეკონომიკურმა ზარალმა მილიონობით დოლარს მიაღწია.

ხანგრძლივი და უხვი ნალექები, მათ შორის დიდთოვლობა, განაპირობებს აქ წყალდიდობა/წყალმოვარდნების, მეწყერულ-ღვარცოფული პროცესების, თოვლის ზვავების და ამ სტიქიურ მოვლენებთან დაკავშირებული ბუნებრივი კატასტორფების მაღალ განმეორადობას. ამას უნდა დაემატოს მიწის ეროზიის პროცესები.

ბოლო რამდენიმე ათეული წლის მანძილზე აშკარად შეიმჩნევა აღნიშნული პროცესების გააქტიურება, რაც მზარდ მსხვერპლიანობას იწვევს და დიდ ზიანს აყენებს რეგიონის ეკონომიკასა და ბუნებრივ ეკოსისტემებს. ამის მიზეზად სახელდება კლიმატის დათბობა მისი თანამდევი ნეგატიური გამოვლინებებით (ჭარბი ნალექების გაზშირება, ზღვის დონის აწევა), ტექტონიკური აქტივობის ზრდა და ბუნებრივ გარემოზე ანთროპოგენური დატვირთვის მატება. კლიმატურ ფაქტორებთან ერთად აჭარაში სტიქიურ-გეოლოგიური მოვლენების განვითარებას განაპირობებს ზედაპირის გეომორფოლოგიური აგებულება და მისი მცენარეული საფარი, სეისმურ-ტექტონიკური პროცესები და ანთროპოგენური ზეწოლის ხარისხი. ბოლო პერიოდში მოსახლეობის რაოდენობის ბუნებრივმა ზრდამ (რომელმაც განვლილი 100 წლის მანძილზე 800% შეადგინა), ასათვისებელი მიწების უკიდურესად შეზღუდულობამ და მზარდმა ანთროპოგენურმა ზეწოლამ გეოეკოლოგიური გართულებები კრიზისულ ზღვრამდე მიიყვანა. დღეისთვის მთიანი აჭარის ტერიტორიაზე ტექნოგენური დატვირთვის კოეფიციენტი 0,7 - 0,9 საზღვრებშია, მაშინ როდესაც მისი გეოლოგიური გარემოს მგრძობიარობის გათვალისწინებით ეს სიდიდე 0,4 - 0,5-ს არ უნდა აღემატებოდეს. ამჟამად აჭარის მოსახლეობას უდიდეს საშიშროებას უქმნის მეწყერ-ღვარცოფული პროცესები, რომელთა სისშირე და ინტენსივობა ბოლო 20 წლის მანძილზე საგრ-

ძნობლად გაიზარდა. თუ გასული საუკუნის 70-იანი წლებისთვის მეწყრებითა და ღვარცოფების დაზიანებადობისა და საშიშროების მიხედვით აჭარა საშუალო და მნიშვნელოვანი რისკების კატეგორიას (კოეფიციენტით 0,3 – 0,5) მიეკუთვნებოდა, 2000 წლისთვის ეს რეგიონი სტიქიური პროცესების დროსა და სივრცეში ექსტრემალური გააქტიურებისა და მიყენებული ზარალის მიხედვით გადაყვანილი იქნა მაღალი და ძლიერ მაღალი საშიშროების კატეგორიაში (რისკების კოეფიციენტით 0,5-0,9). სიტუაციას კიდევ უფრო ართულებს ის გარემოება, რომ რეგიონში ღვარცოფის შედეგად განვითარებული ფორმირებული კერების 80%-ზე მეტი უშუალოდაა დაკავშირებული მეწყერული პროცესების პერიოდულ გამოცოცხლებასთან და მათი საშიშროების რისკი დიდად არის დამოკიდებული მეწყერული პროცესების გააქტიურების მასშტაბებზე [7].

უხვი ნალექების გახშირებასა და სეისმური პროცესების გააქტიურებასთან ერთად მეწყერულ-ღვარცოფული პროცესების ციკლურობა მკვეთრად დაირღვა და ამ პროცესების გამოვლენა მიღებულ ფონს ზემოთ თითქმის ყოველ წელს აღინიშნება. აჭარის ტერიტორიაზე ამ პროცესების შემთხვევათა რიცხვის ცვალებადობა 1967-2009 წწ. პერიოდში, სხვა საშიში მოვლენების სტატისტიკასთან ერთად, მოცემულია ცხრ. 1-ში.

ცხრილი 1. აჭარაში სტიქიურ-გეოლოგიური მოვლენების რაოდენობრივი მახასიათებლები

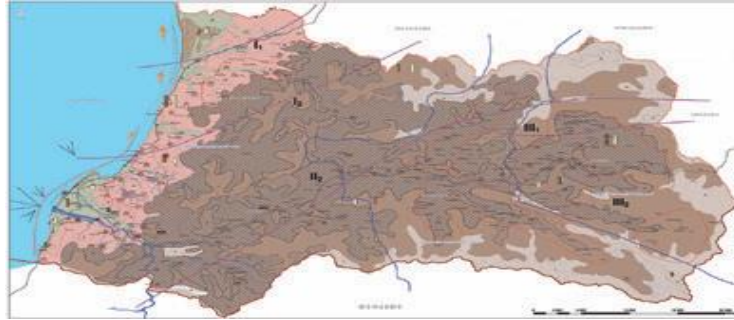
დაკვირ. წლ.	მეწყერი, ზვაგი	ინტენსივობის ღვარცოფების ტრანსფორმირება	მდ.ნაპირ. გარეცხ. კმ	პერიოდულად საშიშროებ. ზონაში მოხვედ რლ. და დასახლ. პუნქტი	საავტომობ.გ ზები (კმ), კომუნიკაც. სუ (რაოდენობა)
1967-68	700,0	210,0	-	185,0	14/-
1976-80	148,0	105,0	-	58,0	8/-
1982	368,0	175,0			
1983-86	112,0	34,0	39,9	85,0	26; ხიდი-80
1987-88	414,0	312,0	20,4	176,0	16; ხიდი-5
1989-91	405,0	100,0	18,1	60,0	26,5; ხიდი-3
1992-95	75,0	110.	44,1	63,0	19,4; ხიდი-13
1996	112	20	15,2	65	8,3; ხიდი-2
1997-98	101	136	21	117	10,9; ხიდი-7
2004-2005	241	332	19	230	27; ხიდი-16
2006	59	13		95	58; ხიდი-3
2007	45	8	23	45	27
2008	300	125	31	165	
2009	410	220	25	185	37
Σ აჭარაში	3490	1900	256,2	1231	267/135

ცხრ. 1-ის მონაცემებიდან ჩანს, რომ მეწყერთა რაოდენობის ზრდა 63%-ია, ხოლო ღვარცოფთა ტრანსფორმირების შემთხვევათა ზრდას 162%. ამითაა განპირობებული ის ფაქტი, რომ დღეისთვის აჭარის მოსახლეობის 70%-ზე მეტი სტიქიური კატასტროფების მუდმივი საშიშროების ქვეშ იმყოფება [1-7].

ბოლო 25 წლის განმავლობაში აჭარის ტერიტორიაზე სტიქიურ-გეოლოგიურ მოვლენებზე ჩატარებული მონიტორინგის შედეგებზე დაყრდნობით აგებულია რეგიონის გეოლოგიური საშიშროების რუკა (სურ. 1), რომელშიც თავმოყრილია მონაცემები ატმოსფერული ნალექებით გამოწვეული კლიმატური და ტექტონისმოგენური მეწყრების გავრცელების, ზღვის ნაპირების გარეცხვის უბნების, ღვარცოფული ხეხების, მეწყრების, ღვარცოფებისა და მიწის ეროზიის მკაფიო გამოვლენის ადგილების შესახებ, აგრეთვე გამოყოფილია სტიქიური პროცესებით გამოწვეული განსაკუთრებით მაღალი რისკის უბნები.

ამ რუკის ანალიზის შედეგად შეიძლება მიღებულ იქნეს დასკვნა, რომ აჭარის ტერიტორიაზე მეწყერულ-ღვარცოფული პროცესები უმეტეს წილად გავრცელებულია მესხეთის ქედის დასავლეთ ფერდობებზე (ხელვაჩაურისა და ქობულეთის მუნიციპალიტეტები). საკმაოდ მაღალია ამ პროცესების განმეორადობა შუახევისა და ხულოს მუნიციპალიტეტების ტერიტორიაზეც.

შედარებით იშვიათია ეს პროცესები მესხეთის ქედის აჭარის ფარგლებში შემავალ ცენტრალურ ნაწილებში და შავშეთის ქედის ჩრდილო ფერდობებზე [7,8].



სურ.1. სტიქიურ-გეოლოგიური პროცესების განაწილება აჭარის ტერიტორიაზე

რაიონს, სადაც ზვავსაშიში პერიოდის მაქსიმალური ხანგრძლივობა 100-150 დღეა, აჭარის ტერიტორიის მაღალმთიანი ზონა უჭირავს (სურ. 2). ზვავსაშიში პერიოდი 50-დან 100 დღემდე უხვთოვლიანი ზამთრის დროს ხასიათდება, ძირითადად, საშუალო მთიანეთის ზონა. რაიონს, სადაც ზვავსაშიში პერიოდის ხანგრძლივობა 50 დღეზე ნაკლებია, აჭარის წინამთები და დაბალმთიანი ზონა უკავია, ხოლო დაბლობი რაიონები, არაზვავსაშიშია.



სურ.2. მეწყერ და ზვავსაშიშიზონები მაღალმთიან აჭარაში

აჭარის მაღალმთიანეთში საშიში გეოლოგიური პროცესების გააქტიურებას რეგიონის გეოლოგიურ-გეომორფოლოგიურ პირობებთან და სამეურნეო საქმიანობით გამოწვეულ ზემოქმედებასთან ერთად განაპირობებს მრავალწლიანი ნორმიდან გადახრილი ანომალური ატმოსფერული ნალექები. ბოლო ნახევარი საუკუნის მანძილზე აჭარაში იმატა უხვი (ქედა, ხულო) და ექსტრემალურად უხვი (ბათუმი) ნალექების განმეორებადობამ, რამაც გამოიწვია რეგიონში მეწყერ-ღვარცოფული, ზვავსაშიში და ეროზიული პროცესების გააქტიურება, აგრეთვე წყალმოვარდნებისა და წყალდიდობების გახშირება (სურ.2). რაც ერთ-ერთი სერიოზული პრობლემაა ამ რეგიონში.

70-იანი წლებიდან დღემდე აჭარის სანაპირო ზონაში 5-ბალიან შტორმიან დღეთა რაოდენობა ორჯერ გაიზარდა, დაფიქსირდა 7-ბალიანი შტორმის შემთხვევაც. ძლიერი შტორმების გახშირება იწვევს ზღვის სანაპირო ზოლში ეროზიული პროცესების გაძლიერებას.

2010 წელს განხორციელდა ადლიის სანაპიროს დროებითი ნაპირგამაგრებითი სამუშაოები. მდ. ჭოროხის შესართავიდან ამოღებულ იქნა და ადლიის სანაპიროზე ჩაიყარა 100 000 მ³ ნატანი. სანაპიროს 3,6 კმ პერიმეტრი დაიყო 3 უბნად. I უბანზე (შესართავიდან 2,3 კმ აეროპორტის მოპირდაპირე მხარე) ჩაიყარა 15 000 მ³ ნატანი; II უბანზე (შესართავიდან 2,3კმ, აეროპორტის მოპირდაპირე მხარე) – 70 000 მ³; III უბანზე – შესართავიდან 3,6 კმ-ზე – 15 000 მ³ . სამუშაოების დასრულების შემდეგ ნაპირმა საშუალოდ 6 მეტრით მოიმატა. 2011 წელს ნაპირგამაგრებითი სამუშაოებისათვის მდ. ჭოროხის დელტიდან ამოღებული იქნა და ადლიის სანაპიროზე ჩაიყარა 100 000 მ³ ინერტული მასალა.

როგორც ცნობილია, სტიქიური მოვლენების გააქტიურებაში მოქმედებს რამდენიმე ფაქტორი: კლიმატური, გეოლოგიური და ადამიანის სამეურნეო საქმიანობით გამოწვეული.

გეოლოგიურ აგებულებაში მონაწილეობას დებულობენ შუა ეოცენის ასაკის ვულკანოგენური ქანები, რომლებიც უმეტეს შემთხვევაში გადაფარულია მეოთხეული ასაკის დელუვიური ნალექებით, ხოლო მდინარეთა ხეობებში ალუვიური ნალექებით. ვულკანოგენური წარმონაქმნები უმეტეს შემთხვევაში ქიმიურად გამოფიტულია და ხასიათდებიან მკვეთრად დაქვეითებული ფიზიკურ-მექანიკური თვისებებით. ეს გარემოება ხელსაყრელ პირობას ქმნის სტიქიურ-გეოლოგიური პროცესების განვითარებისათვის.

ამ პროცესების განვითარებაში დიდ როლს თამაშობს ასევე რელიეფის მორფოლოგია. გრავიტაციული პროცესები (ჩამოქცევა, მეწყერი, ჩამოშლა) უმეტესად ვითარდება ციცაბო რელიეფის პირობებში, რომლის დახრის კუთხე 250-ს აღემატება. ფერდობების მდგრადობისა და მეწყრული პროცესების განვითარების უმთავრესი კრიტერიუმია აღმოჩნდა ფერდობების ამგები ქანების გაწყლიანება ჭარბი ატმოსფერული ნალექებით, ქანების გაწყლიანება მოხდა როგორც ზედაპირული წყლებით, ასევე გრუნტის წყლებით, რომელთა დონეები მნიშვნელოვნად შეივსო ჩანაჟონი წყლებით, ფერდობების ამგები ქანების გაწყლიანება-გადამძიმებამ გამოიწვია ისედაც სუსტი სტატისტიკური წონასწორობის დარღვევა და გრავიტაციული პროცესების განვითარება.

აღსანიშნავია, რომ დაზიანებული ფართობების უმეტესობა გამოყენებულია სასოფლო-სამეურნეო სავარგულებად, რაც დიდ ზეგავლენას ახდენს მეწყრული პროცესების აქტივიზაციაში. სადრენაჟო არხები არ არის გაყვანილი სასოფლო გზების გასწვრივაც, რის გამოც წარმოქმნილი დვარცოფული ნაკადები მიედინებიან უსისტემოდ და ხელს უწყობენ გეოლოგიური პროცესების აქტივიზაციას. მდინარეების ხეობებში მნიშვნელოვნად ადიდება გამოიწვია გვერდითი ეროზიის განვითარება, სასოფლო-სამეურნეო სავარგულების ეროზია (სურ.3) და დატბორვა.



სურ.3. ხულო (გელაძეები), შუახევი (ლაკლაკეთი)

აჭარის ავტონომიური რესპუბლიკის მასშტაბით 2009 წლიდან სტიქიის შედეგად დაზიანებულია დაზარალებულ მოქალაქეთა 2514 საცხოვრებელი სახლი და შენობა-ნაგებობა, მათ შორის 705 საცხოვრებელი სახლი ექვემდებარება გეოლოგიურად მდგრად ადგილზე გადატანას, ხოლო დანარჩენი 1809 საცხოვრებელ სახლს ესაჭიროება სხვადასხვა სახის სარემონტო-გასამაგრებელი სამუშაოების ჩატარება, ხოლო მიმდებარე ტერიტორიებზე აუცილებელია მეწყერსაწინააღმდეგო პროფილაქტიკური სამუშაოების განხორციელება.

მონაცემები სტიქიის შედეგად დაზიანებული საცხოვრებელი სახლების შესახებ 2009-12 წწ. მოცემულია ცხრ. 2-ში.

ცხრილი 2. სტიქიის შედეგად დაზიანებული საცხოვრებელი სახლები მუნიციპალიტეტების მიხედვით 2009-2012 წწ.

მუნიციპალიტეტების დასახელება	2009 წელი	2010 წელი	2011 წელი
ქობულეთი	137	291	74
ხელვაჩაური	429	284	78
ქედა	115	97	64
შუახევი	83	179	50
ხულო	148	274	211
სულ	912	1125	477

კლიმატური ცვლილებებისა და სტიქიურ-გეოლოგიური მოვლენების მიზეზით: 1989 წლიდან საქართველოს სხვადასხვა რეგიონში მაღალმთიანი აჭარიდან განსახლებული იქნა სულ 9072 ოჯახი (ქვემო ქართლი – 2610 ოჯახი, შიდა ქართლი – 170 ოჯახი, კახეთი -853 ოჯახი, სამცხე-ჯავახეთი – 1379 ოჯახი, სამეგრელო – 339 ოჯახი, იმერეთი – 333 ოჯახი, გურია – 3388 ოჯახი).

აჭარის სტრატეგიით კლიმატის ცვლილების ფონზე ექსტრემალური გეოლოგიური პროცესების გავლენის ზრდის შესამცირებლად განიხილება შემდეგი ქმედებები: მონიტორინგის სისტემის მოწყობა (მოსახლეობისათვის მაღალი რისკის ადგილებში; მნიშვნელოვანი ინფრასტრუქტურული ობიექტებისათვის საფრთხის შემქმნელ ადგილებში); პრევენციული ღონისძიებების გატარება მოსახლეობის მაქსიმალური ჩართულობითა და მონაწილეობით; თანამედროვე საპროგნოზო სისტემების დანერგვა; პროფილაქტიკური ღონისძიებების პრაქტიკაში გატარება ინფრასტრუქტურული და ტურისტული ობიექტებისათვის; სამოქმედო გეგმის მომზადება.

დაინტერესებული მხარეების, სამიზნე ჯგუფებისა და ფართო საზოგადოების ინფორმირება და ცნობიერების ამაღლება კლიმატის ცვლილებისა და მისი ზემოქმედების შესახებ არის ამ მიმართულებით მიმდინარე ყველა პროექტისა და პროგრამის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი კომპონენტი. ქვეყანაში თანდათან იქმნება პოტენციური ეროვნულ და ადგილობრივ დონეებზე კლიმატის ცვლილების საადაპტაციო და შემარბილებელი ღონისძიებების დაგეგმვისა და განხორციელებისათვის.

ლიტერატურა

1. აჭარის არგარემოსდაცვისა და ბუნებრივი რესურსების სამმართველო. adjara.gov.ge/branches/default.aspx?gid=1
2. აჭარისა. რ. ჯანმრთელობისა და სოციალური დაცვის სამინისტრო. <http://adjara.gov.ge/branches/default.aspx?gid=3>
3. climateforumeast.org/uploads/other/0/781.pdf
4. საქართველოს გარემოსა და ბუნებრივი რესურსების დაცვის სამინისტროს სსიპ „გარემოს ეროვნული სააგენტო“
5. mastsavlebeli.ge/?p=1343
6. www.spl.ge/storage/uploads/books/1403280308399b5a.pdf
7. აჭარის კლიმატის ცვლილების სტრატეგია. www.undp.org/-content/dam/georgia/docs/...-UNDP_GE_EE_Ajara_CC_2013_geo.pdf.2013;
8. ა. რუხაძე, ი. ვაჩირობიძე, მ. ფანდოვა –კლიმატის ცვლილების მიმართ მოწყვლადობის შეფასება, საქართველოს ანგარიში. climateforumeast.org/uploads/other/0/781.pdf. 2014.

SUMMARY

A BRIEF OVERVIEW OF ADJARA'S NATURAL-GEOLOGICAL PHENOMENA

Loria M.D.

Shota Rustaveli State University, Batumi

The article briefly discusses the natural-geological phenomena of Adjara, the causes and consequences of their origin.

Keywords: natural-geological phenomena, soilerosion, landslide, sandgrazingzones, coastalzone, climate cchange, geologicalstructure.

საქართველოს მდინარეების ჰიდროენერგეტიკული რესურსების ხელახალი შეფასების მიზნშეწონილობის შესახებ

ლომიძე ი.ბ., ხელიძე გ.კ., ფიფია ბ.ჯ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

საქართველოს ბუნებრივ სიმდიდრეთა შორის პირველი ადგილი ჰიდროენერგეტიკულ რესურსებს უჭირავს. ჰიდროენერგეტიკა ქვეყანაში ელექტროენერჯის წარმოების უმნიშვნელოვანესი მიმართულებაა. ამჟამად ჰიდროელექტროსადგურების ჯამური დადგმული სიმძლავრე 3000 მგვტ-ს აღემატება. საქართველოს ელექტროენერჯის ბალანსში ჰიდროენერჯიას დაახლოებით 85% უკავია.

„საქართველოს ენერგეტიკულ სექტორში სახელმწიფო პოლიტიკის ძირითადი მიმართულებების“ თანახმად, ყველაზე მნიშვნელოვანი გრძელვადიანი ამოცანაა: „საკუთარი ჰიდრორესურსებით ელექტროენერჯიაზე ქვეყანაში არსებული მოთხოვნის სრული დაკმაყოფილება: ეტაპობრივად, ჯერ იმპორტის, შემდეგ კი – თბოგენერაციის ჩანაცვლებით“ [1]. ამ ამოცანის განსახორციელებლად, ქვეყანაში ათეულობით ახალი ჰიდროელექტროსადგურის მშენებლობა არის დაგეგმილი.

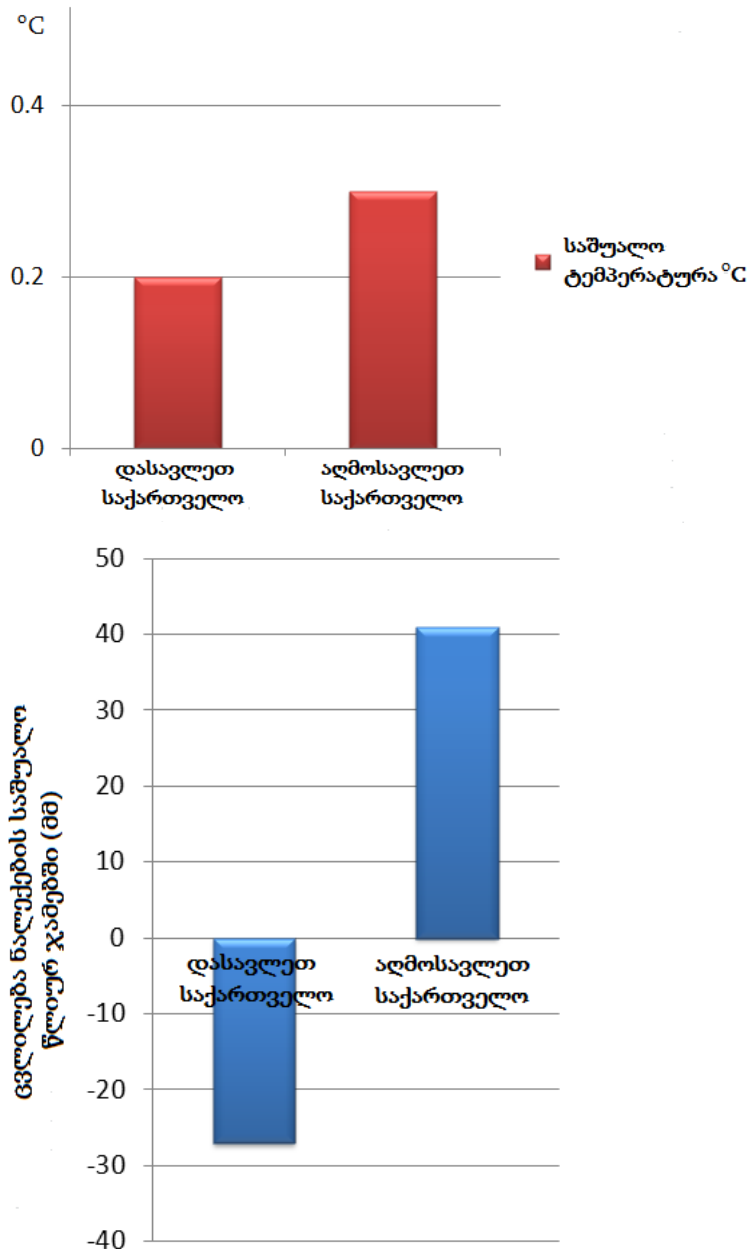
საქართველოს მდინარეების თეორიული ჰიდროენერგეტიკული რესურსები შეფასებული იქნა მე-20 საუკუნის 80-იანი წლების მეორე ნახევარში, ამიერკავკასიის რეგიონალურ ინსტიტუტში აკადემიკოს გივი სვანიძის ხელმძღვანელობით ჩატარებული ფუნდამენტური კვლევების საფუძველზე [2], მთლიანად შესწავლილი იყო 319 მდინარე. მდინარეთა პოტენციალურმა (თეორიულმა) ჯამურმა სიმძლავრემ 15,63 მლნ კვტ., ხოლო საშუალო წლიურმა გამოშუშავებამ 136,92 მლრდ კვტ.სთ შეადგინა. ამჟამად ოფიციალურ საინჟინრო-ტექნიკურ ანგარიშებში, ეს სიდიდეები მიღებულია, როგორც საქართველოს მდინარეების პოტენციური (თეორიული) ჰიდროენერგეტიკული რესურსი. აღსანიშნავია, რომ მოყვანილი სიდიდეები გამოანგარიშებულია 1980 წლამდე არსებულ მდინარეთა ჰიდროლოგიურ მონაცემებზე (წყლის ხარჯები) დაყრდნობით.

ჰიდროენერგეტიკული რესურსები საქართველოს ტერიტორიაზე არათანაბრადაა განაწილებული. ჩვენი მდინარეები უმეტესად მთის მდინარეებია, რომელთა ერთ ნაწილს მყინვარები კვებავს, მეორეს კი თოვლი, წვიმები და გრუნტის წყლები. მათ რეჟიმზე მკვეთრად მოქმედებს ასევე კლიმატური პირობების თავისებურებები, რითაც ქვეყნის ესა თუ ის კუთხე ხასიათდება. ყოველივე ამის გამო, აღმოსავლეთ და დასავლეთ საქართველოს მდინარეები ერთმანეთისგან განსხვავდება წყლიანობის როგორც ოდენობით, ასევე მისი რეჟიმის მიხედვით.

კლიმატის ცვლილება, რომელიც მიღებული თვალსაზრისის მიხედვით გამოწვეულია გლობალური დათბობის ამჟამად მიმდინარე პროცესით, რასაც, თავის მხრივ, განაპირობებს სათბურის გაზების კონცენტრაციის მომატება ატმოსფეროში, გამოვლინდება მრავალი სხვადასხვა ფორმით, როგორცაა ზღვებისა და ოკეანეების დონის აწევა, ჰაერის საშუალო ტემპერატურის მატება, ატმოსფერული ნალექების რეჟიმის შეცვლა, წყლის რესურსების შემცირება, ნიადაგის დეგრადაცია, მყინვარების დნობა, ექსტრემალური მოვლენების ინტენსიფიკაცია, სეზონური ცვლილება (სეზონების „გადაწევა“ ან/და გაქრობა) და სხვა.

საქართველოში კლიმატის ცვლილების ნიშნები მე-20 საუკუნის 60-იანი წლებიდან შეიმჩნევა. სურათი განსხვავებულია ქვეყნის სხვადასხვა რეგიონში. გაეროს კლიმატის ცვლილების ჩარჩო კონვენციისადმი (UNFCCC) საქართველოს მეორე ეროვნულ შეტყობინებაში [3] მოცემულია კლიმატურ პარამეტრებში ცვლილებების ტენდენციები 1955-1970 და 1990-2005 წლებში. დასავლეთ საქართველოში პირველიდან

მეორე პერიოდამდე საშუალო ტემპერატურამ მოიმატა 0,2 °C-ით, ხოლო ნალექების წლიური ჯამი შემცირდა 27 მმ-ით, აღმოსავლეთ საქართველოში საშუალო წლიური ტემპერატურა გაიზარდა 0,3 °C -ით, ასევე აღინიშნება ნალექების წლიური ჯამის ზრდა 41 მმ-ით (ნახაზი).



ჰაერის ტემპერატურის და ნალექების ჯამების ცვლილება 1960 წლამდე არსებულ მრავალწლიურ ნორმასა და 1957-2006 წწ. პერიოდის საშუალო მნიშვნელობებს შორის

ცვლილებები კლიმატურ პარამეტრებში მთლიანად საქართველოსთვის ყოველთვის არ ემთხვევა ცალკეულ რეგიონებში ლოკალურად მიღებულ სურათს. მაგალითად, ნალექების წლიური ჯამის გასაშუალოებული მნიშვნელობა დასავლეთ საქართველოში გვიზღვრებს კლების ტენდენციას, მაშინ როცა დასავლეთ საქართველოს ცალკეულ რაიონებში (მაგალითად ლენტეხში), პირიქით, აღინიშნება ზრდის ტენდენცია. ამასთან ჰაერის ტემპერატურისა და ატმოსფერული ნალექების ცვლილების სიჩქარე განსაკუთრებით გაიზარდა 1985-2005 წლების განმავლობაში.

საქართველოში წყლის რესურსების სიუხვეს განაპირობებს ტერიტორიის მთიანი რელიეფი და უხვი ატმოსფერული ნალექები. მდინარეების ჯამური ჩამონადენი წელიწადში 61,5 მლრდ მ³-ია, აქედან საქართველოს ტერიტორიაზე ფორმირებული ჩამონადენი შეადგენს 52,77 მლრდ მ³-ს. წლიური წყალადება, მათ შორის, ჰესებით ელექტროენერჯის წარმოებისათვის, გაცილებით ნაკლებია და, მაგალითად, 2015 წელს შეადგენდა 30,615 მლრდმ³-ს [4].

მომავალში, ეკონომიკურ განვითარებასთან ერთად, სავარაუდოდ, წყლის რესურსების გამოყენების ინტენსივობა გაიზრდება. კერძოდ, ჰიდროელექტროსადგურების ქსელის დაგეგმილი გაფართოება, ტურიზმის მზარდი ინდუსტრია, წყალმომარაგების ქსელებისა და ირიგაციის სისტემების გაუმჯობესება გამოიწვევს წყალზე მოთხოვნის ზრდას.

ჩატარებული კვლევებით [5], საქართველოში წყლის რესურსებზე კლიმატის ცვლილების შემდეგი ზეგავლენაა მოსალოდნელი: მაგალითად, ტემპერატურის ზრდისა და ნალექების შემცირების პირობებში ტრანსსასახლვრო მდინარეების ალახანისა და ხრამი-დებედას აუზებში მოსალოდნელია ჩამონადენის შემცირება შესაბამისად 26-35%-ით და 45-65%-ით.

საქართველოს ძირითადი ჰიდროენერგეტიკული პოტენციალის მქონე დიდი მდინარეები, როგორც არის ენგური, რიონი, თერგი და სხვა სწორედ მყინვარების დნობის შედეგად წარმოიქმნება. შესაბამისად, მდინარეების ჰიდროლოგიურ რეჟიმზე არსებითი ზემოქმედების მოხდენა შეუძლია მყინვარების დნობის პროცესს, რომელიც თავის მხრივ კლიმატის ცვლილებასთან არის კავშირში. ბოლო ნახევარი საუკუნის მანძილზე მყინვართა რაოდენობა საქართველოში 13%-ით, ხოლო ფართობი 30%-ით შემცირდა. მყინვარების დნობის ძირითადი მიზეზი მყარი ნალექების რაოდენობის შემცირება და საშუალო ტემპერატურის მატებაა [6].

ზემოთ მითითებული იყო, რომ ამჟამად საყოველთაოდ მიღებული საქართველოს ჰიდროენერგეტიკული რესურსების პოტენციალის სიდიდე განსაზღვრულია მდინარეების 1980 წლამდე არსებული ჰიდროლოგიური მონაცემების მიხედვით. 1990 წლამდე არსებული 148 ჰიდროლოგიური სადგურიდან ამჟამად ფუნქციონირებს მხოლოდ 35, შესაბამისად, აღნიშნული პერიოდის შემდეგ, საქართველოში არსებულ მდინარეთა უმეტესობაზე არ არსებობს ჰიდროლოგიური დაკვირვებების მონაცემები, რაც იმას ნიშნავს, რომ არ არსებობს სრულყოფილი ინფორმაცია იმასთან დაკავშირებითაც, თუ რა გავლენა იქონია კლიმატის ცვლილებამ მდინარეების ჰიდროლოგიურ რეჟიმზე.

ყოველივე აღნიშნულიდან გამომდინარე ცხადია, რომ დღის წესრიგში დგება ქვეყანაში არსებული მდინარეების ჰიდროენერგეტიკული პოტენციალის ხელახალი შეფასების საკითხი, რაც უნდა განხორციელდეს არსებული (ფაქტობრივი) ჰიდროლოგიური მონაცემების გათვალისწინებით.

ლიტერატურა

1. საქართველოს ენერგეტიკის სამინისტრო; <http://www.energy.gov.ge/> 04/08/2017
2. Г.Г.Сванидзе, В.П.Гагуа, Э.В.Сухишвили. Возобновляемые энергоресурсы Грузии. -Л.; Гидрометеоиздат, 1987.
3. საქართველოს მეორე ეროვნული შეტყობინება გაეროსკლიმატის ცვლილების ჩარჩო კონვენციისადმი, 2009.
4. საქართველოს სტატისტიკის ეროვნული სამსახური; 04/08/2017.
5. Regional Climate Change Impacts Study for the South Caucasus Region, UNDP/ ENVSEC, 2011, http://www.envsec.org/publications/cc_report.pdf. 04/08/2017.
6. საქართველოს მესამე ეროვნული შეტყობინება გაეროს კლიმატის ცვლილების ჩარჩო კონვენციისადმი, 2015.

SUMMARY

ON THE ADVISABILITY OF REASSESSMENT OF HYDROPOWER RESOURCES OF GEORGIAN RIVERS

**Lomidze I.B., Khelidze G.K. and Pipia B.J.
Georgian Technical University**

The theoretical potential of hydropower resources of Georgian rivers were last assessed in 1987. Recently, climate change studies showed that the climate change (global heating) causes the decrease in water resources. From 1970 to 2005, the average temperature in Western Georgia increased by 0.2°C, while total annual precipitation decreased by 27 mm. It is noteworthy that in Georgia hydrological observations of most rivers have not been carried out since early 90-ties of the last century, which complicates the accounting and forecast of water resources. Taking into consideration all the above-mentioned factors, it is urgent to reassess the energy potential of main Georgian rivers with account for the available hydrological data.

Keywords: hydropower resources, assessment, climate change, ambient temperature. .

ეკოლოგიური წყლის ხარჯი და მისი ბანმსახვრემლი ძირითადი შატლორები

ლომიძე ი.ბ., ხელიძე გ.კ., ჩოხელი ხ.ო., მარდალეიშვილი მ.რ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

საქართველოს მცირემიწიანობისა და ბუნებრივი რელიეფის ტოპოგრაფიული თავისებურებების გათვალისწინებით ენერგეტიკულად ათვისებისათვის ტექნიკურ-ეკონომიკური თვალსაზრისით მიზანშეწონილია მდინარეთა სამთო და მთისწინა უბნების გამოყენება, რომელთა ენერგეტიკული ათვისება უპირატესად სადერივაციო ან შერეული სქემით უნდა განხორციელდეს. ამ პირობებში გარდაუვალია ჰესის სადერივაციო უბნის სიგრძის შესაბამის მდინარის მონაკვეთზე ჩამონადენის შემცირება. აღნიშნულიდან გამომდინარე, გარემოს დაცვითი მოთხოვნების გათვალისწინება მნიშვნელოვანია ჰიდროენერგეტიკული რესურსების უტილიზაციის პროცესში.

მნიშვნელოვანია იმ კრიტიკული ეკოლოგიური პარამეტრების დადგენა, ცალკეული მდინარეებისა და მისი შენაკადების თავისებურების გათვალისწინებით, რაც უზრუნველყოფს მაქსიმალურ ენერგეტიკულ ეფექტს მდინარის მონაკვეთის პოტენციალის ათვისებით. აღნიშნული მიუთითებს ჰიდროელექტროსადგურებიდან წყალგაშვების ეკოლოგიურად მიზანშეწონილი ხარჯების დადგენის აუცილებლობაზე, რაც განპირობებულია იმით, რომ დღეისათვის საქართველოში არ არსებობს გარემოსდაცვითი წყლის ხარჯის განსაზღვრის ოფიციალური ნორმატივი.

ეკოლოგიური წყლის ხარჯის საერთაშორისო, საყოველთაოდ გავრცელებული განმარტება მოყვანილია ბრისბენის დეკლარაციაში: ეკოლოგიური წყლის ხარჯი განსაზღვრავს მდინარის ჩამონადენის რაოდენობრივ, ხარისხობრივ და დროით მაჩვენებლებს, რაც აუცილებელია მტკნარი წყლის ეკოსისტემების ფუნქციონირებისათვის, მოსახლეობის ნორმალური ცხოვრების პირობების შენარჩუნების უზრუნველსაყოფად, რომელიც თავის მხრივ დამოკიდებულია სხენებული ეკოსისტემების მდგომარეობაზე [1].

არსებობს ეკოლოგიური ჩამონადენის განსაზღვრის 200-მდე მეთოდი, რაც იმით აიხსნება, რომ რიგ ქვეყნებში (უწინარეს ყოვლისა ავსტრალია, აშშ და ევროკავშირის ქვეყნები) აქტიურად გამოიყენება ეკოლოგიური ჩამონადენის პრაქტიკა [2].

ეკოლოგიური ჩამონადენის ექსპრეს მოდელირების რიგი მეთოდები ეფუძნება არსებულ მონაცემებს და არ საჭიროებს დამატებით სამუშაოს. სხვა მეთოდები მოითხოვს სავსე კვლევებს და სხვადასხვა დარგის სპეციალისტების: ჰიდროლოგების, ჰიდრობიოლოგების, ისტიოლოგების, ეკოლოგების და ა.შ. მონაწილეობას. მეთოდის შერჩევა განისაზღვრება სამუშაოს შესრულების ვადებით, ანალიზისათვის ხელმისაწვდომი რესურსებით, სამდინარო სისტემის მნიშვნელობით სამეურნეო საქმიანობისთვის და ბიომრავალფეროვნების შენარჩუნებისათვის, წყლის ობიექტებზე ეკოლოგიური ჩამონადენის განსაზღვრის და შემდგომი დანერგვის სირთულით. ეკოლოგიური ჩამონადენის განსაზღვრის ხერხები შეიძლება დაიყოს შემდეგ ჯგუფებად: ჰიდროლოგიური დასაბუთების; ფუნქციონალური კავშირების გამოვლენის; ჰიდრაულიკური შეფასების; არსებობის სფეროს მოდელირების; კომპლექსური მეთოდოლოგიის.

ჩვენ მიერ შესწავლილი იქნა საბერძნეთში, დიდ ბრიტანეთში, შვეიცარიაში, გერმანიაში, დანიაში, საფრანგეთში, ნორვეგიაში, ესპანეთში, პორტუგალიაში, იტალია-ში, ჩეხეთში, რუმინეთში, სლოვენიაში, ბულგარეთში, ლატვიაში, რუსეთში, აშშ-ში, კანადაში, ბრაზილიაში, ჩილეში, ავსტრალიაში და ახალ ზელანდიაში გამოყენებული ეკოლოგიური ხარჯის შეფასების მეთოდები.

საბერძნეთში გარემოსდაცვითი წყლის ხარჯის სიდიდედ მიღებულია საშუალო ზაფხულის წყლის ხარჯის 1/3; დიდ ბრიტანეთში და შვეიცარიაში - საშუალო წელიწადის წლის 347-დღიანი უზრუნველყოფის (განმეორებადობის) წყლის ხარჯი; გერმანიაში - მინიმალური საშუალო თვიური წყლის ხარჯი; დანიაში - წლიური ჩამონადენის მინიმალური წყლის ხარჯი; საფრანგეთში - საშუალო წლიური წყლის ხარჯის 10-25% (მინიმუმ 5 წლიანი პერიოდისათვის) და საშუალო წლიური წყლის

ხარჯის 20%-ს, როცა საშუალო წლიური წყლის ხარჯი მეტია 80 მ³/წმ-ზე; ნორვეგიაში - განისაზღვრება ინდივიდუალურ საფუძველზე, მცირე სიმძლავრის ჰესებისათვის მიღებულია საშუალო წლიური წყლის ხარჯის 10%; ესპანეთში - საშუალო წელიწადის წლის 347-დღიანი უზრუნველყოფის (განმეორებადობის) წყლის ხარჯი, ან აგვისტოს თვის საშუალო ხარჯი, ან საშუალო წლიური წყლის ხარჯის 10%; პორტუგალიაში - საშუალო წლიური წყლის ხარჯის 2,5-5,0%; იტალიაში - საშუალო წლიური წყლის ხარჯის 10%, ან წყალმცირობის პერიოდის 7 დღიანი საშუალო მინიმალური წყლის ხარჯი 10 წლიანი განმეორებადობით, ან საშუალო წელიწადის წლის 347-დღიანი უზრუნველყოფის (განმეორებადობის) წყლის ხარჯი; ავსტრიაში - 1,0 მ³/წმ-ზე მეტი წყლის ხარჯებისათვის საშუალო წლიური წყლის ხარჯის 1/3 და საშუალო წლიური ხარჯის მინიმუმი 1,0 მ³/წმ-ზე ნაკლები წყლის ხარჯებისათვის; ჩეხეთში - საშუალო წელიწადის წლის 330 ან 355 ან 364-დღიანი უზრუნველყოფის (განმეორებადობის) წყლის ხარჯი; რუმინეთში - 95%-იანი უზრუნველყოფის წლიურ მინიმალურ ყოველთვიურ საშუალო ხარჯს და მრავალწლიურ საშუალო წყლის ხარჯის 10%-ს შორის უმცირესი, ან საშუალო დღე-ღამური მოდინების უზრუნველყოფის მრუდის საშუალო დღე-ღამური მოდინების მაჩვენებელი, რომელიც შეესაბამება 95%-იან ალბათობას, ან 3000 კმ²-ზე ნაკლები წყალშემკრები აუზის ფართობის მქონე მდინარეებისათვის, $Q_{გარემოსდაცვითი} = Q_{95\%} + 0,1$ (მ³/წმ) როცა $Q_{95\%} \geq 200$ (ლ/წმ) და $Q_{გარემოსდაცვითი} = 1,25Q_{95\%} + 0,05$ (მ³/წმ), როცა $Q_{95\%} < 200$ (ლ/წმ) [3]; სლოვენიაში - „სწრაფი შეფასების მეთოდი“, რომელიც ეყრდნობა როგორც ძირითადი ჰიდროლოგიური მონაცემების, ასევე ობიექტის შესახებ ინფორმაციას, მათ შორის ჰაბიტატის, ეკოლოგიური და მორფოლოგიური ინფორმაციის გამოყენებას; ბულგარეთში - საშუალო წლიური წყლის ხარჯის 10%, ან 95%-იანი უზრუნველყოფის წლის მინიმალური საშუალო თვიური წყლის ხარჯი; ლატვიაში - ზაფხულის 30 დღიანი მინიმალური წყლის ხარჯის 95%; რუსეთში - მინიმალური ერთდღიანი და 30 დღიანი ზაფხულის და ზამთრის წყლის ხარჯები; აშშ-ში - წყალმცირობის პერიოდის 7 დღიანი საშუალო მინიმალური წყლის ხარჯი, განმეორებადობით 10 წელი, ან წყალმცირობის პერიოდის 7 დღიანი საშუალო მინიმალური წყლის ხარჯი, განმეორებადობით 2 წელი; კანადაში - წყალმცირობის პერიოდის 7 დღიანი საშუალო მინიმალური წყლის ხარჯი, განმეორებადობით 10 წელი, ან წყალმცირობის პერიოდის 7 დღიანი საშუალო მინიმალური წყლის ხარჯი, განმეორებადობით 2 წელი, ან აგვისტოს თვის საშუალო თვიური წყლის ხარჯი, ან საშუალო წლიური წყლის ხარჯის 25%; ბრაზილიაში - წყალმცირობის პერიოდის 7 დღიანი საშუალო მინიმალური წყლის ხარჯი, განმეორებადობით 10 წელი, ან 95%-იანი უზრუნველყოფის წლის მინიმალური საშუალო თვიური წყლის ხარჯი, ჩილეში - საშუალო წლიური წყლის ხარჯის 10%, ავსტრალიაში - განისაზღვრება ინდივიდუალურ საფუძველზე, ახალ ზელანდიაში - საშუალო წლიური წყლის ხარჯის 10-30%, ან საშუალო თვიური წყლის ხარჯის 30-70%, ან 5-წლიანი მინიმალური ხარჯი.

ეკოლოგიური ჩამონადენის ცნება შესულია მსოფლიოს რიგი ქვეყნების საკანონმდებლო აქტებში - კერძოდ, ავსტრალიაში, აშშ-ში, ევროკავშირის ქვეყნებში. მაგ., იმისათვის, რომ ევრო-კავშირის ქვეყნებში ყველა მდინარეში მიღწეული იქნეს „წყლის კარგი მდგომარეობა“, ევროკავშირის წყლის ჩარჩო დირექტივა შეიცავს დაწვრილებით ინსტრუქციებს სამდინარო აუზების მახასიათებლების დადგენისათვის [4].

საქართველოს ჰიდროენერგეტიკულ საპროექტო პრაქტიკაში დამკვიდრდა ეკოლოგიური მიზნებისათვის გატარებული წყლის ხარჯების გაანგარიშება წყალშემზღვევა ნაგებობის გასწორში მდინარის საშუალო მრავალწლიური წყლის ხარჯის 10%-ის ოდენობით [5]. ამასთან, ეს სიდიდე არ არის დაფიქსირებული ნორმატიულ დოკუმენტებში.

მიუხედავად იმისა, თუ რა უზრუნველყოფით არის გამოსახული გარემოსდაცვითი (ეკოლოგიური) წყლის ხარჯი, ამ სიდიდის უნიფიცირებულად გამოყენება ყველა მდინარის ყველა კვეთისათვის არ იქნება მართებული. უფრო კორექტულია მისი დადგენა თითოეული მდინარის ცალკეული წყალაღების კვეთის-ათვის, ინდივიდუალურად - ჰესის სადერივაციო უბნის შესაბამისი მდინარის მონაკვეთის სიგრძის,

ბუნებრივ-კლიმატური ზონის, ადგილობრივი ლანდშაფტის პირობების, დასახლებული პუნქტების, სასოფლო-სამეურნეო სავარგულების, აგრეთვე წყალშემზღუდავი ნაგებობის ქვედა ბიეფში სხვა წყალმომხმარებელი ობიექტების არსებობის გათვალისწინებით.

გარემოსდაცვითი წყლის ხარჯის დადგენის სტრატეგიაში უნდა აისახოს მდინარეების ტიპები კვების სახეობის მიხედვით და მათი ეკოლოგიური წყალგაშვების სიდიდის განმსაზღვრელი ტექნიკური და ეკოლოგიური შემდეგი ფაქტორები: სასმელ და სარწყავ წყალზე მოთხოვნა გაუწელოვნების არეალში, გაუწელოვნების გავლენა წყალსამეურნეო კომპლექსის სხვა მონაწილეთა მოთხოვნებზე, გაუწელოვანებული უბნის სიგრძე და ამ ზონაში მოსახლეობის სიმჭიდროვე. გაუწელოვნების გავლენა მცენარეულ საფარზე. ცხოველთა სამყაროზე. იხტიოფაუნაზე და წყალმცენარეებზე. წყალსადინარის სანიტარულ-ეკოლოგიურ მდგომარეობაზე.

გარემოსდაცვითი წყლის ხარჯების დადგენა, ხელს შეუწყობს გარემოს ეკოლოგიური წონასწორობის შენარჩუნებას, ამასთან შესაძლებლობას მოგვცემს განისაზღვროს ჰიდროენერგეტიკული მიზნებისათვის გამოსაყენებელი წყლის ხარჯის რაოდენობა, რაც არსებითად განაპირობებს პერსპექტიული ჰიდროექტრო-სადგურების ძირითად ტექნიკურ-ეკონომიკურ მახასიათებლებს და განსაზღვრავს მათი განხორციელების ეკონომიკურ მიზანშეწონილობას.

შესაბამისი სამართლებრივი ბაზის არსებობა დაეხმარება პოტენციურ ინვესტორს მიიღოს მოტივირებული გადაწყვეტილება საკუთარი საფინანსო რესურსების განთავსებისათვის ქვეყნის ჰიდროენერგეტიკულ სექტორში, რაც მდგრადი ეკონომიკური განვითარების ხელშემწყობი ფაქტორი იქნება.

ლიტერატურა

1. Brisbane Declaration 2007. <http://www.watercentre.org/news/declaration>. 10.07.2017.
2. Оксана Никитина. Экологический сток и его значение для пресноводных экосистем. -Москва, 2015.
3. ndreea-Cristina gaile, Ileana Tanase, Tereza Lazarine, Bogdan Popa. BALWOIS 2012 - Ohrid, Republic of Macedonia - 28 May, 2 June 2012
4. "Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for the Community action in the field of water policy". http://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/index_en.html 10.07.2017.
5. Ю. Ломидзе, Г. Хелидзе. Р. Патарая, Т. Аршба. К вопросу установления санитарно-экологического попуска из ГЭС. //Georgian Engineering News, №2, 2013, сс. 99-101.

ECOLOGICAL WATER CONSUMPTION AND MAIN DETERMINING FACTORS

Lomidze I.B., Khelidze G.K., Chokheli Kh.O. and Mardaleishvili M.R.

Georgian Technical University

Due to the lack of the legislative framework for environment protection, there emerge serious obstacles in the process of solving simultaneously the energy and ecological problems from the point of view of the rational use of water. This fact creates an artificial barrier to the development of hydropower. The analysis of ecological water consumption in 24 countries showed that, to determine the volume of ecological water consumption, it is appropriate to take into consideration the length of an individually dewatered river section for water intake gates, a natural climate zone, local landscape and habitat conditions of ichthyo-fauna, inhabited localities, agricultural grounds, water management facilities, etc. The issue of ecological water consumption should be considered comprehensively for each object taking into account energy-economic feasibility and ecological risk factors.

Keywords: runoff, river, ecological water consumption, environment protection, hydropower station, water management.

ბიოლოგიური ნარჩენები, რომორც მნიშვნელოვანი საკვები რესურსი

ანდლუაძე შ.ნ., ბაზლაძე ი.გ., კოლოვა ს.მ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
სამხრეთ ურალის სახელმწიფო უნივერსიტეტი ქ. ჩელიაბინსკი რუსეთის ფედერაცია

მეცხოველეობის პროდუქტების წარმოება და ნარჩენების გადამუშავება წარმოადგენს სოფლის მეურნეობისა და მრეწველობის ერთ-ერთ საფართო შესწავლად დარგს. მეფრინველეობის, მეღორეობის, მეთევზეობის, მეცხოველეობის (მათ შორის ძვირფასბეწვიანის) დარგებში წარმოებული პროდუქციის გადამუშავებისა და მიღების პროცესში წარმოიქმნება დიდი რაოდენობის ნარჩენები. მაგალითად, მეფრინველეობის ფაბრიკებში ეს არის წუნდებული და დახოცილი ფრინველი, ბუმბული, ძვლები, სისხლი, საინკუბაციო ნარჩენები, თაგვები, ფეხები, სუბპროდუქტები, რომლებიც არ ექვემდებარებიან შემდგომ გადამუშავებას. ცხოველური წარმოშობის ბიოლოგიური ნარჩენების ჩამარხვა კანონმდებლობით აკრძალულია. ბიოლოგიური ნარჩენი ერთის მხრივ ქმნის პრობლემებს, რადგან დაავადების გაავრცელების წყაროს წარმოადგენს, მეორეს მხრივ, მისი გადამუშავების შედეგად ის ეკონომიკური სარგებლის მომტანია, გარემოს არ აბინძურებს, ასევე არის ფრინველებისა და ცხოველების კვების რაციონის მაღალხარისხოვანი ინგრედიენტი.

წინა წლებში მეცხოველეობის ნარჩენების გადამუშავება ხდებოდა მოძველებულ, ეკონომიკურად არაეფექტურ, ეკოლოგიურად დაბინძურებულ სამადულრე ქვაბებში (ე.წ. ЖАИСа)-ჩანებში. ნარჩენების საკვებად გადამუშავების ტექნოლოგიური პროცესის საფუძველია მაღალ ტემპერატურაზე (120-140°C) 0,3-0,4 მპა წნევისას მიმდინარე ხანგრძლივი (არა ნაკლებ 4-5 საათისა) პროცედურა, რომელიც გულისხმობს ხარშვას, სტერილიზაციას და შრობის სტადიებს. ასეთი ტექნოლოგიის გამოყენებისას ყველა აუცილებელი პარამეტრების დაცვა უზრუნველყოფს სტერილური პროდუქტის მიღებას. თუმცა, სასურველია უკეთესი ხარისხი. კერძოდ, ხანგრძლივი თბური დამუშავების გამო ცილების ნაწილი იშლება, მცირდება მათი შეთვისების უნარი. ამასთანავე, გადამუშავების პროცესს თან ახლავს ლპობის აირების სუნი, რაც ვრცელდება ტერიტორიაზე. ასეთი მოწყობილობების გამოყენება ამჟამადაც ხდება ბევრ საწარმოებში, რომლებიც დამოუკიდებლად გადამუშავებენ საკუთარი წარმოების ნარჩენებს საკვებ დანამატად [1,2].

ექსტრუზიური ტექნოლოგია იძლევა ბიოლოგიური წარმოშობის მეორადი ნედლეულის გადამუშავების საშუალებას ძვირფას საკვებ დანამატად, რასაც, გარდა ეკონომიკური ეფექტიანობისა, გააჩნია ძალზედ მნიშვნელოვანი ეკოლოგიური ასპექტი, რადგან მცირდება გარემოზე ანთროპოგენული დატვირთვა იმ ნარჩენი მასის შემცირების ხარჯზე, რომელიც არ ექვემდებარება რეციკლინგს [3].

ექსტრუზიური ტექნოლოგიის სფეროში დიდი გამოცდილება გააჩნია ЗАО „Экорм“-ს (ქ. ჩელიაბინსკი-რუსეთის ფედერაცია). აღნიშნულ ტექნოლოგიის საფუძველზე ЗАО „Экорм“ უშვებს ხაზებს, რომლებიც იყენებენ ბიონარჩენების გადამუშავების ტექნოლოგიას, რომლის საფუძველიც მშრალი ექსტრუზიური მეთოდია. გახურების ერთადერთი წყარო ხაზუნია. სითბო და წნევა გამომუშავდება ექსტრუზირებული პროდუქტის გაელისას ექსტრუდერის ღეროებში განლაგებულ კომპრესიულ დიაფრაგმაში. პროცესს სჭირდება არა უმეტეს 30 წამისა. ნედლეული დამუშავების რამდენიმე სტადიას გადის: თბური, სტერილიზაცია, გაუვნებელყოფა, მოცულობის გაზრდა, დაქუცმაცება, შერევა, გაუწყლოება, სტაბილიზაცია. საბოლოო პროდუქტი – ცილოვანი საკვები დანამატი შეიძლება გამოყენებული იყოს როგორც მთლიანი რაციონის სახით, ან როგორც სხვადასხვა რაციონის ძირითადი ინგრედიენტი.

ЗАО „Экорп“-ის ტექნოლოგიით ნარჩენების გადამუშავების პროცესი შეიცავს შემდეგ სტადიებს: ნარჩენების დაქუცმაცება, მისი შერევა მცენარეულ შემავსებლებთან, ექსტრუზია, მზა პროდუქციის გაცივება და ფორმირება. შემავსებლებად შეიძლება გამოყენებული იყოს ხორბალი, მათ შორის მანებლებით დაზიანებულიც, ხორბლის ჩენხო, ნამჯა, მცენარეული ნარჩენები.

ტემპერატურული რეჟიმის, წნევის, ტენის, დროის ფაქტორის უნიკალური შერჩევის მეშვეობით ექსტრუდერში დამუშავების შემდეგ მიღებული პროდუქტი სტერილურია და მიიღება სტაბილიზირებული საკვები. მაღალი ტემპერატურა და წნევა ანეიტრალებს ფერმენტების დამშლელ მოქმედებას, რაც ხელს უწყობს მზა პროდუქციის შენახვის ვადების გახანგრძლივებას (არა ნაკლებ 6 თვისა).

აღსანიშნავია, რომ ტექნოლოგიური პროცესისათვის ელექტროენერჯის გარდა არ არის საჭირო სხვა ენერგომატარებლები (აირი, ორთქლი). 1 კგ პროდუქციის მიღებას სჭირდება 0,2 კილოვატი ელექტროენერჯია. პროცესის შედეგად არ რჩება მეორადი ნარჩენები, გამორიცხულია ატმოსფეროში მავნე გამონაბოლქვები, ასევე სამადულრე ჩანებიდან უსიამოვნო სუნის გავრცელება. ცალკე აღსანიშნავია ექსტრუდირებული პროდუქტის ღირსებები. ექსტრუზიური გადამუშავება აძლიერებს ცილების გადამუშავებას. ცილის მოლეკულებში ორმაგი ბმების გაწყვეტის შედეგად (უჯრედების კედლების დაშლა) ხელმისაწვდომია ამინომჟავები, ამასთანავე თვითონ ამინომჟავების სტრუქტურა უცვლელადაა შენარჩუნებული, რადგან თბური დამუშავება მოკლე დროში ხდება. მნიშვნელოვანია, რომ ნეიტრალიზდება ნედლეულის საკვებ ღირებულებაზე უარყოფითი ზემოქმედების ფაქტორები. მაგალითად, ტრიფსინის, ურეაზა და სხვა ინჰიბიტორების მოქმედება [4].

ტექნოლოგიური გადამუშავების პროცესში ხდება სახამებლის უელატიინირება, რაც ამადლებს მისი შეთვისების ხარისხს. ექსტრუდერიდან პროდუქტის გამოსვლისას ტემპერატურა და წნევა მკვეთრად მცირდება, რის შედეგადაც საბოლოო პროდუქტის მოცულობა იზრდება. ცხიმის უჯრედებში ხდება კედლების დაშლა, რის შედეგადაც გამონთავისუფლებული ცხიმები ზრდის პროდუქტის ენერგეტიკულ ფასს. იზრდება ცხიმის სტაბილურობა, ისეთი ფერმენტები, როგორცაა ლიპაზა იწვევს ცხიმების დამდადებას. ექსტრუზიის პროცესში ისინი იშლებიან, ხოლო ბუნებრივი სტაბილიზატორები ლეციტინი და ტოკოფეროლი მთლიანად ინარჩუნებენ აქტიურობას. ხახუნისა და დანაწევრების პროცესში უჯრედისი ქუცმაცდება, რაც ზრდის მისი გადამუშავებისა და შეთვისების ხარისხს.

ЗАО „Экорп“-ის წარმოებული ხაზებით ხორციელდება საკვები რაციონის სხვადასხვა კომპონენტების გადამუშავება. მაგალითად:

- მარცვლეული, რომელსაც დაკარგული აქვს სამომხმარებლო ხარისხი (მაგალითად ძალზე დასველებული ან სასოფლო-სამეურნეო მანებლებით დასნებოვნებული);

- ბოსტნეული და ხილის ნარჩენები;

- კომბიკორმები, თევზისა და ხორც-ძვლოვანი ფქვილი, რომელსაც დაკარგული აქვს სამომხმარებლო თვისებები.

ტექნოლოგიური ხაზის ღირებულება დამოკიდებულია გადასამუშავებელი ნარჩენების მოცულობაზე, საწარმოში არსებულ დანადგარებსა და სხვა ფაქტორებზე. კაპიტალდაბანდების ამოღების ვადა შეადგენს 1-2 წელს.

ამრიგად, ბიოლოგიური ნარჩენების გადამუშავების ტრადიციული მეთოდების აღნიშნული ნაკლოვანებები შეიძლება ავიცილოთ ექსტრუზიური მეთოდის გამოყენებით, რაც ეკოლოგიურად სუფთა წარმოების შექმნის საშუალებას იძლევა. ამ მიმართულებით, როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, დიდი გამოცდილება გააჩნია ЗАО „Экорп“-ს (ქ. ჩელიაბინსკი, რუსეთის ფედერაცია). ტემპერატურული რეჟიმის, წნევის, ტენის, დროის ფაქტორის უნიკალური შერჩევის მეშვეობით ექსტრუდერში დამუშავების შემდეგ მიღებული პროდუქტი სტერილურია და მიიღება სტაბილიზირებული საკვები.

ლიტერატურა

1. Драганов И.Ф., Хазин Д.А., Кольчик Ю.А. Использование некоторых отходов перерабатывающих отраслей АПК в кормлении сельскохозяйственных животных: Обзорная информация. - М., 1995, НИИЭТЭИ агропром, 56 с.
2. Федеральный закон от 24 июня 1998 г. № 89-ФЗ “Об отходах производства и потребления” (с изм. и доп. от 29 декабря 2000 г., 10 января 2003 г., 22 августа, 29 декабря 2004 г., 9 мая, 31 декабря 2005 г.).
3. ანდღულაძე შ.ნ., ბაზღაძე ი.გ., კოლოვა ს.მ. ბიოლოგიური ნარჩენების გადამუშავება ექსტრუზიური მეთოდით. //Georgian Engineering News, 2016, №4 (80), გვ. 129-131.
4. Волик В.Г., Исмаилова Д.Ю., Ерохина О.Н. Эффективная конверсия белков на основе современных способов переработки вторичного сырья. Материалы международной научно-практической конференции «Новые мировые тенденции в производстве продуктов из мяса птицы и яиц». ГУ ВНИИПП, 17-18 октября 2006 г., стр. 161-170.

SUMMARY

BIOLOGICAL WASTE AS A SIGNIFICANT FEED RESOURCE

Andguladze Sh.N., Bazgadze I.G. and Kolova S.M.

Georgian Technical University

South Ural State University, Cheliabinsk, Russia

The technological method of processing the waste of animal husbandry (and different branches of food industry) and resulted products is considered. The method provides obtaining of valuable feed resources. The offered technology of processing the biological waste is based on the extrusive method.

Keywords: biological waste, feed resource, processing, technology, extrusive method.

СПЕКТРЫ ОПТИЧЕСКОГО ПОГЛОЩЕНИЯ АРСЕНИДА ИНДИЯ, ОБЛУЧЕННОГО ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ЭЛЕКТРОНАМИ

Кекелидзе Н.П., Садрадзе К.Г., Квирквелия Б.В.

Грузинский технический университет
Институт Металлургии и Материаловедения им. Ф. Тавадзе
Тбилисский государственный университет им. Ив. Джавахишвили

Введение. Арсенид индия является важным материалом для применения в оптоэлектронике, микроэлектронике и в нанотехнологиях, так как в нем электроны имеют очень высокие значения подвижности и InAs обладает прямыми энергетическими зонами. На их основе изготавливаются фотоэлементы с квантовыми точками с высоким коэффициентом преобразования, а также наноструктуры и др. [1-3]

Нами показано, что арсенид индия обладает уникальными радиационными свойствами, что позволило открыть явление взаимной компенсации радиационных доноров и акцепторов в твердых растворах InAs-InP и создать материалы, которые выдерживают очень высокие потоки жесткого облучения [4-11]. При этом InAs обладает и некоторыми другими интересными свойствами, которые исследованы и проанализированы в данной работе.

Монокристаллы InAs были выращены методом трехзонной плавки [12]. Легирование осуществлялось в основном теллуrom в широкой области концентрации (10^{16} - $10^{19}/\text{см}^3$).

Были измерены спектры оптического поглощения InAs в широкой инфракрасной области спектра. Измерения спектров поглощения осуществлялись на спектрометре UR-20.

Низкотемпературные измерения выполнялись с помощью оптических криостатов с оптическими окнами из КРС-5.

Были выполнены измерения до и после облучения. Кристаллы облучались высокоэнергетическими электронами с энергией $E=50$ МэВ потоком $\Phi=4 \cdot 10^{17}$ эл/см².

Результаты и обсуждения. Основные результаты измерения представлены на рис.1 и рис.2.

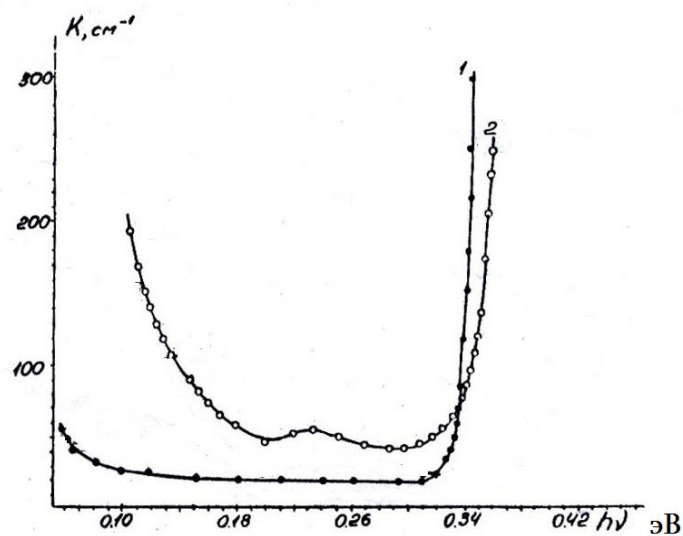


Рис.1. Зависимость коэффициента оптического поглощения от энергии фотона в InAs, $n_0=3 \cdot 10^{16} \text{см}^{-3}$: 1- до облучения; 2- после облучения $\Phi=4 \cdot 10^{17}$ эл/см²; $T=300\text{K}$

На рис.1 изображены спектры оптического поглощения InAs в широкой области спектра. Для образца с исходной концентрацией носителей заряда (электронов) $n_0=3 \cdot 10^{16} \text{см}^{-3}$ до облучения (кривая 1) и после облучения (кривая 2) потоком электронов $\Phi=4 \cdot 10^{17} \text{эл/см}^2$ с энергией $E=50 \text{МэВ}$.

В длинноволновой области спектра полученные кривые отображают поглощение на свободных носителях заряда – как видно из рисунка (кривая 1) до облучения плазменное поглощение не наблюдается, что является результатом того, что при низкой концентрации электронов ($n_0=3 \cdot 10^{16} \text{см}^{-3}$) плазма еще не образуется. Плазменное поглощение четко выявлено только на облученном образце, что вызвано возрастанием концентраций электронов.

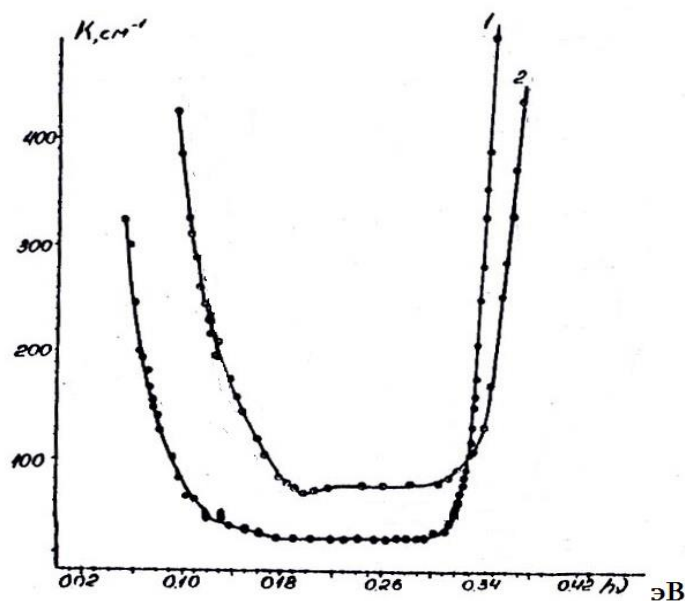


Рис.2. Зависимость коэффициента оптического поглощения от энергии фотона в InAs, $n_0=2 \cdot 10^{17} \text{см}^{-3}$
1- до облучения; 2- после облучения $\Phi=4 \cdot 10^{17} \text{эл/см}^2$; $T=300 \text{K}$

На рис.2 демонстрируются спектры оптического поглощения InAs до и после облучения для материала, в котором исходная концентрация электронов почти на порядок выше, чем в предыдущем образце. Выявленное наличие плазменного поглощения есть результат высокой исходной концентрации электронов.

Согласно классической теории Друде-Лоренца, оптическое поглощение на свободных носителях пропорционально квадрату длины волны фотона,

$$k = \frac{e^3 n}{\pi \bar{n} c^3 m^* u} \lambda^2,$$

где λ - длина волны фотона; n - концентрация электронов; u – подвижность; m^* - эффективная масса электрона; \bar{n} - показатель преломления; c - скорость света.

Выполненные нами измерения позволяют заключить, что закон Друде-Лоренца не соблюдается для InAs, ни для легированных, ни для облученных образцов.

Из наших измерений, а также на основе литературных данных можно заключить, что коэффициент оптического поглощения свободными электронами, в зависимости от длины волны фотона, изменяется по закону:

$$K \sim \lambda^p$$

Наблюдаемая закономерность соблюдается как при изменении температуры, так и при изменении концентрации носителей заряда. К сожалению, значения показателя p , полученные разными авторами, значительно отличаются друг от друга.

Квантовомеханическая теория оптического поглощения свободными носителями [13] связывает показатель p с доминирующим типом рассеяния. Согласно этой теории, $p=2,3$; $p=2,8$; $p=3,8$ при рассеянии на акустических, оптических колебаниях решетки и на ионизированных примесях, соответственно.

Однако как следует из наших результатов, теория Хаги и Кимуры [13] также не обеспечивает полную количественную трактовку проблемы.

При больших концентрациях электронов ($n > 10^{18} \text{см}^{-3}$) нами выявлено не только количественное, но и качественное отличие от [13]. Показано, что показатель p уменьшается с ростом концентрации носителей. Наблюдаемое явление объясняется на основе работы Демиденко [14]. Дело в том, что квантовая теория становится эквивалентной теории Друде-Лоренца, когда выполняется неравенство $E_F/h\nu > 1$. Последнее имеет место для образца с концентрацией $1.5 \cdot 10^{19} \text{см}^{-3}$ и в действительности $p \approx 2$.

Из наших результатов, полученных на облученных и необлученных образцах следует, что наблюдаемая закономерность зависимости показателя p от концентрации носителей есть результат влияния механизмов рассеяния, а также степени непараболичности зоны проводимости.

Кривые в коротковолновой области спектра соответствуют оптическому поглощению вблизи фундаментального края, когда имеется аномальное экспоненциальное поглощение с дефицитом энергии, выраженное соотношением

$$K = K_0 e^{\frac{h\nu}{E_0}},$$

где E_0 - характеристический параметр материала. Указанное явление наблюдается и после облучения.

Общий механизм данного явления разработан в работе [15]. На его основе достигнуто количественное объяснение полученных кривых. Интересно отметить, что поведение облученного образца практически такое же, как для необлученного материала.

Отмеченное позволяет сделать важное заключение о том, что облучение кристаллов InAs высокоэнергетическими электронами с энергией $E=50 \text{МэВ}$ и потоком $\Phi=4 \cdot 10^{17} \text{эл/см}^2$ создает преимущественно дефекты точечного типа, которые играют роль радиационных доноров.

Измерениями в средней области спектра удалось обнаружить селективное поглощение на радиационном дефекте в образце с $n_0=3 \cdot 10^{16} \text{см}^{-3}$. Как видно из рис.1 (кривая 1), оптическое поглощение до облучения практически не меняется в указанной области спектра, тогда как после облучения (кривая 2) зафиксировано поглощение при энергии $E_c \approx (0,23 \div 0,24) \text{эВ}$.

Отмеченный радиационный пик проявлен и в образце с исходной концентрацией носителей $n_0=2 \cdot 10^{17} \text{см}^{-3}$ после облучения потоком электронов $\Phi=4 \cdot 10^{17} \text{эл/см}^2$ (рис.2). Очевидно, значительное количество примесей вызывает некоторое смазывание радиационного пика.

ЛИТЕРАТУРА

1. X. Jiang, Q. Xiong, S. Nam, F. Qian, Y. Li, Ch. M.Lieber. InAs/InP radial nanowire heterostructures as high electron mobility devices. // Nano Lett., 2007, vol. 7, p. 3214.

2. L. Romeo, S. Roddaro, A. Pitani, D. Ercolani, L. Sorba, F. Beltran. Electrostatic spin control in InAs/InP nanowire quantum dots, //Nano Lett., 2012, vol. 12, p. 4490.
3. D. W. Stokes, J. H. Li, R. L. Forrest, S. L. Ammu, J. C. Lenzi, S. C. Moss, B. Z. Nosho, E. H. Aifer, B. R. Bennett, and L. J. Whitman. Optical and structural properties of InAs/GaSb nanostructures, //Mater. Res. Soc. Symp. Proc., 2004, vol. 794, no.T9.9.
4. N. Kekelidze, G. Kekelidze, D. Kekelidze, V. Aliyev. Investigation of $\text{InP}_x\text{As}_{1-x}$ solid solutions and creation of the radiation-resistant materials. //AIP American Institute Of Physics (Proceedings of International Conference on the Physics of Semiconductors, Zurich. 2012), 1566, p.101.(2013); doi: 10.1063/1.4848305
5. N. Kekelidze, B. Kvirkvelia, D. Kekelidze, V. Aliyev, E. Khutsishvili, G. Kekelidze. Phenomenon of Mutual Compensation of Radiation Donors and Acceptors and Creation of Radiation Resistant Materials. //J. of Electric. Eng. 2014, Vol. 2, Number 4, pp.187-192.
6. E. Khutsishvili, B. Kvirkvelia, D. Kekelidze, V. Aliyev, D. Khomasuridze, N. Kekelidze. Carrier mobility of InAs- and InP- rich InAs-InP solid solutions irradiated by fast neutrons. AIP(American Institute Of Physics) (2013), 1566(1), p.103. <http://dx.doi.org/10.1063/1.4848306>. 2013
7. N. Kekelidze, J. Khubua, G. Kekelidze, D. Kekelidze, V. Aliyev, B. Kvirkvelia, E. Khutsishvili. Radiation-resistant Semiconductor Materials for Application on Accelerators, Nuclear Reactors and in Space. //Proceedings of the Seventh International Conference "Physics in the LHC era". pp. 59-70. 2013
8. N. Kekelidze, E. Khutsishvili, B. Kvirkvelia, G. Urushadze, G. Kekelidze. Transport Properties in Solid Solutions of InP and InAs Semiconducting Compounds. //The 32nd International Conference on the Physics of Semiconductors (ICPS 2014) Austin, TX, USA.
9. N. Kekelidze, E. Khutsishvili, B. Kvirkvelia, G. Urushadze, G. Kekelidze. Current Carriers Scattering in InP-InAs Solid Solutions. //J. of Electric. Eng. JEE. Vol.2, #2, pp.86-91.
10. N. Kekelidze, E. Khutsishvili, B. Kvirkvelia, D. Kekelidze, V. Alijev, G. Kekelidze. Transport Properties of InAs-InP Solid Solutions. //J. of Electric. Eng. JEE. 2014, Vol.2, Num.5, pp. 207-212, ISSN 2328-2223, DOI:10.17265/2328-2223.
11. N. Kekelidze, E. Khutsishvili, Z. Kvinikadze, Z. Davitaja, D. Kekelidze, B. Kvirkvelia, K. Sadradze, L. Nadiradze, G. Kekelidze. Nanosized Clusters in InAs and InP Compounds and Their Solid Solutions $\text{InP}_x\text{As}_{1-x}$. //Am. J. Nano Research and applications. 5(3-1). 48-55 <http://www.sciencepublishinggroup.com/j/nano>. doi: 10.11648/j.nano.s.2017050301.21
12. Н. Кекелидзе, Л. Ахвледиани. Получение и некоторые свойства твердых растворов системы InP-InAs. //Сообщения АН ГССР, т. 88, №3, 1977
13. E.Naga, H.Kimura. //J.Phys.Soc. Japan, 19. 4. 1964.
14. З.А.Демиденко. ФТП. 4 II. II. 1970
15. N. Kekelidze, G. Kekelidze. Optical Absorption near the threshold in n-Type InP, InAs Crystals and their $\text{InP}_x\text{As}_{1-x}$ solid solutions. //Physics Letters, 1972, v. 42, No.2.

SUMMARY

OPTICAL ABSORPTION SPECTRA OF INDIUM ARSENIDE IRRADIATED WITH HIGH-ENERGY ELECTRONS

Kekelidze N.P., Sadradze K.G. and Kvirkvelia B.V.

Georgian Technical University

Ferdinand Tavadze Institute of Metallurgy and Materials Science

Iv. Javakhishvili Tbilisi State University

The optical absorption spectra of indium arsenide before and after irradiation with high-energy electrons with energy of $E=50$ MeV and $\Phi=4 \cdot 10^{17}$ el./ cm^2 were studied over a wide spectral range. Plasma absorption was detected in the long wavelength range and analyzed. In the medium wavelength range, selective absorption on the radiation defect with the energy $E_c \approx 0.23-0.24$ eV was detected. From the analysis of the short wavelength range, it follows that, in the result of irradiation, point-type defects playing the role of radiation donors are mainly formed.

Keywords: optical absorption spectra, indium arsenide, point defects, high-energy electrons.

КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЗМОВ РАССЕЙЯНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ В МОНОКРИСТАЛЛАХ АРСЕНИДА ИНДИЯ

Кекелидзе Н.П., Садрадзе К.Г., Квирквелия Б.В.

Грузинский технический университет
Институт металлургии и материаловедения им. Ф. Тавадзе
Тбилисский государственный университет им. Ив. Джавахишвили

Введение. Арсенид индия является интересным и перспективным материалом, который обладает важными электрическими и оптическими свойствами. (В предыдущей статье, представленной в данном же номере журнала [1], изложены результаты изучения инфракрасных спектров оптического поглощения монокристаллов InAs). В Арсениде индия подвижность электронов имеет высокие значения. При этом по сравнению с InSb, арсенид индия характеризуется большим и оптимальным значением ширины запрещенной зоны. InAs обладает прямыми энергетическими зонами, что позволяет создать на их основе высокоэффективные приемники и излучатели, в том числе лазерные диоды с квантовыми точками, ровно как и ряд наноструктур [2-6].

Нами показано, что арсенид индия обладает уникальными радиационными свойствами, заключающимися в том, что радиация вызывает увеличение концентрации электронов при любых условиях [7-11]. Наш приоритет подтвержден известными исследователями Валукиевичем [12] и Герстенбергом [13]. Мы облучали кристаллы InAs электронами с энергиями 3МэВ, 7,5МэВ, а также высокоэнергетическими электронами с энергией 50МэВ и быстрыми нейтронами до больших потоков $\Phi=2 \cdot 10^{18}$ н/см².

В весьма интересных работах Брудного с коллегами [14-15] исследованы электрические и оптические свойства кристаллов InAs, облученных протонами и большими интегральными потоками электронов (~2 МэВ) с $\Phi=1 \cdot 10^{19}$ см⁻². Авторами высказано предположение, что в общем случае, эффективность влияния радиационных дефектов на электрофизические свойства InAs, зависит от уровня легирования исходного материала. В этой связи становится полезной изучение электрических свойств арсенида индия, в которых концентрация примесей изменяется в широких пределах от 10^{16} см⁻³ до 10^{19} см⁻³. Полученные результаты будут использованы для анализа облученных материалов. В работе изложены результаты детальных вычислений, практически всех возможных компонентов подвижности электронов и определены суммарные значения подвижности носителей. Результаты сравнены с экспериментальными данными.

В работе измерялись электрические характеристики материала, в интервале температур 300К-77К, на образцах охватывающих широкий диапазон концентраций электронов (примесей), от 10^{16} см⁻³ до 10^{19} см⁻³.

Результаты и обсуждение. Основные результаты представлены в таблицах I, II, III и на рисунках 1-4.

Были выполнены вычисления компонентов подвижности носителей заряда на основе существующих теорий.

Рассеяние на акустических колебаниях решетки рассчитывалось с помощью теории Бардина и Шокли [16]. Важнейшим параметром, фигурирующим в теории Бардина и Шокли, является деформационный потенциал - E_D . К сожалению, теория не позволяет определить точные значения E_D . Анализируя результаты ряда исследователей и способы определения деформационного потенциала, удалось вычислить корректные значения компонента подвижности $U_{ак}$. Несмотря на то, что в химической связи соединения InAs значительно преобладает

гомеополярная доля, показано, что в отличие от Si и Ge рассеяние на акустических колебаниях решетки никогда не играет даже ощутимую роль.

Показано, что основными механизмами рассеяния являются рассеяние на полярных (оптических) колебаниях решетки и на ионизированных примесях. Вычисление соответствующих компонентов подвижности U_{pol} и U_i требует преодоления значительных трудностей из-за сложности теории рассеяния на полярных колебаниях решетки и на значительном количестве примесных ионов.

Разработкой теории полярного рассеяния было занято много известных исследователей, но в наиболее четкой аналитической форме и к тому же применительно к соединениям III-V теория сформулирована Эренрейхом [16]. Однако, и в этом случае применение приведенного уравнения и точное определение параметров, фигурирующих в теории, требуют преодоления значительных сложностей.

Теория рассеяния на ионизированных примесях была разработана Бруксом и Херингом [16] для случаев слаболегированных полупроводников.

Разработка теории рассеяния для значительно легированных полупроводников и соответствующие вычисления также требуют преодоления больших трудностей, которые эффективно преодолены Мэнсфилдом. Теория учитывает эффекты экранировки свободными носителями. В вычислениях мы учитывали влияние непараболичности. Известно, что при значительных концентрациях носителей, когда уровень Ферми проникает в зону проводимости, проявляется непараболичность зоны проводимости. Дело в том, что в результате небольшого значения эффективной массы электрона в InAs и соответствующего понижения плотности состояний энергетических уровней, уровень Ферми быстро продвигается вверх к высоким энергиям, где уже существенным оказывается эффект непараболичности. При этом во всех расчетах необходимо учитывать значительные увеличения эффективных масс электронов (m^*). Точные значения m^* которыми мы пользовались в наших расчетах, нами были ранее определены в работе [17].

В наших образцах, в исследуемом нами температурном интервале роль рассеяния на нейтральных атомах примеси не следует учитывать. Тем не менее нами осуществлена проверка теории Ергинсоа. Показано, что она дает некорректные результаты, особенно при значительных концентрациях примесей. Из теории следует, что нейтральные центры рассеивают электроны намного сильнее, чем такое же количество ионизированных центров, что является физически необоснованным положением.

Корректные результаты получаются при использовании формулы Склера.

Главным механизмом всегда остается рассеяние на оптических колебаниях решетки и на ионизированных примесях.

Электрон-электронное взаимодействие оценивалось при помощи теории Содха и Варшны. Показано, что оно играет ощутимую роль в значительно и сильно легированных материалах. Однако при высших концентрациях электронов (примесей) доминирующую роль играет рассеяние на ионизированных центрах.

Выполнены расчеты компонента подвижности, соответствующего рассеянию на пьезоэлектрическом потенциале. Расчеты проводились на базе теории Гаррисона. Сопоставляя полученные значения с другими компонентами подвижности, приходим к заключению, что в исследуемых нами кристаллах, в которых концентрация примесей $n \geq 10^{16} \text{см}^{-3}$, пьезоэлектрическое рассеяние всегда играет неоощутимую роль.

Такое же положение имеется и для рассеяния на дислокациях.

В наших высококачественных материалах не проявляется ощутимая роль рассеяния на возможных неоднородностях материала.

Аналізу подверглись образцы InAs, с концентрацией электронов с $n_0 \sim (10^{16}, 10^{17}, 10^{18} \text{ и } 10^{19}) \text{см}^{-3}$, которые необходимы для достижения обобщенных представлений.

В табл. 1 сведены экспериментальные и расчетные данные компонентов подвижности образца арсенида индия n-типа с концентрацией $n=2,9 \cdot 10^{16} \text{см}^{-3}$ (соответствующий график $U(t)$ представлен на рис.1), где T - температура по шкале кельвина; $\mu^* = \frac{E_F}{kT}$ - приведенный

уровень Ферми; k - постоянная Больцмана; U_{pol} - подвижность электронов, соответствующая рассеянию на полярных (оптических) колебаниях решетки; U_{ak} - на акустических колебаниях решетки; U_i - на ионизированных примесях; $U_{\text{экс}}$ - экспериментальное значение подвижности, а U_s - суммарная теоретическая величина. Естественно, что в данном нелегированном, практически чистом образце, приведенный уровень Ферми вплоть до температуры $T \approx 130 \text{K}$ находится ниже зоны проводимости и, соответственно, имеет отрицательные значения. Расчеты показывают, что в чистом образце основную роль играет рассеяние на полярных колебаниях решетки. Ионное рассеяние становится сравнимым с ним около $T \approx 150 \text{K}$. Только при температуре кипения жидкого азота ($T=77 \text{K}$) преобладает рассеяние на ионизированных примесях. Акустическое рассеяние никогда не играет важную роль и им можно пренебречь. В области комнатных температур оно на два порядка слабее полярного рассеяния.

Суммарные значения подвижностей определялись с помощью сложения обратных величин соответствующих компонентов.

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{U_{\text{pol}}} + \frac{1}{U_i}$$

Таблица I InAs $n=2,9 \cdot 10^{16} \text{см}^{-3}$

T, K	μ^*	U_{pol} $\times 10^4 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{сек}$	U_{ak} $\times 10^6 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{сек}$	U_i $\times 10^5 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{сек}$	U_s $\times 10^4 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{сек}$	$U_{\text{экс}}$ $\times 10^4 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{сек}$
290	-1,05	2,8	3,8	2,2	2,48	2,2
250	-0,8	3,5	4,7	1,9	2,95	2,8
200	-0,4	5,0	6,3	1,6	3,8	3,4
170	-0,1	7,3	7,8	1,43	4,8	3,9
150	-0,15	9,9	9,2	1,34	5,66	4,2
130	0,45	15,1	11,4	1,16	6,5	4,4
100	1,0	42,2	15,5	0,94	7,67	4,6
77	1,7	14,2	22,7	0,88	8,2	4,5

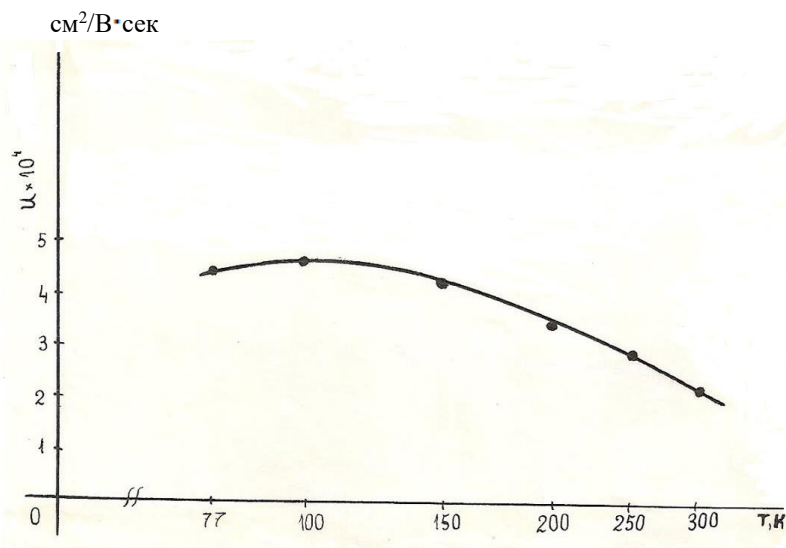


Рис.1. Зависимость подвижности электронов от температуры для образца арсенида индия с концентрацией электронов $n=2,9 \cdot 10^{16} \text{см}^{-3}$

Вычисленные значения подвижности находятся в хорошем согласии с экспериментальными величинами во всем исследуемом интервале.

В табл. 2 представлены данные для легированного образца InAs с концентрацией электронов $n=1,56 \cdot 10^{17} \text{см}^{-3}$. Соответствующий график $U(t)$ представлен на рис. 2. Видно, что уровень Ферми, незначительно, но проникает в зону проводимости, а с понижением температуры, при $T=200\text{K}$ начинается вырождение. Как и следовало ожидать, акустические колебания не играют ощутимой роли. Основными механизмами рассеяния являются рассеяния на полярных колебаниях и на ионах. При этом, в области комнатных температур все еще доминирует рассеяние на оптических колебаниях, которое становится сравнимой с ионным рассеянием в близи $T=230\text{K}$, а ниже уже преобладает рассеяние на ионизированных примесях. Для достижения лучшего согласия теоретических и экспериментальных данных, необходим учет электрон-электронного рассеяния.

Таблица 2. $n=1,56 \cdot 10^{17} \text{см}^{-3}$

T, K	μ^*	U_{pol} $\times 10^4 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{сек}$	$U_{\text{ак}}$ $\times 10^6 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{сек}$	U_i $\times 10^4 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{сек}$	U_s $\times 10^4 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{сек}$	$U_{\text{экс}}$ $\times 10^4 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{сек}$
290	0,87	3,15	3,08	6,7	2,13	1,65
250	1,2	4,25	3,88	6,2	2,51	1,8
230	1,4	5,0	4,4	5,8	2,67	1,94
200	1,8	7,6	5,2	5,48	3,17	2,0
170	2,3	11,6	6,5	4,46	3,23	2,14
150	2,7	16,2	7,6	4,2	3,3	2,17
130	3,2	26,8	9,5	4,16	3,58	2,19
100	4,3	28,6	13,3	4,0	3,8	2,24
77	5,7	36,0	19,0	3,8	3,73	2,2

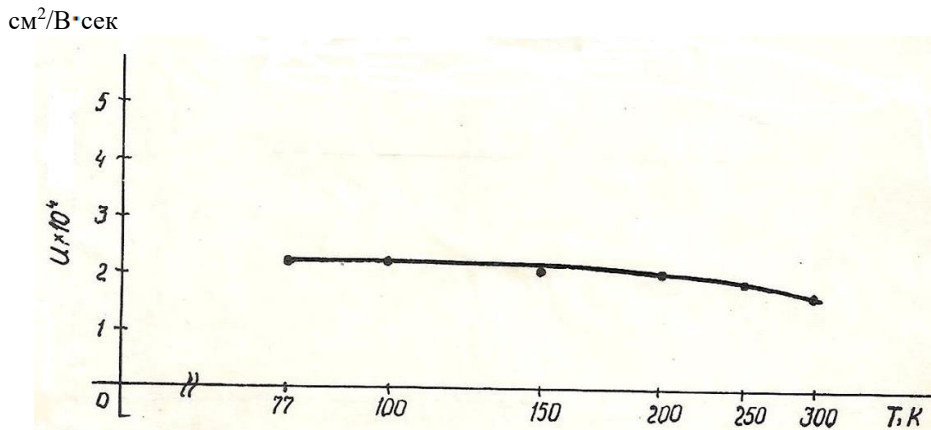


Рис.2. Зависимость подвижности электронов от температуры для образца арсенида индия с концентрацией электронов $n=1,56 \cdot 10^{17} \text{см}^{-3}$

Результаты измерений на образце с $n=2,5 \cdot 10^{18} \text{см}^{-3}$ и соответствующий график представлены в табл. 3 и на рис.3. Очевидно, образец является вырожденным. Уже при комнатной температуре приведенный уровень Ферми $\mu^*=5,6$, а с понижением температуры степень вырождения резко возрастает. Очевидно, при столь высоких концентрациях примесей основным механизмом рассеяния должно быть рассеяние на ионизированных центрах, что хорошо подтверждается расчетами. Из таблицы видно, что при $T=290\text{K}$ компоненты подвижности $U_i \approx 10000 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{сек}$, $U_{\text{pol}}=57000 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{сек}$, а экспериментальное значение $U_{\text{экс}}=9600 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{сек}$ в хорошем согласии с U_i - Рассеяние на ионизированных примесях вычислялось с помощью теории Мотта и соответствующая подвижность носителей не зависит от температуры - $U_i=\text{const}$. Акустическое рассеяние опять незначительна ($U_{\text{ак}}=8,7 \cdot 10^5$

см²/В·сек). Экспериментальные значения подвижности хорошо согласуются с расчетными данными во всем исследуемом температурном интервале.

Таблица 3. $n=2,5 \cdot 10^{18} \text{см}^{-3}$

T, K	μ^*	$U_{\text{пол}}$ $\times 10^4 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{сек}$	U_i $\times 10^4 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{сек}$	$U_{\text{ак}}$ $\times 10^5 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{сек}$	U_s $\times 10^3 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{сек}$	$U_{\text{экс}}$ $\times 10^3 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{сек}$
290	5,6	5,7	1,06	8,70	8,9	9,6
270	6,0	7,2	1,06	9,65	9,2	9,7
250	6,6	8,9	1,06	10,5	9,5	10,0
230	7,1	12,2	1,06	11,6	9,8	10,5
200	8,2	20,5	1,06	14,3	10,1	10,6
170	9,7	96,7	1,06	14,8	10,4	10,8
150	11,1	41,4	1,06	20,9	10,6	10,9
130	12,8	46,8	1,06	26,0	10,6	11,0
100	16,6		1,06		10,7	11,3
77	17,4		1,06		10,7	11,0

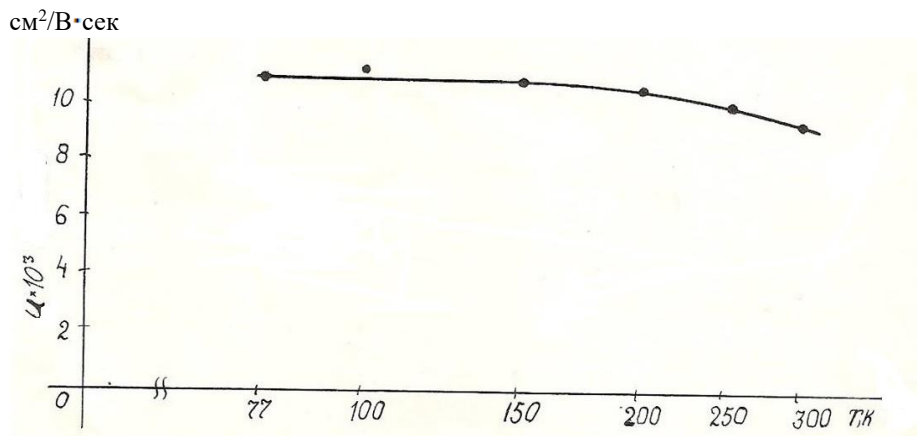


Рис. 3. Зависимость подвижности электронов от температуры для образца арсенида индия с концентрацией электронов $n=2,5 \cdot 10^{18} \text{см}^{-3}$

Нами были исследованы также InAs с очень высоким содержанием примесей $n=1,6 \cdot 10^{19} \text{см}^{-3}$.

В указанном образце приведенный уровень Ферми (при $T=300\text{K}$) $\mu^*=11,3$. Естественно, величина подвижности полностью определяется рассеянием на ионизированных примесях. При $T=290\text{K}$ ее величина $U_i=3900 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{сек}$. Полярное решеточное рассеяние уже не сравнимо с соответствующим рассеянием на ионах и им можно пренебречь. В этих условиях рассеяние на акустических колебаниях решетки играет большую роль, чем рассеяние на полярных колебаниях решетки, но его роль в величине суммарной подвижности практически не ощутима при $T=290\text{K}$, $U_{\text{ак}}=300000 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{сек}$. Достигнуто также хорошее согласие теории с экспериментом.

Оценено пьезоэлектрическое рассеяние, а также рассеяние на дислокациях и возможное рассеяние на неоднородностях кристаллов. Показано, что ни одно из них не играет ощутимую роль в формировании подвижности электронов в исследуемых монокристаллах арсенида индия.

На рис.4 представлены кривые экспериментальных и теоретических данных подвижности электронов в образце InAs с концентрацией электронов $n=2,5 \cdot 10^{18} \text{см}^{-3}$.

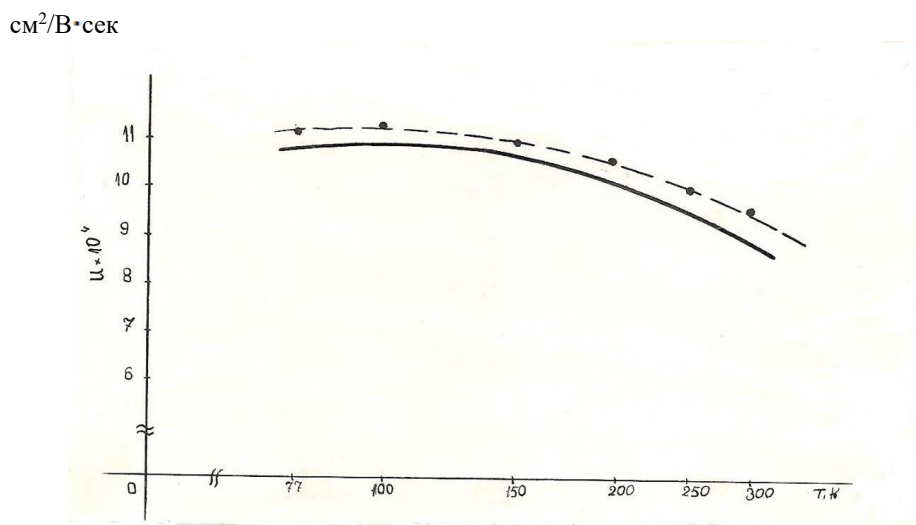


Рис.4. Сравнение экспериментальных (пунктирная кривая) и теоретических (сплошная кривая) данных подвижности носителей в монокристалле InAs с $n=2.5 \cdot 10^{18} \text{см}^{-3}$

ЛИТЕРАТУРА

1. Н.П.Кекелидзе, К.Г.Садрадзе, Б.В.Квирквелия. Спектры оптического поглощения арсенида индия, облученного высоко энергетическими электронами. //Georgian Engineering News, #3(83), сс.71-74.
2. Xiaocheng Jiang, QihuaXiong, Sungwoo Nam, Fang Qian, YatLi et al. InAs/InP Radial Nanowire Heterostructures as High Electron Mobility Devices. //NanoLetters, 2007, vol.7, No.10, pp. 3214-3218,.
3. Lorenzo Romeo, Stefano Roddaro, Alessandro Pitani, Daniele Ercolani, Lucia Sorba, Fabio Beltran. Electrostatic Spin Control in InAs/InP Nanowire Quantum Dots. //Nano Lett., 2012, 12(9), pp. 4490-4494.
4. D.W.Stokes, J.H.Li, R.L.Forrest, S.L.Ammu, J.C. Lenzi and al. Optical and Structural Properties of InAs/GaSb Nanostructures. /Mat. Res. Soc. Symp. Proc., 2004, Vol.794, Materials Research Society.
5. T.C.Newell, D.J.Bossert, A.Stintz, B.Fuch, K.J.Malloy, L.F.Lester. Gain and line width enhancement factor in InAs quantum-dot laser diodes. //IEEE J.Phot. Technol. Lett., 1999, 11, p.1527.
6. Y.Kuwahara, H.Oyanagi, Y.Takeda, H.Yamaguchi, M.Aono. Bond length relaxation in ultrathin $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}$ and $\text{InP}_x\text{As}_{1-x}$ layers on InP (100). //Applied Surface Science, 1992, Vol. 60-61, pp. 529-533.
7. N.P. Kekelidze, G.P. Kekelidze. Radiation Effects in Indium Arsenide, Indium Phosphide and Their Solid Solutions./International .Physical Conference, Radiation Effects in Semiconductors, Dubrovnik, 1976, Ser. 31, p. 387.
8. Н.П.Кекелидзе. Электрические и оптические свойства соединений InAs и InP, облученных электронами с энергией 50МэВ. //RadiationEffects, 1977, 32, 113.
9. N.Kekelidze, B.Kvirkvelia, D. Kekelidze, V. Aliyev, E. Khutsishvili, G. Kekelidze. Phenomenon of Mutual Compensation of Radiation Donors and Acceptors and Creation of Radiation-Resistant Materials. //J.El. Eng., 2014, vol. 2, No. 4, pp. 187-192. .
10. E.Khutsishvili B.Kvirkvelia, D. Kekelidze, V.Aliyev, D.Khomasuridze, L.Gabrighidze, Z.Guguchia, N.Kekelidze. Carriers Mobility of InAs- and InP-rich InAs-InP Solid Solutions Irradiated by Fast Neutrons.//Amer.Ins.Phys.Proceedings, 2013, 1566,103.
11. N. Kekelidze, E. Khutsishvili, Z. Kvinikadze, Z. Davitaia, D. Kekelidze, B. Kvirkvelia, K.Sadradze, L. Nardradze,G. Kekelidze. Nanosized clusters in InAs, InP compounds and their solid solutions $\text{InP}_x\text{As}_{1-x}$. //Amer. J. Nano Res. App., 2017, 5(3-1), pp. 48-55.
12. W.Walukiewicz. Mechanism of Schottky barrier formation: The role of amphoteric native defects. //J.Vac.Sci. Technol., 1987, 5(4),1062-1067.
13. H.Gerstenberg. Transport properties of degenerate InSb and InAs after fast neutron irradiation at low temperature. //PhysicaStaus Solidi (A), 1991, 128(2), pp. 483-490.
14. В.Н. Брудный, Н.Г. Колин, А.И. Потапов, Электрофизические свойства InAs, облученного протонами. //ФТП, 2003, том 37, вып.4.
15. В.Н. Брудный, С.Н. Гриняев, Н.Г.Колин, Электрофизические и оптические свойства InAs, облученного электронами (~2МэВ): Энергетическая структура собственных точечных дефектов. //ФТП, 2005, том 39, вып.4.
16. А.И. Ансельм. Введение в теорию полупроводников. - Москва, Наука, 1978.

17. Н.П. Кекелидзе, Г.П. Кекелидзе, З. Д. Махарадзе. Спектры отражения сильнолегированных твердых растворов In-InP_xAs_{1-x}. //J. dePhysique, 1974, 35,365.

SUMMARY

QUANTITATIVE ANALYSIS OF SCATTERING MECHANISMS OF ELECTRONS IN INDIUM ARSENIDE SINGLE CRYSTALS

Kekelidz N.P., Sadradze K.G. and Kvirkvelia B.V.

Georgian Technical University

Ferdinand Tavadze Institute of Metallurgy and Materials Science

Iv. Javakhishvili Tbilisi State University

In InAs single crystals, in which electron concentration varied over a wide range from 10^{16} to 10^{19}cm^{-3} , we computed the components of carrier mobility corresponding to the scattering of electrons by polar lattice vibrations, acoustic lattice vibrations, ionized impurities (both in lightly and heavily doped materials), neutral centers, and also to scattering of electrons by electrons. Besides, we assessed piezoelectric scattering, dislocation scattering and scattering by alleged inhomogeneity. Theoretical values of total mobility were determined and compared with experimental data. The correlation was good.

Keywords: electron scattering, mobility, effective mass, indium arsenide, single crystal.

MATHEMATICAL-CHEMICAL INVESTIGATION OF HYDROGEN HALIDES

Gverdtsiteli M.I., Kvernadze M.S. and Kizikurashvili V.N

Iv. Javakhishvili Tbilisi State University

Abstract. The mathematical-chemical investigation of hydrogen halides was carried out within the scope of the ANB-matrices method. Five correlation equations of the structure-properties type were derived. The correlations are satisfactory.

Keywords: hydrogen halides, ANB-matrices, correlation equations.

Mathematical chemistry is a new branch of modern theoretical chemistry. By application of the categories of higher algebra (graphs, matrices, etc.) it investigates and solves considerable problems of structural chemistry [1-2].

Contiguity matrices of molecular graphs and their various modifications are widely used in mathematical chemistry for investigation of molecules and their transformations and the ANB-matrix falls into their type [3-4].

The diagonal elements of the ANB-matrix represent the atomic numbers of chemical elements; the nondiagonal elements represent the multiplicities of chemical bonds. For an arbitrary XYV molecule, the ANB-matrix has the form:

$$\begin{vmatrix} Z_X & \Delta_{XY} & \Delta_{XV} \\ \Delta_{XY} & Z_Y & \Delta_{YV} \\ \Delta_{XV} & \Delta_{YV} & Z_V \end{vmatrix} \quad (1)$$

where: Z_X, Z_Y, Z_V are the atomic numbers of the X, Y, V chemical elements; $\Delta_{XY}, \Delta_{XV}, \Delta_{YV}$ are the multiplicities of the chemical bonds $X \sim Y, X \sim V, Y \sim V$.

The mathematical-chemical investigation of hydrogen halides was carried out within the scope of the ANB-matrix method. The general formula of these compounds is:



where $X \equiv F, Cl, Br, I, At$.

The corresponding ANB-matrix has the form:

$$\begin{vmatrix} 1 & 1 \\ 1 & Z_X \end{vmatrix} \quad (3)$$

In the table, the values of $\lg(\Delta_{ANB}), \Delta H_{f,298}^0, S_{298}^0, \Delta G_{f,298}^0, E_{H-X}$ and μ_0 for hydrogen halides are given [5-6].

The values of $\lg(\Delta_{ANB}), \Delta H_{f,298}^0, S_{298}^0, \Delta G_{f,298}^0, E_{H-X}$ and μ_0 for hydrogen halides

HX	$\lg(\Delta_{ANB})$	$\Delta H_{f,298}^0$ Ccal/mol.	S_{298}^0 Cal/(k.mol)	$\Delta G_{f,298}^0$ ccal/mol	E_{H-X} KJ/mol	μ_{10^{29}, cl^*m}
HF	0.90	-64.8	41.5	-63.3	565	0.640
HCl	1.20	-22.1	44.6	-22.8	431	0.347
HBr	1.53	-8.7	47.5	-12.8	364	0.263
HI	1.72	+6.3	49.4	+0.4	297	0.127
Hat	1.92	(+18.2)	(51.3)	(+9.6)	(246)	(0.043)

Five correlation equations were derived using a computer:

$$\Delta H_{f,298}^0 = 54,6 \lg (\Delta_{ANB}) - 86,6 \quad (4)$$

$$S_{298}^0 = 9,21 \lg (\Delta_{ANB}) + 33,6 \quad (5)$$

$$\Delta G_{f,298}^0 = 44,6 \lg (\Delta_{ANB}) - 76,3 \quad (6)$$

$$E_{H-X} = -258 \lg (\Delta_{ANB}) + 741 \quad (7)$$

$$\mu = -0,423 \lg (\Delta_{ANB}) + 0,855 \quad (8)$$

The correlation coefficient r is equal to: 0,981; 0,982; 0,981; 0,983; 0,981, respectively. Thus, in accordance with Jaffe's criterion [7], the correlations are satisfactory.

The data for HAt were calculated theoretically (given in brackets) based on correlation equations (4) - (8).

REFERENCES

1. Chemoinformatics, Ed.I. Gastaiger and T.Engel. - Wiley – VCH, 2009.
2. P.R.Ruvrey. Chemical Application of Topology and Graph Theory. – Amsterdam, Elsevier Science Publishing, 1983.
3. M.Gverdtsiteli, G.Gamziani, I.Gverdtsiteli. The Contiguity Matrices of Molecular Graphs and their Modifications.- Tbilisi, Tbilisi Univ. Press, 1996.
4. K.Kupatadze, T.Lobzhanidze, M.Gverdtsiteli. Algebraic-Chemical Investigation of some Organic Molecules and their Transformations. – Tbilisi, Universal, 2007.
5. В.А. Куреев. Методы практических расчетов в термодинамике химических реакций. – Москва, Химия, 1975, сс.378-379.
6. Н.С.Ахметов. Общая и неорганическая химия. – Москва, Высшая школа, 2005, с.332.
7. M. Gverdtsiteli. Selected Chapters of Physical Organic Chemistry. – Tbilisi, Tbilisi Univ. Publ., p. 19, 1982.

РЕЗЮМЕ

МАТЕМАТИКО-ХИМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЛОГЕНВОДОРОДОВ

Гверцители М.И., Квернадзе М.С., Кизикурашвили В.Н.

Тбилисский государственный университет им. Ив. Джавахишвили

Проведено математико-химическое исследование галогенводородов в рамках метода АНС-матриц. Построены пять корреляционных уравнений. Корреляции удовлетворительны.

Ключевые слова: галогенводороды, АНС-матрица, корреляционные уравнения.

**MATHEMATICAL-CHEMICAL INVESTIGATION OF
ARSENIC (III) HALIDES**

Sidamonidze N.N., Koiava N.A., Rtskhiladze N.I. and Gverdtseteli M.I.

**Iv.Javakhishvili Tbilisi State University
Tbilisi State Medical University**

Abstract. The mathematical-chemical investigation of arsenic (III) halides was carried out within the scope of the ANB- and GANB-matrices methods. Six correlation equations of the structure-property type were derived. The correlations are satisfactory.

Keywords: arsenic (III) halides, ANB-matrix, GANB-matrix, correlation equations.

By using the categories of higher algebra (groups, graphs, matrices, etc.), mathematical chemistry investigates and solves considerable problems of theoretical chemistry [1,2].

Contiguity matrices of molecular graphs and their various modifications are widely used in mathematical chemistry for investigation of molecules and their transformations (chemical reactions); ANB- and GANB-matrices fall into this type [3,4].

The diagonal elements of the ANB-matrix represent the atomic numbers of chemical elements, and the nondiagonal elements represent the multiplicities of chemical bonds. For an arbitrary XYV molecule, the ANB-matrix has the form:

$$\begin{vmatrix} Z_X & \Delta_{XY} & \Delta_{XV} \\ \Delta_{XY} & Z_Y & \Delta_{YV} \\ \Delta_{XV} & \Delta_{YV} & Z_V \end{vmatrix} \quad (1)$$

where Z_x , Z_y , Z_v are the atomic numbers of X, Y, V chemical elements; Δ_{xy} , Δ_{xv} , Δ_{yv} are the multiplicities of the chemical bonds X~Y, X~V, Y~V.

The mathematical - chemical investigation of arsenic (III) halides was carried out within the scope of the ANB-matrices method. The general formula of these compounds looks like



where X ≡ F, Cl, Br, I.

The corresponding ANB- matrix has the form:

$$\begin{vmatrix} 33 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & Z_X & 0 & 0 \\ 1 & 0 & Z_X & 0 \\ 1 & 0 & 0 & Z_X \end{vmatrix} \quad (3)$$

where 33 is the atomic number of arsenic.

In the table the data on $\lg(\Delta_{\text{ANB}})$, $\lg(\Delta_{\text{GANB}})$, T_{boil} , ΔH_f^0 and ΔG_f^0 of arsenic (III) halides are given [5].

The data only(Δ_{ANB}), $\lg(\Delta_{GANB})$, $T_{boil.}$, ΔH_f^0 and ΔG_f [5] for arsenic (III) halides

Compound	$\lg(\Delta_{ANB})$	$\lg(\Delta_{GANB})$	$T_{boil.} \text{ } ^\circ\text{C}$	$\Delta H_f^0 \text{ RJ/mol}$	$\Delta G_f, \text{ RJ/mol}$
AsF ₃	4.37	2.95	50	- 921	- 908
AsCl ₃	5.68	3.22	130	- 305	- 268
AsBr ₃	6.14	3.54	221	- 199	- 162
N nAsI ₃	6.69	3.72	403	- 58	- 66

There correlation equations were constructed on computer:

$$T_{boil.} = 273 \lg(\Delta_{ANB}) - 1419 \quad (4)$$

$$\Delta H_f = 247 \lg(\Delta_{ANB}) - 1702 \quad (5)$$

$$\Delta G_f = 202 \lg(\Delta_{ANB}) - 146 \quad (6)$$

The coefficient r is equal to 0.983; 0.984; 0.081, respectively. Thus, according to Jaffe's criterion [6], the correlations are satisfactory.

The group-type ANB (GANB) is modified from the ANB-matrix, where the diagonal elements are the sums of atomic numbers of chemical elements; in some structural fragment of the molecule, thenondiagonal ones are formal multiplicities of the chemical bonds. The GANB-matrix is constructed on the basis of some formal model. For arsenic (III) halides, a simple model was elaborated:



The data for $\lg(\Delta_{GANB})$ are given in the table. Three correlation equations were constructed:

$$T_{boil.} = 540 \lg(\Delta_{GANB}) - 1609 \quad (8)$$

$$\Delta H_f = 494 \lg(\Delta_{GANB}) - 1895 \quad (9)$$

$$\Delta G_f = 404 \lg(\Delta_{GANB}) - 1609 \quad (10)$$

The correlation coefficient r is equal to 0.980; 0.912; 0.981, respectively. The correlations are satisfactory.

REFERENCES

1. ChemoinformatsI.Gashtaiger and T. Engel, eds. - Wiley. GH, 2009.
2. Rouvray P.R. Chemical Application of Topology and Graph Theory. A.T. Balaban, ed. = Amsterdam, 1983, 240 p.
1. Gverdtsiteli M.I., Gamziani G.A., Gverdtsiteli I.M. TheContiquity Matrices of Molecular Graphs and their Modifications. - Tbilisi: Tbilisi Univ. Press, 1996.
3. Kupatadze K.T., Lobzhanidze T.M., Gverdtsiteli M.I. Algebraic-Chemical Investigation of some Organic Molecules and their Transformations. - Tbilisi, Universal, 2007.
4. Akhmetov N. General andInorganic Chemistry. - Moscow, Mir, 1983, p. 389.
5. Gverdtsiteli M.I. Selected Chapters of Physical Organic Chemistry. – Tbilisi, Tbilisi Univ. Press, 1962, 19 p.

РЕЗЮМЕ

МАТЕМАТИКО-ХИМИЧЕСКОЕИССЛЕДОВАНИЕ

ГАЛОГЕНИДОВ МЫШЬЯКА (III)

Сидамонидзе Н.Н., Коиавა Н.А., Рцхილაძე Н.И., Гвердцители М.И.

Тбилисский государственный университет им. Ив. Джавахишвили

Тбилисский государственный медицинский университет

Проведено математико-химическое исследование галогенидов мышьяка (III). Построено шесть корреляционных уравнений. Корреляции удовлетворительны.

Ключевые слова: галогениды мышьяка, АНС матрица, ГАНС матрица, корреляционные уравнения.

2-პ-ნიტროფენილინდოლის ზოგიერთი ნაწარმის მათემატიკურ-ქიმიური ბამოკვლევა

ჩიკაიძე ი.შ, ხიტერი გ.შ., სამსონია შ.ა., გვერდწითელი მ.ი.

ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი,
 პ. მელიქიშვილის სახ. ფიზიკური და ორგანული ქიმიის ინსტიტუტი

„სტრუქტურა-თვისება“ ტიპის კორელაციური განტოლებების შედგენა და ანალიზი თანამედროვე თეორიული ქიმიის საინტერესო ამოცანაა. მათემატიკურ ქიმიაში ამ ამოცანის გადასაჭრელად გამოყენებულია ტოპოლოგიური ინდექსები (მოლეკულური დისკრიპტორები) [1].

ერთ-ერთი ტოპოლოგიური ინდექსია $I_g(\Delta_{ანბ})$ - ანბ მატრიცის დეტერმინანტის ათობითი ლოგარითმი. ანბ-მატრიცა მოლეკულური გრაფის ფსევდოთანაზიარობის მატრიცის მოდიფიცირებული სახეობაა [2,3]. მისი დიაგონალური ელემენტებია მოლეკულაში შემავალი ქიმიური ელემენტების ატომური ნომრები, არადიაგონალური ელემენტებია – ქიმიური ბმების ჯერადობები. ნებისმიერი ABC მოლეკულის შესაბამისი ანბ-მატრიცაა:

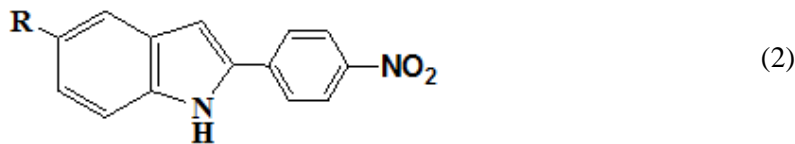
$$\begin{vmatrix} Z_A & \Delta_{AB} & \Delta_{AC} \\ \Delta_{AB} & Z_B & \Delta_{BC} \\ \Delta_{AC} & \Delta_{BC} & Z_C \end{vmatrix} \quad (1)$$

სადაც: Z_A, Z_B, Z_C – A,B,C – ქიმიური ელემენტების ატომური ნომრებია; $\Delta_{AB}, \Delta_{AC}, \Delta_{BC}$ – A~B, A~C, B~C – ქიმიური ბმების ჯერადობები.

რთული აღნაგობის მოლეკულებისათვის ანბ-მატრიცების მაგიერ გამოიყენება ქვაზი-ანბ-მატრიცები ($\tilde{ანბ}$), რომელთა დიაგონალური ელემენტებია მოლეკულის ცალკეულ სტრუქტურულ ფრაგმენტებში შემავალი ქიმიური ელემენტების ატომური ნომრების ჯამი, არადიაგონალური ელემენტების ბმების ჯერადობები ამ სტრუქტურულ ფრაგმენტებს შორის. ამგვარად ($\tilde{ანბ}$)-მატრიცა იგება მოლეკულის გარკვეული მოდელის საფუძველზე.

ჩვენ მიერ ჩატარებულია სინთეზირებული [4] 2-პ-ნიტროფენილინდოლის სამი ნაწარმის (2) ანალიზი ქვაზი-ანბ-მატრიცების მეთოდის ფარგლებში.

ამ ნაერთების ზოგადი ფორმულაა:



სადაც R=CH₃; Cl; Br

(2) ნაერთებისათვის შემუშავებულია უმარტივესი მოდელი:



სადაც X (2) მოლეკულის ძირითადი სტრუქტურული ფრაგმენტია (მოელი მოლეკულა R -ის გარეშე). შესაბამისი $\left(\tilde{A}_{NB} \right)$ -მატრიცაა:

$$\begin{vmatrix} Z_R & 1 \\ 1 & Z_X \end{vmatrix} \quad (4)$$

ცხრილში მოყვანილია $\lg\left(\Delta_{NB}\right)$, $T_{\text{ლღ.}}$ და R_f (2) ნაერთებისთვის.

$\lg\left(\Delta_{NB}\right)$, $T_{\text{ლღ.}}$ და R_f (2) ნაერთებისთვის

R	$\lg\left(\Delta_{NB}\right)$	$T_{\text{ლღ.}}$	R_f
CH ₃	3,04	208	0,64
Cl	3,32	237	0,53
Br	3,63	246	0,47

კომპიუტერზე – მცირესი კვადრატების მეთოდის გამოყენებით – აგებულია ორი კორელაციური განტოლება:

$$T_{\text{ლღ.}} = 53T_{\text{ლღ.}} = \lg\left(\Delta_{NB}\right)$$

აღმოჩნდა, რომ კორელაციის რ კოეფიციენტი შესაბამისად ტოლია: 0,980 და 0,979.

ამგვარად, ჯაფეს კრიტერიუმით [5], კორელაციები დამაკმაყოფილებელია.

ლიტერატურა

1. გ. გამზიანი, ნ. კობახიძე, მ. გვერდწითელი. ზოგი რამ ტოპოლოგიური ინდექსების შესახებ. -თბილისი, თსუ გამომც., 1995.
2. M. Gverdtsiteli, G. Gamziani, I. Gverdtsiteli. The Contiguity Matrices of Molecular Graphs and their Modifications. - Tbilisi, Tbilisi University Press, 1996.
3. მ. გვერდწითელი. რნმ-, ფსევდო-რნმ და ქვაზი-რნმ მატრიცების მეთოდის გამოყენება ალგებრულ ქიმიაში. საქ. მეცნ. ეროვნ. აკად. მაცნე, ქიმიის სერია., 2009, 32(3), გვ. 348.
4. И. Чикваидзе. Исследования в области несимметричных бисиндолов, арил- и пирролоиндолов. Дисс. докт. хим. наук. Тбилиси, 1996, 306 с.
5. მ. გვერდწითელი. ფიზიკური ორგანული ქიმიის რჩეული თავები. -თბილისი, თსუ გამომც., 1982, გვ.19.

SUMMARY

MATHEMATICAL-CHEMICAL INVESTIGATION OF SOME DERIVATIVES OF 2-P-NITROPHENYLINDOLE

Chikvaidze I.Sh., Khitiri G.Sh., Samsonya Sh.A. and Gverdtsiteli M.I.

Iv. Javakishvili Tbilisi State University,

P. Melikishvili Institute of Physical and Organic Chemistry

Mathematical-chemical investigation of the derivatives of 2-p-nitrophenylindole was carried out within the scope of \tilde{A}_{NB} -matrices method. Two correlation equations were derived and investigated. Correlations are satisfactory.

Keywords: derivatives, 2-p-nitrophenylindole, \tilde{A}_{NB} -matrix, correlation equation.

NEW NONTOXIC MACROCYCLIC AZOMETHINES

Chelidze N.T., Ochkhikidze N.T., Matitaishvili T.R., Didebulidze K.A. and Elizbarashvili E.N.

Agricultural University of Georgia

Abstract. The 24-membered macrocyclic Schiff bases and their metal complexes were synthesized from dihydroxyl derivatives of bisphenol or azobenzene under the conditions of the Reimer–Tiemann reaction and cyclization with diamines. The antibacterial activity of the Schiff base and its complexes against *E.coli*, *S.aureus*, and *P.aeruginosa* were studied. It was found that nor macrocyclic azomethines nor their complexes showed antibacterial activity.

Keywords: macrocyclic azomethines, Schiff bases, metal complexes, antibacterial activity.

INTRODUCTION

Azomethines are used as substrates to prepare a large number of industrial and biologically active compounds via ring closure, cycloaddition and condensation reactions between primary amines and aldehydes. Moreover, azomethines are also known to have biological activities such as antimicrobial [1], antifungal [2], antitumor biological activities [3] and are used as herbicides. In industry, they have a wide range of application such as dyes and pigments with luminescent properties.

Optical imaging with dyes permits visualization of biological activities [1-4]. Among the compounds with fluorescent properties, azomethines are one of the important dyes.

The aim of this work was to find the synthetic path of 24-membered macrocyclic Schiff bases and their metal complexes. In addition, the biological role of prepared Schiff bases and their metal chelates was to be determined.

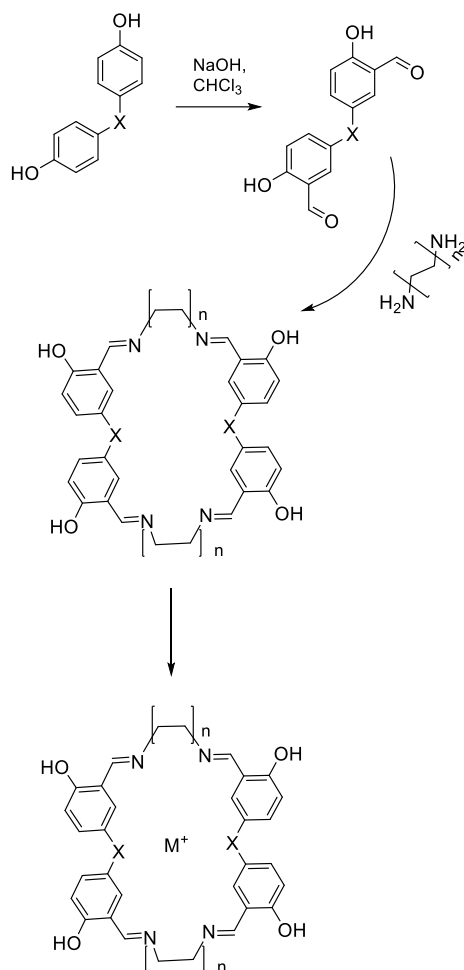
RESULTS AND DISCUSSION

The synthesis was carried out according to the scheme below. The key compounds were dihydroxyl derivatives of bisphenol or azobenzene. Carbonylation was performed by the Reimer-Tiemann reaction. Cyclization was performed by action of hydrazine hydrate or ethane-1,2-diamine in acetonitrile or methanol. Copper and chromium acetates were used for formation of complexes.

The antibacterial activity of the Schiff base and its complexes against *E.coli*, *S. aureus*, and *P.aeruginosa* were studied. All the Schiff base complexes individually exhibited varying degrees of the inhibitory effect on the growth of the tested bacterial species.

Based on all these observations, we believe that the synthesis of macrocyclic azomethines, having the properties both of azomethines and macrocyclic compounds, is highly interesting and beneficial for the development of the field. Earlier we reported the method of synthesis of 20-membered cyclic polyazomethine compounds [5]. Some chemical and physical properties of these macrocycles were also studied [6]. They are excellent azo partners and have the ability to produce tetrakisazo dyes via one-pot azo coupling reaction.

There is a need to design stable dyes that possess desirable photophysical properties, stability, and targeting ability. We synthesized novel substituted macrocyclic polyazomethines with methylene spacers. Polyazomethines were synthesized via conversion from bisphenol by carbonylation and condensation with ethylene diamine or hexamethylene diamine.



where: X is none or -N=N-, n is 0,1,2,3; M⁺ is Cr₃⁺, Cu₂⁺

Scheme. Synthesis of new polyazomethine

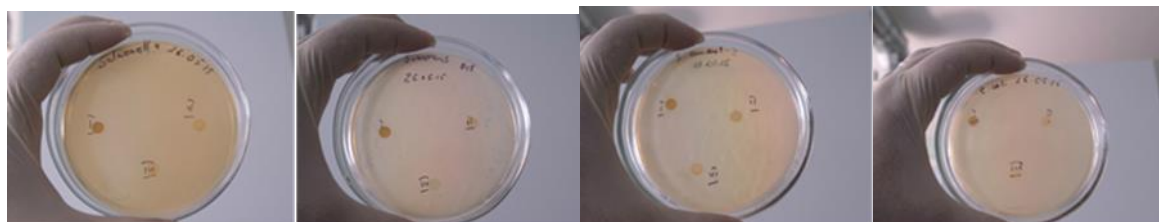
Experimental

Biological screening

The test was performed by the disk diffusion method adopted with some modifications for the prepared compounds using Gentamycine and Ampicelline as references. The prepared compounds were tested against one strain. The antibacterial activity of the Schiff base and its complexes against 5 pathogens *Salmonella Enteritidis*, *E.Coli*, *Pseudomona Aeruginosa*, *Streptilyococcus Aureus* and *Streptilyococcus* was studied. Whatman No. 1 filter paper disks 5mm in diameter were sterilized by autoclaving for 15 min at 121°C. Sterile disks were impregnated with different compounds (600 µg /disk). Agar plates were surface uniformly inoculated from the broth culture of the tested microorganisms. The impregnated disks were placed in the medium suitably spaced apart and the plates were incubated at 5°C for 1 h. to permit good diffusion and then transferred to an incubator at 37 °C for 24 h for bacteria, and at 28 °C for 72 h for yeast and fungi. The inhibition zones caused by various compounds on the microorganisms were examined. The results of the preliminary screening test are listed in Table.

Data on the Antibacterial Activity					
	<i>Salmonella Enteritidis</i>	<i>E.Coli</i>	<i>Pseudomona Aeruginosa</i>	<i>Streptilyococcus Aureus</i>	<i>Streptilyococcus O₁₅</i>
1	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-

All the azomethine macrocycles individually did not exhibit any inhibitory effect on the growth of the tested bacterial species.



Antibacterial activity test

Materials and Methods

All the chemicals used were of commercial grade and were further purified by recrystallization and redistilled before use. The solvents used were of spectroscopic grade. The $^1\text{H-NMR}$ spectra were detected by using spectrometer BRUKER WM-300 (300 MHz). Standard pulse sequences were used for the NMR experiments. Chemical shifts (δ) are given in ppm and coupling constants (J) in Hz. The IR spectra were recorded by using the Thermo Nicolet spectrometer with scanning over the range of $4,000\text{-}400\text{ cm}^{-1}$ using KBr pellets. The UV-vis absorption spectra were recorded by using the CF-26 spectrometer (produced in Russia). Elemental analyses were performed using Heraeus CHNO Rapid Analyzer. Melting points were determined by melting point apparatus Electrothermal IA9100. Hydrazine hydrate was prepared from hydrazine sulfate and ammonia as described earlier.

General procedure of preparation of aldehydes 2a and 2b. The solution of sodium hydroxide (3.2 g, 80 mmol) in water (20 mL) was added to a stirred solution of 1a or 1b (35 mmol) in ethanol (150 mL). The reaction mixture was heated up to $80\text{ }^\circ\text{C}$. Then chloroform (9 mL, 0.11 mol) was added dropwise and the reaction mixture was boiled for 1 hour. The excess of ethanol and chloroform was distilled. Hydrochloric acid was added subsequently until pH 5-6. The residue was dissolved in the minimal amount of diethyl ether and an equal amount of saturated solution of $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ was added. The mixture was kept for 24 hours and the precipitated solids were filtered off. The solid was dissolved in water and treated with sulfuric acid (10%). Yellow crystals were obtained by filtration and dried on air.

4,4'-dihydroxybiphenyl-3,3'-dicarbaldehyde (2a). (3.18 g 13.14 mmol, 45%); white crystals, m.p. $260\text{-}262\text{ }^\circ\text{C}$; IR (KBr) $\nu_{\text{max}}/\text{cm}^{-1}$: 3240 (OH), 3069 ($\text{C}_{\text{Ar}} - \text{H}$), 2820 (H - CO), 2765 (H - CO), 1705 (H - CO), 1615 (C = C), 1580 (C = C), 1513 (C = C), 1455 (C = C), 1380 (OH), 1270 (C - O), 1210 ($\text{C}_{\text{Ar}} - \text{H}$), 1150 ($\text{C}_{\text{Ar}} - \text{H}$), 1030 ($\text{C}_{\text{Ar}} - \text{H}$), 930 ($\text{C}_{\text{Ar}} - \text{H}$), 890 ($\text{C}_{\text{Ar}} - \text{H}$), 780 ($\text{C}_{\text{Ar}} - \text{H}$), 710 ($\text{C}_{\text{Ar}} - \text{H}$). $^1\text{H NMR}$ (DMSO- d_6 , 300 MHz), δ 6.98 (d, J 7.8 Hz, 2H, H-5), 7.86 (s, 2H, H-2), 7.88 (d, J 7.8 Hz, 2H, H-6), 9.83 (s, 2H, OH), 10.24 (s, 2H, H-CO). Analysis Found C, 69.88; H, 4.10. Calc. for $\text{C}_{14}\text{H}_{10}\text{O}_4$: C, 69.42; H, 4.16%;

5,5'-diamino-4,4'-dihydroxybiphenyl-3,3'-dicarbaldehyde (2b): (4.00 g, 14.7 mmol, 43%); white crystals, m.p. $247\text{-}250\text{ }^\circ\text{C}$; IR (KBr) $\nu_{\text{max}}/\text{cm}^{-1}$: 3376 (NH_2), 3305 (NH_2), 3220 (OH), 3010 ($\text{C}_{\text{Ar}} - \text{H}$), 2810 (H - CO), 2695 (H - CO), 1695 (H - CO), 1630 (C = C), 1590 (C = C), 1470 (C = C), 1430 (C = C), 1340 (OH), 1220 (C - O), 1200 ($\text{C}_{\text{Ar}} - \text{H}$), 1120 ($\text{C}_{\text{Ar}} - \text{H}$), 1010 ($\text{C}_{\text{Ar}} - \text{H}$), 905 ($\text{C}_{\text{Ar}} - \text{H}$), 860 ($\text{C}_{\text{Ar}} - \text{H}$), 750 ($\text{C}_{\text{Ar}} - \text{H}$), 705 ($\text{C}_{\text{Ar}} - \text{H}$) cm^{-1} . $^1\text{H NMR}$ (DMSO- d_6 , 300 MHz) δ 5.85 (s, 4H, NH_2), 6.79 (s, 2H, H-6), 7.22 (s, 2H, H-3), 9.56 (s, 2H, OH), 10.02 (s, 2H, H-CO). Analysis Found C, 61.55; H, 4.50; N, 10.40. Calc. for $\text{C}_{14}\text{H}_{12}\text{N}_2\text{O}_4$: C, 61.76; H, 4.44; N, 10.29%.

General procedure of preparation of macrocyclic polyazomethines 3a and 3b. Into the four-necked flask fitted with two dropping funnels, a mechanical stirrer and a reflux condenser, 2-propanol (100 mL) was poured and heated until boiling. The solution of 2a or 2b (1.0 mmol) in 2-propanol (10 mL) and freshly obtained hydrazine hydrate (2.2 mmol, 50%) were added from different dropping funnels simultaneously for 30 min. The reaction mixture was heated for 1 hour, and precipitated pale yellow crystals were isolated.

Polyazomethine 3a. (0.27 g, 0.58 mmol, 58%); yellow crystals, m.p. $280\text{-}282\text{ }^\circ\text{C}$ (isopropanol); UV-vis $\lambda_{\text{max}}/\text{nm}$ (Ethanol), (log ϵ) 297.8 (3.99), 316.72 (3.56), 329.4 (3.48), 340.7 (3.60), IR (KBr) $\nu_{\text{max}}/\text{cm}^{-1}$: 3340 (OH), 3030 ($\text{C}_{\text{Ar}} - \text{H}$), 2854 (H - CO), 1704 (H - CO), 1604 (C = C),

1457 (C = C), 1373 (C = N), 1295 (OH), 1234 (C - O), 1172 (C_{Ar} - H), 817 (C_{Ar} - H), 725 (C_{Ar} - H), 509 (C_{Ar} - H). ¹H NMR (CDCl₃, 300 MHz) δ 6.84 (d, J 8.0 Hz, 4H, C_{Ar} - H), 6.88 (s, 4H, H C = N), 7.32 (d, J 8.0 Hz, 4H, C_{Ar} - H), 7.36 (s, 4H, C_{Ar} - H), 7.96 (s, 4H, OH). Analysis Found C, 70.50; H, 4.28; N, 11.72. Calc. for C₂₈H₂₀N₄O₄: C, 70.58; H, 4.23; N, 11.76%.

Polyazomethine 3b. (0.28 g, 0.53 mmol, 53%); yellow crystals, m.p. 253-255 °C; UV-vis λ_{max}/nm (Ethanol), (logε) 300.5 (3.85), 320.5 (3.65), 335.4 (3.35), 345.6 (3.55); IR (KBr) ν_{max}/cm⁻¹: 3370 (NH₂), 3315 (NH₂), 3305 (OH), 3015 (C_{Ar} - H), 1600 (C - C), 1435 (C - C), 1355 (C = N), 1280 (OH), 1230 (C - O), 1170 (C_{Ar} - H), 815 (C_{Ar} - H), 720 (C_{Ar} - H), 510 (C_{Ar} - H). ¹H NMR (CDCl₃, 300 MHz) δ 5.83 (s, 8H, NH₂), 6.79 (s, 4H, C_{Ar} - H), 6.85 (s, 4H, H - C=N), 7.22 (s, 4H, C_{Ar} - H), 7.92 (s, 4H, OH). Analysis Found C, 62.60; H, 4.50; N, 20.92. Calc. for C₂₈H₂₄N₈O₄: C, 62.68; H, 4.51; N, 20.88%.

Polyazomethine 4. Bromine (22.68 mmol) was added dropwise to the solution of macrocyclic polyazomethine 3a (1.8 g, 3.78 mmol) in ethanol (60 mL) stirred at 30 °C. The temperature was maintained at 30-32 °C for 45 min after complete addition of bromine. The reaction mixture was cooled to room temperature and filtered. The solid was washed with hot water and ethanol (2.39 g, 3.01 mmol, 80%); yellow crystals, m.p. 113-115 °C; IR (KBr) ν_{max}/cm⁻¹: 3350 (OH), 3020 (C_{Ar} - H), 1600 (C_{Ar} = C_{Ar}), 1450 (C_{Ar} = C_{Ar}), 1380 (C=N), 1290 (OH), 1240 (C - O), 580 (Br). Analysis Found C, 42.50; H, 2.10; Br, 40.30; N, 7.00. Calc. for C₂₈H₁₆Br₄N₄O₄: C, 42.46; H, 2.04; Br, 40.35; N, 7.07%.

Polyazomethine 5. To the solution of polyazomethine 3a (0.5 g, 1.05 mmol) in DMF (45 mL) stirred at 20 °C, POCl₃ (6.3 mmol) was added dropwise for 2 hours. The reaction mixture was heated up to 80 °C until complete conversion of 3a (approximately 3 hours). The course of the reaction was monitored by TLC (eluent toluene/ethyl acetate 2:1 (v/v)). The precipitated resinous residue was filtered off, washed with ethanol and purified via the bisulphite derivative. For this purpose, the obtained resinous residue was dissolved in saturated solution of Na₂S₂O₅ and re-precipitated by treatment with diluted (20%) sulfuric acid. (0.43 g, 0.735 mmol, 70%); yellow crystals, m.p. 119-120 °C; IR (KBr) ν_{max}/cm⁻¹: 3330 (OH), 3010 (C_{Ar} - H), 2850 (H - CO), 1710 (H - CO), 1600 (C_{Ar} = C_{Ar}), 1375 (C = N), 1230 (C - O). Analysis Found C, 65.30; H, 3.40; N, 9.55. Calc. for C₃₂H₂₀N₄O₈: C, 65.31; H, 3.43; N, 9.52%.

Acknowledgements

The authors are grateful to Shota Rustaveli National Science Foundation for financial support (grant N. FR 177 6-420 13)

REFERENCES

1. El-Masry A. H., Fahmy H.H., Abdelwahed S.H.A. // *Molecules*, 2000, 5, 1429.
2. Banfi E., Scialino G., Zampieri D., Mamolo M.G., Vio L., Ferrone M., Fermeglia M., Paneni M.S., Prici S. // *J. Antimicrob. Chemother.*, 2006, 58, 1, 76-84.
3. Desai S. B., Desai P. B., Desai K.R. // *Heterocycl. Commun.*, 2001, 7, 1, 83-90.
4. Kauer J.S. // *Nature*, 1988, 331, 166.
5. Elizbarashvili E., Matitaishvili T., Topuria Kh. // *J. Brazil. Chem. Soc.*, 2007, 18, 6, 1254-1258.
6. Lagvilava I., Matitaishvili T., Iardalashvili I., Elizbarashvili E. // *Coll. Czech. Chem. Commun.*, 2009, 74, 3, 409-418.

РЕЗЮМЕ

НОВЫЕ НЕТОКСИЧНЫЕ МАКРОЦИКЛИЧЕСКИЕ АЗОМЕТИНЫ

Челидзе Н.Т., Очхикидзе Н.Т., Матитаишвили Т.Р., Дидебулидзе К.А., Элизбарашвили Э. Н.

Аграрный государственный университет Грузии

Осуществлен синтез 24-членных макроциклических азометинов и их комплексов с металлами на основе дигидроксильных производных бисфенола и азобензола в условиях реакции Реймера–Тимана и циклизации с диаминами. Изучена их антибактериальная активность по отношению к *E. coli*, *S. aureus* и *P. Aeruginosa*. Установлено, что ни макроциклические азометины, ни их комплексы не проявляют антимикробную активность.

Ключевые слова: макроциклические азометины, основания Шиффа, металлические комплексы, антибактериальная активность.

ბიოდეგრადირებადი ამინომჟავური პოლიმუტირაციის საფუძველზე წამლების ბალამტანი მიკროკაფსულების ფორმირების პროცესის სისტემატური კვლევა

სინაურიძე ნ. ო., ქანთარია თემ. ჯ., ქანთარია თენ. ჯ., ბაძგარაძე ს.ა., კუციავა ნ.ა., ტულუში დ.ს., ქაცარავა რ.დ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი საქართველოს აგრარული უნივერსიტეტი

წამლის კონტროლირებადი/მდგრადი მიწოდების სისტემებს, სხვადასხვა სახის მატრიქსებისა და გადამტანების (მატარებლების) გამოყენებით, უდიდესი როლი ენიჭებათ თანამედროვე თერაპიაში. კონტროლირებადი/მდგრადი მიწოდების სისტემებს, ტრადიციულ ფორმებთან შედარებით, გააჩნიათ მთელი რიგი უპირატესობებისა, როგორებიცაა: დამიზნული ტრანსპორტი, პროლონგირებული მოქმედება, გაზრდილი ეფექტურობა, ნაკლები ტოქსიკურობა და მდგრადობა, მეტი კომფორტი პაციენტებისათვის. ასეთ სისტემებში მატრიქსებად/მატარებლებად ხშირად გამოიყენებენ მაღალმოლეკულურ ნაერთებს - პოლიმერებს. უპირატესობა ენიჭებათ ბიოდეგრადირებად პოლიმერებს, რომლებიც დაკისრებული ფუნქციის (წამლის ლოკალური მიწოდება ან ტრანსპორტი) შესრულების შემდეგ იშლებიან და უკვალოდ გამოიდევენებიან ორგანიზმიდან, ან ასიმილირდებიან ორგანიზმში მეტაბოლიზმის მეშვეობით. პოლიმერებზე დაფუძნებული წამლის გადამტან სისტემებს შორის გამორჩეული ადგილი უკავიათ ნანო და მიკრონაწილაკებს მათი უნარის გამო განახორციელონ წამლების დამიზნული ტრანსპორტი და გარკვეული (სასურველი) დროის განმავლობაში აკუმულირდნენ ორგანიზმის დაზიანებულ კერაში.

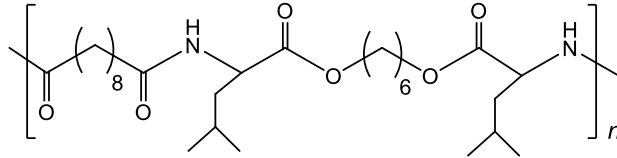
ტერმინით „მიკრონაწილაკები“ ახასიათებენ დისპერსულ ფაზას (ნაწილაკებს), რომლის დიამეტრი 1-1000 მიკრომეტრის ფარგლებშია. მიკრონაწილაკების ფართო მრავალფეროვნებაში გამოარჩევენ „მიკროსფერებს“, ამათგან კი გამოარჩევენ ქვესახეობას „მიკროკაფსულებს“, რომელთაც აქვთ შიგთავსისგან („გულასგან“ - core) განსხვავებული მასალისგან წარმოქმნილი „ქერქი“ (shell). ხშირ შემთხვევებში ქერქს წარმოადგენს პოლიმერული მასალა, ხოლო გულა კი შეიძლება იყოს მყარი, თხიერი ან გაზისებრიც კი [1]. მიკროკაფსულების (მკ) მისაღებად (ქერქად), ზემოთ აღნიშნულ თვისებათა გამო, უპირატესობას ანიჭებენ ბიოდეგრადირებად პოლიმერებს. მრავალი სხვადასხვა კლასის ბიოდეგრადირებად პოლიმერებს შორის, ერთ-ერთი წამყვანი ადგილი უკავია ე.წ. ამინომჟავურ ბიოდეგრადირებად პოლიმერებს [2-4].

ამგვარად, მკ არის კონტეინერი, რომლის ინტერიერი (გულა) შეიძლება დაიტვირთოს სხვადასხვა ნივთიერებებით (წამლებით, ფიზიოლოგიურად აქტიური ნაერთებით, მიკროორგანიზმებით). მკ-ის ზომების შერჩევა ხდება ამოცანაზე დამოკიდებულებით. მაგალითად, თუ მკ უნდა დაიტვირთოს ისეთი პრეპარატების ხსნარებით, რომელთა ზომები არ აღემატება რამდენიმე ათეულ ანგსტრემს, მისაღებად მცირე ზომის (რამდენიმე მიკრომეტრი დიამეტრის მქონე) მკ-ები ამასთან, თუ მკ-ები უნდა მოხვდნენ სისხლის მიმოქცევის სიტემაში, მათი დიამეტრი არ უნდა აღემატებოდეს 1-2 მკმ-ს, რათა არ მოხდეს მკ-ის გაჭედვა კაპილარებში. უფრო მსვილი წარმონაქმნებისთვის, რომელთა დიამეტრი აღწევს რამდენიმე ასეულ ნანომეტრს (ნანოსუსპენზიები, ბაქტერიოფაგები და სხვ.) აუცილებელია უფრო დიდი ზომის მკ-ს გამოყენება, რათა მოხდეს ამ შედარებით მსხვილ წარმონაქმნთა სათანადო ჩატვირთვა მკ-ს ინტერიერში (გულაში). ჩვენ მიერ თეორიულად გაანგარიშებულია მკ-ს გულას ტევადობის დამოკიდებულება გეომეტრიულ პარამეტრებზე (კედლის სისქესა და დიამეტრზე). წინამდებარე სამუშაო არის ექსპერიმენტული ხასიათის და ეძღვნება პოლიმერული მკ-ს ფორმირების პროცესის სისტემატურ კვლევას სხვადასხვა ცვლად პარამეტრზე დამოკიდებულებით.

ექსპერიმენტული ნაწილი

პოლიმერის შერჩევა

მკ მისაღებად შევარჩიეთ პოლიესტერამიდი სებაცილის მჟავას (8), ამინო მჟავა L-ლეიცინის (L) და 1,6-ჰექსანდიოლს (6) საფუძველზე, რომელსაც აღვნიშნავთ როგორც 8L6-ს (სქემა 1).



სქემა 1. კვლევაში გამოყენებული პოლიესტერამიდი 8L6.

აღნიშნული პოლიესტერამიდი შევარჩიეთ, ერთი მხრივ, მისი მაღალი ბიომეთავსებადობის [5], ხოლო მეორე მხრივ, გამოსავალი ნივთიერებების დაბალი ფასის და ხელმისაწვდომობის ნიშნით. პოლიმერი მივიღეთ სებაცილილქლოროლის პოლიკონდენსაციით ბის-(ლეიცინ)-1,6 ჰექსილენდიესტერის 3-ტოლუოლსულფონატთან ფაზათა გაყოფის ზედაპირზე [2].

მკ-ის მიღების ზოგადი მეთოდიკა

მკ-ის ფორმირებისათვის გამოვიყენეთ წყალი/ცხიმი/წყალი ორმაგი ემულსიის-გამხსნელის აორთქლების მეთოდი (water-in-oil-in-water (W/O/W) double emulsion-solvent evaporation method) [6]. მკ-ის მისაღებად ექსპერიმენტები ჩავატარეთ ოთახის ტემპურატურაზე.

მოცემული მეთოდის თანახმად, პირველადი W/O ემულსიის მისაღებად 0,4 მლ 1%-იანი (წონა/მოცულობა, წ/მ) ზედაპირულად აქტიური ნაერთის (ზან) წყალხსნარს ვამატებდით 4,0 მლ დიქლორმეთანს (DCM), რომელშიც გახსნილი იყო განსაზღვრული რაოდენობის (5 ან 13 % წ/მ) პოლიესტერამიდი 8L6, და ვურევდით მაღალბრუნვადი ჰომოგენიზატორის (High shear strength disperse homogenizing emulsification machine C25, Shanghai HC Mechanical Equipment Co., LTD, Shanghai, China) მეშვეობით 15 წმ განმავლობაში 10 000 ბრუნი/წთ-ზე (პირველადი ემულსიის დამზადებისას ჰომოგენიზაციის სიჩქარე უცვლადი იყო - 10 000 ბრუნი/წთ). მეორადი ემულსიის მისაღებად, პირველადი W/O ემულსია (რძისმაგვარი მასა) სწრაფად გადაგვექონდა 10,0 მლ ვარირებადი კონცენტრაციის ზან-ის შემცველ წყლის ფაზაში და კვლავ ვურევდით მაღალბრუნვადი ჰომოგენიზატორის მეშვეობით 3 წთ განმავლობაში მუდმივი (მაგრამ ექსპერიმენტიდან ექსპერიმენტში ვარირებადი) სიჩქარით მორევის პირობებში. ვიღებდით რძისმაგვარ მეორად W/O/W ემულსიას. ამ მეთოდიკას ვიყენებდით მცირე ზომის (<10 მკმ) მკ-ის ფორმირებისათვის.

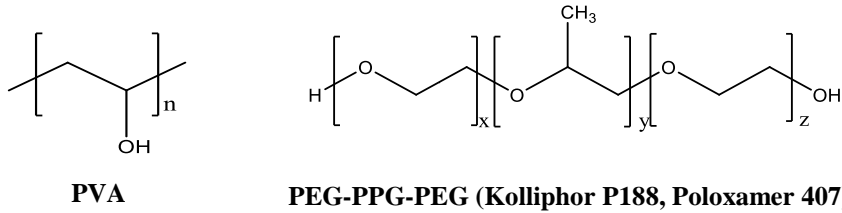
დიდი ზომის (>10 მკმ) მკ-ის ფორმირებისათვის მეორად W/O/W ემულსიას ვიღებდით მაღალბრუნვადი ჰომოგენიზატორის გამოყენების გარეშე, პირველადი W/O ემულსიის წვეთწვეთობით (1-2 წვეთი/წმ) დამატებით 10,0 მლ ვარირებადი კონცენტრაციის ზან-ის შემცველ წყლის ფაზაში, მაგნიტური სარეველით მუდმივი (მაგრამ ექსპერიმენტიდან ექსპერიმენტში ვარირებადი) სიჩქარით მორევის პირობებში.

ამგვარად, მეორადი W/O/W ემულსიის დამზადების პირობების ვარირებით შესაძლებელია მკ-ის ზომების ვარირება სასურველ ზღვრებში. საბოლოოდ მკ-ის სუსპენზიას ვიღებდით მეორადი W/O/W ემულსიის (ნებისმიერის) მორევიტ მაგნიტურ სარეველაზე შერჩეული სიჩქარით (400 ბრ/წთ) 8 სთ განმავლობაში. ამ დროს ხდება ორგანული გამხსნელის (DCM) სრული აორთქლება და რჩება წყალში შეტივტივებული მიკროსფეროები (მიკროსუსპენზია), რომელსაც ვინახავდით მაცივარში.

ცვლადი პარამეტრების გავლენა მიკროემულსიების ფორმირებაზე განხილულია ქვემოთ.

მკ-ის მისაღებად გამოყენებული ზან-ები

კვლევაში გამოიყენეთ შემდეგი ზან-ები(ყველა Sigma-Aldrich-დან):(i) Kolliphor P188 (Poloxamer 188) – პოლიეთილენგლიკოლი-ბლოკ-პოლიპროპილენგლიკოლი-ბლოკ-პოლიეთილენგლიკოლი (PEG-PPG-PEG) ტრიბლოკ-თანაპოლიმერი მოლეკულური წონით (MW) 7680–9510 Da, (ii) Poloxamer 407– PEG-PPG-PEG ტრიბლოკ-თანაპოლიმერი მოლეკულური წონით (MW) 9840–14600 Da, (iii) პოლივინილის სპირტი, PVA, მოლეკულური წონით (MW) 31 000 Da და ჰიდროლიზის ხარისხით (ჰ.ხ.) 86,7%–88,7%, (iv) PVA მოლეკულური წონით (MW) 84 000 –89 000 Da და ჰ.ხ.-ით 86%–89%.



სქემა 2. კვლევაში გამოყენებული ზან-ები

მკ-ის ზომების, ზომების განაწილების და მორფოლოგიის შესწავლა

მიღებულ მკ-ებს ვახსიათებდით ნაწილაკების საშუალო დიამეტრით, დიამეტრის ქვედა ზღვართ, დიამეტრის ზედა ზღვართ და ნაწილაკების ზომების განაწილებით, ლაზერული მიკროსაიზერის (Laser particle sizer LS-C(III); Omec Instruments Co., LTD, Guangdong, China) გამოყენებით. ნაწილაკების ზომების განაწილებას ვადგენდით R კოეფიციენტის მნიშვნელობის მიხედვით, რომელიც განისაზღვრებოდა შემდეგი ფორმულით:

$$R = \frac{\text{დიამეტრისზედაზღვარი} - \text{დიამეტრისქვედაზღვარი}}{\text{საშუალოდიამეტრი}}$$

ითვლება, რომ როდესაც $R < 1,5$ ნაწილაკების ზომების განაწილება ვიწყოა, ხოლო როდესაც $R > 1,5$ ზომების განაწილება ფართოა. კვლევის შედეგებში (ცხრილები 1-8) ნაწილაკების საშუალო დიამეტრი, დიამეტრის ქვედა ზღვარი და დიამეტრის ზედა ზღვარი მოცემულია, როგორც ხუთი პარალელური გაზომვის საშუალო \pm სტანდარტული გადახრა (SD).

დიდი ზომის მკ-ის მორფოლოგიური კვლევა ჩატარებულია ოპტიკური მიკროსკოპის (Biological microscope XSG series) გამოყენებით. მკ-ის ზომების შესაფასებლად ნიმუშები (მიკროსუსპენზია) დაგეგმონდა გორიავის ბადეზე, გადიდება 200 x.

ორგანულ ფაზაში პოლიმერის კონცენტრაციის გავლენა მკ-ის ფორმირებაზე

მკ-ის ფორმირებაზე პოლიმერის კონცენტრაციის გავლენის შესასწავლად გამოიყენეთ ორგანულ ფაზაში პოლიმერის კონცენტრაციის ორი მნიშვნელობა – 5 და 13% (წ/მ). ამ კონცენტრაციების გამოყენებისას დამზადებულ სუსპენზიებში მკ-ის კონცენტრაცია შეადგენდა შესაბამისად 20 და 50 მკ/მლ. პოლიმერის კონცენტრაციის გავლენა შევისწავლეთ როგორც მცირე, ისე დიდი ზომის მკ-ის ფორმირებაზე. მკ-ის მიღების პროცესის პარამეტრები (უცვლადი და ცვლადი) წარმოდგენილია ცხრ. 1-ში.

ცხრილი 1. მკ-ის მიღების პროცესის პარამეტრები

პროცესის პარამეტრები	
უცვლადი	ცვლადი
ზან-ი პირველად წყლის ფაზაში Kolliphor P188	პოლიმერის კონცენტრაცია ორგანულ ფაზაში 5 და 13 % (წ/მ)
ზან-ი მეორად წყლის ფაზაში PVA (MW84-89KDa)	
ზან-ის კონცენტრაცია პირველად წყლის ფაზაში - 1% (წ/მ)	
ზან-ის კონცენტრაცია მეორად წყლის ფაზაში-1% (წ/მ)	
პირველადი ემულსიის ჰომოგენიზაციის სიჩქარე 10 000 ბრუნი/წთ	
პირველადი ემულსიის დამატება მეორად წყლის ფაზაში - მყისიერი (მცირე ზომის მკ-ის მიღება)	
მეორადი ემულსიის ჰომოგენიზაციის სიჩქარე 10 000 ბრუნი/წთ (მცირე ზომის მკ-ის მიღება)	
პირველადი ემულსიის დამატება მეორად წყლის ფაზაში სიჩქარით 1-2 წვეთი/წმ (დიდი ზომის მკ-ის მიღება)	
მეორადი ემულსიის მორევის სიჩქარე 400 ბრუნი/წთ (დიდი ზომის მკ-ის მიღება)	

კვლევის შედეგები წარმოდგენილია ცხრ. 2 და 3-ში.

შედეგებიდან ჩანს, რომ ორგანულ ფაზაში პოლიმერის კონცენტრაციის გაზრდა 5-დან 13 %-მდე (წ/მ) იწვევს მკ-ის საშუალო დიამეტრის ზრდას 3,83-დან 5,30 μm -მდე მცირე ზომის მკ-ის შემთხვევაში (ცხრილი 1), და 66,28-დან 81,36 μm -მდე დიდი ზომის მკ-ის შემთხვევაში (ცხრილი 2). როგორც მცირე, ასევე დიდი ზომის მკ ხასიათდება ვიწრო განაწილებით ($R < 1,5$).

ცხრილი 2. ორგანულ ფაზაში პოლიმერის კონცენტრაციის გავლენა მცირე ზომის მკ-ის ფორმირებაზე

პოლიმერის კონცენტრაცია ორგანულ ფაზაში (%წ/მ)	მკ-ის კონცენტრაცია დამზადებულ სუსპენციაში (მგ/მლ)	საშუალო დიამეტრი (μm) \pm SD	დიამეტრის ქვედა ზღვარი (μm) \pm SD	დიამეტრის ზედა ზღვარი (μm) \pm SD	R	ნაწილაკების ზომების განაწილება
5	20	3,83 0,014	1,57 0,004	5,18 0,030	0,94	ვიწრო
13	50	5,30 0,016	1,99 0,003	8,39 0,012	1,20	ვიწრო

ცხრილი 3. ორგანულ ფაზაში პოლიმერის კონცენტრაციის გავლენა დიდი ზომის მკ-ის ფორმირებაზე

პოლიმერის კონცენტრაცია ორგანულ ფაზაში (% ∇ /მ)	მკ-ის კონცენტრაცია დამზადებულ სუსპენციაში (მგ/მლ)	საშუალო დიამეტრი (μ m) \pm SD	დიამეტრის კვდა ზღვარი (μ m) \pm SD	დიამეტრის ზედა ზღვარი (μ m) \pm SD	R	ნაწილაკების ზომების განაწილება
5	20	66,28 0,231	31,56 0,074	105,53 1,614	1,12	ვიწრო
13	50	81,36 0,135	36,85 0,273	127,71 2,242	1,10	ვიწრო

მეორად წყლის ფაზაში ზან-ის კონცენტრაციის გავლენა მკ-ის ფორმირებაზე
 მკ-ის ფორმირებაზე ზან-ის კონცენტრაციის (მეორეულ წყლის ფაზაში) გავლენის შესწავლის მიზნით შევარჩიეთ კონცენტრაციების ხუთი სხვადასხვა მნიშვნელობა – 0,1; 0,5; 1,0; 2,5 და 5,0 % (∇ /მ). ზან-ის კონცენტრაციის გავლენა შევისწავლეთ როგორც მცირე, ისე მკვიდილი ზომის მკ-ის ფორმირებაზე. მკ-ის მიღების პროცესის პარამეტრები (უცვლადი და ცვლადი) წარმოდგენილია ცხრ. 4-ში.

ცხრილი 4. მკ-ის მიღების პროცესის პარამეტრები

პროცესის პარამეტრები	
უცვლადი	ცვლადი
პოლიმერის კონცენტრაცია ორგანულ ფაზაში 5 % (∇ /მ)	ზან-ის კონცენტრაცია მეორად წყლის ფაზაში 0,1; 0,5; 1,0; 2,5; 5,0 % (∇ /მ)
ზან-ი პირველად წყლის ფაზაში Kolliphor P188	
ზან-ი მეორად წყლის ფაზაში – PVA (MW84-89KDa)	
ზან-ის კონცენტრაცია პირველად წყლის ფაზაში - 1% (∇ /მ)	
პირველადი ემულსიის ჰომოგენიზაციის სიჩქარე 10 000 ბრუნი/წთ	
პირველადი ემულსიის დამატება მეორად წყლის ფაზაში - მყისიერი (მცირე ზომის მკ-ის მიღება)	
მეორადი ემულსიის ჰომოგენიზაციის სიჩქარე 10 000 ბრუნი/წთ (მცირე ზომის მკ-ის მიღება)	
პირველადი ემულსიის დამატება მეორად წყლის ფაზაში სიჩქარით 1-2 წვეთი/წმ (დიდი ზომის მკ-ის მიღება)	
მეორადი ემულსიის მორევის სიჩქარე 400 ბრუნი/წთ (დიდი ზომის მკ-ის მიღება)	

ცდების შედეგები წარმოდგენილია ცხრილების სახით (ცხრილი 5 და 6). მიღებულმა შედეგებმა გვიჩვენა, რომ მცირე ზომის მკ-ის შემთხვევაში (ცხრილი 3) მეორეულ წყლის ფაზაში ზან-ის –პოლივინილის სპირტის (PVA) კონცენტრაციის გაზრდა 0,1-დან 5,0 %-მდე (∇ /მ) იწვევს მკ-ის საშუალო დიამეტრის შემცირებას 4,02-დან 1,74 μ m-მდე. აღსანიშნავია აგრეთვე, რომ PVA-ს დაბალ

კონცენტრაციებზე (0,1 და 0,5 % წ/მ) ადგილი ჰქონდა მკ-ის ნაწილობრივ აგრეგაციას და თვალთ ხილული პოლიმერული აგრეგატების წარმოქმნას. PVA-ს 0,1 და 0,5 % წ/მ კონცენტრაციებზე მკ-ის ფარდობითი გამოსავალი შეადგენდა 69 და 86 %-ს შესაბამისად. PVA-ს დანარჩენ კონცენტრაციებზე (1,0; 2,5 და 5,0 % წ/მ) მკ-ის აგრეგაცია არ აღინიშნებოდა, და შესაბამისად, მკ-ის ფარდობითი გამოსავალიც 100 %-ს შეადგენდა. აქედან შესაძლოა დავასკვნათ, რომ მკ-ის მისაღებად PVA-ს ოპტიმალური კონცენტრაციებია 1,0; 2,5 და 5,0 % წ/მ. ამ ოპტიმალურ კონცენტრაციებზე მიღებულ იქნა დიდი ზომის მკ-იც. შედეგები წარმოდგენილია ცხრილ 4-ში. დიდი ზომის მკ-ის შემთხვევაში PVA-ს კონცენტრაციის გაზრდა 1,0-დან 5,0 %-მდე (წ/მ) იწვევს მკ-ის საშუალო დიამეტრის შემცირებას 67,63-დან 10,01 μm-მდე. აღსანიშნავია ასევე, რომ ამ შემთხვევაში PVA-ს კონცენტრაციის გაზრდა უფრო მნიშვნელოვნად ამცირებს (6,7 ჯერ) ნაწილაკების საშუალო ზომებს, ვიდრე მცირე ზომის მკ-ის შემთხვევაში (2,2 ჯერ).

რაც შეეხება ნაწილაკების ზომების განაწილებას, მცირე ზომის მკ-ის შემთხვევაში PVA-ს ოპტიმალურ კონცენტრაციებზე (1,0; 2,5 და 5,0 % წ/მ) განაწილება ვიწროა ($R < 1,5$), ხოლო დიდი ზომის მკ-ის შემთხვევაში PVA-ს მაღალ კონცენტრაციაზე (5,0 % წ/მ) აღინიშნება ნაწილაკების ზომების ფართო განაწილება ($R > 1,5$). მიღებული შედეგებიდან შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ ზან-ის კონცენტრაცია მეორად წყლის ფაზაში მნიშვნელოვანი ფაქტორია, რომელიც განაპირობებს როგორც მკ-ის ზომებს, ასევე მათ გამოსავალსაც.

ცხრილი 5. წყლის ფაზაში ზან-ის კონცენტრაციის გავლენა მცირე ზომის მკ-ის ფორმირებაზე

PVA-ს (Mw=84-89KDa) კონცენტრაცია მეორად წყლის ფაზაში (%წ/მ)	საშუალო დიამეტრი (μm)±SD	დიამეტრის ქვედა ზღვარი (μm)±SD	დიამეტრის ზედა ზღვარი (μm)±SD	R	ნაწილაკების ზომების განაწილება	*მკ-ის ფარდობითი გამოსავალი (%)
0,1	4,02 0,018	1,31 0,001	10,11 0,054	2,18	ფართო	69
0,5	3,90 0,009	1,41 0,001	5,46 0,048	1,03	ვიწრო	86
1,0	3,83 0,012	1,57 0,004	5,18 0,030	0,94	ვიწრო	100
2,5	3,47 0,023	1,53 0,002	4,99 0,007	0,99	ვიწრო	100
5,0	1,74 0,002	1,23 0,003	2,60 0,018	0,78	ვიწრო	100

$$\text{*მკ-ის ფარდობითი გამოსავალი (\%)} = \frac{\text{პოლიმერის საერთო მასა} - \text{აგრეგირებული პოლიმერის მასა}}{\text{პოლიმერის საერთო მასა}} \times 100 \%$$

ცხრილი 6. წყლის ფაზაში ზან-ის კონცენტრაციის გავლენა დიდი ზომის მკ-ის ფორმირებაზე

PVA-ს (Mw=84-89KDa) კონცენტრაცია მეორად წყლის ფაზაში (%წ/მ)	საშუალო დიამეტრი (μm)±SD	დიამეტრის ქვედა ზღვარი (μm)±SD	დიამეტრის ზედა ზღვარი (μm)±SD	R	ნაწილაკების ზომების განაწილება
1,0	67,63 0,149	34,94 0,368	101,44 1,365	0,98	ვიწრო
2,5	44,62 0,518	23,74 0,281	69,30 1,236	1,02	ვიწრო
5,0	10,01 0,456	4,87 0,092	66,49 6,375	6,15	ფართო

ზან-ის ბუნების გავლენა მკ-ის ფორმირებაზე

მკ-ის ფორმირებაზე სურფაქტანტების ბუნების გავლენის შესასწავლად შევარჩიეთ შემდეგი ზან-ები: Kolliphor P188, Poloxamer 407, PVA (31KDa) და PVA (84-89KDa). მკ-ის მიღების პროცესის პარამეტრები (უცვლადი და ცვლადი) წარმოდგენილია ცხრ. 7-ში.

ცხრილი 7. მკ-ის მიღების პროცესის პარამეტრები

პროცესის პარამეტრები	
უცვლადი	ცვლადი
პოლიმერის კონცენტრაცია ორგანულ ფაზაში 5 % (წ/მ)	ზან-ი პირველად წყლის ფაზაში Kolliphor P188, Poloxamer 407, PVA (MW 31KDa), PVA (MW 84-89KDa)
ზან-ის კონცენტრაცია პირველად წყლის ფაზაში-1 % (წ/მ)	ზან-ი მეორად წყლის ფაზაში Poloxamer 407, PVA (MW 31KDa), PVA (MW 84- 89KDa)
ზან-ის კონცენტრაცია მეორად წყლის ფაზაში-1 % (წ/მ)	
პირველადი ემულსიის ჰომოგენიზაციის სიჩქარე 10 000 ბრუნი/წთ	
პირველადი ემულსიის დამატება მეორად წყლის ფაზაში - მყისიერი (მცირე ზომის მკ-ის მიღება)	
მეორადი ემულსიის ჰომოგენიზაციის სიჩქარე 10 000 ბრუნი/წთ (მცირე ზომის მკ-ის მიღება)	

ექსპერიმენტების შედეგები წარმოდგენილია ცხრ. 8-ში.

ცხრილი 8. ზან-ის ბუნების გაგენა პირველად და მეორად წყლის ფაზაში
მცირე ზომის მკ-ის ფორმირებაზე

ზან-ი პირველად წყლის ფაზაში	ზან-ი მეორად წყლის ფაზაში	საშუალო დიამეტრი (μm) \pm SD	დიამეტრის ქვედა ზღვარი (μm) \pm SD	დიამეტრის ზედა ზღვარი (μm) \pm SD	R	ნაწილაკების ზომების განაწილება
Kolliphor P188	PVA (MW 31KDa)	2,16 0,001	1,53 0,001	4,61 0,002	1,42	ვიწრო
Kolliphor P188	PVA (MW 84-89KDa)	3,83 0,014	1,57 0,004	5,18 0,030	0,94	ვიწრო
Poloxamer 407	PVA (MW 31KDa)	2,04 0,001	1,51 0,002	4,33 0,056	1,38	ვიწრო
PVA (MW 31KDa)	PVA (MW 31KDa)	2,19 0,002	1,55 0,001	4,46 0,004	1,33	ვიწრო
Poloxamer 407	PVA (MW 84-89KDa)	4,18 0,008	1,58 0,003	6,28 0,015	1,12	ვიწრო
PVA (MW 84-89KDa)	PVA (MW 84-89KDa)	4,60 0,007	1,68 0,002	7,02 0,012	1,16	ვიწრო
Kolliphor P188	Poloxamer 407	პოლიმერის სრული აგრეგაცია, მკ არ მიიღება	Kolliphor P188	Poloxamer 407	პოლიმერის სრული აგრეგაცია, მკ არ მიიღება	Kolliphor P188
Poloxamer 407	Poloxamer 407	პოლიმერის სრული აგრეგაცია, მკ არ მიიღება	Poloxamer 407	Poloxamer 407	პოლიმერის სრული აგრეგაცია, მკ არ მიიღება	Poloxamer 407

კვლევის შედეგებიდან ჩანს, რომ ზან-ის ბუნება წყლის ფაზაში მნიშვნელოვნად მოქმედებს მცირე ზომის მკ-ის ფორმირებაზე. როგორც ცხრილ 5-ში ნაჩვენებია, სხვადასხვა ზან-ების თანაობისას მიღებული მცირე ზომის მკ-ის საშუალო დიამეტრი მერყეობს 2,04 – 4,60 μm ფარგლებში, ხოლო ნაწილაკების ზომების განაწილება ვიწროა ($R < 1,5$). პირველად წყლის ფაზაში ზან-ის ბუნება მნიშვნელოვნად არ მოქმედებს არც მკ-ის საშუალო დიამეტრზე და არც მკ-ის წარმოქმნის უნარიანობაზე. კვლევის შედეგებიდან გამომდინარეობს, რომ ზან-ის ბუნების გავლენა მნიშვნელოვანია მხოლოდ მეორად წყლის ფაზაში (სადაც წყლის ფაზის მოცულობა, და შესაბამისად, ზან-ის რაოდენობაც მეტია). ასე, როდესაც ზან-ის სახით მეორად წყლის ფაზაში გამოყენებული გვაქვს სხვადასხვა მოლეკულური მასის PVA, აღინიშნება მკ-ის საშუალო დიამეტრის ცვლილება (2,04 μm -დან 4,60 μm -მდე), ხოლო Poloxamer 407-ის გამოყენების შემთხვევაში კი აღვიღო აქვს პოლიმერის სრულ აგრეგაციას და, შესაბამისად, მკ არ წარმოიქმნება.

მეორადი ემულსიის მორევის სიჩქარის გავლენა მცირე ზომის მკ-ის ფორმირებაზე

მცირე ზომის მკ-ის ფორმირებაზე მეორადი ემულსიის ჰომოგენიზაციის სიჩქარის გავლენის შესწავლის მიზნით გამოვიყენეთ ჰომოგენიზაციის სიჩქარის სამი სხვადასხვა მნიშვნელობა – 10000, 18000 და 22000 ბრუნი/წთ. მკ-ის მიღების პროცესის პარამეტრები (უცვლადი და ცვლადი) წარმოდგენილია ცხრ. 9-ში.

ცხრილი 9. მკ-ის მიღების პროცესის პარამეტრები

პროცესის პარამეტრები	
უცვლადი	ცვლადი
პოლიმერის კონცენტრაცია ორგანულ ფაზაში 5 % (წ/მ)	მეორადი ემულსიის ჰომოგენიზაციის სიჩქარე 10 000, 18 000, 22 000 ბრუნი/წთ
ზან-ი პირველად წყლის ფაზაში – Kolliphor P188	
ზან-ი მეორად წყლის ფაზაში – PVA (MW84-89KDa)	
ზან-ის კონცენტრაცია პირველად წყლის ფაზაში - 1% (წ/მ)	
ზან-ის კონცენტრაცია მეორად წყლის ფაზაში – 1% (წ/მ)	
პირველადი ემულსიის ჰომოგენიზაციის სიჩქარე 10 000 ბრუნი/წთ	
პირველადი ემულსიის დამატება მეორად წყლის ფაზაში - მყისიერი (მცირე ზომის მკ-ის მიღება)	

კვლევის შედეგები წარმოდგენილია ცხრ. 10-ში.

ექსპერიმენტების შედეგებიდან ჩანს, რომ მეორადი ემულსიის ჰომოგენიზაციის სიჩქარის გაზრდა 10000-დან 22000 ბრუნი/წთ-მდე იწვევს მკ-ის საშუალო დიამეტრის შემცირებას 3,83-დან 1,97 μm -მდე. ჰომოგენიზაციის სიჩქარის სამივე მნიშვნელობაზე ნაწილაკების ზომების განაწილება ვიწროა ($R < 1,5$). პირველადი ემულსიის ჰომოგენიზაციის სიჩქარე ცდებში უცვლადი იყო, ვინაიდან ის განსაზღვრავს მხოლოდ წყლის წვეთების დისპერგირების ხარისხს პირველად W/O ემულსიაში და არ არის დაკავშირებული მკ-ის ზომებთან (ანუ არ განსაზღვრავს მეორად W/O/W ემულსიაში ორგანული ფაზის წვეთების ზომებს).

ცხრილი 10. ჰომოგენიზაციის სიჩქარის გავლენა მცირე ზომის მკ-ის ფორმირებაზე

პირველადი ემულსიის მორევის სიჩქარე, ბრუნი/წთ	მეორადი ემულსიის მორევის სიჩქარე, ბრუნი/წთ	საშუალო დიამეტრი (μm)±SD	დიამეტრის ქვედა ზღვარი (μm)±SD	დიამეტრის ზედა ზღვარი (μm)±SD	R	ნაწილაკების ზომების განაწილება
10 000	10 000	3,83 0,014	1,57 0,004	5,18 0,030	0,94	ვიწრო
10 000	18 000	2,17 0,004	1,50 0,003	4,54 0,003	1,40	ვიწრო
10 000	22 000	1,97 0,001	1,42 0,001	4,11 0,012	1,36	ვიწრო

მეორადი ემულსიის მორევის სიჩქარის გავლენა დიდი ზომის მკ-ის ფორმირებაზე

დიდი ზომის მკ-ის ფორმირებაზე მეორადი ემულსიის მორევის სიჩქარის გავლენა შევისწავლეთ მაგნიტური სარეველის მორევის სიჩქარის სამ სხვადასხვა მნიშვნელობაზე – 200, 400 და 700 ბრუნი/წთ-ზე. მკ-ის მიღების პროცესის პარამეტრები (უცვლადი და ცვლადი) წარმოდგენილია ცხრ. 11-ში.

ცხრილი 11. მკ-ის მიღების პროცესის პარამეტრები

პროცესის პარამეტრები	
უცვლადი	ცვლადი
პოლიმერის კონცენტრაცია ორგანულ ფაზაში 5 % (წ/მ)	მეორადი ემულსიის მორევის სიჩქარე – 200, 400, 700 ბრუნი/წთ
ზან-ი პირველად წყლის ფაზაში Kolliphor P188	
ზან-ი მეორად წყლის ფაზაში PVA (MW84-89KDa)	
ზან-ის კონცენტრაცია პირველად წყლის ფაზაში - 1% (წ/მ)	
ზან-ის კონცენტრაცია მეორად წყლის ფაზაში – 1% (წ/მ)	
პირველადი ემულსიის ჰომოგენიზაციის სიჩქარე 10 000 ბრუნი/წთ	
პირველადი ემულსიის დამატება მეორად წყლის ფაზაში სიჩქარით 1-2 წვეთი/წმ	

ექსპერიმენტების შედეგები წარმოდგენილია ცხრილ 12-ში.

კვლევის შედეგებიდან ჩანს, რომ დიდი ზომის მკ-ის ფორმირებისას მეორადი ემულსიის მორევის სიჩქარის (მაგნიტური სარეველის ბრუნთა რიცხვის ვარიანტით) გაზრდა 200-დან 700 ბრუნი/წთ-მდე იწვევს მკ-ის საშუალო დიამეტრის შემცირებას 75,05-დან 44,62 μm-მდე. დიდი ზომის მკ-ისათვის მეორადი W/O/W ემულსიის მორევის სიჩქარეს ისეთივე მნიშვნელობა აქვს, როგორც ჰომოგენიზაციის სიჩქარეს მცირე ზომის მკ-ის შემთხვევაში. W/O/W ემულსიის მორევის სიჩქარე (ისევე როგორც ჰომოგენიზაციის სიჩქარე) განსაზღვრავს ემულსიაში დისპერსული ფაზის (ორგანული ფაზის წვეთები) ზომებს, რაც განაპირობებს თვით მკ-ის ზომებს (ორგანული გამხსნელის აორთქლების შემდეგ) მიღებულ სუსპენზიაში. აღსანიშნავია აგრეთვე, რომ მეორადი ემულსიის მორევის დაბალ სიჩქარეზე (200 ბრუნი/წთ) ადგილი ჰქონდა ნაწილაკების ნაწილობრივ აგრეგაციას. აქედან გამომდინარე, დიდი ზომის მკ-ის მიღებისას მიზანშეწონილი არ არის W/O/W ემულსიის მორევის დაბალი სიჩქარის გამოყენება.

ცხრილი 12. მეორადი ემულსიის მორევის სიჩქარის გავლენა დიდი ზომის მკ-ის ფორმირებაზე

მეორადი ემულსიის მორევის სიჩქარე, ბრუნი/წთ	საშუალო დიამეტრი (μm)±SD	დიამეტრის ქვედა ზღვარი (μm)±SD	დიამეტრის ზედა ზღვარი (μm)±SD	R	ნაწილაკების ზომების განაწილება
200	75,05 0,508•	37,06 0,376•	118,44 0,738•	1,08	ვიწრო
400	50,57 0,305	20,34 0,130	86,18 0,531	1,30	ვიწრო
700	44,62 0,518	23,74 0,281	69,30 1,236	1,02	ვიწრო

• - ნაწილობრივი აგრეგაცია

მიღებული შედეგების საფუძველზე შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ სხვადასხვა ფიზიკურ-ქიმიური პარამეტრების გავლენის შესწავლამ მკ-ის ფორმირებაზე გავიხვინა, რომ პარამეტრების ცვლილებით და, ასევე მიღების მეთოდის მცირეოდენი მოდიფიცირებით შესაძლოა მკ-ის ზომების კონტროლირებადი ვარირება ფართო ზღვრებში.

მკ-ის რესუსპენდირებადობა 48 სთ-იანი დაყოვნების/დალექვის შემდეგ

ჩვენ მიერ შესწავლილი იქნა მცირე ზომის მკ-ის რესუსპენდირების უნარი 48 სთ დაყოვნების/დალექვის შემდეგ. ამისათვის, დამზადებისთანავე განვსაზღვრეთ მკ-ის მახასიათებლები (ზომები და ნაწილაკების ზომების განაწილება) და შემდეგ სუსპენზია შევინახეთ დაბალ ტემპერატურაზე (მაცივარში). 48 სთ შემდეგ მკ-ის რესუსპენდირებას ვახდენდით ენერგიული შენჯღრევით 3-5 წთ განმავლობაში. რესუსპენდირების შემდეგ განმეორებით ვსაზღვრავდით მკ-ის მახასიათებლებს. მკ-ის მიღების პროცესის პარამეტრები წარმოდგენილია ცხრ. 13-ში.

ცხრილი 13. მკ-ის მიღების პროცესის პარამეტრები

პროცესის პარამეტრები
პოლიმერის კონცენტრაცია ორგანულ ფაზაში 5 % (წ/მ)
ზანი პირველად წყლის ფაზაში – Kolliphor P188
ზანი მეორად წყლის ფაზაში – PVA (MW84-89KDa)
ზანი-ის კონცენტრაცია პირველად წყლის ფაზაში - 1% (წ/მ)
ზანი-ის კონცენტრაცია მეორად წყლის ფაზაში – 1% (წ/მ)
პირველადი ემულსიის ჰომოგენიზაციის სიჩქარე 10 000 ბრუნი/წთ
მეორადი ემულსიის ჰომოგენიზაციის სიჩქარე 10 000 ბრუნი/წთ
პირველადი ემულსიის დამატება მეორად წყლის ფაზაში - მყისიერი (მცირე ზომის მკ-ის მიღება)

ექსპერიმენტების შედეგები წარმოდგენილია ცხრ. 14-ში.

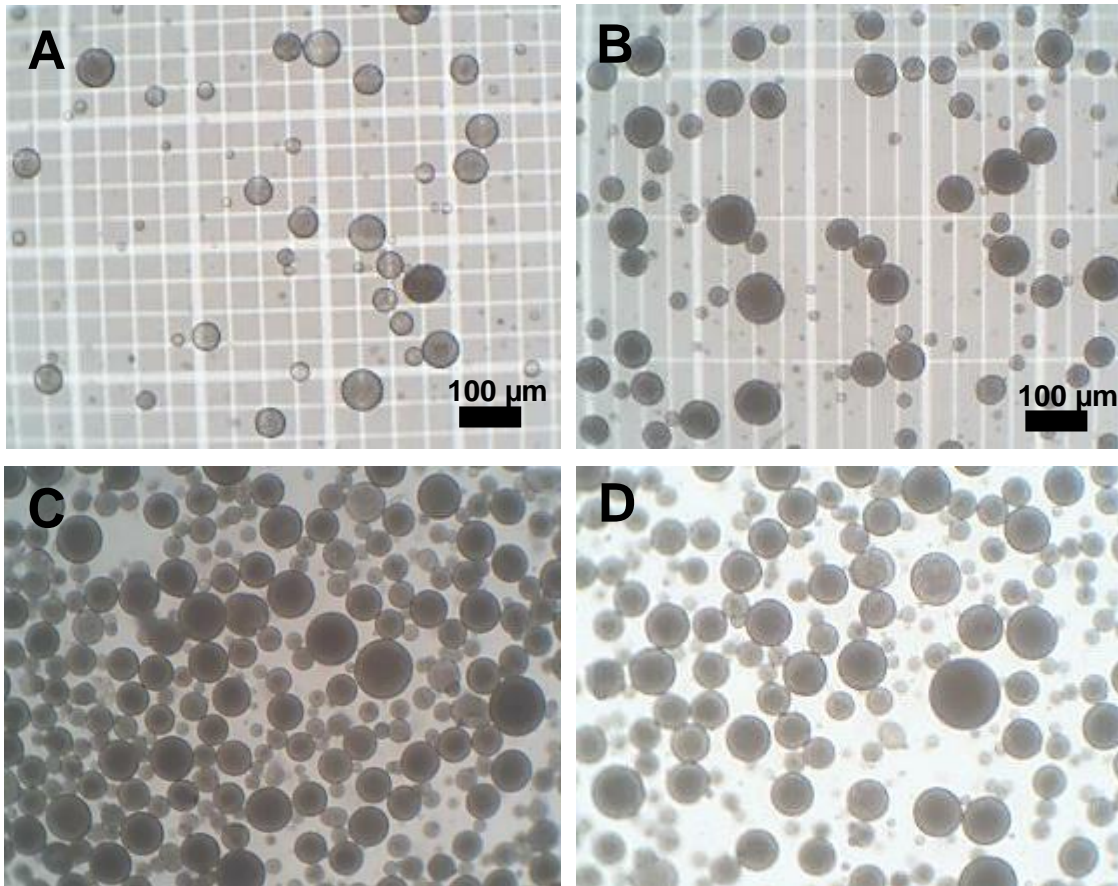
მიღებული შედეგებიდან ჩანს, რომ მკ-ის მახასიათებლები დამზადებისთანავე და დალექვის/შემდგომი რესუსპენდირების შემდეგ პრაქტიკულად არ განსხვავდება ერთმანეთისგან, რაც მეტყველებს მიღებული მკ-ის მდგრადობაზე. გაზომვების შედეგებს შორის განსხვავება ცდომილების ფარგლებშია.

ცხრილი 14. მცირე ზომის მკ-ის რესუსპენდირებადობა 48 სთ დაყოვნების/დალექვის შემდეგ

გაზომვა	საშუალო დიამეტრი (μm)±SD	დიამეტრის ქვედა ზღვარი (μm)±SD	დიამეტრის ზედა ზღვარი (μm)±SD	R	ნაწილაკების ზომების განაწილება
დამზადებისთანავე	3,70 0,007	1,63 0,003	4,76 0,005	0,84	ვიწრო
რესუსპენდირების (შენჯღრევის) შემდეგ	3,77 0,069	1,67 0,025	5,06 0,883	0,89	ვიწრო

მკ-ის მორფოლოგიური კვლევა

კვლევის ფარგლებში ჩატარებულია დიდი ზომის მკ-ის მორფოლოგიური კვლევა ოპტიკური მიკროსკოპის გამოყენებით 200x გადიდებაზე (სურათი).



დიდი ზომის მკ-ის მიკროფოტოგრაფიები (გადიდება 200 x).

A, B - გორიავის ბადეზე; C, D - სასაგნე მინაზე; მკ-ის საშუალო დიამეტრი (მიკროსაიზერით დადგენილი – 66 µm.

როგორც მიკროფოტოგრაფიებიდან ჩანს, მიღებული დიდი ზომის მკ სფერული ფორმისაა. საიზერის მონაცემების თანახმად მორფოლოგიური კვლევებისთვის გამოყენებული მკ-ის საშუალო დიამეტრი შეადგენდა 66,28 µm, დიამეტრის ქვედა ზღვარი 31,56 µm, ხოლო დიამეტრის ზედა ზღვარი 105,53 µm. ხელსაწყო მონაცემები კარგ თანხვედრაშია გორიავის ბადეზე (სურათი) ოპტიკური მიკროსკოპის საშუალებით დადგენილ მიახლოებით ზომებთან: მკ-ის უმრავლესობისთვის დიამეტრი მერყეობს 50-60 µm-ის ფარგლებში, მკ-ის ნაწილისთვის დიამეტრი მერყეობს 20-30 µm-ის ფარგლებში, დანარჩენი ნაწილისთვის კი – 80-100 µm-ის ფარგლებში.

ლიტერატურა

1. M.N. Singh, K.S.Y. Hemant, M. Ram, H.G. Shivakumar. Microencapsulation: A promising technique for controlled drug delivery.//Res. Pharm. Sci., 2010, 5. pp. 65-77.
2. R. Katsarava, Z. Gomurashvili. Biodegradable Polymers Composed of Naturally Occurring α -Amino Acids. In: Handbook of Biodegradable Polymers - Isolation, Synthesis, Characterization and Applications, Lendlein, A. and Sisson, A., Eds. - Wiley-VCH, Verlag GmbH & Co. KGaA.Ch., 2011, 5, pp.107-131.
3. R.Katsarava, N.Kulikova, J.Puiggali. Amino-Acid-Based Biodegradable Polymers – Promising Materials for the Applications in Regenerative Medicine.//J. J. Regen. Med.,2016, 1, 012.

4. A.Díaz, R.Katsarava, J.Puiggalí. Synthesis, properties and applications of biodegradable polymers derived from diols and dicarboxylic acids: From polyesters to poly(ester amide)s (Review). // Int. J. Mol. Sci.,2014, 15, pp. 7064-7123.
5. T.Kantaria, T..Kantaria, S.Kobauri, M.Ksovreli, T.Kachlishvili, N.Kulikova, D.Tugushi, R. Katsarava. Biodegradable nanoparticles made of amino acid-based ester polymers: Preparation, characterization, and in vitro biocompatibility study.//Appl.Sci.,2016, 6, 444, doi:10.3390/app6120444.
6. U. Puapermpoonsiri, J. Spencer, C. F. Van der Walle. A freeze-dried formulation of bacteriophage encapsulated in biodegradable microspheres. //Eur. J. Pharm. Biopharm., 2009, 72, pp. 26-33.

SUMMARY

SYSTEMATIC STUDY ON THE FABRICATION OF DRUG DELIVERY MICROCAPSULES MADE OF AMINO-ACID-BASED BIODEGRADABLE POLYESTER AMIDE

Sinauridze N.O., Kantaria Tem.J., Kantaria Ten.J., Badzgaradze S.A., Kutsiava N.A., Tugushi D.S. and Katsarava R.D.

**Agricultural University of Georgia
Georgian Technical University**

The article deals with a systematic study on the fabrication of micr for numerous drug delivery applications. The microcapsules were made of biodegradable poly(ester amide) constituted of amino acid leucine, 1,6-hexanediol and sebacic acid using a water-in-oil-in-water (w/o/w) double emulsion–solvent evaporation method. The influence of various parameters such as the concentration of the polymer in the organic phase (dichloromethane), the concentration of the surfactant in the water phase, the nature of the surfactant in the water phase, and the homogenization rate of the secondary emulsion were studied in terms of the size and size distribution of the microspheres.

Keywords: drug-delivering microspheres, biodegradable poly(ester amide), fabrication of microspheres, w/o/w method.

АНТИБАКТЕРИАЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ СОПОЧНЫХ И ИЛОВЫХ ПЕЛОИДОВ ГРУЗИИ

Девдариани Н.Г., Джинчарадзе Д.Г., Закалашвили Т.Т, Бокучава Н.В.

Грузинский технический университет

Пелоиды (лечебные грязи) занимают достойное место в традиционной медицине в течение многих столетий. В последние годы возобновился интерес к поиску и исследованию различных видов грязей с целью их терапевтического использования в качестве эффективного антибактериального и лечебного средства.

В лечебной практике используются обогащенные органическими веществами сопочные и иловые грязи. Эффективность лечения различных заболеваний в значительной степени зависит от антибактериальных свойств веществ, продуцируемых бактериями, плесневыми грибами и актиномицетамиантагонистами в грязевой субстрат. Кроме того, антибактериальная активность лечебных грязей обуславливает их „самозащиту“, от различных патогенных и условно-патогенных микробов, постоянно попадающих в грязь.

Известно, что лечебное действие грязей в большей мере обусловлено содержащимися в них органическими веществами, среди которых следует отметить гуминовые кислоты, обладающие антисептическим действием [1].

Целью работы является извлечение неэкстрагируемых хлороформом фракций органических веществ, в первую очередь, гуминовых и фульвокислот, для этого использовали их щелочную экстракцию из грязи после проведения экстракции органическими растворителями. Оптимальные условия их извлечения подобранные нами, представлены в табл. 1.

Таблица 1. Параметры экстракций пелоидов

Навеска грязи, г	Используемый экстрагент	Число экстракций	Объем добавленного раствора NaOH, мл	Время каждой экстракции, мин
1	NaOH 0,3N	3	10	30

Изучение содержания и качественного состава гуминовых веществ в исследуемых сопочных и иловой грязи показало, что содержание их колеблется (по углероду) от 35 до 60% (мас), от общей суммы в грязях органического вещества. Причем для иловой грязи характерна более высокая концентрация – на долю гуминовых веществ приходится до 60 % (мас) от общей суммы органических веществ (табл. 2).

Таблица 2. Содержание гуминовых и фульвокислот в сопочных и иловой грязи

Исследуемая проба	Содержание Собщ. мг/г	Содержание углерода гуминовых веществ от общего органического вещества, % (мас)	Сгк./Сфк
Сопочная грязь Тахти-тепа	6,3	35,0	0,5
Сопочная грязь Кила- Купра	28,0	44,0	1,16
Иловая грязь Кумиси	13,0	60,0	1,09

Полученные данные довольно хорошо согласуются с результатами исследования гуминовых веществ лечебных грязей Киргизии [3], в которых их доля составляет 23 ...59 % (мас) от общего количества органического вещества.

Обращают на себя внимание необычные соотношения гуминовых и фульвокислот СГК/Сфк, которые для поверхностных вод в большинстве случаев равны 1 : 10 [4]. В исследуемых грязях концентрации гуминовых и фульвокислот одного порядка, и их

соотношения колеблются в основном от 0,5 до 1,1. В то же время эти соотношения гораздо ниже найденных величин для иловых и торфяных грязей Киргизии (1,07-1,75).

Были проведены исследования антибактериальных свойств лечебных грязей Грузии как по отношению к грамположительным, так и по отношению к грамотрицательным видам микроорганизмов. Для определения антибактериальной активности были взяты следующие тест-культуры: бактерия сине-зеленого гноя, кишечная и дизентерийная палочки, белый и золотистый стафилококки [5].

В результате установлено, что антибактериальные свойства по отношению к бактерии сине-зеленого гноя (табл. 3) больше проявляются в иловой грязи.

Таблица 3. Антибактериальная активность лечебных грязей

Наименов. грязи	Глубина от бора проб, м	Бактерия сине-зеленого гноя, МКБ/г	Кишечная палочка МКБ/г	Дизентерийная палочка, МКБ/г	Стафилококк белый, МКБ/г	Стафилококк золотистый МКБ/г
Сопочные грязи	0,2 – 1,0	0 – 1	0,5 – 1,0	0	0 – 0,5	0
Иловая грязь	0,5 – 2,0	1 – 4	1,0 – 3,0	0,5 – 2,0	0 – 1,0	0 – 0,1

В сопочных грязях антибактериальные свойства к дизентерийной палочке не проявляются.

Таким образом, сопочные грязи обладают большой антибактериальной активностью по отношению к грамотрицательным (бактерия – *Bakt.Pyocyaneum* - сине-зеленого гноя, кишечная палочка – *Escherichia coli* и дизентерийная палочка *Schigella dysenteriae*) видам микроорганизмов и в меньшей – к грамположительным (белый – *Staphylococcus enidermidis* и золотистый стафилококки - *Staphylococcus aureus*).

При изучении антибактериальной активности по отношению к белому стафи-лококку установлено, что она больше выражена (5...10 мм) в иловой грязи и меньше в сопочных грязях (1...5 мм).

Антибактериальные свойства изученных грязей по отношению к стафилококку золотистому значительно ниже, чем стафилококку белому, Стерильную зону (1...5 мм) на фоне стафилококка золотистого образует только иловая грязь. Совсем не проявляют биологической активности к этому тест-микробу сопочные грязи. В отличие от сопочных иловая грязь проявляет антибактериальную активность в большей степени к грамположительным видам микроорганизмов. Это дает основание считать её сходной с черноморскими лиманами (Саки), Киргизскими илами и др. [3]. Что касается сопочных грязей, то их антибактериальные свойства проявляются как к тем, так и другим видам бактерий незначительно.

В составе иловой грязи преобладают биологически активные гуминовые и фульвокислоты, на долю которых приходится 35...60% (мас) от общей суммы органических веществ. В сопочных грязях их содержание ниже (35...44 % (мас). Соотношение между концентрациями гуминовых и фульвокислот (С гк./Сфк) существенно отличается от наблюдаемых для поверхностных вод и составляет 0,5...1,2.

Показано, что сопочные и иловые грязи Грузии обладают антибактериальными свойствами по отношению к патогенным и условно патогенным бактериям, причем в большей мере грамотрицательным видам бактерии. Иловая грязь биологически активна к грамположительным бактериям.

ЛИТЕРАТУРА

1. Черепанова М.Н. Физико-химическая характеристика гуминовых веществ торфяных грязей. //В кн. Грязи и их лечебное применение. -Киев. Здоровье, 1969, сс. 27-29
2. Черепанова М.Н. Физико-химическая характеристика лечебной грязи-озера Аджиголь. Вопросы эксп. и клин. курортологии и физиотерапии. - М. 1975, т. 29, сс. 81-83.
3. Лечебные грязи Киргизской ССР. -Фрунзе. Мед. изд-во, Вып. 10, 1973, сс.50-58

4. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. -Л: Гидро-метеоизд, 1977, сс. 15-213
5. Микая М.П. Бактериологическая диагностика стафилококковой инфекции. //Мат. науч. конф. дерматовенерологов. -Тбилиси, Медицина, 2003, сс. 8-12
6. Н.Бокучава Н.В. Лечебные грязи Грузии. -Тбилиси, Изд.: Технический университет, 2009, 150с.

SUMMARY

ANTIBACTERIAL ACTIVITY OF VOLCANIC AND SLIT PELOIDS OF GEORGIA

Devdariani N.G., Jincharadze D.G., Zakalashvili T.T. and Bokuchava N.V.

Georgian Technical University

The experimental study of the antibacterial properties of volcanic and silt peloids of Georgia was performed. The study revealed that, in volcanic mud, antibacterial properties are insignificant, while slit mud provides congenial conditions for the growth of gram-positive bacteria.

Keywords: peloids, antibacterial activity, humic acids, fulvic acids.

ემოლოგიურად სუფთა ხილ-კენკრიდან პოლიფენოლების კონცენტრირების
ინოვაციური ტექნოლოგიით დამზადებული ხილ-კენკრის წვენებში

ებელაშვილი ნ.გ.

საქართველოს აგრარული უნივერსიტეტი, მევენახეობისა და მეღვინეობის ინსტიტუტი

შესავალი

ხილ-კენკროვნები შეიცავენ ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებების ფართო სპექტრს, რომელთაგან მრავალმხრივი სამკურნალო-პროფილაქტიკური თვისებებით გამოირჩევიან ფენოლური ნივთიერებები: კატეხინები, ფლავანოლები, ფენოლკარბონმჟავები, ანტოციანები.

მსოფლიოს მრავალ ქვეყანაში ჩატარებული მეცნიერული გამოკვლევებით დადასტურებულია, რომ ეს ნივთიერებები ხასიათდებიან მაღალი ანტიოქსიდანტური ეფექტით, მკვეთრად ამცირებენ გულ-სისხლძარღვთა დაავადების, შაქრიანი დიაბეტი 2-ის, სიმსივნური პროცესებისა და სხვა მრავალრიცხოვან დაავადებათა განვითარების რისკს [1-5]. ამიტომ წვენების კვებითი ღირებულების შეფასებისათვის უდიდესი მნიშვნელობა ენიჭება მათში ფენოლური ანტიოქსიდანტების რაოდენობას. ფენოლური ნივთიერებების მაღალი კონცენტრაცია ზრდის წვენების ანტიოქსიდანტურ ეფექტს. დღეისათვის, საერთაშორისო ბაზარზე ფენოლური ნივთიერებებით მდიდარი, მაღალი ანტიოქსიდანტური აქტიურობის მქონე პროდუქტებზე მეტად დიდია მოთხოვნა, მაღალია მათი ფასი და რეალიზაციის რაოდენობაც. ამ ნივთიერებების რაოდენობა კი დამოკიდებულია ნედლეულზე და წვენის დამზადების პროცესში გამოყენებულ ტექნოლოგიურ ხერხებზე.

ჩვენ მიერ შემუშავებულია პოლიფენოლებით კონცენტრირებული, მაღალი ანტიოქსიდანტური აქტიურობის შავი თუთისა და მაცვლის წვენების დამზადების ინოვაციური ტექნოლოგია.

კვლევის ობიექტები და მეთოდები

კვლევის ობიექტების – საცდელი და საკონტროლო წვენების ნიმუშების დასამზადებლად გამოყენებული იყო ეკოლოგიურად სუფთა ნედლეული: შავი თუთა (საგარეჯო), ტყის მაცვალი (კასპი). საკონტროლო ნიმუშები დამზადდა სტანდარტული ტექნოლოგიით [6], საცდელი – ჩვენ მიერ შემუშავებული პოლიფენოლების კონცენტრირების ინოვაციური ტექნოლოგიით [7].

საცდელ და საკონტროლო ნიმუშებში გამოკვლეულია: კატეხინებისა და ფენოლკარბონმჟავების რაოდენობა მაღალეფექტური სითხური ქრომატოგრაფიის მეთოდით აპარატზე Pro star” (ფირმა „Varian”). კომპონენტების დაყოფა განხორციელდა 280 ნმ ტალღის სიგრძეზე; გამოყენებული იყო ქრომატოგრაფიის სვეტი Microsorb 100-S C18 [8]. ანტიოქსიდანტური აქტიურობა შესწავლილი იყო სტაბილური რადიკალის (DPPH) გამოყენებით. სტანდარტულ ანტიოქსიდანტად გამოყენებული იყო E ვიტამინის წყალში ხსნადი ფორმა – ტროლოქსი [9].

ჩვენ მიერ იდენტიფიცირებული და რაოდენობრივად განსაზღვრულია (+) - კატეხინი, (-) - ეპიკატეხინი, გალის, ხლოროგენის, ვანილის, პ-კუმარის, სინაპისა და დარიჩინის მჟავები. ცხრილში წარმოდგენილია კვლევის ობიექტებში ფენოლური კომპონენტების რაოდენობა და ანტიოქსიდანტური აქტიურობა.

მიღებული ექსპერიმენტული მასალის ანალიზმა გვიჩვენა, რომ იდენტიფიცირებული ფენოლური ანტიოქსიდანტების შემცველობა მაცვლის წვენში მაღალია (142,2 მგ/ლ), შავი თუთის წვენთან შედარებით (75,114 მგ/ლ). შავი თუთისა და

მაყვლის წვენებში ფენოლკარბონმჟავებიდან ყველაზე მეტი რაოდენობით წარმოდგენილია ხლოროგენის მჟავა; ამავდროულად, შავი თუთის წვენი, ხასიათდება ხლოროგენის მჟავის, ხოლო მაყვლის წვენი – პ. კუმარის მჟავის მაღალი შემცველობით, (შესაბამისად: 37,381 საპირისპიროდ 26,64 მგ/ლ; 19,864 საპირისპიროდ 1,713 მგ/ლ).

გამოკვლევამ გვიჩვენა, რომ ზემოთ აღნიშნული ნედლეულის წვენების საცდელ ნიმუშებში ფენოლური კომპონენტების ჯამური რაოდენობა (შესაბამისად 210,852 და 372,714 მგ/ლ) გაცილებით მაღალია საკონტროლო ნიმუშებთან (შესაბამისად: 75,114 და 142,2 მგ/ლ) შედარებით. შავი თუთისა და მაყვლის წვენების საცდელ ნიმუშებში, საკონტროლოსთან შედარებით მატულობს: კატეხინების ჯამი – 2,1 - 3,3ჯერ (შესაბამისად: 63,381 საპირისპიროდ 28,837 მგ/ლ; 184,324 საპირისპიროდ 85,796 მგ/ლ); ფენოლკარბონმჟავების ჯამი – 3,1 - 3,3ჯერ (შესაბამისად: 147,471 საპირისპიროდ 46,277მგ/ლ; 188,39 საპირისპიროდ 56,404 მგ/ლ). კატეხინების ჯამური რაოდენობა მატულობს ორივე კატეხინის მატების ხარჯზე, ფენოლკარბონმჟავების ჯამური რაოდენობა – ძირითადად კლევის ობიექტებში ფენოლური კომპონენტების რაოდენობა მგ/ლ და ანტიოქსიდანტური აქტიურობა (DPPH), ინგიბირების % გალის, ხლოროგენის, ვანილისა და პ-კუმარის მჟავების მატების ხარჯზე (ცხრილი).

ფენოლური კომპონენტები, ანტიოქსიდანტ. აქტიურობა, ინგიბირების %	შავი თუთის წვენი		მაყვლის წვენი	
	საკონტროლო	საცდელი	საკონტროლო	საცდელი
გალის მჟავა	4, 356	9,606	5,604	7,549
(+)-კატეხინი	4, 271	17, 276	31, 388	94,817
ხლოროგენის მჟავა	37, 381	129,163	26,64	33,728
ვანილის მჟავა	1,021	3, 948	1,136	3,005
(-)-ეპიკატეხინი	24,566	46,105	54,408	89,507
პ-კუმარის მჟავა	1,713	1,978	19,864	133,198
სინაპის მჟავა	0,567	1,122	1,536	8,977
დარიჩინის მჟავა	1,239	1,654	1,624	1,933
ფენოლკარბონმჟავების ჯამი	46,277	147,471	56,404	188,39
კატეხინების ჯამი	28,837	63,381	85,796	184,324
ფენოლური ანტიოქსიდანტების ჯამი	75,114	210,852	142,2	372,714
ანტიოქსიდანტური აქტიურობა, ინგიბირების %	26	45	40	70

აღსანიშნავია, რომ თუთის წვენის საცდელ ნიმუშში, ხლოროგენის მჟავის რაოდენობა 3-ჯერ იზრდება, საკონტროლოსთან შედარებით; პ-კუმარის მჟავის რაოდენობა მაყვლის წვენის საცდელ ნიმუშში, საკონტროლოსთან შედარებით 6-ჯერ მაღალია. ორივე ეს მჟავა, ისევე როგორც კატეხინები, ძლიერი ანტიოქსიდანტია [10]. სამეცნიერო ლიტერატურული მონაცემების მიხედვით, ხლოროგენის მჟავა ანტიოქსიდანტურ თვისებებთან ერთად მნიშვნელოვნად აფერხებს დიაბეტი 2-ის განვითარების რისკს [11, 12].

კვლევის შედეგებმა გვიჩვენა კორელაციური დამოკიდებულება ნიმუშების ანტიოქსიდანტურ აქტიურობასა და ფენოლკარბონმჟავებისა და კატეხინების ჯამურ რაოდენობას შორის. ანტიოქსიდანტური აქტიურობა საცდელ ნიმუშებში, საკონტროლოსთან შედარებით მაღალია 73-75%-ით.

კატეხინებისა და ფენოლკარბონმჟავების ზემოთ დაფიქსირებული მატება წველების საცდელ ნიმუშებში განპირობებულია მათი დამზადების პროცესში ჩვენს მიერ გამოყენებული ინოვაციური ტექნოლოგიური ხერხით, რომელიც იწვევს დამჟანგველი ფერმენტების ინაქტივაციას, რის შედეგადაც ნედლეულში ხდება (წვენის გამოწნეხვამდე) ფენოლური ანტიოქსიდანტების დაუჟანგავი ფორმით შენარჩუნება და შემდეგ მათი მაქსიმალური რაოდენობით ექსტრაქცია წვენში. ამასთან ერთად, ფენოლკარბონმჟავები ხილ-კენკრაში არის როგორც თავისუფალი, ისე აცილირებული ფორმით. ჩვენ მიერ შემუშავებული ტექნოლოგია იწვევს ფენოლკარბონმჟავების აცილირებული ფორმების ჰიდროლიზს. აღნიშნული პროცესის შედეგადაც მატულობს საცდელ ნიმუშებში ფენოლკარბონმჟავების რაოდენობა.

დასკვნა

ინოვაციური ტექნოლოგიით დამზადებულ შავი თუთისა და მაცვლის წვენების ნიმუშებში, სტანდარტული ტექნოლოგიით დამზადებულ ნიმუშებთან შედარებით, გაცილებით მაღალია: ფენოლკარბონმჟავებისა და კატეხინების კონცენტრაცია. მათში ფენოლკარბონმჟავების რაოდენობა მატულობს ძირითადად ხლოროგენის, გალის, პ-კუმარის, და ვანილის მჟავების რაოდენობის მატების ხარჯზე; კატეხინების – ორივე კატეხინის რაოდენობის ზრდის ხარჯზე. ინოვაციური ტექნოლოგიით დამზადებულ წვენებს, ფენოლური ნივთიერებების მაღალი კონცენტრაციის საფუძველზე აქვთ მაღალი ანტიოქსიდანტური აქტიურობა და კვებითი ღირებულება, შესაბამისად, მრავალრიცხოვან დაავადებათა პრევენციის მეტი ეფექტი.

ინოვაციურ ტექნოლოგიაზე მიღებული გვაქვს პატენტი 5236.

ლიტერატურა

1. M. Nardini, D'Aquino M, G. Tomassi, V. Gentili, D.M. Felice, C. Scaccini. Inhibition of human low density lipoprotein oxidation by caffeic acid and other hydroxycinnamic acid derivatives. //J. Free Radic.Biol. Med. 1995, 19, pp. 541-552.
2. C.A. Rice-Evans, N.J. Miller, G. Paganga. Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. //J. Free Radic. Biol. Med. 1996, 20, pp. 933-956.
3. T. Walle. Absorption and metabolism of flavonoids. //Free Radic. Biol., Med. 2004, 36, pp. 829-837.
4. M. Kampa, VI. Alexaki, G. Notas, AP. Nifli, A. Nistikaki, A. Hatzoglou, E. Bakogeorgou, E.Kouimtzoglou, G. Blekas, D. Boskou, A. Gravanis, E. Castanas. Antiproliferative and apoptotic effects of selective phenolic acids on T47D human breast cancer cells: potential mechanisms of action. // J. Breast Canc. Res. 2004, 6, pp. 63-74.
5. N.J. Kang, K.W. Lee, B.J. Shin , S.K. Jung , M.K. Hwang , A.M. Bode, Y.S. Heo, H.L. Lee, Z. Dong. Caffeic acid, a phenolic phytochemical in coffee, directly inhibits Fyn kinase activity and UVB induced COX-2 expression. //J. Carcinogen. 2009, 30, pp.321-330.
6. Самсонова А.Н., Ушева В.Б. Фруктовые и овощные соки. -Москва, Пищевая промышленность, 1990, 230 с.
7. ებელაშვილი, ე. სალია, ნ. ჩხარტიშვილი, ჯ. მოლოდინაშვილი. პოლიფენოლური ნაერთებით კონცენტრირებული ხილ-კენკრის წვენის მიღების ხერხი. პატენტი 5236. საქპატენტი, 2011.
8. Daniel P.M. Bonerz, Martin S. Pour Nikfardjam, and Glen L. Creasy. A Nev RP-HPLC Method for Analysis of Polyphenols, Anthocyanins, and Indole-3-Acetic Acid in Wine. Am. //J. Enol. Vitic. 2008, 59, pp. 106-109.
9. Yinrong Lu, L Xeap Foo. Antioxidant actioties of poluphenols from sage Salvia officinalis. //Food Chemistry, 2001, 75, pp. 19-22.
10. J. Guilford, J.M. Pezzuto. Wine and Health: A Review, //Am. J. Enol. Vitic. 2011, 62, pp. 471-486.
11. A.E. Banini, L.C. Boyd, J.C. Allen, H.G. Allen, D.L.Sauls. Muscadine grape products intake, diet and blood constituents of non-diabetic and type 2 diabetic subjects. //J. Nutr. 2006, 22, pp. 1137-1145.

12. S.A. Palma-Duran, A. Vlassopoulos, M. Lean, L. Govan, E. Gombet. Nutritional intervention and impact of polyphenol on glycohemoglobin (HbA1c) in non-diabetic and type 2 diabetic subjects: Systematic review and meta-analysis. //J. Critic. Rev. Food Sci. Nutrit. 2017, 57, pp. 975-986.

SUMMARY

JUICES PRODUCED FROM ECO-FRIENDLY FRUIT AND BERRIES BY INNOVATIVE TECHNOLOGY OF CONCENTRATION OF POLYPHENOLS

Ebelashvili N. B.

Institute of Viticulture and Oenology, Georgian Agrarian University

The innovative technology for producing juices producing juices from eco-friendly black mulberry and blackberry by concentration of phenolic substances having a high antioxidant activity was developed. To prepare research objects - test and control juice samples, we used eco-friendly raw materials: black mulberry (Sagarejo) and blackberry (Kaspi). The control samples were prepared using a standard technology; the test samples – using the innovative technology we elaborated. The amount of phenolic compounds in the research objects was investigated by the method of HPLC, and the antioxidant activity was studied by using a stable radical (DPPH). The amount of phenolcarboxylic acids and catechins, as well as the antioxidant effect in test samples were higher than in the control ones. In the juice samples prepared using the innovative technology, the total amount of phenolcarboxylic acids increased mainly at the expense of the increased amount of chlorogenic, gallic, coumaric and vanillic acids; the amount of catechins – at the expense of the increased amount of both catechins. We have got a patent (P 5236, Sakpatenti, 2011) for this innovative technology.

Keywords: fruit and berries, juice, phenolic compounds, antioxidant activity.

ნატურალური ვიტამინური საკვები დანამატის ტექნოლოგია

კინწურაშვილი ნ.ჯ., ერგემლიძე თ.დ., ქარჩავა მ.ს., ბერულავა ი.ო.

აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, ქუთაისი

დადგენილია, რომ საზოგადოებაში გავრცელებული მიკრონუტრიენტული დეფიციტი პოლივიტამინურ-მინერალური ხასიათისაა. ყველაზე ფართოდ გავრცელებულ „პრიორიტეტულად დეფიციტურ“ ვიტამინს წარმოადგენს ასკორბინის მჟავა - C ვიტამინი, რომლის დეფიციტი დღიური ნორმის 50 - 70%-ის ფარგლებში მერყეობს როგორც ზრდასრული ადამიანებში, ისე სკოლამდელი და სასკოლო ასაკის ბავშვებშიც.

C ვიტამინისა და ზოგადად ვიტამინური კომპლექსის დეფიციტის შესავსებად ასკილის ნაყოფის გამოყენებას მრავალსაუკუნოვანი ისტორია აქვს, როგორც ხალხურ, ისე პროფესიულ მედიცინაში. განსაკუთრებით აქტუალურია ნატურალური ჩ ვიტამინით ხორცის პროდუქტების გამდიდრება, რადგან ხორცის ნედლეულში ვიტამინს საერთოდ არ შეიცავს. კვების მრეწველობაში, განსაკუთრებით ფუნქციონალური დანიშნულების საკვები პროდუქტების მისაღებად ფართოდ გამოიყენება ასკილის ნაყოფის ფქვილი.

ვფიქრობთ, რომ ვიტამინებისა და სხვა ბიოლოგიურად აქტიურ ნივთიერებათა შემცველი მცენარეების ფქვილებისა და ფხვნილების გამოყენებას დადებითი მხარეების გარდა რიგი ნაკლოვანებებითაც ხასიათდება. დადებითი მხარეა ის, რომ მცენარეთა მშრალი ფხვნილების გამოყენება ძალიან მოსახერხებელია პრაქტიკული თვალსაზრისით. კითხვის ნიშნის ქვეშაა ამ მცენარეთა მოქმედი აქტიური ნივთიერებების ორგანიზმისთვის ბიომისაწვდომობის საკითხი. ცნობილია, რომ მცენარეული წარმოშობის ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებები ლოკალიზებულია მცენარის უჯრედის ციტოპლაზმაში და დაფარულია უჯრედის კედლით, რომელიც ძირითადად ცელულოზის, ჰემიციტულოზებისა და პექტინოვან ნივთიერებათა მკაცრად ორგანიზებულ რთულ კომპლექსს წარმოადგენს. მშრალი მცენარის დაფქვის დროს ძალიან მცირეა უჯრედთა კედლის რღვევის ალბათობა. ასევე მცირეა ეს ალბათობა პროდუქტის გადამუშავების ტექნოლოგიურ პროცესში და საკვების მონელების პროცესში, რადგან ადამიანის ორგანიზმი არ შეიცავს მცენარეული უჯრედის კედლების პოლისაქარიდული კომპლექსის დამშლელ ფერმენტებს. ეს შეიძლება ნაწილობრივ მოხდეს მსხვილ ნაწლავში ბაქტერიული ფერმენტების მიერ, მაგრამ აქაც ვიტამინების სრული ექსტრაქციის ალბათობა ძალიან დაბალია.

ჩვენი მიზანი იყო ორგანიზმისთვის მაღალი ბიომისაწვდომობის ასკილის ვიტამინების ისეთი მშრალი კონცენტრატის მიღება, რომელიც გარდა იმისა, რომ მასში არსებულ ასკილის ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებებს (მათ შორის C ვიტამინსაც) თითქმის სრულად (100%-ით) გამოანთავისუფლებს საჭმლის მომნელებელ სისტემაში, ასევე იქნება მოხერხებული ტექნოლოგიურ პროცესში დოზირებისა და გამოყენების თვალსაზრისით.

აღნიშნული მიზნის მისაღწევად ვახდენდით ასკილის წყალში ხსნად ნივთიერებათა ექსტრაქციას 55 ± 5 °C წყლის 10 ჯერადი რაოდენობით. ექსტრაქტის გაცხელებით 3ჯერ 2სთ, 1,5 სთ და 1სთ-ის განმავლობაში. ყოველ ნახევარ საათში ვახდენთ წყლის უეცარ გაცივებას, შემდეგ ვაცხელებდით და ისევ ვაცივებდით. მცენარეული უჯრედის შიგთავსსა და ექსტრაგენტს შორის ტემპერატურული გრადიენტის (ტემპერატურათა სხვაობის) გაზრდის პირობებში იზრდება წნევათა სხვაობა უჯრედის კედლის შიგა და გარე არეებს შორის, რაც ზრდის ჩ ვიტამინის (და ზოგადად ბიოლოგიურად აქტიურ ნივთიერებათა) დიფუნდირების ხარისხს უჯრედის შიგნიდან გარეთ. დადგენილია, რომ ექსტრაქციის აღნიშნულ პირობებში

ჩატარება C ვიტამინის ექსტრაქციის ხარისხს ზრდის 50%-დან (ტრადიციული ექსტრაქციის მეთოდით ან შედარებით - გაგრილებების გარეშე) 80%-მდე.

ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებების წყალხნარისაგან ფხვნილის მიღება აქტიურ ნივთიერებათა მაქსიმალური დაზოგვით შესაძლებელია შრობის ისეთი დამზოგავი მეთოდების გამოყენებით, როგორცაა გაფრქვევითი შრობა და სუბლიმაციური შრობა. გაფრქვევითი შრობის დროს მიღებული ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებები გამოყენების მოხერხებულობისათვის უნდა შეერიოს შემავსებელს. ეს გზა სწორი და გამართლებულია, მაგრამ ჩვენ ავირჩიეთ მეორე - ბიოლოგიურად აქტიურ ნივთიერებათა წყალხნარის სუბლიმაციური შრობა შემავსებლებთან ერთად, რისთვისაც ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებების წყლიანი ექსტრაქტი დავიტანეთ ერთ შეთხვევაში ხორბლის ქატოზე და მეორე შეთხვევაში კი მიღებული ექსტრაქტის ფუძეზე მოვამზადეთ სახამებლის კლეისტერი და მოვახდინეთ მისი ლიოფილური შრობა [1-3].

ასკილის ბიოლოგიურად აქტიურ ნივთიერებათა წყალხნარის გასაშრობად მათ დატანას ხორბლის ქატოსა და სახამებლის კლეისტერზე შემდეგი მოსაზრებები უდევს საფუძვლად: სუბლიმაციური შრობისათვის პრეპარატისათვის სამუშაოდ (ტრანსპორტირება, გადაადგილება და სხვა) მოხერხებული ფორმის მისაღებად, ასკილის ექსტრაქტი დავიტანეთ მექანო-აქტივირებული ხორბლის ქატოზე. ხორბლის ქატოს მიერ შეკავშირებული ექსტრაქტის რაოდენობის დადგენის შემდეგ სუბლიმაციური შრობისათვის მოვამზადეთ მასა თანაფარდობით ხორბლის ქატო : ასკილის ექსტრაქტი/ 1:3,5.

მიღებული მშრალი კონცენტრატის ანალიზმა გვიჩვენა, რომ იგი შეიცავდა C ვიტამინს 125 მგ%-ის ოდენობით. რაც აღნიშნული ლიოფილური კონცენტრატის ფუნქციონალური დანიშნულების პროდუქტებში საკვებ დანამატად გამოყენების შემთხვევაში ვერ უზრუნველყოფს C ვიტამინის დღიური ნორმის 30 - 50%-ს ანუ ვერ დააკმაყოფილებს გამდიდრებული პროდუქტებისადმი წაყენებულ მოთხოვნას. ლიოფილური კონცენტრატისათვის შერჩეული იქნა ისეთი „საფუძველი“, რომელიც ასკილის ექსტრაქტის უფრო მეტ რაოდენობას იკავშირებდა. ასეთ საფუძვლს წარმოადგენს სახამებელი, რომლის კლეისტერის მისაღებად საჭიროა სითხის 20-ჯერადი რაოდენობა. შედეგად მივიღეთ ვიტამინური ლიოფილური კონცენტრატი სახამებლის კლეისტერის ფუძეზე, რომელიც შეიცავს 850 მგ% C ვიტამინს. სუბლიმაციური შრობა ჩატარდა სუბლიმაციურ საშრობ აპარატზე TT -50 შემდეგი პარამეტრებით: გაყინვა -40°C , კონდენსატორი -60°C , ვაკუუმი 60-80 მიკრონი, 48სთ, საბოლოო ტემპერატურა $+37^{\circ}\text{C}$.

შედეგად მიღებულია ნატურალური ვიტამინური დანამატები ხორბლის ქატოს ფუძეზე და სახამებლის კლეისტერზე:

- სახამებლის კლეისტერზე - იმიტომ რომ იგი ხასიათდება C ვიტამინის მაღალი შემცველობით (850 მგ%). ფაქტიურად იგივე შემცველობა აქვს, რაც ნატურალურ ასკილს, თან ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებები აღარ არის უჯრედის კედლით შემოსაზღვრული და ამიტომ აღნიშნული პროდუქტი საუკეთესო დანამატია ნებისმიერი საბავშვო და არასაბავშვო პროდუქტებისათვის.

- ხორბლის ქატოს ფუძეზე - იმიტომ რომ მიუხედავად მასში C ვიტამინის გაცილებით (6-ჯერ) დაბალი შემცველობისა, შესაძლებელი ყოფილიყო ნატურალური ასკილის ვიტამინური კომპლექსის ლიოფილური კონცენტრატის გამოყენება დიაბეტური დანიშნულების პროდუქტების გასამდიდრებლად.

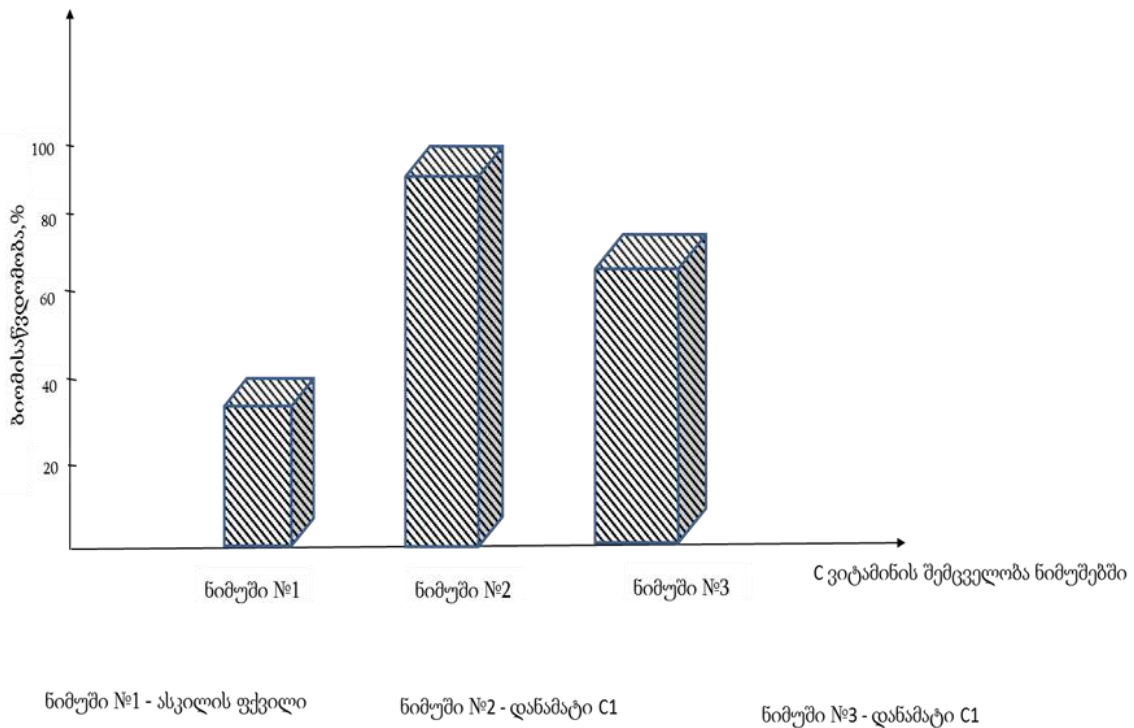
ცხრილში მოცემულია წარმოდგენილი ტექნოლოგიით მიღებული ვიტამინური დანამატების C1 და C2-ის ქიმიური შემადგენლობა.

ასკილის ვიტამინური კომპლექსის ლიოფილური კონცენტრატების ქიმიური შემადგენლობა

№	ნივთიერებების დასახელება, %	ნივთიერებათა შემცველობა ვიტამინურ დანამატებში (C1)	ნივთიერებათა შემცველობა ვიტამინურ დანამატებში (C2)
1	წყალი	5±0,11	6±0,12
2	C ვიტამინი	850±25	125±0,21
3	სახამებელი	94±2,11	18±2,23
4	საკვები ბოჭკო	-	50±1,15
5	ცილები	-	18±1,07
6	ცხიმები	-	3,5±0,05
7	ნაცარი	-	4±0,02

როგორც ცხრილის მონაცემებიდან ჩანს, C1 დანამატი შეიცავს თითქმის 7-ჯერ მეტ C ვიტამინს, ვიდრე C2 რაც გამოწვეულია იმით, რომ ლიოფილური შრობისათვის სახამებელს ემატება ეხმარება 6-ჯერ მეტი ასკილის ექსტრაქტი, ვიდრე ხორბლის ქატოს.

შესწავლილია მიღებულ ვიტამინურ დანამატებში C ვიტამინის ბიომისაწვდომობის ხარისხი.



ვიტამინური დანამატების ბიომისაწვდომობა

ფარმაკოლოგიისა და ფარმაკოკინეტიკაში ბიომისაწვდომობა, არის სამკურნალო საშუალებების (ჩვენს შემთხვევაში ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებების) რაოდენობა, რომელიც აღწევს ორგანიზმის სამიზნე ორგანოდ. პრეპარატის ბიომისაწვდომობა განისაზღვრება შესაბამისი აქტიური ნივთიერებების შემცველობით სისხლში - ანუ ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებების რაოდენობით %-ში, რომელმაც მიაღწია სისხლის მიმოქცევის სისტემამდე. ეს მაჩვენებელი არის

ფარმაკოლოგიური პრეპარატის ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი მახასიათებელი არავენური მიწოდების დროს იგი ნაკლებია 100%-ზე.

მიღებულ ვიტამინურ დანამატებში C ვიტამინის ბიომისაწვდომობის ხარისხის განსაზღვრისთვის შევიმუშავეთ შემდეგი არასტანდარტული მეთოდიკა: 20 გრ ასკილის ფქვილს. 18 გრ დანამატ C1-სა და 108 გრ დანამატ C2-ს, რომლებიც შეიცავენ C ვიტამინის თანაბარ რაოდენობას. ვათავსებდით საჭმლის მომნელებელი სისტემის ანალოგიურ პირობებში - ჯერ pH 2-ის პირობებში 1,5 სთ-ის განმავლობაში, შემდეგ pH 7-ის პირობებში 2სთ განმავლობაში 36 °C-ზე (რასაც ვაღწევდით კონცენტრირებული HCl-ისა და NaOH-ის გამოყენებით) და მიღებულ ექსტრაქტებში ვსაზღვრავდით C ვიტამინის შემცველობას (ნახაზი). მიღებული ასკილის ვიტამინური კომპლექსის ლიოფილური კონცენტრატები C1 და C2 ხასიათდებიან ასკილის ფქვილთან შედარებით C ვიტამინის 2,4-ჯერ და 2,2-ჯერ მაღალი ბიომისაწვდომობით, რაც ცხადყოფს გამოყენებული ინოვაციური ტექნოლოგიური მიდგომების ეფექტურობას.

ლიტერატურა

1. Л.Г. Ипатова, А.А.Кочеткова, В.В. Тарасова. Пищевые волокна в продуктах питания. // Пищевая промышленность, 2007, №5, сс.8-10.
2. Я.И. Яшин. Природные антиоксиданты. Содержание в пищевых продуктах и их влияние на здоровье и старение человека. - М.: ТрансЛит, 2009, 212 с
3. В.А. Тутельян, Биологически активные вещества растительного происхождения. Фенольные кислоты: распространенность, пищевые источники, биодоступность. // Вопросы питания, 2008, т. 77, № 1, сс. 4-19.

SUMMARY

TECHNOLOGY OF PRODUCTION OF A NATURAL VITAMIN FOOD SUPPLEMENT

Kintsurashvili N.J., Ergemlidze T.D., Karchava M.S. and Berulava I.O.

Akaki Tsereteli State University, Kutaisi

The technology of production of a natural vitamin food supplement based on wheat bran and starch paste, containing a lyophilic cornel concentrate, was developed. The technology provides high bioaccessibility of vitamin C in the supplement, which is due to that first the vitamin complex is extracted from cornel fruit and introduced in mechanically activated wheat bran or starch paste. Then the paste is subjected to lyophilic drying. The food supplements produced are intended to enrich a wide range of therapeutic and prophylactic products. They can be used for nutrition of both children and adults.

Keywords: food supplement, vitamin, cornel, wheat bran paste, starch paste.

ნატურალური მინერალური საკვები დანამატის ტექნოლოგია

კინწურაშვილი ნ.ჯ., ერგემლიძე თ.დ., ქარჩავა მ.ს., ბერულავა ი.ო.

აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, ქუთაისი

კვების და საკვების წამყვანი სამეცნიერო ცენტრების კვლევებით დადგენილია, რომ მსოფლიოს უდიდესი ნაწილი განიცდის ყოველდღიურ კვების რაციონში ისეთი მნიშვნელოვანი მიკრონუტრიენტების ნაკლებობას როგორცაა ვიტამინები, მინერალური ელემენტები (კალციუმი, რკინა, იოდი, სელენი), საკვები ბოჭკოები და სხვა მინორული ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებები.

ცნობილია, რომ რაციონის შედგენა არაუმეტეს 2500-3000 კკალ-ის ენერგეტიკული ღირებულებით, და მხოლოდ ჩვეული (ტარდიციული) ნატურალური პროდუქტებით ორგანიზმის მოთხოვნების მთლიანი დაკმაყოფილება ვიტამინებზე, მინერალურ ნივთიერებებზე სხვა შეუცვლელ საკვებ ნივთიერებებზე - თანამედროვე პირობებში პრაქტიკულად შეუძლებელია. აღნიშნული პრობლემის ეფექტური გადაჭრის საიმედო გზა ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებებით გამდიდრებული პროდუქტების ჩართვაა რაციონში. დეფიციტური მიკრონუტრიენტების დამატება სამრეწველო წარმოების საკვებ პროდუქტებში შეუცვლელი მიკრონუტრიენტების მოსახლეობის ფართო ფენებამდე მიტანის საშუალებას იძლევა.

საზოგადოებაში გავრცელებული მინერალური დეფიციტიც პოლიმინერალური ხასიათისაა, მაგრამ მათ შორის განსაკუთრებით პრობლემურია Ca-ის დეფიციტით გამოწვეული პრობლემები. განსაკუთრებით აქტუალურია Ca-ით ხორცის პროდუქტების გამდიდრება, რადგან ხორცის ნედლეული Ca-ს შეიცავს ძალიან მცირე რაოდენობით საკვები პროდუქტების კალციუმით გასამდიდრებლად მსოფლიოში ფართოდ გამოიყენება ხელოვნურად მიღებული შემდეგი ნივთიერებები კალციუმის ქლორიდი, კალციუმის კარბონატი, კალციუმის ფოსფატი, კალციუმის ციტრატი, კალციუმის გლუკონატი და სხვა ქიმიური და ფარმაცევტული საშუალებები [1-3].

საქართველოში Ca-ის დეფიციტის პრობლემა შესაძლებელია გადაიჭრას გაცილებით „ცივილიზებული“ ფორმით - კერძოდ, საქართველოს მინერალური წყლების რესურსების გამოყენებით. ამ მხრივ აღსანიშნავია მსოფლიოსათვის უნიკალური ქართული „ლუგელას“ წყალი, რომელიც $CaCl_2$ -ის ბუნებრივი 9-10%-იანი კონცენტრატს წარმოადგენს.

კვების პროდუქტებში მის ფართო გამოყენებას ხელს უშლის მისი ფიზიკური მდგომარეობა - იგი სითხეა, ხვედრითი წონით დაახლოებით $1\text{კგ}/\text{მ}^3$. ლუგელას ($CaCl_2$ -ის) ბუნებრივი კონცენტრატის სასურსათო ტექნოლოგიებში გამოყენების მოხერხებულობისათვის, დამუშავებულია ლუგელას ლიოფილური კონცენტრატების ტექნოლოგიები სახამებლის კლეისტერზე (Ca1) და ხორბლის ქატოს ფუძეზე (Ca2).

ლუგელას ლიოფილური კონცენტრატის მისაღებად ბიოლოგიურად აქტიურ ნივთიერებათა წყალხსნარის გასაშრობად მათ დატანას ხორბლის ქატოსა და სახამებლის კლეისტერზე შემდეგი მოსაზრებები უდევს საფუძვლად: სუბლიმაციური შრობისათვის ვიყენებდით მასას თანაფარდობით ხორბლის ქატო : ლუგელას ხსნარი/ 1:35.

მიღებული მშრალი კონცენტრატის ანალიზმა გვიჩვენა, რომ იგი შეიცავდა კალციუმს 6%-ის ოდენობით. Ca-ის უფრო მაღალი კონცენტრაციის შემცველი დანამატის მისაღებად ლიოფილური კონცენტრატისათვის „საფუძველად“ შერჩეული იქნა სახამებელი, რომლის კლეისტერის მისაღებად საჭიროა სითხის 20-ჯერადი რაოდენობა. შედეგად მივიღეთ მინერალური ლიოფილური კონცენტრატი

სახამებლის კლეისტერის ფუძეზე, რომელიც შეიცავს დაახლოებით 6-ჯერ მეტ (36,9±1,3%) კალციუმს.

სახამებლის კლეისტერის ფუძეზე ბუნებრივი CaCl₂-ის კონცენტრატის მისაღებად „ლუგელას“ მინერალურ წყალს ვაცხელებდით 80 °C-ზე და გამზადდებით მასზე სახამებლის კლეისტერს თანაფარდობით სახამებელი: ლუგელა /1:20. მიღებულ კლეისტერს ვაშრობდით ლიოფილურად სუბლიმაციურ საშრობზე TF – 50 შემდეგ პირობებში: გაყინვა – 40 °C, ვაკუუმი – 80 მიკრონი, საბოლოო ტემპერატურა 37 °C. მიღებული კონცენტრატი შეიცავს ტენს 5,8±0,11%-ის ფარგლებში.

ხორბლის ქატოს ფუძეზე ბუნებრივი CaCl₂-ის კონცენტრატის მისაღებად ვახდენდით ხორბლის ქატოს მექანოაქტივაციას, გაცრას და დასველებას ლუგელას ხსნარით თანაფარდობით 1:3. მიღებულ მასას ვაშრობდით ლიოფილურად იგივე პირობებში. მშრალი კონცენტრატი შეიცავს ტენს 6,1±0,12%-ის ფარგლებში.

ცხრილში მოცემულია წარმოდგენილი ტექნოლოგიით მიღებული ლუგელას (CaCl₂-ის) ლიოფილური კონცენტრატის ქიმიური შედგენილობა.

ლუგელას (CaCl₂-ის) ლიოფილური კონცენტრატის ქიმიური შედგენილობა

№	ნივთიერებების დასახელება	ნივთიერებების შემცველობა, %	
		Ca1-ში	Ca2-ში
1	წყალი	5,8±0,11	6,1±0,12
2	კალციუმის ქლორიდი	63,97±1,15	10,15±0,22
3	კალციუმი	36,9±1,3	5,8±0,16
4	სახამებელი	30,23±0,65	5,45±0,12
5	საკვები ბოჭკო	---	44,83±1,32
6	ცილები	---	15,21±0,72
7	ცხიმები	---	3,15±0,01
8	ნაცარი	---	5,11±0,02

როგორც ცხრილის მონაცემებიდან ჩანს, სახამებლის კლეისტერის ფუძეზე მიღებული კონცენტრატი CaCl₂-ს შეიცავს 63,97±1,15%-ის, ანუ კალციუმს 36,9±1,3-ის ოდენობით, ხოლო ხორბლის ქატოს ფუძეზე მიღებული კი 10,15±0,22%-ის ანუ კალციუმს 5,8±0,16%-ის ფარგლებში. აღნიშნულ დანამატში CaCl₂-ის დაბალი კონცენტრაცია განპირობებულია ხორბლის ქატოს სითხის, მათ შორის წყლის სორბციის გაცილებით დაბალი უნარით სახამებლის კლეისტერთან შედარებით, მაგრამ ეს დანამატი Ca1-სგან განსხვავებით მდიდარია, ასევე ხორბლის ქატოს შემადგენლობაში არსებული სხვა ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებებით, როგორცაა საკვები ბოჭკოები, ცილები, ცხიმები და სხვა.

როგორც ცხრილის მონაცემებიდან ჩანს Ca -ის დღიური ნორმის 30%-ის (300მგ)-ის მისაღებად საკმარისია დაახლოებით 0,5 გრ. Ca1-ის ლიოფილური კონცენტრატი 3 გრ, და Ca2-ის ლიოფილური კონცენტრატი. მიღებული შედეგები გათვალისწინებულია ფუნქციონალური დანიშნულების ხორცის პროდუქტების ტექნოლოგიების დამუშავების დროს.

„ლუგელას“ ლიოფილური კონცენტრატის შემცველი ნატურალური მინერალური საკვები დანამატების გამოყენებით დამუშავებულია მაღალი კვებითი ღირებულების ფუნქციონალური დანიშნულების შემდეგი პროდუქტების ტექნოლოგიები: ბალანსირებული ნუტრიენტული შედგენილობის საბავშვო სოსისის ტექნოლოგია; ბალანსირებული ნუტრიენტული შედგენილობის ხორცის დაკეპილი ნახევარფაბრიკატის ტექნოლოგია ბავშვთა კვებისათვის; მაღალი კვებითი ღირებულების დიაბე-

ტური დანიშნულების მოხარშული ძეხვის ტექნოლოგია; მაღალი კვებითი ღირებულების ხორცის დაკეპილი ნახევარფაბრიკატის ტექნოლოგია დიაბეტით დაავადებულთათვის.

ლიტერატურა

1. Н.В. Сергина, О.Ю. Еремина. Разработка и оценка качества напитков с использованием вторичных переработки ячменя. // Перспективные технологии производства продукции из сырья животного и растительного происхождения: материалы Международной интернет- конференции 20 мая,–Краснодар, 2013, сс.196-199.
2. Р.Г. Разумовская, М.Е. Цибизова, А.А. Кильмаев. Методологические принципы проектирования функциональных продуктов питания. // Пищевая промышленность, 2011, №8, сс.12-14
3. А.А. Кухаренко А.Н. Богатырев, В.М. Короткий, М.Н. Дадышев. Научные принципы обогащения пищевых продуктов микронутриентами. // Пищевая промышленность, 2008, № 5, сс. 62-64.

SUMMARY

TECHNOLOGY OF PRODUCTION OF A NATURAL MINERAL FOOD SUPPLEMENT

Kintsurashvili N.J., Ergemlidze T.D., Karchava M.S. and Berulava I.O.

Akaki Tsereteli State University, Kutaisi

The technology of production of a natural mineral food supplement based wheat bran and starch paste, containing a lyophilic concentrate of Lugela mineral water, was developed. The concentrate based on the starch paste contains $63.97 \pm 1.15\%$ CaCl_2 , i.e. $36.9 \pm 1.3\%$ Ca, and the concentrate based on the wheat bran paste – $10.15 \pm 0.22\%$ CaCl_2 , i.e. $5.8 \pm 0.16\%$ Ca. The food supplements produced are intended to enrich a wide range of therapeutic and prophylactic products. They can be used for nutrition of both children and adults.

Keywords: food supplement, mineral water, wheat bran paste, starch paste.

ПАТОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ В БОЛЬНОМ РАСТЕНИИ

Канчавели Ш.С.

Научно-исследовательский центр Министерства сельского хозяйства Грузии

Как известно, грибы во время внедрения в растения вызывают целый ряд патоморфологических изменений, которые проявляются в нарушении роста и формы растений, а также в цитологических изменениях [1-3].

Под влиянием патогена отмечается усиленный или замедленный рост пораженных растений.

Пораженные фузариозом всходы пшеницы, выросшие из мелких семян, отстают в росте, выросшие же из крупных семян, как правило, дают сильные растения и отмечается даже стимуляция их роста.

Гораздо чаще, чем общее стимулирование, наблюдается общее угнетение роста растения-хозяина. Растения пшеницы, пораженные твердой головней – *Tilletia caries Tul.*, почти всегда отличаются от здоровых более слабым ростом и меньшей продуктивностью. У пораженных растений наблюдается уменьшение длины стебля и числа колосков, причем это имеет место и у внешне нормальных, но зараженных экземпляров. У пораженных растений наблюдается отсутствие остей.

Наглядным примером в этом отношении может служить влияние мучнистой росы (*Erysiphe graminis DC.*) на развитие яровой пшеницы.

Люцерна, не пораженная аскохитозом, лучше кустится, имеет большее количество стеблей и более мощное ветвление, большую высоту растений, большее количество бобов на одно растение и семян в бобе, больший процент здоровых семян, чем люцерна, пораженная заболеванием.

Известно также, что при скручивании листьев томатов стебли больных растений в сравнении со здоровыми бывают короче на 17,9% и тоньше на 9%; добавочных побегов бывает меньше на 10,1%; площадь листовой пластинки в среднем уменьшается на 51,02%, и плодов образуется меньше на 30,3%.

К явлениям деформации всего растения можно отнести поражение молочая ржавчиной (*Uromyces pisi Schroet.*), в эцидиальной стадии которой настолько сильно изменяется все растение, что оно даже описывалось как самостоятельный вид.

Примеры деформации отдельных органов растения – заболевание злаковых культур, вызываемое пероноспорным грибом (*Sclerospora graminicola Schroet.*), и заболевание цветков томатов столбуром. В первом случае патоген вызывает превращение тычинок в листовидный орган. Похожее изменение вызывает грибок у кукурузы, когда метелки утолщаются и превращаются в большое количество неразвитых, густо сидящих листьев. Во втором случае чашелистики цветков увеличиваются в размерах и нередко срастаются между собой по всей длине, вследствие чего чашечка приобретает вид вздвухшегося колокольчика.

Иногда патоген, развиваясь на растения, не только видоизменяет его органы, но ведет к образованию частей, отсутствующих в нормальном состоянии, так, один вид головневых грибов (*Ustilago violacea Roussel.*), паразитирующий в пыльниках растений семейства гвоздичных, вызывает образование тычинок в женских, нормально однополых цветках дремы (*Melandrium album (Mill.) Garcke.*)

При вирусных заболеваниях винограда отмечены заболевания на побегах и листьях. В первом случае они проявляются в виде двойных и тройных узлов, зигзагообразности побегов, дихотомического ветвления; во втором случае – в чрезмерной опущенности, дисимметрии листы, срастании черешков, измельченности.

Многие патогены – бактерии (*Pseudomonas tumefaciens* Stew.), головневые грибы (*Ustilagozeae* Unger), тафриновые грибы (*Taphrina cerasi* Sadeb.) и др. Вызывают патологические изменения, выражающиеся в появлении галов, вздутий, наростов, опухолей или деформаций типа «ведьминой метлы», курчавости листьев и т.д.

Нарушения, наблюдающиеся в анатомическом строении клеток и тканей, служат как бы внутренними проявлениями болезни. Эти нарушения, вызываемые патогенами, выражаются в угнетении или усилении роста, а также в разрушении определенных клеток и тканей больногорастения.

Главнейшие типы анатомических изменений, происходящие в больном растении – гипертрофия, гиперплазия, метаплазия, дегенерация и некроз.

Гипертрофией называется увеличение размера клеток растения, часто сопровождающееся изменением их формы. Примером служит разрастание и изменение формы клеток корней капусты при заражении килой (*Plasmodiophora brassicae* Woron.).

Гиперплазией называется увеличение количества клеток в связи с их усиленным размножением под воздействием патогена или иного раздражителя. Пример гиперплазии – наплывы на стволах древесных пород.

Известны болезни растений, когда одновременно наблюдаются гипертрофия и гиперплазия клеток. Примером может служить образование галла, вызванного пузырчатой головней кукурузы.

Гипоплазией называется недоразвитие или уменьшение количества клеток или их содержимого. Различают количественную и качественную гипоплазию.

Метаплазией называется образование в клетках растений новых веществ, несвойственных здоровому растению. Примером метаплазии может служить образование хлорофилла в сердцевине и сердцевинных лучах растений под влиянием освещения и других причин, появление в клетках пигментов, придающих яркую окраску поврежденным клеткам.

Дегенерацией, или перерождением, называется превращение клеток или оболочек клеток, или целой совокупности клеток в вещества различного химического состава, накапливающиеся в растении.

В зависимости от того, какое вещество образуется в клетках в ненормальном количестве, различают дегенерацию жировую, целлюлозную, слизистую и др.

Одним из наиболее ярких примеров дегенерации может служить превращение клеток в камедь; наблюдающееся при заболевании косточковых пород (слива, вишня), известное под названием камедетечения или гоммоза. При этом заболевании целые участки клеток превращаются в камедь путем разжижения клеточных оболочек.

При некрозе в ткани того или иного органа отмирают отдельные клетки, при этом в клетках происходят глубокие изменения, характеризующиеся или понижением дисперсности коллоидов цитоплазмы, приводящим их к коагуляции, или повышением дисперсности коллоидов, приводящем к разжижению цитоплазмы.

Некроз вызывается или механическим повреждением клеток, или действием на клетки ядовитых веществ, выделяемых патогенами, например, при грибных, бактериальных и, частично, вирусных заболеваниях, или при действии на клетки высоких и низких температур. Некроз клеток часто наблюдается на листьях растений и вызывается некоторыми грибами, которые образуют на листьях пятнистости.

Особый интерес представляют патологические изменения, вызывающие разрушение отдельных тканей растения.

Некроз флоэмы – это пожелтение и разбухание стенок ситовидных трубок, просвет которых при этом постепенно суживается, а содержимое дегенерируется; в тканях накапливается крахмал.

Некроз флоэмы и других тканей (паренхимы и колленхимы) был обнаружен как при вирусных, так и при бактериальных и грибных болезнях растений.

Некробиоз – это утолщение стенок флоэмных элементов с чрезмерным отложением целлюлозы в них.

Облитерация – это деформация ткани, ее сморщивание. При фузариозном и вертициллезном увядании томата отмечается, что патоген, переходя из клетки в клетку, не нарушая оболочки, уничтожает протопласт и приводит к спадению (облитерации) и сморщиванию коры.

При некоторых болезнях растений наблюдаются все три вышеуказанные патологические изменения. Так, патоген, вызывающий скручивание листьев картофеля, способствует утолщению оболочек клеток первичной флоэмы в стеблях и черешках листьев. Затем наблюдается значительное отхождение оболочек клеток, в результате чего образуются небольшие межклеточные пространства и происходит облитерация ситовидных трубок. У некоторых сортов картофеля в клубнях возникают внутренние некрозы, отчетливо различимые невооруженным глазом.

Склероз – это одревеснение клеток тканей стебля, например образование вторичной ксилемы. При вирусных клетках усиленно откладывается целлюлоза, в результате чего они превращаются в механические клетки.

При одревеснении образуется лигнин. Предполагается, что это связано с окислительной конденсацией или полимеризацией фенольных веществ. Возможно, что усиленное образование лигнина при патологическом процессе связано с превращениями фенолов, участвующих в дыхании.

Разрывы эпидермиса – образование трещин в органах растений. Разрывы эпидермиса при грибных болезнях растений – весьма распространенное явление, например, при антракнозе винограда (*Gloeosporium ampelophagum* Sacc.).

Мацерация ткани – размягчение, разъединение клеток в результате растворения межклеточного вещества. Мацерация тканей наблюдается при гнилях, вызываемых грибами и бактериями, при «млечном блеске» плодовых культур (*Stereum purpureum* Pers.) в виде растворения межклеточного вещества между эпидермисом и столбчатой паренхимой, при размочаливании стебля при «пасмо» льна (*Phlyctaena linicola* Garr.).

Помимо нарушений в анатомии тканей патогены вызывают существенные цитологические изменения, которые, являясь в значительной степени общими для всех заболеваний, сводятся, в основном, к патологическому изменению ядра и пластидного аппарата клетки и к уменьшению количества хлорофилла. Уменьшение размера клеточных ядер под воздействием гриба *Botrytis* отмечено в тканях лука. На первых этапах патологического процесса в луковиче наблюдается сжатие ядер. По мере развития болезни остов ядра делится на отдельные участки, а в зоне деструкции клеток, вблизи гиф, ядро исчезает окончательно.

Наиболее часто патологические изменения пластидного аппарата отмечены при вирусных болезнях растений. При вирусных болезнях содержание хлорофилла в пластидах снижается. Например, при мозаике табака пластиды в пораженных клетках редуцируются, часть пластид разрушается. При этом заболевании происходят изменения в клеточном ядре. В зараженных клетках в начальной фазе патологического процесса объем ядра заметно уменьшается. В то же время уменьшается абсорбция ядром ультрафиолетовых лучей, что указывает на снижение содержания в нем нуклеиновых кислот. Позже объем ядра медленно восстанавливается, но все же уступает объему ядра в здоровых клетках.

При грибковом заболевании сосны обыкновенной корневой губкой отмечается, что ядро пораженных проростков претерпевает пикнотическую дегенерацию, признаки которой выражаются в изменении размеров и формы ядра в результате уплотнения массы хроматина, исчезновении ряда структурных деталей и, наконец, в гомогенизации содержимого ядра. Эти изменения сопровождаются увеличением концентрации нуклеиновых кислот и белков в ядрах.

Имеются данные, что некоторые болезни растений сопровождаются увеличением количества митохондрий в инфицированных тканях. Так, значительно возрастает содержание

митохондриального азота в стеблях растений томата в результате заражения фузариозным увяданием (*Fusarium oxysporum* Schl. f. *Lycopersici*).

Нами изучены патоморфологические изменения плодовых культур при искусственном заражении трахеомикозными грибами. Установлено, что первые патологические изменения в тканях проявляются через 4 - 5 дней после заражения, что выражается в разрушении коровых тканей в местах внесения инфекции и потемнения поверхности древесины. Патологические изменения в тканях постепенно усиливаются; в момент усыхания косточковых проводящие сосуды полностью закупорены гуммиобразными веществами и тиллами. Те же процессы происходят и в семечковых, но намного слабее, чем в косточковых. В семечковых гумми не образуется и закупоривание сосудов гуммиобразными веществами сравнительно незначительно.

Подобные патологические изменения имеют место в саженцах плодовых в случае заражения грибами *Verticillium dahliae*, *Gliocladium roseum* и *Cylindrocarpon destructans*, но интенсивность течения патологических процессов – различна.

Выяснилось, что когда грибы *V. dahliae*, *G.roseumu* *C. Destructans* попадают в ткани растения, они поселяются в древесине и вызывают ее некроз, который распространяется как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях.

Установлено, что патологические изменения значительно интенсивнее протекают в ткани косточковых культур, чем в семечковых. После 40 дней заражения длина некроза древесины в черешне и в персике достигает 23-27 см, яблони и груши – 9-11 см. Кроме того, во время заражения персика и черешни на 10-ый день отмечается сильное гуммитечение, в семечковых этого нет. При заражении болезнь проявляется позже у семечковых по сравнению с косточковыми.

Патологические изменения по разному протекают не только среди семечковых и косточковых, но и среди сортов одного и того же вида плодовых. Например, в персике Хидистаури вардиспери наблюдаются более глубокие патологические изменения, чем в Хидистаури тетри, также же яблоне: в Кехура патологические изменения более глубокие, чем в шампанском ренете.

Выяснилось, что гуммификация сосудов происходит более интенсивно в косточковых, чем в семечковых. Некроз сердцевинных лучей у разных видов растений различен. Он интенсивнее протекает в косточковых по сравнению с семечковыми. Интенсивность некроза сердцевинны персика в конце инкубационного периода достигает 60%. По полученным данным наблюдается полная корреляция между интенсивностью образования некроза сердцевинных лучей и устойчивостью, как косточковых, так и семечковых. Как показали опыты, некроз происходит до внешнего проявления болезни и с ним связаны все последующие нарушения; как известно у сердцевинных лучей есть определенные функции, в растении они выполняют роль проводника и склада пластических, и других запасных веществ. Принимают активное участие в обмене органических и неорганических веществ. Поражение сердцевинных лучей на разной стадии заболевания вызывает изменение в обмене веществ в пользу паразита. Исходя из этого, распространение некроза сердцевинных лучей на большей площади является показателем восприимчивости растения.

Установлено, что некроз паренхимных клеток находится в корреляционной зависимости с устойчивостью. В частности, интенсивность некроза паренхимных клеток персика в 8 раз больше, чем яблони и в 10 раз больше, чем груши. Так что некроз паренхимных клеток считаем также показателем устойчивости к усыханию. Сердцевинные лучи и паренхимные клетки первыми испытывают заметные патологические изменения в результате нарушения обмена веществ в зараженных растениях, а глубина патологических изменений отражает уровень иммунитета растения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тарр С. Основы патологий растений. Перевод с английского. -М.: Мир, 1975, 587 с.
2. Канчавели Ш.С. Патология трахеомикозного усыхания плодовых и биологические основы повышения их устойчивости. Диссертация на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук. – Тбилиси, Научно-исследовательский институт защиты растений, 1998, 300 с.
3. Цакадзе Т.А., Ошхерели М. П., Канчавели Ш.С. Виды *Phialophora* в Грузии, вызывающие усыхание и некроз плодовых. «Экология и жизнь». Наука, образование, культура. -Новгород, 1997, вып.3.

SUMMARY

PATHOMORPHOLOGICAL CHANGES IN DISEASED PLANTS

Kanchaveli Sh.S.

Scientific Research Centre of Agriculture

Dysplasia and changes in the shape of plants as well as cytological changes take place as a result of the disease. The main types of changes of a diseased plant are the following: hypertrophy, hyperplasia, hypoplasia, metaplasia, degeneration and necrosis. Pathogenic changes of fruit trees when diseased artificially with tracheomicotic fungi were studied. It was found that the first pathological changes in plant tissues appear in 4-5 days after being diseased, which gradually intensified and caused clogging of xylem vessels with gummy-like substances and necrosis of wood. The latter spreads both in vertical and horizontal directions. These processes proceed more intensively in stone cultures than in seed ones.

Keywords: plant diseases, pathogenic changes, cytological changes.

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ И БИОХИМИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ В БОЛЬНОМ РАСТЕНИИ

Канчавели Ш.С.

Научно-исследовательский центр Министерства сельского хозяйства Грузии

Физиологические и биологические изменения в больном растении разнообразны, в основном они сводятся к нарушению водного режима, осмотического давления клеточного сока, энергии фотосинтеза, энергии дыхания, деятельности ферментов и т.д.

Водный режим больных растений, как правило, нарушается, причем характер и степень этого нарушения зависят от размера поражения и характера структурных и физиологических изменений, происходящих в процессе взаимодействия между растением и патогеном.

При поражении подсолнечника ложной мучнистой росой (*Plasmopara helianthi* Novot. f. *Helianthi*) на всех фазах развития интенсивность транспирации у больных растений выше, чем у здоровых, а в фазе бутонизации больные растения испаряют почти в 3 раза больше воды, чем здоровые. Больные растения на всех этапах развития содержат больше воды, чем здоровые, и отдача воды у них происходит интенсивнее, т.е. они обладают меньшей водоудерживающей способностью. По-видимому, это происходит вследствие повышения водопроницаемости цитоплазмы клеток под действием токсинов гриба.

Поражение ржавчиной также сопровождается в большинстве случаев повышением транспирации. Так, при заболевании ячменя и овса стебловой ржавчиной (*Puccinia graminis* Pers.) отдача воды тканями ячменя повышается до 155%, а овса – до 467%. Причину повышенной транспирации у растений больных ржавчиной, авторы [1,2] видят в нарушении динамики движения устьиц, которые остаются более широко открытыми, чем у здоровых растений. С другой стороны, известно, что под влиянием токсинов гриба повышается проницаемость цитоплазмы, а отсюда неизбежно и усиление водоотдачи [3].

Вместе с тем, при некоторых болезнях растений наблюдается снижение транспирации. По нашим данным, в результате изменений в сосудах, вызываемых возбудителями вертициллезного и глиокладиозного усыхания плодовых, транспирационный ток значительно замедляется. При вертициллезе плодовых нарушения в водном режиме выражаются в изменении соотношения разных форм воды: снижении содержания общей и свободной и увеличении связанной. Общее количество воды во всех растениях уменьшается. Этот процесс наиболее резко отмечается в косточковых, по сравнению с семечковыми. Основную причину уменьшения водоотдачи больным растением одни авторы видят в закупорке мицелием гриба сосудов, механически прекращающей доступ воды к листьям. Нашими опытами установлено, что гибель растения вызывается действием токсинов, выделяемых патогеном в ткани хозяина и нарушающих нормальную жизнедеятельность растения, в том числе и водный режим. Токсины вызывают некроз древесины и закупоривание сосудов тиллами и гуммиобразными веществами, чем в начале задерживается, а затем прекращается передвижение воды и растение усыхает.

Уменьшение количества общей и свободной воды отрицательно действует на жизнеспособность клеток и биохимические процессы, протекающие в растении.

При вертициллезе плодовых снижается интенсивность транспирации, в большей степени в косточковых, а среди косточковых – в персике 77,6%; в вишне – 70,1%. Интенсивность транспирации в яблоне более снижена, чем в груше. Как показали опыты, интенсивность транспирации в начале заболевания повышается, а затем снижается, и это более показательно во время проявления болезни. Снижение интенсивности транспирации обусловлено снижением общего количества воды, наблюдавшееся при заболевании. Аналогично протекает интенсивность транспирации при заболевании другими грибами.

Опытами установлено, что на первом этапе заболевания концентрация хлорофилла незначительно возрастает, а во время проявления болезни резко снижается. Вместе с этим

изменяется соотношение между хлорофиллами а и в. У больных растений соотношение больше, чем у здоровых. Этот процесс больше, чем у здоровых. Этот процесс более интенсивно протекает у косточковых, чем у семечковых.

Воздействие патогенов на фотосинтетическую активность растения весьма разнообразна. Здесь может наблюдаться как значительная стимуляция процесса, так и полная приостановка фотосинтеза, что зависит от особенностей патогена, степени поражения, фазы развития заболевания, условий среды и т.д.

Большое число исследований показывает, что заболевание растений сопровождается значительным ослаблением их фотосинтетической активности. По нашим данным, во время проявления заболевания интенсивность фотосинтеза снижается у косточковых больше, чем у семечковых. В косточковых интенсивность фотосинтеза наиболее снижается в персике (62%), а наименее в вишне (56%), в семечковых интенсивность фотосинтеза наиболее снижается в яблоне по сравнению с грушей.

Основная причина снижения фотосинтеза при заболевании растений – разрушение хлорофилла. Несомненно, что на процесс фотосинтеза оказывают влияние токсины, выделяемые патогенами, а также нарушение оттока углеводов в листе, вызываемое некрозами флоэмной части сосудисто-волокнистого пучка и другими факторами.

Можно предполагать, что патогенные грибы выделяют продукты жизнедеятельности, которые в слабой концентрации оказывают стимулирующее действие на жизнедеятельность растительной клетки подобно действию многих токсинов.

В подавляющем большинстве случаев, как правило, с момента заражения патогеном начинается постепенное усиление дыхательного газообмена, вслед за которым дыхательная активность инфицированных тканей падает. Повышенную активность энергии дыхания пораженных тканей некоторые авторы объясняют непосредственным раздражением цитоплазмы клеток растения патогеном. По нашим данным, различные выделения патогена, например токсины, в зависимости от их количества могут оказывать стимулирующее или угнетающее действие на систему дыхательных ферментов, тем самым стимулируя или угнетая процесс дыхания. Кроме того, изменение энергии дыхания при болезни может быть вызвано усилением транспирации и другими факторами.

Под влиянием патогенов осмотическое давление меняется как в сторону повышения, так и в сторону понижения. При большинстве инфекционных болезней (ржавчина, пыльная головня, мучнистая роса, мозаика табака и др.) осмотическое давление понижено вследствие обильного развития патогена в тканях и усиленного потребления им питательных веществ.

Нашими опытами установлено, что при заболевании усыханием (вертициллез плодовых), осмотическое давление повышено, так как нарушается нормальное водоснабжение листа и затрудняется отток ассимилятов вследствие патологических изменений флоэмы.

Болезни растений, как правило, сопровождаются существенными изменениями физико-химических свойств цитоплазмы. Одно из характерных изменений – увеличение проницаемости цитоплазмы, выражающееся в усилении вымываемости из клеток неорганических солей и органических соединений. Исследованиями показано, что из листьев больных растений вымывается значительно больше органических веществ, чем из листьев здоровых.

Нашими опытами установлено, что при вертициллезе плодовых повышается проницаемость клеточной мембраны. В здоровых растениях косточковых проницаемость клеточной мембраны выше, чем в семечковых. Грибы, вызывающие усыхание, отрицательно действуют на проницаемость клеточной мембраны; после заражения в восприимчивых сортах она повышается больше, чем в устойчивых. Патологические изменения проницаемости клеточной мембраны листа вызываются токсинами патогена. Это приводит к тому, что ряд веществ, выделяемых клеткой, попадает в транспирационные токи, чем нарушается осмотическое давление и тургор клетки.

Интенсивность физиологических процессов, как известно, тесным образом связана с обменом веществ в организме растения. Скорость обмена веществ (процессов окисления и восстановления, синтеза и гидролиза) определяется присутствием и активностью ферментов.

При нормальной жизнедеятельности растения наблюдается слаженность в работе ферментов, участвующих в превращении веществ. Всякие нарушения в их деятельности приводят к общему расстройству обмена веществ, которое характеризует собой уже патологическое состояние организма. *P. Sorauer* впервые указал на значение ферментов при физиологических нарушениях в растении. Он выдвинул «энзиматическую теорию» заболевания растений, согласно которой ферментативные отклонения обуславливают «слабость» растения, а вследствие этого и более легкую восприимчивость к инфекции. Однако, в настоящее время известно, что нарушения в работе ферментов – не причина, а следствие заболевания растений.

Из гидролитических ферментов наиболее изучена амилаза, деятельность которой заметно усиливается при болезнях растений. При вертициллезном усыхании плодовых в больном растении резко повышается активность амилазы.

При вертициллезе плодовых нами изучены изменения витамина «С» и ферментов (каталаза, пероксидаза, полифенолоксидаза), участвующих в окислительно-восстановительных процессах.

Оказалось, что в здоровых растениях семечковых активность ферментов выше и содержание витамина «С» больше, в результате заболевания активность каталазы и полифенолоксидазы снижается как в косточковых, так и в семечковых. Снижается также содержание витамина «С», но этот процесс более интенсивно протекает в косточковых по сравнению с семечковыми. Что касается пероксидазы, в результате заболевания ее активность повышается больше в семечковых по сравнению с косточковыми.

Полученные нами данные показывают, что в семечковых, как сравнительно устойчивых, повышение активности пероксидазы может быть вызвано её активным участием в защитных реакциях растения. В сравнительно восприимчивых сортах (косточковых) на поздней стадии заболевания рост активности пероксидазы по-видимому вызван отклонением окислительно-восстановительных реакций к окислению. Что касается активности каталазы и полифенолоксидазы в результате заболевания, она незначительно меняется у семечковых по сравнению с косточковыми. Аналогично протекает снижение содержания витамина «С». Так что высокую активность ферментов, высокое содержание витамина «С» и их незначительное колебание при заболевании можно считать показателем устойчивости.

Установлено, что в наиболее устойчивом к усыханию сорте яблони шампанском ренете из аминокислот в наибольшем количестве встречается аланин, глутаминовая кислота и треонин. В отличие от восприимчивого сорта кехура встречается морвелин, триптофан, валин и тирозин.

В результате заражения грибом *Verticillium dahliae*, как в шампанском ренете, так и в кехура происходят количественные и качественные изменения аминокислот. В частности, в шампанском ренете количество аминокислот выросло на 2 кислоты (лизин, орнитин), а в кехура на 4 (аспарагин, лизин, аргонин и орнитин).

Как мы указали, в устойчивом сорте (шампанский ренет) в большом количестве содержатся аланин, глутаминовая кислота и треонин. Наличие первых двух кислот в устойчивом растении мы считаем одним из показателей устойчивости.

Что касается органических кислот, в листьях здоровых растений шампанского ренета и кехура отмечаются одни и те же органические кислоты (щавелевая, лимонная, малиновая, винная и уксусная кислоты).

В листьях кехура по сравнению с шампанским ренетом в большом количестве обнаружены винная и яблочная кислоты.

По нашим данным, восприимчивые сорта отличаются относительно высоким содержанием органических кислот.

Согласно нашим данным, общее количество фенолов во всех плодовых больше в устойчивых сортах, чем в восприимчивых. В результате заболевания общее количество фенолов значительно возрастает в устойчивых сортах, а в восприимчивых это изменение относительно незначительно. Выяснилось, что фенольные соединения (гидрохинон) отрицательно влияют на рост – развитие грибов [4].

Таким образом, в результате заболевания в растении отмечаются физиологические и биохимические изменения, которые отрицательно влияют на его рост-развитие.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тарп С. Основы патологии растений. Перевод с английского. -М.: Мир, 1975, 587 с.
2. Рубин Б.А., Арциховская Е.В. Биохимия и физиология иммунитета растений. -М.: Высшая школа, 1988, 415 с.
3. Канчавели Ш.С. Патология трахеомикозного усыхания плодовых и биологические основы их устойчивости. Диссертация на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук. – Тбилиси, Научно-исследовательский институт защиты растений. 1998, 300 с.
4. Kanchaveli Sh., Keshelava R. The Role of Phenolic Compounds in the Resistance to Fruit Dryness. /Bulletin of the Georgian Academy of Sciences, Tbilisi, 1998, v. 158, №1.

SUMMARY

PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL CHANGES IN DISEASED PLANTS

Kanchaveli Sh.S.

Scientific Research Centre of Agriculture

The changes in physiological and biochemical processes in plants in case of a tracheomycosis disease are studied. It was determined that, as a result of the disease, the amount of common and free water in the plant reduces, while the amount of binding water increases. The intensity of transpiration and photosynthesis and the content of pigments decreases, the penetrability of the cell membrane increases. At the initial stage, the breathing process becomes stronger, but, at the next stage, it slows down. The disease also affects the activity of enzymes participating in the oxidation-reduction process and the content of vitamin C. As a result of the disease, the activity of catalase and polyphenol oxidase decreases, while the activity of peroxidase increases. As for vitamin C, its content decreases. Amino acids and organic acids change in quantity and quality, but the amount of phenyl increases. Physiological as well as biochemical processes change more in stone fruit trees than in seed ones. This phenomenon is due to the fact that seed cultures are more resistant than stone ones. Physiological and biochemical changes caused by the disease affect the plant adversely, in particular, synthesis processes decrease, while hydraulic processes increase.

Keywords: plant diseases, physiological processes, biochemical diseases, adverse effect.